



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 JUGOSLAWISCHEN ELEKTRIZITÄTSWIRTSCHAFT

Godina Year	LVII	Oktobar-Decembar October-December	Broj No.	4
----------------	------	--------------------------------------	-------------	---

Sadržaj	Strana Page	Content
---------	----------------	---------

Emilija Turković i Radomir Naumov

150 GODINA OD ROĐENJA NIKOLE TESLE 3 150TH ANNIVERSARY OF NIKOLA TESLA BIRTHDATE

Aleksandar Janjić

DUGOROČNO PLANIRANJE ODRŽAVANJA 7 LONG-TERM MAINTENANCE PLANNING
NADZEMNIH VODOVA U DISTRIBUTIVNIM MREŽAMA OF OVERHEAD LINES IN DISTRIBUTION NETWORKS

Petar Vukelja,

Jovan Mrvić i Dejan Hrvić

ENERGETSKA NAPREZANJA METALOKSIDNIH 15 ENERGETIC STRESSES ON METAL-OXIDE SURGE ARRESTERS
ODVODNIKA PRENAPONA BEZ ISKRIŠTA U MREŽAMA WITHOUT SPARK GAP IN THE 110 kV, 220 kV AND 400 kV NET-
110 kV, 220 kV I 400 kV ELEKTROPRIVREDE SRBIJE WORKS OF POWER INDUSTRY OF SERBIA

Miloje Kostić

NAJVEĆE DOZVOLJENE SNAGE KONDENZATORA 26 ADMISSIBLE POWERS GREATER FOR CAPACITOR POWERS
ZA POJEDINAČNU KOMPENZACIJU ASINHRONIH MOTORA FOR INDIVIDUAL COMPENSATION OF INDUCTION MOTORS

Branko Stojković i Milan Vukasović

VB/PHP APLIKACIJA ZA PRAĆENJE TRENUTNE POTROŠNJE 35 VB/PHP APPLICATION FOR REAL-TIME TRACKING
ELEKTRIČNE ENERGIJE PUTEM INTERNETA OF ELECTRIC ENERGY CONSUMPTION VIA INTERNET

Ljubo Knežević

PRIMJENA NOVOG SISTEMA ZA AUTOMATSKO DALJINSKO 44 IMPLEMENTATION OF NEW AUTOMATED METER READING
OČITAVANJE BROJILA U ELEKTROPRIVREDI CRNE GORE IN ELECTRIC POWER COMPANY OF MONTENEGRO

Dobrivoje Stojanović, Lidija Korunović,

Sladan Jovanović, Andrija Vukašinović i Miroslav Dočić

FAKTOR GUBITAKA NA DISTRIBUTIVNOM PODRUČJU 51 LOSS FACTOR IN DISTRIBUTIVE AREA OF UTILITY
JP „ELEKTRODISTRIBUCIJA NIŠ“ „ELEKTRODISTRIBUCIJA NIŠ“

Jordan Radosavljević i Miroslav Jevtić

UTICAJ KRATKIH SPOJEVA I NEREGULARNIH ISKLJUČENJA 62 IMPACT OF SHORT CIRCUITS AND IRREGULAR
U DISTRIBUTIVNOJ MREŽI NA RAD DISCONNECTION IN DISTRIBUTION NETWORK
ASINHRONOG GENERATORA ON ASYNCHRONOUS GENERATOR OPERATION

Vladica Mijailović

MODEL ZA PROCENU EFEKATA POJEDINIH VIDOVA 70 METHOD FOR EFFECTS EVALUATION OF SOME
PREVENTIVNOG ODRŽAVANJA ENERGETSKIH FORMS OF POWER TRANSFORMERS PREVENTIVE
TRANSFORMATORA MAINTENANCE

Žarko Markov i Goran Nedić

ŠTA ISDN TEHNIKA MOŽE DA DONESE 80 WHAT ISDN TECHNOLOGY SHOULD BRING
TELEFONSKOJ MREŽI EPS-A TO EPS TELEPHONE NETWORK

Vladimir Strezoski

Prikaz knjige Review of book

EKSPLOATACIJA 88 POWER SYSTEMS OPERATION
ELEKTROENERGETSKIH SISTEMA IN FREE MARKET ENVIRONMENT
U USLOVIMA SLOBODNOG TRŽIŠTA

autori: M. S. Čalović, A. T. Sarić i P. Č. Stefanov

IZDAVAČ:
PUBLISHER:

ZAJEDNICA JUGOSLOVENSKE ELEKTROPRIVREDE
UNION OF YUGOSLAV ELECTRIC POWER INDUSTRY

11 000 Beograd, Balkanska 13

Telefon: 686-633, 643-823, 688-092, 2687-199 (centrala)

Telefaks: 686-398

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

Elektronska pošta: jugel@sezampro.yu

DIREKTOR I GLAVNI I ODGOVORNI UREDNIK
DIRECTOR AND CHIEF EDITOR

Branislav A. Bošković, dipl. ing. el.

IZDAVAČKI SAVET
PUBLISHING COUNCIL

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

Zajednica jugoslovenske elektroprivrede, Beograd;

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

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

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

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

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

REDAKCIONI ODBOR
EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Dr Rade Filipović, dipl. ing. el., član, Zajednica jugoslovenske elektroprivrede, Beograd;

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Lela Lončar, dipl. filolog, član, Zajednica jugoslovenske elektroprivrede, Beograd.

TEHNIČKI UREDNIK
TECHNICAL EDITOR

Jovo Todorović dipl. teh.

LEKTOR I PREVODILAC
LINGUISTIC REVIEW
& TRANSLATION

Lela Lončar, dipl. filolog

TEHNIČKI CRTAČ
MAPS AND GRAPHICS

Milanka Pejović,
teh. crtač

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.

Časopis „Elektroprivreda” se izdaje u 2005. godini uz finansijsku pomoć
Ministarstva za nauku, tehnologiju i razvoj Republike Srbije

The „Elektroprivreda” journal is published in 2005 with financial support of
Ministry for Science, Technology and Development of the Republic of Serbia

Štampa: „Kultura”, Beograd, Maršala Birjuzova 28

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

Tiraž: 1 000 primeraka

Circulation: 1,000 copies

150 GODINA OD ROĐENJA NIKOLE TESLE

*Nisu veliki oni koji ponižavaju čoveka,
već oni koji ga uzdižu,
koji obogaćuju njegovo duhovno nasleđe
i time pomažu njegovoj sreći*
Nikola Tesla



Nikola Tesla

Među velikim stvaraocima, koji su na prekretnici XIX i XX veka svojom čudesnom intuicijom uspeali da sagledaju nove naučne istine, trasiraju nove puteve i otvore nove horizonte u svetu tehnike, istaknuto mesto pripada Nikoli Tesli.

Nikola Tesla, naučnik srpskog porekla, nenadmašni pronalazač i vizionar, izumitelj „elektromagnetnog točka” i „pesnik elektrotehnike”, svojim epohalnim radovima otvorio je revolucionarnu eru u oblasti elektrotehničke nauke, koja se u tom momentu tek rađala. Iz širokog spektra njegovih originalnih otkrića posebno se izdvajaju: sistem polifaznih, naizmjeničnih struja, koji je danas univerzalno prihvaćen za prenos električne energije, obrtno magnetno polje, indukcionni motor, otkrića vezana za visokofrekventne struje i njihove fenomene, otkrića na polju radiotehnike, bežični prenos energije i mnoga druga. Oblast proizvodnje, prenosa i primene električne energije Tesla je oplodio smelim poletom svoje fantazije i bogatstvom pronalazačke misli, čime je doprineo da proizvodnja električne energije i njena industrijska primena u XX veku dobiju neslućene razmere i da električna energija postane deo života svih ljudi. Naučna javnost u svetu odala mu je priznanje dajući ime TESLA (T) jedinici magnetne indukcije, čime je njegovo ime, kao jedinom naučniku iz grupe slovenskih naroda, stavljeno uz imena Kulona, Ampera, Volte, Faradeja, Herca i Maksvela i ušlo u elektrotehničku praksu i školske udžbenike u celom svetu.

U našoj zemlji ime Nikole Tesle simbolizuje ne samo razvitak nauke i tehnike, već i ideal visokog naučnog morala, čovečnosti i ljubavi prema ljudima i svojoj zemlji.

Obeležavanje 150. godišnjice Teslinog rođenja u 2006. godini biće prilika da se iz današnjeg ugla sagleda Teslino delo i izrazi poštovanje Tesli kao čo-

veku i stvaraocu, koji je dao neprocenljivi doprinos razvoju savremene civilizacije.

ČOVEK I STVARALAC NIKOLA TESLA

Nikola Tesla je rođen 10. jula 1856. godine, u porodici pravoslavnog sveštenika, u selu Smiljanu kod Gospića, u Lici (bivša Austrija, sada Republika Hrvatska). Opšte obrazovanje je stekao u Gospiću i Karlovcu gde je pohađao Realnu gimnaziju. Tehničko obrazovanje je stekao na Politehničkoj akademiji u Gracu, a bio je i na studijama filozofije u Pragu. Svoj radni vek započeo je u Budimpešti, a nastavio u Parizu i Strazburu. U Evropi nije našao uslove da realizuje i usavrši svoje pronalaskе iz oblasti elektromagnetne tehnologije, na kojima je već uveliko radio, pa zato 1884. godine odlazi u SAD, u Njujork. Radio je neko vreme u kompaniji Thomasa Edisona, a zatim prelazi u kompaniju Westinghous, u kojoj je realizovao neke od svojih najznačajnijih pronalazaka.

Krajem 1887. godine, kod Patentne uprave SAD registruje prvih 7 patenata, koji su od fundamentalnog značaja za proizvodnju, prenos i upotrebu električne energije. U njima je Tesla detaljno prikazao sistem polifaznih struja i svih komponenti vezanih za njihovu primenu: generator, transformator, motor i sistem prenosa. Sledeće godine, Tesla je ovaj sistem predstavio najuglednijim stručnjacima SAD, u čuvenom predavanju koje je održao u Američkom udruženju elektroinženjera u Njujorku. Na krilima trijumfa radi na praktičnoj realizaciji polifaznog sistema, koji je prvi put otelotvoren na električnoj centrali izgrađenoj na Nijagarinim vodopadima koja je počela sa radom 1897. godine. U isto vreme Tesla usmerava svoja istraživanja na oblast naizmjeničnih struja visokih napona i visokih frekvencija. Iz

ove oblasti Tesla je registrovao veliki broj patenata, a 1891. godine održao je u Njujorku, a zatim 1892. godine u Parizu i Londonu više veoma uspelih predavanja. Godine 1892. Tesla je posetio i Beograd, gde je dočekan sa velikim oduševljenjem.

Tesla usmerava svoje interesovanje na nove oblasti i već 1893. godine, u predavanjima održanim u Franklinovom institutu u Filadelfiji i Nacionalnom udruženju za električno osvetljenje u Sent Luisu, izneo je osnovne ideje modernog radija, ali otkrića iz ove oblasti nije uspeo da na vreme zaštiti patentom, zbog požara u kojem je 1895. godine izgorela njegova laboratorija sa svom dokumentacijom i eksperimentalnom aparaturom. Tesline ideje modernog radija iskoristio je Markoni i 1896. godine, pre Tesle, registrovao patent novog koncepta radija, koji je Tesla patentirao 1897. godine. Da bi nastavio svoja istraživanja i realizovao svoje ideje bežičnog prenosa energije Tesla osniva svoju laboratoriju, u Kolorado Springsu, sa gigantskim generatorima stuja visokih frekvencija i visokih napona, na kojima izvodi svoje čuvene eksperimente. Na početku XX veka, posle uspešnih predavanja iz oblasti polifaznih struja, struja visokih frekvencija i radija, Tesla je bio na vrhuncu slave. Po povratku u Njujork, započinje izgradnju nove laboratorije na Long Ajlendu u blizini Njujorka, ali zbog nesporazuma i finansijskih teškoća sve napušta i počinje svoja istraživanja iz oblasti mehanike fluida, iz koje prijavljuje svoj poslednji patent 1916. godine.

Teslin životni put, koji je po njegovom priznanju bio „neprekidno treperenje između agonije neuspeha i blaženstva uspeha” završio se u belini sobe hotela New Yorker u Njujorku, 7. januara 1943. godine. Iza njega ostali su brojni radovi (samo deo toga dat je u ovom prikazu), predavanja, više stotina patenata, hiljade stranica objavljenih i neobjavljenih beležaka, koji se zajedno sa njegovom urnom čuvaju u Muzeju Nikole Tesle u Beogradu.

Svojom inventivnošću Nikola Tesla je prevazilazio svoje savremenike, koji su mu se čudili i u isto vreme divili. Mali broj od njih shvatao je dalekosežnost njegovih otkrića. Ipak, naučna javnost mu je odala zasluženo priznanje. Dodeljeni su mu počasni doktorati na brojnim univerzitetima u svetu, članstvo u naučnim institutima, laureat je Edisonove i Franklinove medalje. Dosta kasno posle smrti, u januaru 1976. godine, Nikola Tesla je uvršćen u Kuću slavnih pronalazača SAD. Najveće međunarodno naučno priznanje Tesla je dobio od Međunarodne elektrotehničke komisije koja je jedinici magnetne indukcije dala ime TESLA. Na taj način učinjena je velika čast Nikoli Tesli, koji je za sva vremena obezbedio časno mesto u Panteonu opšte slovenske slave.

OBELEŽAVANJE 150. GODIŠNJICE ROĐENJA NIKOLE TESLE

U 2006. godini navršice se 150 godina od rođenja Nikole Tesle. Sa željom da se kroz barijeru vremena još jednom oseti eho Teslinih snova i iskaže poštovanje prema Tesli kao čoveku i stvaraocu, u velikom broju zemalja u kojima je Tesla živeo i radio, biće obeležen ovaj jubilej. Nastavljajući tradiciju proslave značajnih jubileja vezanih za Teslin život (1936, 1956, 1976, 1991. i 1996. godine), obeležavanje 150. godišnjice Teslinog rođenja obaviće se i u Srbiji, zemlji koju je, s obzirom na pripadnost srpskom narodu, Tesla duboko poštovao i voleo. Proslava jubileja će se odvijati pod pokroviteljstvom Vlade Republike Srbije, koja je formirala Odbor za proslavu i usvojila Program za obeležavanje jubileja. U realizaciju ovog Programa uključene su društvene, naučne i obrazovne organizacije, kao i privredna društva, koji deluju u oblastima Teslinog stvaralaštva, posebno oni koji imaju čast da nose Teslino ime.

Ovaj program predviđa niz manifestacija koje će se odvijati u toku 2006. godine, a najvažnije od njih su:

- Svečana akademija na dan rođenja Nikole Tesle, 10. jula 2006. godine, uz prisustvo uglednih ličnosti iz sveta nauke, privrede, političkog i kulturnog života, iz zemlje i inostranstva;
- Naučni skup u SANU, posvećen Tesli i njegovom delu, sa radovima po pozivu, uz učešće uglednih naučnih radnika iz zemlje i inostranstva kojima je blisko Teslino delo;
- Naučne tribine, sa temama vezanim za lik i delo Nikole Tesle, koje bi se organizovale u Kolarčevoj zadužbini, SANU, u naučnim institucijama i privrednim društvima koja nose Teslino ime;
- U osnovnim, srednjim i višim školama održavanje školskog časa sa predavanjem o Nikoli Tesli i njegovom delu prema jedinstvenom tekstu i organizacija seminara „Dani Nikole Tesle” na fakultetima i Istraživačkoj stanici u Petnici i dr.;
- Izdavanje monografije, publikacije o Teslinim patentima sa neophodnim podacima, kratkim opisom i fotografijama, publikacija vezanih za institucije i objekte u Srbiji koje nose Teslino ime, tematskih članaka u časopisima nacionalnog značaja posvećenih Tesli i njegovom delu, reprinta govora značajnih domaćih i inostranih ličnosti posvećenih Tesli prilikom prethodnih proslava, kolaža plakata i fotografija Nikole Tesle i njegovih pronalazaka, CD na srpskom i stranim jezicima i dr. Neke od publikacija bi se štampale i na engleskom jeziku ili dvojezično;

- Organizacija stalne postavke izložbe u Galeriji SANU i pokretne izložbe u većim gradovima Srbije sa eksponatima i fotografijama iz života i stvaralaštva Nikole Tesle;
- Raspisivanje konkursa Fondacije „Nikola Tesla” za dodelu Tesline nagrade domaćim stvaraocima, za naučna ostvarenja u prirodnim i tehničko-tehnološkim naukama, za oblast, pronalazaštva, ostvarenje ciljeva Fondacije i stvaralaštvo mladih;
- Povezivanje sa IEEE (i IEEE YU sekcijom) i učešće u dodeli međunarodne Tesline nagrade;
- Izdavanje serije poštanskih maraka (jubilarne serije) sa motivima vezanim za Teslu i njegove izume, koje bi se pustile u promet 10. jula 2006. godine;
- Izdavanje numizmatičke serije zlatnog i srebrnog novca sa likom Nikole Tesle;
- Poseta Smiljanu, rodnom mestu Nikole Tesle;
- Učešće u uređenju crkve Svetih apostola Petra i Pavla u Smiljanu, u kojoj je kršten Nikola Tesla;
- Posete Elektrotehničkom institutu „Nikola Tesla” u Beogradu i Institutu za nuklearne nauke i akceleratorna postrojenja „Nikola Tesla” u Vinči, obilazak TE „Nikola Tesla” u Obrenovcu, objekata prenosne mreže u JP „Elektromreža Srbije”, prvih

elektrana izgrađenih u Srbiji, krajem XIX i početkom XX veka, u Užicu, Ivanjici, Vučju i Gamzigradu, kao i posete Patrijaršiji Srpske pravoslavne crkve i Hramu Svetog Save u Beogradu.

Pored toga, planirano je uspostavljanje veza sa ambasadama SAD, Hrvatske, Bosne i Hercegovine, kao i Tesla Memorial Society iz Njujorka, u cilju nalaženja načina za njihovo uključanje u obeležavanje Teslinog jubileja. Proslava jubileja biće praćena nizom multimedijalnih aktivnosti, uz otvaranje i posebnog Web-site, kako bi se i šira javnost uključila u obeležavanje jubileja.

Najzad, ovaj prikaz da završimo rečima koje je davne 1936. godine, pri obeležavanju 80. godišnjice rođenja Nikole Tesle, izgovorio naš velikan Milutin Milanković: „Proslavljajući ovaj Jubilej, mi ne mislimo, niti pokušavamo, da time uvećamo njegovu nedostižnu slavu, nego želimo samo da damo izraz našem ponosu što je iz ove naše sredine iznikao jedan genije čije će ime, i bez naše pomoći, ostati zavek zabeleženo svetlim slovima u istoriji nauke i tehnike.”

Mr Emilija Turković i Radomir Naumov

150TH ANNIVERSARY OF NIKOLA TESLA BIRTHDATE

*The ones who humiliate the man are not great, but the ones who raise him,
who enrich his spiritual inheritance and thus enlarge his happiness*
Nikola Tesla

The highlighted place among the greatest scientists at the end of XIX century who have, with their miraculous intuition, succeeded to foresee new scientific truths, marking new directions and opening new horizons in the technical world, belongs to Nikola Tesla.

Nikola Tesla, the scientist of Serbian origin, visionary, the unexcelled inventor of "electromagnetic wheel", poet of electrotechnics, has with his epochal works initiated revolutionary era in the field of electrotechnics, the science that was being born at the time. The extraordinary inventions which are to be extracted from wide spectrum of his original inventions are: polyphase system of alternating currents which is today universally

accepted for power system transmission, rotating electrical field, induction motor, high frequency currents and their phenomena, inventions in the area of radio, conveying of energy without wire, etc. Tesla has fertilized the field of production, transmission and application of electrical energy with high spirit of his fantasy and richness of his inventive ideas, thus contributing to production and industrial appliance of electrical energy in 20th century in the means that electricity became a part of everyday human life. The scientific circles in the world gave him credit by naming the unit for magnetic induction after him - TESLA. Tesla's name, as the only scientist of all Slavic nations, has joined the famous names of Coulomb, Ampere, Faraday,

Hertz and Maxwell and entered into the electrical engineering practice and school handbooks worldwide.

In our country the name Nikola Tesla symbolizes both the development of science and engineering and the ideal of high professional ethics, humanity and love towards one's people and country.

Celebration of the 150th anniversary of Tesla's birth in 2006 will be an opportunity for further, deeper and more comprehensive consideration of Tesla's work in the light of the modern state of sciences in his areas of activity and for paying respect to Tesla as the man and creator who gave invaluable contribution to the progress of the modern civilization.

NIKOLA TESLA - MAN AND CREATOR

Nikola Tesla was born on 10th of July 1856 in the family of orthodox priest in the village of Smiljan, near Gospic in Lika (then part of Austria, now Republic of Croatia). He obtained his general knowledge in Gospic, and Karlovac where he attended Real Gymnasium. He has received his technical education at Politechnical Academy in Gratz and extended it at studies of Philosophy in Prague. He started to work in Budapest, then continued in Paris and Strasbourg. He could not find suitable conditions to realize and improve his inventions in the field of electromagnetic technologies in Europe. This is why he left to New York (US) in 1884 where he worked for a while in a Thomas Edison's company, then moved to Westinghouse company where he realized some of his most significant patents.

At the end of 1887 he registers first 7 patents which are fundamentally significant for production, transmission and use of electrical energy at the Patent Administration of United States. Those patents describe in details the polyphase a-c system and all of the components attached to their appliance (generator, transformer, motor and transmission system) and were presented next year to the most important experts and scientists in US, during the famous lecture held at American Society of Electrical Engineers in New York. Encouraged by the triumph, he worked on practical realization of polyphase system, firstly implemented on the power plant built on Niagara Falls which was opened in 1897. At the same time Tesla concentrated his research in the field of high-voltage and high-

frequency currents, resulting in numerous patents and sequence of very successful lectures held in New York, Paris and London during 1892. In the same year Tesla visited Belgrade where he was hosted with delight.

His creative mind, in spite of difficulties - his laboratory in New York burned in fire in 1895 with complete documentation - transferred to new areas: he set the basis of modern radio, as he already in 1893 presented during lectures held in Philadelphia and Saint Louis, and also worked on wireless transmission systems, etc. As he could not register those patents without documentation, the following year Marconi, using Tesla's ideas of modern radio, registered the patent of new concept of radio. At the end of 1899 Tesla went to Kolorado Springs and built his own laboratory with gigantic generators of high-voltage and frequency currents where he made his famous experiments. At the beginning of the 20th century, after successful lectures in the field of polyphase currents, high-frequency currents and radio, Nikola Tesla was at the peak of his glory. After he returned to New York, he initiated building of new laboratory on Long Island, but due to financial problems had to leave it. Then he began studying fluid mechanics, the field of his last patent in 1916.

Tesla's life path, constantly oscillating between agony of failure and blessing of success, ended in New Yorker hotel room on January 7th 1943. His numerous works, lectures, hundreds of patents, thousands of pages of both published and unpublished notes remained after him and are being kept together with his urn in Nikola Tesla Museum in Belgrade. He has far exceeded his contemporaries with his innovativity, and they have always admired and wondered at him. Just few of them have understood how far his inventions reach. Still the scientific world has given deserved tribute to him - honorary doctorates have been granted to him at numerous universities and scientific institutions all over the world, as well as Edison and Franklin medals. In January 1976 Nikola Tesla was elected to the Hall of Fame of Great Inventors in USA. The greatest honor however Tesla was granted by International Electrotechnical Committee which named the unit for magnetic induction after him - TESLA (T). He has secured the honorary place in the Pantheon of Slovenian Glory.

Emilija Turkovic and Radomir Naumov

Aleksandar Janjić

Dugoročno planiranje održavanja nadzemnih vodova u distributivnim mrežama

Originalni naučni rad
UDK: 621.316; 621.311.1

Rezime:

U ovom radu se predlaže primena metode dinamičkog programiranja za određivanje vrste akcije na održavanju distributivnih nadzemnih vodova koju treba preduzeti, kao i optimalnog vremena za preduzimanje neke od ovih akcija, uzimajući u obzir vreme proteklo od prethodne aktivnosti. Optimizacija je ovde izvršena postizanjem najmanjih troškova eksploatacije, koji u sebi sadrže i troškove usled narušavanja pouzdanosti. Uveden je i koeficijent efektivnosti, na osnovu kojeg je moguće odrediti prioritete objekata i aktivnosti na održavanju. Metoda je testirana na primeru nadzemne distributivne mreže, ali se može koristiti i za ostale delove distributivnih sistema, uvažavajući njihove specifičnosti.

Ključne reči: distributivni nadzemni vodovi, planiranje održavanja, održavanje bazirano na pouzdanosti, dinamičko programiranje

Abstract:

LONG-TERM MAINTENANCE PLANNING OF OVERHEAD LINES IN DISTRIBUTION NETWORKS

In this paper, the dynamic programming method is proposed for the choice of maintenance activity to be undertaken, and of the optimal timing of that action, taking in account the time elapsed after the previous action. Optimization is performed by the minimization of exploitation costs, including the costs of reduced reliability. The effectiveness index is introduced, based on which the ranking of object and maintenance actions is made possible. The method is tested on the overhead power line, but it can be used on other parts of distribution system, taking in account their particularity.

Key words: distribution overhead lines, maintenance planning, reliability centered maintenance, dynamic programming

1. UVOD

Savremena elektroprivredna preduzeća, suočena sa novim tržišnim zahtevima, sve više poklanjaju pažnju novoj oblasti koju predstavlja upravljanje materijalnim sredstvima (asset management). Jedan

od najvažnijih delova ove oblasti je svakako i održavanje. Održavanje predstavlja skup radnji koje imaju za cilj da produže životni vek opreme, odnosno da produže vreme do prvog kvara nekog elementa, čija bi opravka iziskivala velike troškove. Održavanje je zato tesno vezano sa pouzdanošću: suviše slabo i

Mr Aleksandar Janjić, dipl. ing. el. – „EPS” JP „Elektrodistribucija Niš”, 18 000 Niš, Bulevar dr Zorana Đinđića 46a

retko održavanje može da izazove veliki broj kvarova i prekida napajanja. Suviše često sprovedeno, međutim, održavanje može da bude preskupo. Stoga je neophodno napraviti balans između troškova održavanja i troškova koji proističu iz prekida u napajanju.

U poslednjih dvadesetak godina, održavanje kao disciplina razvilo se možda više od svih ostalih. Ova promena izvršena je zbog povećanog broja i složenosti opreme koju treba održavati, ali i novih pristupa održavanju, novih tehnika i pogleda na organizaciju održavanja, pre svega u pogledu smanjenja troškova. Istorijski gledano, možemo da govorimo o više generacija u shvatanju i organizaciji održavanja, u svim tehničkim sistemima. Primena ovih novih strategija u elektrodistributivnim mrežama kasnila je za drugim, pre svega proizvodnim delovima sistema. Međutim, novi zahtevi tržišnog okruženja u kojima rade distributivna preduzeća sve više nameću preispitivanja postojećih strategija održavanja.

Moguće je razlikovati dve opšte strategije održavanja: korektivno i preventivno. Korektivno održavanje (ili „run to failure” kako se često naziva u zapadnoj literaturi) podrazumeva otklanjanje kvarova tek kada se dogode. Ovo je rudimentarna forma održavanja koja se i danas široko koristi, ali pre svega za niskonaponske mreže i mreže koje napajaju manje važne potrošače. Preventivno održavanje obuhvata sve oblike održavanja koji svojim preventivnim akcijama odlažu otkaz elementa. Podela prema vremenu nastanka obuhvata sledeće forme preventivnog održavanja:

- zamena ili remont elementa u fiksnim vremenskim intervalima,
- održavanje zasnovano na praćenju stanja opreme i
- održavanje zasnovano na pouzdanosti (reliability centered maintenance ili RCM).

Sušтина RCM pristupa je kvantitativno određivanje uticaja održavanja na pouzdanost komponente, odnosno celog sistema. Veliki broj radova razmatra primenu ove strategije u elektroenergetskim mrežama, kako sa teorijskog stanovišta [1–3], tako i sa praktičnog aspekta primene u distributivnim mrežama [4–6].

Kao najnovija generacija održavanja zasnovanog na pouzdanosti razvila se i strategija koja se bazira na proceni rizika otkaza komponente i uticaja koji taj otkaz može da prouzrokuje na funkcionisanje sistema („risk based maintenance”) [7,8]. Pregled trenutnog stanja primene raznih strategija održavanja dat je u izveštaju radne grupe IEEE [9]. Rezultati ovog istraživanja, koje je obuhvatilo više elektroprivrednih preduzeća u Severnoj Americi i Evropi, doveli su do zaključka da je dominantan ob-

lik održavanja i dalje baziran na periodičnim inspekcijama i da je primena RCM tehnika još uvek u po-voju.

U ovom radu, primenjena je upravo RCM metodologija, na taj način da su efekti koje planirane aktivnosti na održavanju imaju na povećanje ili smanjenje pouzdanosti, kvantitativno izražene kroz troškove eksploatacije. Način na koji su uvažene specifičnosti održavanja distributivne mreže, kao i metodologija određivanja dinamike održavanja prikazana je u sledećim odeljcima.

2. SPECIFIČNOSTI FUNKCIJE ODRŽAVANJA U DISTRIBUTIVNIM SISTEMIMA

Cilj održavanja bilo kog sistema je produženje životnog veka opreme, kako bi se smanjili ukupni troškovi eksploatacije. Tradicionalnim pristupom, problem se rešavao određivanjem minimuma troškova kojima se postizao određeni, unapred zadati nivo pouzdanosti. U novom ekonomskom okruženju u kome preduzeća danas posluju, formulacija problema se menja. Sada je potrebno odrediti optimalnu kombinaciju aktivnosti na održavanju kojima se postiže najveća pouzdanost uz ograničena sredstva predviđena za održavanje. Najčešće, ova optimizacija ima za rezultat određivanje vrste aktivnosti na održavanju i određivanje vremena kada tu aktivnost treba preduzeti („maintenance scheduling”).

Postoji bitna razlika u pristupu održavanju između proizvodnog, prenosnog i distributivnog sistema. Najveći broj radova razmatra određivanje redosleda održavanja proizvodnih kapaciteta, budući da oni pojedinačno predstavljaju i najskuplji deo sistema. Održavanju prenosnih kapaciteta, pre svega dalekovoda visokih napona, pristupa se slično kao i generatorima, jer je periodični remont ovih objekata obavezan, a optimizacija redosleda održavanja pojedinih objekata vrši se minimizacijom troškova neisporučene energije. Kao ograničenja, koja se mogu javiti i u distributivnim mrežama, mogu se pojaviti ograničenja u raspoloživom broju ekipa i u najranijem i najkasnijem vremenu kada treba otpočeti remont (2,10).

Distributivni sistemi, međutim, pružaju najviše prostora za određivanje strategije održavanja procenom efekata koje ono ima na pouzdanost. Ovo se može objasniti većim brojem objekata koje treba simultano posmatrati, većim brojem mogućih kombinacija akcija koje je moguće preduzeti, kao i u slobodnijem tretmanu donošenja odluka o preduzimanju neke akcije. Naime, zbog različitog značaja koje pojedine mreže imaju (različiti naponski nivoi, vrsta potrošača, protekla energija), nekada je opravda-

na i koncepcija po kojoj ne treba ništa preduzimati na održavanju.

U dosadašnjem tretiranju ovog problema, najčešće je razmatrana minimizacija ukupnih troškova eksploatacije, koji u sebi sadrže troškove održavanja i troškove prekida napajanja koje trpe potrošači. Kao ograničenja, uvažavano je ograničenje u broju raspoloživih ekipa i ograničenje u pouzdanosti. Druga varijanta tretiranja ovog problema je maksimizacija pouzdanosti uz ograničenje raspoloživog budžeta [11–15].

U ovom radu, optimalne vrednosti obima i periodičnosti remonata određuju se na osnovu minimizacije aktuelizovane vrednosti troškova tokom celog perioda planiranja, koji sadrže i troškove usled prekida koje trpi isporučilac i štete koje trpe potrošači. U opštem slučaju, optimalno vreme remonta može se odrediti minimizacijom ciljne funkcije sledećeg oblika:

$$F = \min_{i=1}^T C(i) (1 - p)^i \quad (1)$$

$C(i)$ – ukupni troškovi u godini i ,

p – diskontna stopa i

T – period planiranja

Pored troškova prekida, moguće je pratiti i druge parametre pouzdanosti mreža čijom se optimizacijom pronalazi optimalno vreme održavanja, odnosno vrši rangiranje onih objekata kod kojih je najisplativije uložiti sredstva za održavanje. Međutim, kako su metode za novčanu valorizaciju troškova prekida vrlo razvijene, navedeni pristup može se podvesti pod prethodni.

3. MOGUĆE AKCIJE NA ODRŽAVANJU U NADZEMNOJ MREŽI

Moguće akcije koje se mogu preduzimati u cilju održavanja jednog objekta, a koje se postavljaju pred donosiocem odluka u cilju određivanja optimalne strategije mogu biti sledeće:

- ne raditi ništa na održavanju,
- vršiti inspekcije i preglede,
- vršiti manje popravke i remonte,
- izvršiti veći (kapitalni) remont i
- vršiti remonte u fiksnim intervalima nezavisno od stanja opreme.

Svaka od ovih vrsta u sebi podrazumeva i mnoge druge aktivnosti, specifične za određeni objekat. Tako se pod inspekcijom računaju i ispitivanja, testiranja, provera funkcionalnosti, vizuelni pregled objekta itd. Kao primer, mogu se navesti aktivnosti u distributivnoj nadzemnoj mreži.

Distributivne mreže prostiru se na velikom području, koje prekriva više hiljada kvadratnih kilometara. Zbog toga nije uvek moguće imati stalan uvid u fizičko stanje ovog sistema. Moguće je, međutim, vršiti inspekciju vodova i odrediti njihovo stanje pre nego što se sprovede neka aktivnost na održavanju. Inspekcija takođe može i da odloži neku planiranu aktivnost. Inspekcija vodova vrši se na različite načine, koji uključuju i termovizijsko snimanje, proveru stubova i vizuelnu inspekciju. Neke od ovih akcija sprovode se u prisustvu napona, dok je za druge potrebno vršiti isključenje voda. Prikaz najčešćih aktivnosti na održavanju nadzemnog voda prikazan je u tabeli 1.

Tabela 1.

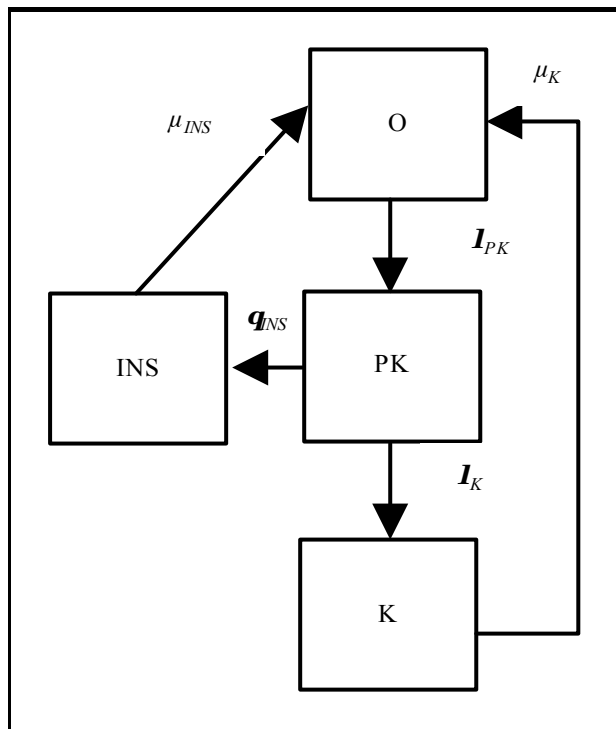
Aktivnosti na održavanju nadzemnog voda

Inspekcija voda	Pod naponom	Obilazak voda duž trase sa posmatranjem u cilju utvrđivanja ispravnosti izolatora, vodova, spojeva i vezova provodnika, kontrola ugiba i određivanje potrebne seče grana, uočavanje svih nepravilnih približavanja ili ukrštanja, termovizijsko snimanje, merenje uzemljenja
	U beznaponskom stanju	Pregled i čišćenje izolatora, penjanje na stub u cilju kontrole.
Manje popravke	U beznaponskom stanju	Ispravljanje stuba, zamena izolatora, zatezanje provodnika, zamena odvodnika, zamena linijskog rastavljača
Veće popravke	U beznaponskom stanju	Zamena više stubova, zamena provodnika

Najpotpuniji način modelovanja uticaja svih ovih aktivnosti na pouzdanost sistema svakako je Markovljev model. Markovljev proces primenjen je zbog toga što stanje distributivnog voda može da se prikaže konačnim brojem stanja. Model sa četiri stanja prikazan je na slici 1 [5].

U operativnom stanju (O), dalekovod je pod naponom i nema prekida napajanja. U stanju pre kvara (PK) potrošači su i dalje napajani energijom, ali u ovom stanju ekipe za pregled mogu da ustanove moguće kvarove koji se odnose na blizinu grana, odnosno zone sa preterano bujnom vegetacijom. U stanju kvara (K), zbog kvarova koji su se desili usled blizine grana, jedan deo potrošača ostaje bez napajanja. U stanju inspekcije (INS) dalekovod se pregleda i detektuju se stabla koja mogu da izazovu kvarove. U

ovom stanju vrši se i održavanje, odnosno sečenje grana i dalekovod se vraća u operativno stanje.



Slika 1. Model nadzemnog voda koji obuhvata čišćenje trase od rastinja

Sa I_{PK} , I_K i q_{ins} označeni su intenziteti prelazaka u odgovarajuća stanja, a sa μ_{ins} , μ_K intenziteti povratka iz stanja inspekcije, odnosno kvara, respektivno.

Markovljev model iskorišćen je i u radovima [1, 5, 16] koji na više ili manje složen način modeluju sva moguća stanja u kojima se može naći jedan energetski objekat. Izlazni rezultati koji se dobijaju rešavanjem Markovljevog modela su stacionarne verovatnoće boravka u stanjima i učestanosti prelaska iz radnog u neravno stanje. Ove vrednosti se zatim koriste kao ulazne, u proračunu troškova koji obuhvataju i troškove usled prekida napajanja.

Nedostatak ovog modela je, međutim, nepoznavanje intenziteta prelazaka iz pojedinih stanja. Pored toga, verovatnoće boravka u pojedinim stanjima nisu eksponencijalno raspodeljene, što dodatno otežava proračun stacionarnih veličina. Kao najpribližnija verovatnoća raspodele vremena između kvarova pokazala se Vajbulova raspodela [17–19], koja realno predstavlja starenje elementa i povećani intenzitet otkaza tokom godina.

U ovom radu, kao i u [5] i [12], izvršena je dekompozicija pojedinih faktora koji utiču na pouzdanost jednog voda i zbirni intenzitet otkaza predstav-

ljen kao zbir otkaza usled pojedinačnih uticaja. Na ovaj način, realno je uvažen i uticaj inspekcija na pouzdanost voda, jer kao što je vidljivo iz tabele 1, tokom same inspekcije vrši se otklanjanje manjih nedostataka uočenih pregledom.

Intenzitet otkaza jednog sistema (npr. nadzemni vod) može se, kao što je rečeno, prikazati kao zbir pojedinačnih uticaja više elemenata (uticaj vegetacije, kvarovi na izolatorima i ovesnoj opremi i kvarovi usled mehaničkih oštećenja stubova). Na osnovu dugogodišnje statistike i praćenja kvarova na pojedinim elementima voda, mogu se približno proceniti ovi pojedinačni uticaji [12, 18, 19], a zatim odrediti promena pojedinačnih intenziteta u vremenu, na osnovu pretpostavljene verovatnoće raspodele.

Izvršavanje svake od pojedinačnih akcija na održavanju vraća vrednost odgovarajućeg intenziteta na početnu. Ovo je, inače, unapređenje dosadašnjeg načina tretiranja održavanja. U literaturi se, naime, za svako održavanje smatralo da sistem dovodi u stanje „kao novo” što ne odgovara realnom stanju. Tačniji način modelovanja je Markovljev model sa više stanja istrošenosti opreme, pri čemu akcija održavanja vraća sistem u prethodno stanje istrošenosti [1], ali je zbog pomenutih nedostataka u ovom radu usvojen drugi pristup koji će biti objašnjen u narednom poglavlju.

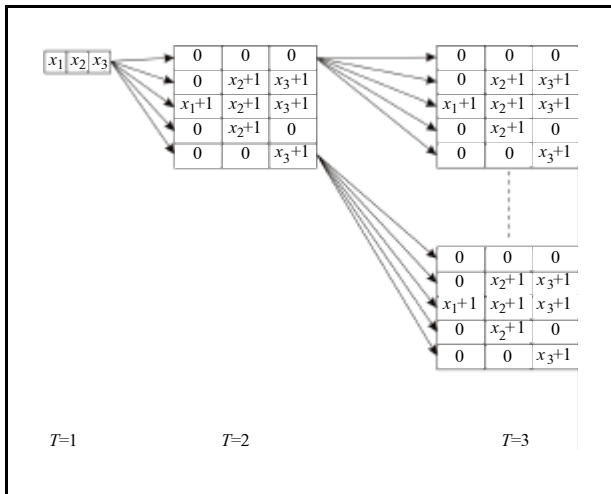
4. PRIMENA DINAMIČKOG PROGRAMIRANJA

Ako postoji n mogućih pojedinačnih akcija na održavanju, stanje sistema u proizvoljnom trenutku možemo predstaviti sa isto toliko promenljivih, gde sa x_i možemo označiti vreme (npr. u godinama) proteklo od prethodne akcije održavanja tipa i . Na slici 2 prikazana je šema mogućih prelazaka iz početnog stanja u stanja moguća u narednim vremenskim periodima. Radi ilustracije, prikazana su samo dva naredna perioda. Ukoliko se ne vrši određena akcija, vrednost te promenljive uvećava se za 1 (element je stariji za jednu godinu), a ukoliko je akcija izvršena, vrednost se vraća na vrednost 0.

Šema prelazaka može u opštem slučaju biti različita za različite sisteme, pri čemu se uvažavaju njihove specifičnosti. Na slici 2 predložena je šema prelazaka za nadzemni vod sa tri moguće akcije:

1. inspekcija i otklanjanje manjih kvarova
2. veći remont nadzemnog voda i otklanjanje krupnijih nedostataka ili bitnija promena tehničkih karakteristika voda koja bitno utiče na pouzdanost
3. sečenje grana u okolini voda

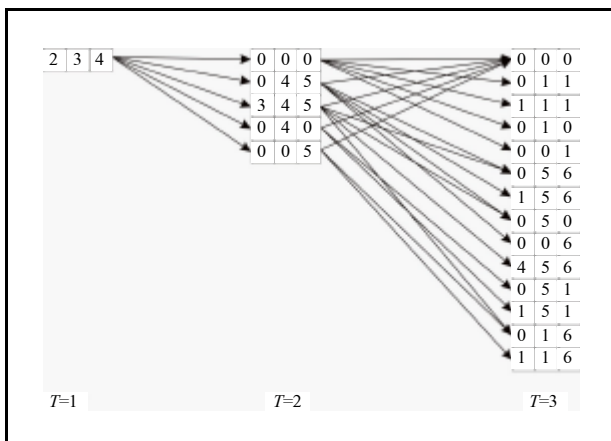
Iz početnog stanja moguće je, dakle preći u stanje gde se u narednoj godini ne vrši nijedna, samo jedna, kombinacija dve ili sve tri akcije. Šemom



Slika 2. Šema mogućih prelazaka u naredna stanja

mogućih, odnosno dozvoljenih prelazaka moguće je uvažiti i specifičnosti samog sistema. Iz šeme na slici 2, vidljivo je, na primer, da nije moguće vršiti sečenje grana ili veći remont bez prethodne inspekcije voda. Sam oblik ove šeme nameće primenu dinamičkog programiranja, koje uvažava dinamiku problema.

Posmatranjem dijagrama na slici 2 može se doći do zaključka da broj mogućih stanja geometrijski raste sa godinama, ali zbog sažimanja pojedinih stanja, broj mogućih stanja se redukuje, što smanjuje potrebno vreme za proračun. Radi ilustracije, na slici 3 je prikazana šema prelazaka za početno stanje $x_1=2, x_2=3$ i $x_3=4$.



Slika 3. Mogući prelasci za određena početna stanja i $T=3$

Minimum troškova određuje se na osnovu poznate rekurzivne relacije dinamičkog programiranja [20]:

$$f_n^*(s) = \min_{x_n} c_{sxn} + f_{n-1}^*(x_n) \quad (2)$$

n – tekući period, ($n = 1, T$)

s_n – oznaka stanja u periodu n

x_n – kontrolna promenljiva u periodu n

c_{sxn} – troškovi prelaska u stanje s

f – ukupni troškovi u stanju s , u periodu n

Ukupni godišnji troškovi vezani za održavanje jednog nadzemnog voda sastoje se od:

1. Troškova inspekcije voda – C_{ins}
2. Troškova čišćenja trasa od rastinja – $C_{čiš}$
3. Troškova kapitalnog remonta – C_{rem}
4. Troškovi neplaniranih prekida – C_{np}
5. Troškovi gubitaka energije – C_{gub}

Kako su troškovi gubitaka energije za jedan isti dalekovod čije se karakteristike ne menjaju tokom godina (presek provodnika) jednaki za ceo razmatrani period, oni se neće uzimati u obzir.

Godišnje troškove predstavljamo dakle, sledećim izrazom:

$$C(t) = (C_{ins}(t) \ C_{čiš}(t) \ C_{rem}(t) \ C_{np}(t)) \quad (3)$$

Troškovi inspekcije sadrže komponentu radne snage (prvi izraz u zagradi u izrazu (4)) i materijala koji se utroši pri manjim popravkama uočenim pri vizuelnom pregledu. Vizuelni pregled ne zahteva isključenje voda, ali se prilikom manjih popravki vod dovodi u beznaponsko stanje. Ovo je planirano isključenje, tako da se troškovi prekida računaju kao troškovi planiranog prekida. Troškovi prekida predstavljani su drugim članom u izrazu (4). Pored troškova samog prekida, preduzeće trpi štetu usled neprodane energije koje se obuhvata poslednjim članom u izrazu (4). Pretpostavlja se da se inspekcija najavljuje, te se za proračun uzima minimalna snaga na vodu. Uobičajen je pristup da se troškovi usled prekida računaju po jedinici isključene snage [21], dok se neprodana energija računa kao proizvod snage i vremena trajanja prekida.

$$C_{ins} = (c_{RS} \ n_{RSi} \ c_{mati}) \ l$$

$$c_{pp} \ P_{min} \ n_{iski} \ c_W \ P_{min} \ d_{ins} \quad (4)$$

c_{RS} – cena jednog radnog sata potrebnog za inspekciju, remont, ili otklanjanje kvara

n_{RSi} – broj radnih sati potrebnih za inspekciju po jednom kilometru

c_{mati} – cena utrošenog materijala po jednom kilometru potrebnog za manje popravke

l – dužina dalekovoda

c_{pp} – trošak po isključenom MVA za planirane prekide

P_{min} – snaga pri kojoj se vrši planirano isključenje
 d_{ins} – vreme trajanja inspekcije
 n_{iski} – ukupan broj potrebnih isključenja za vršenje inspekcije
 c_W – prosečna prodajna cena jednog kWh
 n_R – raspoloživi broj ekipa
 h – radno vreme u toku dana (u satima)

Za dalekovode veće dužine nekada je potrebno vršiti inspekciju i nekoliko dana. Ukupan broj potrebnih isključenja (što se poklapa sa brojem dana potrebnih za inspekciju) za vršenje inspekcije zavisi od dužine voda, potrebnog vremena za inspekciju jednog kilometra voda, raspoloživog broja ekipa i dužine radnog dana:

$$n_{iski} = \frac{n_{Rsi} \cdot l}{n_R \cdot h} \quad (5)$$

Ostali troškovi prikazani su u relacijama (6 - 9)

$$C_{\dot{e}i\dot{s}} = (c_{RS\dot{e}} \cdot n_{RS\dot{e}}) \cdot l$$

$$c_{pp} \cdot P_{min} \cdot n_{isk\dot{e}} \cdot c_W \cdot P_{min} \cdot d_{\dot{e}} \quad (6)$$

$c_{RS\dot{e}}$ – cena jednog radnog sata čišćenja trase
 $n_{RS\dot{e}}$ – broj radnih sati potrebnih za čišćenje trase po jednom kilometru
 $n_{isk\dot{e}}$ – ukupan broj potrebnih isključenja za čišćenje trase
 $d_{\dot{e}}$ – vreme trajanja čišćenja trase

$$C_{rem} = (c_{RSr} \cdot n_{RSr} \cdot c_{matr}) \cdot l$$

$$c_{pp} \cdot P_{min} \cdot n_{iskr} \cdot c_W \cdot P_{min} \cdot d_{rem} \quad (7)$$

c_{matr} – cena utrošenog materijala po jednom kilometru potrebnog za remont
 n_{RSr} – broj radnih sati potrebnih za remont po jednom kilometru
 n_{iskr} – ukupan broj potrebnih isključenja za vršenje remonta
 d_r – vreme trajanja remonta

$$C_{np} = n_p(t) \cdot l \cdot c_{pn} \cdot P_{max}$$

$$n_p(t) \cdot l \cdot c_W \cdot P_{max} \cdot d_{np} + n_p(t) \cdot l \cdot c_{matnp}$$

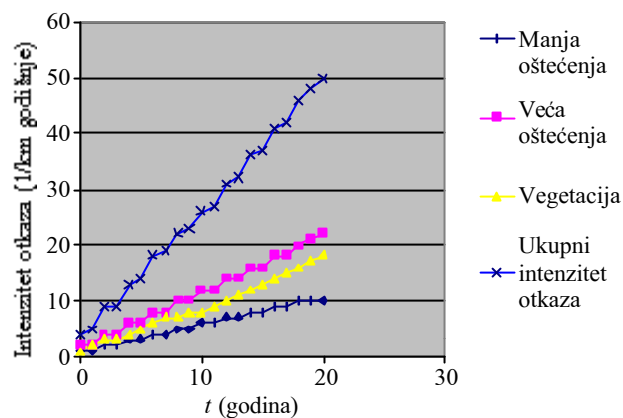
$$n_p(t) \cdot c_{RS} \cdot n_{np} \quad (8)$$

c_{matnp} – cena utrošenog materijala potrebnog za otklanjanje jednog kvara
 n_{RSnp} – broj radnih sati potrebnih za otklanjanje jednog kvara
 d_{np} – srednje vreme trajanja neplaniranog prekida (kvara)
 $I_{np}(t)$ – intenzitet kvarova na dalekovodu u godini t
 $I_1(t)$ – intenzitet kvarova koji zavise od nedostataka koji se mogu uočiti pri inspekciji

$I_2(t)$ – intenzitet kvarova koji zavise od uraslih grana u provodnike dalekovoda
 $I_3(t)$ – intenzitet kvarova koji zavise od nedostataka koji se mogu otkloniti remontom
 c_{pn} – trošak po MVA isključene snage za neplanirane prekide
 β – odnos srednje prema maksimalnoj snazi na vodu

$$n_p(t) \cdot I_1(t) \cdot I_2(t) \cdot I_3(t) \quad (9)$$

Pojedinačni intenziteti otkaza za različite uzroke prikazani su na slici 2.



Slika 4. Pojedinačni intenziteti otkaza različitih uticajnih elemenata

Ako sa C označimo minimalnu vrednost troškova koji se dobijaju primenom optimalne kombinacije akcija i vremena njihovog uvođenja, onda postoji i odgovarajuća vrednost troškova C_0 , koja nastaje ako se ne preduzimaju nikakve akcije na održavanju. Na osnovu ove dve vrednosti, moguće je uvesti i koeficijent, koji pokazuje koliko je opravdana promena strategije održavanja. Koeficijent efektivnosti održavanja možemo da definišemo kao:

$$K = C_0 / C$$

Vrednost ovog koeficijenta može poslužiti kao vrednost po kojoj se vrši rangiranje svih objekata, i u uslovima postojanja finansijskih ograničenja. Objekti sa najvećom vrednošću ovog koeficijenta dobijaju prioritet pri utvrđivanju aktivnosti koje će se određene godine izvršiti.

Primenom navedenih izraza, izvršena je optimizacija na realnom primeru nazemnog voda.

5. REZULTATI

Ulazni podaci korišćeni u primeru određivanja optimalnog nivoa održavanja, koji odgovaraju jednom 10 kV nadzemnom vodu, prikazani su u tabeli 2.

Tabela 2.
Ulazni podaci za test primer nadzemnog voda

c_{Rs}	200 din	P_{min}	1 MVA
$c_{Rsč}$	400 din	β	0,6
n_{Rsnp}	15 h	P_{max}	2 MVA
$n_{Rsč}$	10 h/km	c_w	2,5 din/kWh
n_{Rsi}	3 h/km	n_{ri}	4
n_{Rsr}	20 h/km	n_{rcis}	8
c_{mati}	1 000 din/km	n_{rrem}	10
c_{matr}	10 000 din/km	n_{np}	2
c_{matnp}	5 000 din	c_{pn}	120 din/kW
l	20 km	h	8 h
c_{pp}	20 din/kW	p	10 %

Rezultati optimizacije prikazani su u tabeli 3. Analizom ovih rezultata, vidljivo je da je inspekciju ovog voda optimalno vršiti svake treće, čišćenje trase svake pete, a veći remont svake sedme godine.

Tabela 3.
Vremenska dinamika za moguće aktivnosti na nadzemnom vodu

T	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x_1	2	0	1	2	0	1	0	1	2	0	1
x_2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6
x_3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4

Ukupni troškovi eksploatacije (bez troškova gubitaka) u desetogodišnjem periodu iznose :
 $C_o = 2\ 402\ 000$ din., dok bi isti troškovi, bez preduzimanja bilo kakvih planiranih akcija, dakle samo sa korektivnim održavanjem, iznosili :
 $C = 4\ 695\ 100$ din.

Vrednost koeficijenta efektivnosti $K = 1,95$

6. ZAKLJUČAK

Savremene strategije održavanja elektroenergetskih mreža podrazumevaju primenu metoda baziranih na proceni uticaja akcija održavanja na pouzdanost same mreže, odnosno posledica koju smanjena pouzdanost može da prouzrokuje. Primena ovih metoda (RCM), u distributivnim mrežama omogućava mnogo efikasnije iskorišćenje opreme i sredstava potrebnih za održavanje objekata. U ovom radu se predlaže primena metode dinamičkog programiranja za određivanje vrste aktivnosti na održavanju, kao i optimalnog vremena za preduzimanje ovih akcija, uzimajući u obzir vreme proteklo od realizacije prethodne aktivnosti. Optimizacija se

vrši postizanjem najmanjih troškova eksploatacije, koji u sebi sadrže i troškove usled narušavanja pouzdanosti. U slučaju ograničenih finansijskih sredstava, moguće je izvršiti rangiranje objekata kod kojih je prioritetno izvršiti određene aktivnosti na održavanju. Metoda je testirana na primeru nadzemne distributivne mreže, ali se može koristiti i za ostale delove distributivnih sistema, uvažavajući njihove specifičnosti.

8. LITERATURA

- [1] J. Edrenyi, G. J. Anders, A. M. Leite da Silva, PROBABILISTIC EVALUATION OF THE EFFECT OF MAINTENANCE ON RELIABILITY - AN APPLICATION, IEEE Trans. on PWRs, Vol. 13, No. 2, May 1998.
- [2] W. Li, J. Korczynski, A RELIABILITY-BASED APPROACH TO TRANSMISSION MAINTENANCE PLANNING AND ITS APPLICATION IN BC HYDRO SYSTEM, IEEE Trans. on PWRD, Vol. 19, No. 1, January 2004.
- [3] R. H. Stillman, POWER LINE MAINTENANCE WITH MINIMAL REPAIR AND REPLACEMENT, 2003 Proceedings Annual reliability and maintainability symposium
- [4] N. Kilros, LINE INSPECTION - EYES AND EARS OF RCM, 2003 Proceedings Annual reliability and maintainability symposium
- [5] P. Kuntz, R. Christie, S. Venkata, A RELIABILITY CENTERED OPTIMAL VISUAL INSPECTION MODEL FOR DISTRIBUTION FEEDERS, IEEE TRANS. ON PWRD, Vol. 16, No. 4, October 2001.
- [6] G. J. Anders, J. Edrenyi, C. Yung, RISK-BASED PLANNER FOR ASSET MANAGEMENT, IEEE COMPUTER APPLICATION IN POWER, Vol. 14, No. 4, October 2001.
- [7] RISK - BASED MAINTENANCE ALLOCATION AND SCHEDULING FOR BULK TRANSMISSION SYSTEM EQUIPMENT, Power systems engineering research center, October, 2003.
- [8] M. Nimrihter, S. Gušavac, M. Dutina, S. Novaković, PLANIRANJE REVITALIZACIJE NADZEMNIH VODOVA, Elektroprivreda, br. 1, 2004.
- [9] THE PRESENT STATUS OF MAINTENANCE STRATEGIES AND THE IMPACT OF MAINTENANCE ON RELIABILITY, A Report of the IEEE PES Task Force on Impact of Maintenance Strategy on Reliability, IEEE Trans. on PWRs, Vol. 16, No. 4, November 2001.
- [10] M. Shahidehpour, M. Marwal MAINTENANCE SCHEDULING IN RESTRUCTURED POWER SYSTEMS, Kluwer academic publishers, 2000.
- [11] F. Li, R. Brown, A COST-EFFECTIVE APPROACH OF PRIORITIZING DISTRIBUTION MAINTENANCE

- NANCE BASED ON SYSTEM RELIABILITY, IEEE Trans. on PWRD, Vol. 19, No. 1, January 2004.
- [12] P. Kuntz, R. Christie, S. Venkata, OPTIMAL VEGETATION MAINTENANCE SCHEDULING OF OVERHEAD ELECTRIC POWER DISTRIBUTION SYSTEMS, IEEE Trans. on PWRD, Vol. 17, No. 4. October 2002.
- [13] L. Bertling, R. Eriksson, R. N. Allan, RELATION BETWEEN PREVENTIVE MAINTENANCE AND RELIABILITY FOR A COST-EFFECTIVE DISTRIBUTION SYSTEM, IEEE Power Tech Conference, Porto, 2001.
- [14] R. Stillman, POWER LINE MAINTENANCE WITH MINIMAL REPAIR AND REPLACEMENT, 2003 Proceedings Annual Reliability and maintainability symposium.
- [15] J. Nahman, V. Mijailović, IZABRANA POGLAVLJA IZ VISOKONAPONSKIH POSTROJENJA, Akademska misao, Beograd, 2002.
- [16] J. Meeuwsen, W. Kling, W. Ploem, THE INFLUENCE OF PROTECTION SYSTEM FAILURES AND PREVENTIVE MAINTENANCE ON PROTECTION SYSTEMS IN DISTRIBUTION SYSTEMS, IEEE Trans. on PWRD, Vol. 12, No. 1, January 1997.
- [17] J. Nahman, OPTIMALNO VREME REMONTA I BROJA REZERVNIH DELOVA, Elektrodistribucija, br.1, april 2004.
- [18] I. Barg, V. Edelman, VOZDUŠNIE LINII ELEKTROPEREDAČI, Moskva, Energoatomizdat, 1985.
- [19] R. Brown, ELECTRIC POWER DISTRIBUTION RELIABILITY, Marcel Dekker 2002.
- [20] F. Hillier, G. Lieberman, INTRODUCTION TO OPERATIONS RESEARCH, McGraw Hill, 2001.
- [21] J. Nahman i saradnici, POUZDANOST ELEKTRODISTRIBUTIVNIH SISTEMA, Studija, Beograd, 1999.

Rad je primljen u uredništvo 08. 08. 2004. godine



Aleksandar Janjić (1966), diplomirao je na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, energetska odseka, 1989. godine, gde je i magistrirao 1999. godine. Najveći deo svoje profesionalne karijere proveo je u elektrodistributivnoj delatnosti i iz različitih oblasti elektrodistribucije objavio tridesetak radova. Trenutno je zaposlen u JP Elektrodistribucija Niš. Član je PES IEEE i nacionalnog komiteta JUKO CIRED.

Petar Vukelja,
Jovan Mrvić i Dejan Hrvić

Energetska naprežanja metaloksidnih odvodnika prenapona bez iskrišta u mrežama 110 kV, 220 kV i 400 kV Elektroprivrede Srbije

Stručni rad
UDK: 621.3.015.3; 621.316.933

Rezime:

U radu su analizirana energetska naprežanja postojećih metaloksidnih odvodnika prenapona bez iskrišta u mrežama napona 110 kV, 220 kV i 400 kV elektroenergetskog sistema Srbije u toku eksploatacije. Analize pokazuju da oni neće biti značajno energetske napregnute jer imaju veliku energetske apsorpcionu moć. Konstatovano je da se za zaštitu energetskih transformatora od prenapona u ovim mrežama mogu koristiti metaloksidni odvodnici prenapona bez iskrišta istih zaštitnih karakteristika ali nižih energetskih apsorpcionih moći, što je ekonomski opravdano.

Ključne reči: prenapon, odvodnik, energija

Abstract:

*ENERGETIC STRESSES ON METAL-OXIDE SURGE ARRESTERS WITHOUT SPARK GAP
IN THE 110 kV, 220 kV AND 400 kV NETWORKS OF POWER INDUSTRY OF SERBIA*

The energetic stresses on existent metal-oxide surge arresters without spark gap in the 110 kV, 220 kV and 400 kV networks of Power Industry of Serbia, during exploitation, are analysed in the paper. The analyses show that they will not be considerably energetically stressed, since having high energy absorbing capability. It is established that for the protection of power transformers from overvoltages, in these networks can be applied the metal-oxide surge arresters without spark gap of the same protection characteristics, but with lower energy absorbing capabilities, what is economically approved.

Key words: overvoltage, surge arrester, energy

1. UVOD

Metaloksidni odvodnici prenapona bez iskrišta (MOP) su efikasno sredstvo za zaštitu opreme u mrežama visokih napona od atmosferskih i sklopnih prenapona. Pri izboru MOP najveća pažnja se posvećuje visini njihovog naznačenog napona, odnosno trajnog radnog napona, jer su za iste određene i njihove zaštitne karakteristike. MOP nižeg naznače-

nog napona imaju nižu zaštitnu karakteristiku i omogućuju veće sniženje prenapona na šticejnoj opremi, ali to povećava njihovo termičko naprežanje posebno pri dejstvu privremenih prenapona. Ovi prenaponi mogu da izazovu termički beg MOP. To je slučaj kada je porast toplotne energije razvijene u rezistorima MOP takav da dovede do kumulativnog povećanja temperature, što može da se završi njihovim otkazom. Dakle, izbor MOP je vezan za usklađenje

*Dr Petar Vukelja, dipl. ing. el., Jovan Mrvić, dipl. ing. el., Dejan Hrvić, dipl. ing. el.
– Elektrotehnički institut „Nikola Tesla”, 11 000 Beograd, Koste Glavinića 8a*

između zaštitne karakteristike i energetske sposobnosti, koja se definiše preko energetske apsorpcione moći. To je maksimalna količina energije koju rezistori MOP mogu da apsorbuju, a da ne dođe do njihovog otkaza. Ona se definiše preko vrednosti kJ/kV_{U_r} naznačenog napona (U_r), ili preko vrednosti kJ/kV_{U_c} trajnog radnog napona (U_c). Naznačeni napon određuje broj rezistora, odnosno visinu MOP, a energetska apsorpciona moć određuje prečnik rezistora. Veći prečnik rezistora omogućuje podnošenje dužih privremenih prenapona, odnosno veća energetska naprezanja. Međutim to povećava cenu MOP.

U ovom radu su analizirana naprezanja postojećih MOP u mrežama napona 110 kV, 220 kV i 400 kV u elektroenergetskom sistemu Srbije u toku eksploatacije.

2. PRORAČUNI ENERGETSKIH NAPREZANJA MOP

U mrežama napona 110 kV, 220 kV i 400 kV koriste se MOP samo za zaštitu izolacije energetskih transformatora. Postavljaju se neposredno pored njih vodeći računa da provodne veze između priključka MOP i provodnih izolatora transformatora budu što kraće.

Proračuni energetskih naprezanja MOP u mrežama napona 110 kV, 220 kV i 400 kV su izvršeni pri delovanju privremenih, atmosferskih i sklopnih prenapona [6,10]. U proračunima su uzete zaštitne karakteristike MOP koji se nalaze u elektroenergetskom sistemu Srbije. To su MOP sledećih naznačenih i trajnih radnih napona:

- $U_r=102$ kV, $U_c=84$ kV za mrežu napona 110 kV,
- $U_r=186$ kV, $U_c=151$ kV za mrežu napona 220 kV,
- $U_r=312$ kV, $U_c=253$ kV za mrežu napona 400 kV.

Svi MOP imaju energetska apsorpcionu moć 8 kJ/kV_{U_r}

Njihove zaštitne karakteristike za strujne talase 8/20 i 30/60 date su u tabeli 1. Zaštitne karakteristike za strujne talase 30/60 ispod 1 kA i ispod 5 kA za strujne talase 8/20 definisane su na osnovu rezultata eksperimentalnih istraživanja nelinearnih ZnO rezistora velikog broja proizvođača u laboratoriji Instituta „Nikola Tesla” [4,5,6].

stora velikog broja proizvođača u laboratoriji Instituta „Nikola Tesla” [4,5,6].

Energija oslobođena u MOP pri delovanju prenapona, koji se na njemu pojavljuju pri jednom događaju, računata je iz izraza:

$$W_1 = \int_0^T u_1(t) i_1(t) dt \quad (1)$$

Ako se n događaja dešava u kratkom vremenskom intervalu, oslobođena energija u MOP je računata kao zbir energija pojedinih događaja:

$$W = \sum_{i=1}^n W_i = \sum_{i=1}^n \int_0^T u_i(t) i_i(t) dt \quad (2)$$

Na osnovu izračunatih maksimalnih količina energije, koja se oslobađa u MOP pri jednoj vrsti događaja i pri n vrsta događaja koji se dešavaju u kratkom vremenskom intervalu, računata su minimalne energetske apsorpcione moći za MOP, koje mora da poseduje da ne dođe do njegovog otkaza, iz sledećih izraza:

$$E_1 = W_{1, \max} / U_c \quad (3)$$

$$E = \sum_{i=1}^n W_{i, \max} / U_c \quad (4)$$

U_c – trajni radni napon MOP.

Svi proračuni su izvršeni koristeći program ATP EMTP.

2.1. Proračuni energetskih naprezanja MOP pri delovanju atmosferskih prenapona

Energetska naprezanja MOP pri delovanju atmosferskih prenapona su razmatrana u sledećim slučajevima [10]:

- udar groma u fazne provodnike transformatorskih stanica (TS) i nadzemnih vodova u blizini TS prodorom groma kroz gromobranksku zaštitu,
- udar groma u uzemljene delove TS (gromobranci, portali, zaštitna užad),

Tabela 1.

Zaštitne karakteristike MOP za strujne talase 8/20 i 30/60

MOP		Preostali napon (kV) u funkciji struje											
U_r (kV)	U_c (kV)	Strujni talasi 30/60						Strujni talasi 8/20					
		2 mA	5 mA	250 mA	250 A	1 kA	3 kA	2 mA	100 A	5 kA	10 kA	20 kA	40 kA
102	84	119	144	170	197	209	216	185	201	244	255	281	306
186	151	213	263	305	360	376	388	345	365	439	459	504	550
312	253	358	441	515	602	630	650	575	605	736	769	845	921

Napomena: Naponi su izraženi u kilovoltima efektivne vrednosti, a struje su izražene u amperima temene vrednosti.

- udar groma u zaštitnu užad i stubove nadzemnih vodova u blizini TS i
- udar groma u portal iznad energetskog transformatora.

Osnove, koje su korišćene u toku proračuna energetskih napreznja MOP pri delovanju atmosferskih prenapona su sledeće:

- Grom je predstavljen strujnim generatorom čije su karakteristike korespondentne izabranoj struji groma,
- Talasna impedansa kanala groma utvrđena je u zavisnosti od amplitude struje groma [3],
- Talas struje groma je predstavljen trougaonim oblikom,
- Stubovi nadzemnih vodova (portal, jela, Y stub), portali u razvodnim postrojenjima i TS, kao i ostali prostorni elementi (nadzemne i podzemne provodne veze i sl.) predstavljeni su kao vodovi sa raspoređenim parametrima, odnosno odgovarajućim talasnim impedansama i dužinama,
- Namotaji energetskih transformatora su predstavljeni kapacitivnostima prema zemlji, i talasnom impedansom 10 k Ω prema zemlji,
- Naponski i strujni transformatori, prekidači i rastavljači su predstavljeni kapacitivnostima prema zemlji i
- Uzemljenja: stubova, portala, energetskih transformatora i ostale oprema u TS su predstavljeni koncentrisanim otpornostima.

U proračunu su korišćeni parametri nadzemnih vodova, razvodnih postrojenja i TS dati u [9].

Impedanse pojedinih delova stubova i stubova u celini računata su iz izraza datih u [2, 9].

Sopstvene i međusobne impedanse provodnika u vazduhu računata su iz izraza datih u [9].

Zaštitne karakteristike MOP, korišćene u proračunu, date su u tabeli 1.

Sposobnost podnošenja spoljašnje izolacije za atmosferske prenapone data je u vidu krivih efekta, odnosno funkcija verovatnoće razornih praznjenja izraženih preko $u_{50} - 50\%$ napona razornog praznjenja i S - pogonskog standardnog odstupanja .

2.1.1. Udar groma u portal iznad energetskog transformatora

Energetski transformatori u TS 400 kV/220 kV, 400 kV/110 kV i 220 kV/110 kV se nalaze ispod portala. Fazni provodnici dolaze na izolatore portala i spuštaju se na priključke provodnih izolatora transformatora. Varijante gromobranske zaštite na portalu mogu da budu sledeće:

- štapni gromobrani na portalu,

- štapni gromobrani na portalu i zaštitna užad sa jedne strane portala - sa strane višeg naponskog nivoa i
- zaštitna užad sa obe strane portala.

Udar groma u gromobransku zaštitu portala stvara visoke prenapone na izolatorskim lancima portala i postoji mogućnost da dođe do povratnih preskoka, odnosno preskoka na fazne provodnike. Kada se to desi deo struje groma kreće faznim provodnicima stvarajući visoke prenapone na njima. MOP deo te struje odvode u zemlju i pri tome se energetski naprežu.

U okviru jednog udara groma može da bude više komponenti struja groma. Prva komponenta nosi najveću energiju. Ima amplitudu veću od ostalih komponenti, ali ima manju strminu. Proračuni prenapona i energetskih napreznja MOP na priključcima transformatora, kada dođe do povratnog preskoka, su izvršeni pri udaru groma u gromobransku zaštitu portala sa strujama prve komponente i sa strujama ostalih komponenti. Pretpostavljeno je da se pored struje prve komponente pojavljuju još tri komponente. Preskokom na izolatorskom lancu (povratni preskok), usled prve komponente struje groma, nastupa zemljospoj i električni luk traje dok zaštita ne isključi transformator iz pogona. Za to vreme ostale komponente struje groma, stvorenim provodnim putem od prve komponente, ulaze u fazni provodnik, stvaraju prenapone na njemu i MOP odvodi deo struja u zemlju. Parametri struja groma-amplituda i strmina su slučajno birani iz raspodela amplituda i strmina struja groma po Bergeru [1]. Začelja prvih komponenti struja groma su birana tako da količina elektriciteta, koju sadrži strujni talas bude reda 6 C. Više od polovine prvih komponenti struja groma negativnog polariteta nosi manju količinu elektriciteta [8]. Za ostale komponente struje groma usvojeno je da nose naelektrisanje reda 2 C, pa je sa tim i određeno njihovo začelje. Više od 50 % ostalih komponenti struja groma negativnog polariteta nosi količinu naelektrisanja manju od 2 C. Metodom slučajnih brojeva je izabrano 1 000 prvih komponenti struja groma i primenjeno na gromobransku zaštitu portala uvažavajući sve njene varijante.

Za svaki udar groma sa prvom komponentom struje, koji je doveo do povratnog preskoka, izračunata je apsorbovana energija u MOP te faze na čijem izolatorskom lancu je došlo do povratnog preskoka. Maksimalne apsorbovane energije u MOP su bile:

- reda 30 kJ za MOP na 400 kV strani transformatora,
- reda 40 kJ za MOP na 220 kV strani transformatora i
- reda 70 kJ za MOP na 110 kV strani transformatora.

Ostale komponente struje groma, koje slede posle prve, ne dovode do značajnijih energetskih na-

preznanja MOP. Maksimalne apsorbovane energije ne prelaze nekoliko kJ.

Neznatne razlike u apsorbovanoj energiji MOP se javljaju za različite varijante gromobranske zaštite.

Promenom otpornosti uzemljenja krakova portala i promenom otpornosti uzemljenja MOP menjaju se i apsorbovane energije MOP. Povećanjem otpornosti uzemljenja krakova portala i MOP značajno raste apsorbovana energija MOP.

Predstava uzemljivača krakova portala i MOP koncentrisanim otpornostima, sa aspekta utvrđivanja maksimalnih vrednosti prenapona u posmatranoj konfiguraciji, je zadovoljavajuća. Međutim, za utvrđivanje energetske napreznosti MOP ovakva predstava uzemljivača može da da pogrešnu sliku. Pri udaru groma u portal iznad transformatora uzemljivači krakova portala u toku proticanja struje groma kroz njih smanjuju svoju otpornost od određene vrednosti (definisane konfiguracijom i dimenzijama uzemljivača, dubinom ukopavanja i specifičnom otpornošću zemlje u kojoj se isti nalazi) po eksponencijalnom zakonu do veoma malih vrednosti. Na taj način, kada se desi povratni preskok, značajno se smanjuju struje koje odvede MOP, a time se smanjuju njihova energetska napreznosti.

U svim prethodno razmatranim varijantama gromobranske zaštite izvršeni su proračuni energetske napreznosti MOP pri udaru groma u portal iznad transformatora sa vremenski promenljivom otpornošću krakova portala i MOP. Usvojeno je da je njihova otpornost u toku prve dve ms od trenutka udara groma u portal $R_1=10 \Omega$ i da posle toga pada na vrednost $R_2=1 \Omega$. Ova predstava je prihvatljiva kada je specifična otpornost zemlje oko $r=100 \Omega\text{m}$. Za veće vrednosti specifične otpornosti zemlje potrebno je povećati vrednosti R_1 i R_2 , a za manje vrednosti potrebno ih je smanjiti. Tako npr. za vrednosti specifične otpornosti zemlje oko $r=20 \Omega\text{m}$ mogu se u proračunima koristiti vrednosti $R_1=3 \Omega$ i $R_2=0,5 \Omega$. Sa predstavama otpornosti uzemljenja krakova portala i MOP $R_1=10 \Omega$, u trajanju prve 2 ms od trenutka udara groma u portal i $R_2=0,5 \Omega$ od 2 ms na dalje, proračunima je ustanovljeno da maksimalne apsorbovane energije MOP na 400 kV, 220 kV i 110 kV stranama transformatora retko prelaze nekoliko kJ. Dakle, dobijaju se vrednosti skoro deset puta manje od onih kada su otpornosti uzemljenja krakova portala i MOP predstavljene sa stalnom otpornošću $R=5 \Omega$.

2.1.2. Udar groma u fazne provodnike prodorom kroz gromobransku zaštitu

Proračun energetske napreznosti MOP je izvršen pri udaru groma u fazne provodnike prodorom

kroz gromobransku zaštitu TS i nadzemnih vodova u blizini TS.

Udar groma sa strujama amplitude veće od 10 kA u fazne provodnike voda 400 kV (prvi i drugi raspon voda od TS) i fazne provodnike postrojenja 400 kV dovodi do preskoka na izolatorskim lancima stuba i postrojenja. Energetska napreznosti MOP, koja pri tom nastaju odvođeni preostali deo struje groma u zemlju, su mala; apsorbovana energija je reda nekoliko kJ. Struje groma amplitude reda 10 kA i manje u većini slučajeva ne dovode do preskoka na izolatorskim lancima voda i postrojenja. U tom slučaju energetska napreznosti MOP su znatno veća jer sada samo oni odvede u zemlju struju groma koja dolazi faznim provodnicima; apsorbovana energija ne prelazi 200 kJ i za struje groma 10 kA sa začetkom 100 μs .

Na isti način kao pri udaru groma u fazne provodnike 400 kV, izvršena su razmatranja pri udaru groma u fazne provodnike 220 kV i 110 kV; konstatovano je da apsorbovane energije MOP ne prelaze 130 kJ, odnosno 400 kJ.

2.1.3. Udar groma u stubove i zaštitnu užad nadzemnih vodova neposredno uz TS

Proračuni energetske napreznosti MOP su izvršeni pri udaru groma u stubove i zaštitnu užad nadzemnih vodova neposredno uz TS (dva raspona voda do TS).

Verovatnoća preskoka na fazne provodnike voda 400 kV, pri udaru groma u stubove ili zaštitnu užad, je veoma mala; manja je od $P < 10^{-3}$. I kada se desi preskok na fazne provodnike usled prve komponente struje groma, apsorbovana energija MOP ne prelazi nekoliko kJ. Ostale komponente struje groma, koje slede iza prve, ne dovode do značajnijih energetske napreznosti MOP, jer prostiranjem ka njima po faznim provodnicima uzrokuju preskoke na izolatorskim lancima portala po ranije formiranom kanalu električnog luka.

Na isti način kao pri udaru groma u stubove i zaštitnu užad nadzemnih vodova 400 kV neposredno uz TS, izvršena su razmatranja pri udaru groma u stubove i zaštitnu užad vodova 220 kV i 110 kV. Konstatovano je da energija MOP ne prelazi nekoliko kJ.

Napred navedeni rezultati proračuna su izvršeni kada je otpornost uzemljivača stubova bila $R=10 \Omega$ i otpornost krakova portala u TS $R=5 \Omega$. Predstavom uzemljivača portala promenljivim otpornostima kao u delu 2.2.1 i uzemljivača stuba na sličan način ($R_1=15 \Omega$ u trajanju 2 ms od udara groma u stub i $R_2=5 \Omega$ od 2 ms na dalje) napred navedene vrednosti apsorbovanih energija MOP se smanjuju.

2.1.4. Udar groma u gromobransku zaštitu TS

Proračuni energetske naprezanja MOP su izvršeni pri udaru groma u gromobransku zaštitu (štapne hvataljke i zaštitnu užad) TS.

Ustanovljeno je da su energetska naprezanja MOP nešto veća od onih koja su ustanovljena pri udaru groma u stubove ili zaštitnu užad nadzemnih vodova. Apsorbovana energija MOP je veća za 20-30 %.

2.2. Proračuni energetske naprezanja MOP pri delovanju sklopnih prenapona

Energetska naprezanja MOP pri delovanju sklopnih prenapona su razmatrana u sledećim slučajevima:

- uključenje i isključenje nadzemnih vodova,
- uključenje i isključenje neopterećenih transformatora i
- uključenje i isključenje nadzemnih vodova opterećenih na kraju neopterećenim transformatorima.

Osnove, koje su korišćene u proračunima energetske naprezanja MOP pri delovanju sklopnih prenapona, su sledeće [9]:

- Nadzemni vodovi su predstavljeni raspoređenim frekventno zavisnim parametrima pomoću talasnih impedansi i brzina prostiranja za direktni i nulti redosled,
- Energetski transformatori su predstavljeni matricom induktansi dobijenom na osnovu podataka o transformatoru (snaga, odnos transformacije, struja praznog hoda, napon kratkog spoja i karakteristika magnećenja) i kapacitivnostima namotaja međusobno i prema masi,
- Mreža, preko koje je napajana istraživana konfiguracija, je ekvivalentirana pomoću generatora napona i odgovarajućih impedansi i
- MOP su predstavljeni zaštitnom karakteristikom za sklopne prenapone datom u tabeli 1.

2.2.1. Uključenja i isključenja nadzemnih vodova

2.2.1.1. Uključenja nadzemnih vodova

Proračuni energetske naprezanja MOP izvršeni su u sledećim slučajevima:

- uključenje neopterećenih nadzemnih vodova,
- jednofazno automatsko ponovno uključenje (1APU) nadzemnih vodova i
- trofazno automatsko ponovno uključenje (3APU) nadzemnih vodova.

To je urađeno za vodove napona 400 kV, 220 kV i 110 kV. Dužine vodova su varirane i to od ne-

koliko km do 200 km za vodove 400 kV, do 150 km za vodove 220 kV i do 100 km za vodove 110 kV.

Izvršeno je po 1 000 operacija uključanja neopterećenih vodova, 1APU i 3APU za svaki vod izabrane dužine. Metodom slučajnih brojeva iz pretpostavljene normalne raspodele vremena uključanja polova prekidača birana su vremena uključanja. Kao standardno odstupanje vremena uključanja polova prekidača usvojeno je $s=1,7$ ms.

Za 1APU su birana vremena uključanja pola prekidača iz ravnomerne raspodele vremena uključanja polova prekidača.

Proračuni pri 1APU nadzemnih vodova, posle isključenja zemljospoja na jednoj od faza, su izvođeni kada je zaostali napon na isključenoj fazi jednak 20 % temene vrednosti faznog napona pre zemljospoja.

Proračuni pri 3APU nadzemnih vodova, posle isključenja dvofaznog zemljospoja, su izvođeni kada je zaostali napon na fazi na kojoj nije bio zemljospoj jednak temenoj vrednosti faznog napona pre pojave zemljospoja, a na druge dve faze 20 % temene vrednosti faznog napona pre pojave zemljospoja.

Pri uključanju neopterećenih vodova, 1APU i 3APU računata su energetska naprezanja MOP u TS iz kojih se izvode uključanja prekidača. Konstatovano je sledeće:

- Uključenja neopterećenih vodova 110 kV, 220 kV i 400 kV dovode do neznatnih naprezanja MOP jer sklopni prenaponi koji se pri tom javljaju na izolacijama TS, pa i na priključcima MOP, retko prelaze 1,5 p.u.,
- 1APU nadzemnih vodova 110 kV, 220 kV i 400 kV dovode do manjih energetske naprezanja MOP nego normalna uključanja istih vodova i
- 3APU nadzemnih vodova 110 kV i 220 kV, iako dovode do viših prenapona nego normalna uključanja istih vodova, apsorbirana energija MOP ne prelazi nekoliko kJ, dok za najduže vodove 400 kV ne prelazi 30 kJ.

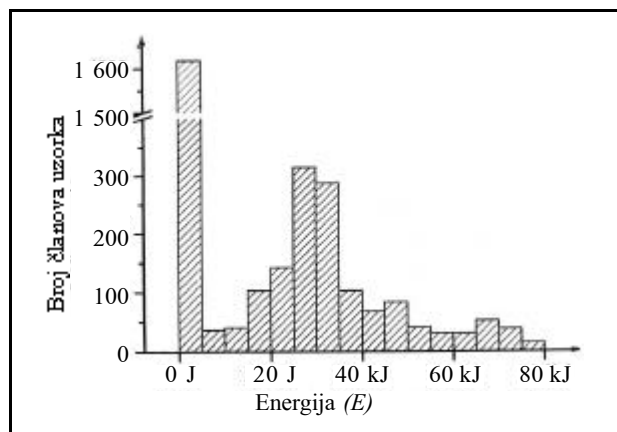
Energetska naprezanja MOP su računata i u slučajevima kada se isti nalaze na početku i kraju nadzemnih vodova. Proračuni su izvršeni pri uključanju vodova, 1APU i 3APU. U tabeli 2 su date srednje i maksimalne apsorbirane energije MOP na kraju vodova 400 kV, 220 kV i 110 kV pri njihovom uključanju. Pri ovome MOP na početku vodova se neznatno energetski naprežu. Njihove apsorbirane energije su ispod 1 kJ i za najduže vodove.

Primeri radi na slikama 1 i 2 dati su histogrami raspodele apsorbirane energije MOP na kraju voda 400 kV dužine 150 km i voda 220 kV dužine 150 km pri njihovom uključanju u neopterećenom stanju.

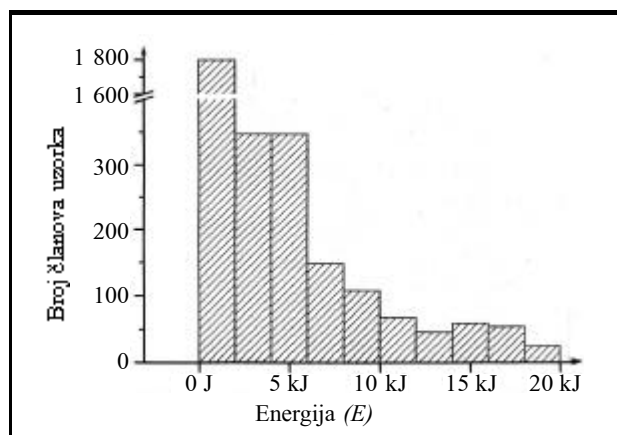
Tabela 2.

Apsorbovane energije MOP
na kraju vodova 400 kV, 220 kV i 110 kV
pri njihovom uključenju i 3 APU

Konfiguracija	Dužina voda (km)	Apsorbovana energija MOP (E_{sr} -srednja E_{max} -maksimalna)			
		Uključenje vodova		3APU vodova	
		E_{sr} (kJ)	E_{max} (kJ)	E_{sr} (kJ)	E_{max} (kJ)
Vod 400 kV	100	7	35	23	260
	150	16	80	48	480
	200	25	130	76	650
Vod 220 kV	100	<1	8	8	84
	150	3	20	18	140
Vod 110 kV	50	<1	<1	<1	5
	100	<1	<1	2	20



Slika 1. Histogram raspodele apsorbovane energije MOP na kraju voda 400 kV dužine 150 km pri njegovom uključenju u neopterećenom stanju

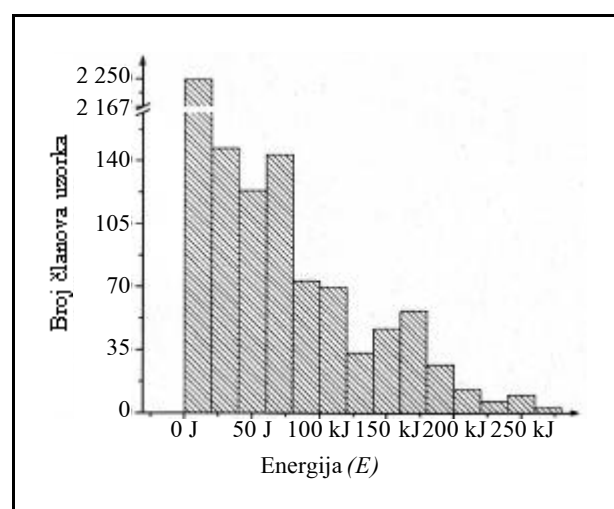


Slika 2. Histogram raspodele apsorbovane energije MOP na kraju voda 220 kV dužine 150 km pri njegovom uključenju u neopterećenom stanju

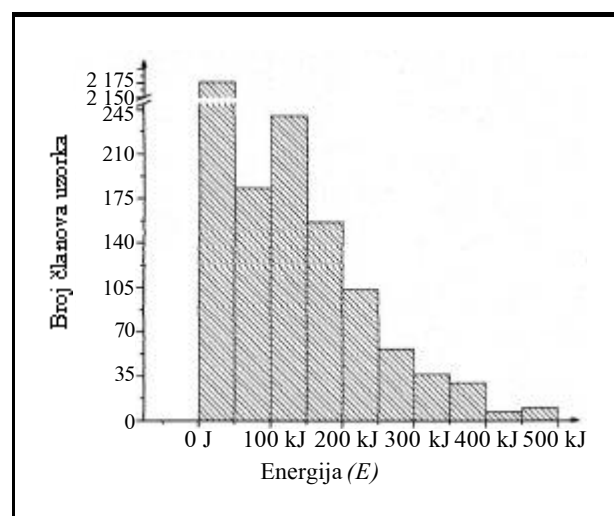
Izračunate apsorbovane energije MOP na kraju vodova 400 kV, 220 kV i 110 kV pri 1APU su nešto niže od onih koje se dobijaju pri uključenju neopterećenih vodova, dok su apsorbovane energije MOP na početku vodova manje od 1 kJ.

U tabeli 2 su takođe date srednje i maksimalne apsorbovane energije MOP na kraju vodova 400 kV, 220 kV i 110 kV pri 3APU. Apsorbovane energije MOP na početku vodova 220 kV i 110 kV pri 3APU i za najduže vodove ne prelaze nekoliko kJ, a za najduže vodove 400 kV ne prelaze 30 kJ.

Na slici 3 i 4 dati su histogrami raspodele apsorbovane energije MOP na kraju vodova 400 kV dužine 100 km i dužine 150 km pri 3APU.



Slika 3. Histogram raspodele apsorbovane energije MOP na kraju voda 400 kV dužine 100 km pri 3APU



Slika 4. Histogram raspodele apsorbovane energije MOP na kraju voda 400 kV dužine 150 km pri 3APU

2.2.1.2. Isključenja nadzemnih vodova

Proračuni energetske naprezanja MOP izvršeni su pri isključenju nadzemnih vodova kada u prekidaču, koji ih isključuje, nema ponovnih nastajanja električnog luka i kada se ista dešavaju.

Pri isključenju neopterećenih vodova 110 kV, 220 kV i 400 kV, kada nema ponovnih nastajanja luka u prekidaču, nema prenapona pa ni energetskih naprezanja MOP u TS.

Isključenja vodova 110 kV, 220 kV i 400 kV, kada se dešavaju u prekidaču ponovna nastajanja električnog luka, mogu da dovedu do visokih prenapona, pa time i do značajnih energetskih naprezanja MOP. Proračuni su izvršeni za slučajeve kada se pri prvom ponovnom nastajanju električnog luka između kontakta prekidača javljaju najviši prenaponi na fazama voda. To se dešava nakon 10 ms od trenutka kada je isključen prekidač, odnosno kada se pojavljuju najviši naponi između kontakta prekidača. Apсорbovane energije MOP u TS nisu prelazile nekoliko kJ za vodove 110 kV, bile su ispod 15 kJ za vodove 220 kV i ispod 30 kJ za vodove 400 kV. Međutim, sledeće uspostavljanje električnog luka, posle gašenja prvog, uslovljava povećanje apсорbovane energije MOP i one dostižu do 30 kJ za vodove 110 kV, do 150 kJ za vodove 220 kV i preko 500 kJ za vodove 400 kV. Svako sledeće nastajanje električnog luka doprinosi povećanju energetskog naprezanja MOP u TS.

Proračuni, izvršeni za slučajeve ponovnih nastajanja električnog luka u prekidaču, kada su MOP prisutni na kraju vodova 110 kV, 220 kV i 400 kV, ukazuju da njihova energetska naprezanja mogu da budu znatna. Za dva ponovna nastajanja električnog luka u prekidaču apсорbovana energija MOP za najduže vodove 110 kV prelazi 100 kJ, za najduže vodove 220 kV dostiže do 300 kJ, a za najduže vodove 400 kV je i iznad 1 000 kJ.

2.2.2. Uključenja i isključenja neopterećenih transformatora

Proračuni energetskih naprezanja MOP izvršeni su pri uključenju i isključenju neopterećenih transformatora: 400 kV/220 kV, 400 kV/110 kV, 220 kV/110 kV i 110 kV/35 kV prekidačima na višenaponskoj strani. Ovdje nije primenjen statistički pristup. Kod uključenja birana su vremena uključenja polova prekidača sa kojima se dobijaju najviši prenaponi na priključcima transformatora. Najviši prenaponi nisu prelazili 1,95 p.u. Energetska naprezanja MOP na višenaponskoj i niženaponskoj strani transformatora su bila veoma mala. Apсорbovana energija MOP nije dostizala ni 1 kJ.

Isključenja prekidača su izvršena u slučajevima kada struja transformatora prolazi kroz prirodnu nu-

lu i kada dolazi do sečenja struje u prekidaču pre njenog prolaska kroz prirodnu nulu.

Pri isključenjima transformatora u slučajevima prolaska struje kroz prirodnu nulu nema prenapona, pa ni energetskih naprezanja MOP.

Isključenja transformatora u slučajevima kada dolazi do sečenja struje u prekidaču pre njenog prolaska kroz prirodnu nulu dovode do prenapona čija visina zavisi od vrednosti struje u trenutku sečenja. Međutim apсорbovane energije MOP na priključcima transformatora i za struje koje u trenutku sečenja imaju nerealno visoke vrednosti, npr. 50 A ne prelaze nekoliko desetina kJ.

2.2.3. Uključenja i isključenja vodova opterećenih neopterećenim transformatorom

Proračuni energetskih naprezanja MOP izvršeni su pri uključenju i isključenju: vodova 400 kV sa neopterećenim transformatorima 400 kV/110 kV i 400 kV/220 kV, vodova 220 kV sa neopterećenim transformatorom 220 kV/110 kV i vodova 110 kV sa neopterećenim transformatorom 110 kV/35 kV. Za uključenje je primenjen statistički pristup. Metodom slučajnih brojeva iz pretpostavljene normalne raspodele vremena uključenja polova prekidača (slično kao u delu 2.2.1.1) birana su vremena uključenja. Apсорbovana energija MOP na početku vodova 110 kV, 220 kV i 400 kV je retko prelazila nekoliko kJ. Apсорbovana energija MOP na kraju vodova, odnosno na priključcima transformatora, bitno zavisi od dužine vodova. U tabeli 3 su date srednje i maksimalno utvrđene apсорbovane energije MOP na kraju vodova 400 kV, 220 kV i 110 kV opterećenih neopterećenim transformatorima pri njihovom uključenju.

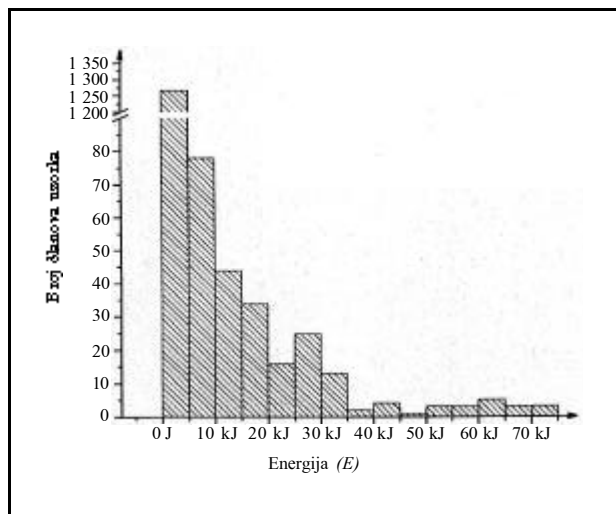
Tabela 3.

Apсорbovana energija MOP na kraju vodova 400 kV, 220 kV i 110 kV opterećenih neopterećenim transformatorima pri njihovom uključenju.

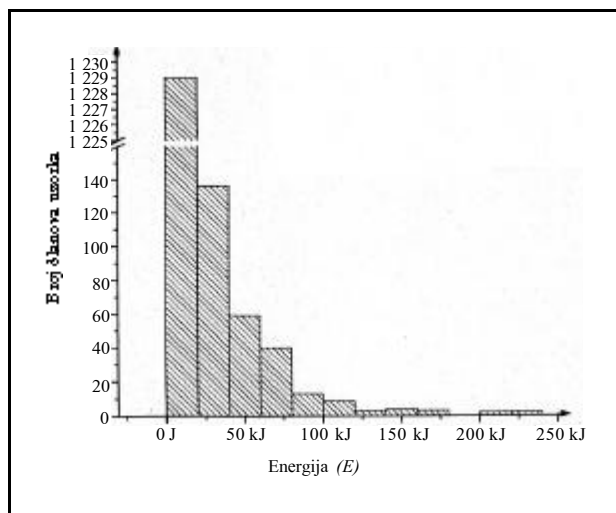
Konfiguracija	Dužina voda (km)	Apсорbovana energija MOP (E_{sr} -srednja E_{max} -maksimalna)	
		E_{sr} (kJ)	E_{max} (kJ)
Vod 400 kV sa transformatorom na kraju	100	6	75
	150	20	235
	200	60	450
Vod 220 kV sa transformatorom na kraju	50	<1	18
	100	2	28
	150	5	50
	200	12	110
Vod 110 kV sa transformatorom na kraju	50	<1	<1
	100	<1	8

Na slikama 5 i 6 dati su histogrami apsorbovane energije MOP na kraju vodova 400 kV dužine 100 km i dužine 150 km opterećenih neopterećenim transformatorom 400 kV/110 kV pri njihovom uključenju.

Proračuni energetske napreznosti MOP pri isključenju vodova sa neopterećenim transformatorima vršena su kada je struja prolazila kroz prirodnu nulu. Na vodu i transformatoru se javlja oscilatoran naponski proces koji traje nekoliko stotina ms dok naponi ne padnu na nulu. Apsoorbovana energija MOP na kraju vodova, i kada su najduži, retko prelazi 20 kJ.



Slika 5. Histogram raspodele apsorbovane energije MOP na kraju voda 400 kV dužine 100 km opterećenog neopterećenim transformatorom 400 kV/110 kV pri njegovom uključenju



Slika 6. Histogram raspodele apsorbovane energije MOP na kraju voda 400 kV dužine 150 km opterećenog neopterećenim transformatorom 400 kV/110 kV pri njegovom uključenju

2.3. Proračuni energetske napreznosti MOP pri delovanju privremenih prenapona

Izvršen je proračun energetske napreznosti MOP u sledećim slučajevima delovanja privremenih prenapona:

- nagla rasterećenja u sistemu i
- pojava zemljospoja.

Energetska napreznost MOP razmatrana su pri uspostavljanju, trajanju i isključenju zemljospoja na vodovima 400 kV, 220 kV i 110 kV. Ustanovljeno je da se pri tom na vodovima ne javljaju visoki prenaponi i da su apsorbovane energije MOP male; retko prelaze nekoliko kJ.

Prelazne naponske pojave koje se dešavaju pri naglom rasterećenju isključenjem opterećenja prekidačima u mreži nisu visoke te su energetska napreznost MOP mala. Privremeni prenaponi, koji posle isključenja prekidača ostaju na neopterećenim vodovima, su niži od privremenih prenapona koji se javljaju pri trajanju zemljospoja i ne mogu da doprinesu značajnim energetskim napreznostima MOP [7].

3. ANALIZA REZULTATA ENERGETSKIH NAPREZNOSTI MOP PRI DELOVANJU PRIVREMENIH, SKLOPNIH I ATMOSFERSKIH PRENAPONA

Proračuni apsorbovane energije MOP u mrežama 400 kV, 220 kV i 110 kV Elektroprivrede Srbije pri delovanju privremenih, atmosferskih i sklopnih prenapona ukazuju da one nisu velike. Pri delovanju atmosferskih prenapona praktično najveća napreznost MOP mogu da nastanu kada struje groma prodru kroz gromobransku zaštitu i pogode fazne provodnike u blizini MOP, a to znači u blizini transformatora. Ako se to i desi (verovatnoće takvih događaja su male) amplitude struja groma ne mogu biti velike. Za ovakve slučajeve maksimalna energetska apsorpciona moć MOP ne bi trebalo da bude veća od 1 kJ/kV_{Uc} . Sva ostala delovanja atmosferskih prenapona manje energetske napreznosti MOP.

Energetska napreznost MOP usled sklopnih prenapona takođe nisu velika, jer na mestima gde se oni nalaze (što bliže priključcima energetske transformatora) se ne javljaju visoki prenaponi. Najčešće operacije prekidača u TS, a to su uključenja i isključenja neopterećenih vodova i transformatora, neznatno ih energetske napreznosti, pod uslovom da se pri isključenju prekidača ne javljaju ponovna nastajanja električnog luka. To su pojave koje se sreću samo kod starih tipova malouljnih prekidača. Pa i sa ponovnim nastajanjima električnog luka, ako ih nema veći broj, energetska apsorpciona moć MOP u

mreži 220 kV i 110 kV ne bi trebalo da bude veća od 1 kJ/kV_{UC}, a u mreži 400 kV ne veća od 2kJ/kV_{UC}.

Uključenja vodova opterećenih neopterećenim transformatorom nisu regularne operacije i ne treba ih primenjivati, naročito ako su vodovi dugački. Osim prelaznih prenapona koji se javljaju u trenutku uključenja, mogu se pojaviti privremeni prenaponi rezonansnog karaktera koji u slaboj mreži mogu dovesti do znatnih prenapona i do izuzetno velikih energetske napreznja MOP [7]. Pri ovim operacijama MOP, koji se nalaze u TS iz koje se uključuje vod sa transformatorom na kraju, nisu mnogo energetske napregnute. Međutim, MOP na kraju voda, odnosno na priključcima transformatora znatno se više naprežu, naročito ako su vodovi dugački. Pošto u mreži 110 kV Elektroprivrede Srbije nema vodova 110 kV dužih od 100 km onda, MOP na kraju tih vodova pri ovakvim operacijama mogu da imaju energetske apsorpcionu moć i ispod 1 kJ/kV_{UC}. Za vodove 220 kV, koji nisu duži od 150 km, dovoljna je energetska apsorpciona moć MOP od 1kJ/kV_{UC}, dok je za vodove 400 kV dužine do 200 km potrebna energetska apsorpciona moć MOP do 2kJ/kV_{UC}.

U slučaju pojave zemljospojeva na vodovima 400 kV, 220 kV i 110 kV deluje zaštita, isključuje fazu voda na kojoj je zemljospoj i nakon 0,9 s je ponovo uključuje (1APU). U toku ovih pojava energetske napreznja MOP i za najduže vodove nisu velika. Njihova energetska apsorpciona moć u mrežama 400 kV, 220 kV i 110 kV za ovakve događaje može da bude znatno ispod 1kJ/kV_{UC}.

Kada se desi dvopolni ili trolpolni kratak spoj na vodovima 220 kV i 110 kV deluje zaštita, isključuje trolpolno vodove sa obe strane i nakon 0,9 s ih ponovo uključuje (3APU). U toku ovih procesa energetske napreznja MOP su mala. Neznatno se uvećavaju kada se radi o dugačkim vodovima. Za ovakve događaje potrebna energetska apsorpciona moć MOP u mrežama 110 kV i 220 kV je znatno ispod 1 kJ/kV_{UC}. U mreži Elektroprivrede Srbije se ne koristi 3APU za vodove 400 kV. Ukoliko se bude primenjivalo neće dovesti do značajnih napreznja MOP. I za ovakve događaje potrebna energetska apsorpciona moć MOP u mreži 400 kV može da bude ispod 1kJ/kV_{UC}.

MOP u pogonu mogu u kratkom vremenskom periodu da budu izloženi energetske napreznjima usled više događaja. U tom vremenu rezistori MOP apsorbuju energije svih događaja, odnosno sve energije se troše na zagrevanje rezistora. Ukupna potrebna apsorpciona energetska moć MOP se određuje na osnovu zbira energija pojedinih događaja u nizu. Primera radi navodi se nekoliko nizova događaja kao osnov za definicije potrebne energetske apsorpcione moći MOP:

- A. Udar groma u portal iznad transformatora - povratni preskok - isključenje transformatora prekidničima na višenaponskoj i niženaponskoj strani (udar groma sa zemljospojem i isključenje transformatora),
- B. Udar groma u gromobransku zaštitu TS - povratni preskok na jedan od faznih provodnika u polju nadzemnog voda (uspostavljanje zemljospoja) - isključenje faze voda u TS - isključenje faze istog voda u susednoj TS u koju ulazi nadzemni vod (isključenje zemljospoja)- uključuje faze na kojoj je bio zemljospoj u obe TS (udar groma sa zemljospojem i uspešno 1APU),
- C. Udar groma u gromobransku zaštitu TS - povratni preskok na jedan od faznih provodnika u polju nadzemnog voda (uspostavljanje zemljospoja) - isključenje faze voda u TS - isključenje faze istog voda u susednoj TS u koju vod ulazi (isključenje zemljospoja) - uključuje faze na kojoj je bio zemljospoj u TS - isključenje sve tri faze voda u TS jer zemljospoj nije eliminisan (udar groma sa zemljospojem i neuspešno 1APU),
- D. Udar groma u gromobransku zaštitu TS - povratni preskok na dva fazna provodnika u polju nadzemnog voda (uspostavljanje dvofaznog kratkog spoja) - isključenje sve tri faze voda u TS - isključenje sve tri faze voda u susednoj TS u koju ovaj ulazi (isključenje dvofaznog kratkog spoja) - uključuje sve tri faze voda u obe TS (udar groma sa dvofaznim kratkim spojem i uspešno 3APU),
- E. Udar groma u gromobransku zaštitu TS - povratni preskok na dva fazna provodnika u polju nadzemnog voda (uspostavljanje dvofaznog kratkog spoja) - isključenje sve tri faze voda u TS - isključenje sve tri faze voda u susednoj TS- uključuje sve tri faze voda u TS i u susednoj TS - isključenje sve tri faze voda u TS i u susednoj TS, jer kratak spoj nije eliminisan (udar groma sa dvofaznim kratkim spojem i neuspešno 3APU),
- F. Pojava zemljospoja na nadzemnom vodu između TS1 i TS2 - isključenje faze voda na kojoj je zemljospoj u TS1 - isključenje iste faze voda u TS2 (isključenje zemljospoja) - uključuje faze na kojoj je bio zemljospoj u TS1 i TS2 (zemljospoj i uspešno 1APU),
- G. Pojava zemljospoja na nadzemnom vodu između TS1 i TS2 - isključenje faze voda na kojoj je zemljospoj u TS1 - isključenje iste faze voda u TS2 (isključenje zemljospoja) - uključuje faze na kojoj je bio zemljospoj u TS1 - isključenje sve tri faze voda u TS1 i TS2, jer zemljospoj nije eliminisan (zemljospoj i neuspešno 1APU),
- H. Pojava dvofaznog kratkog spoja na nadzemnom vodu između TS1 i TS2 - isključenje sve tri faze

voda u TS1 - isključenje sve tri faze voda u TS2 (isključen dvofazni kratak spoj) - uključanje sve tri faze voda u TS1 (dvofazni kratak spoj i uspešno 3APU),

- I. Pojava dvofaznog kratkog spoja na nadzemnom vodu između TS1 - isključenje sve tri faze voda u TS1 - isključenje sve tri faze voda u TS2 (isključen dvofazni kratak spoj) - uključanje sve tri faze voda u TS1 - isključenje sve tri faze voda u TS1 jer kratak spoj nije eliminisan (dvofazni kratak spoj i neuspešno 3APU),
- J. Uključenje voda na zemljospoj - isključenje faze voda na kojoj je zemljospoj u TS - uključanje faze voda na kojoj je bio zemljospoj u TS - isključenje sve tri faze voda u TS (uključanje voda i neuspešno 1APU) i
- K. Uključenje voda na dvofazni kratak spoj - isključenje sve tri faze voda u TS - uključanje sve tri faze voda u TS - isključenje sve tri faze voda u TS (uključanje voda i neuspešno 3APU).

Na osnovu prethodnih razmatranja o apsorbovanoj energiji MOP pri delovanju privremenih, atmosferskih i sklopnih prenapona, procenjene su njihove potrebne energetske apsorpcione moći pri nared navedenim nizovima događaja:

- Za niz događaja pod A), i kada bi se desila sečenja struje u prekidačima pri isključenju transformatora, apsorpciona energija MOP za mreže 400 kV, 220 kV i 110 kV ne bi bila veća od nekoliko desetina kJ, odnosno dovoljno bi bilo da imaju energetsku apsorpcionu moć reda 1kJ/kV_{Uc} ,
- Za niz događaja pod B) ne očekuju se značajnija energetska naprezanja MOP i procenjuje se da bi njihova energetska apsorpciona moć mogla da bude i ispod 1kJ/kV_{Uc} ,
- Za niz događaja pod C) očekuju se nešto veća energetska naprezanja MOP nego za niz događaja pod B) pod uslovom da pri tropskom isključenju dođe do ponovnih nastajanja električnog luka između kontakta prekidača. Međutim, i za ovaj niz događaja, MOP za mreže 400 kV, 220 kV i 110 kV ne bi trebalo da imaju energetsku apsorpcionu moć veću od 1kJ/kV_{Uc} ,
- Za niz događaja pod D) nešto veća energetska naprezanja MOP se očekuju ako dođe do ponovnih nastajanja električnog luka pri isključenju prekidača. Takođe i za ovaj niz događaja MOP za mreže 400 kV, 220 kV i 110 kV ne bi trebalo da imaju energetsku apsorpcionu moć veću od 1kJ/kV_{Uc} ,
- Niz događaja pod E) može da donese MOP najveća energetska naprezanja od svih napred navedenih nizova događaja pod uslovom da pri isključenju prekidača dođe do ponovnih nastajanja električnog luka između njegovih kontakata. Samo u slučaju višestrukih ponovnih nastajanja električnog lu-

ka bila bi za MOP za mreže 400 kV, 220 kV i 110 kV potrebna veća energetska apsorpciona moć od 1kJ/kV_{Uc} i to samo ako su u pitanju dugački vodovi ($\geq 1\text{kJ/kV}_{Uc}$ za mreže 110 kV i 220 kV, $\geq 2\text{kJ/kV}_{Uc}$ za mreže 400 kV) i

- Za nizove događaja od F) do K) MOP u mrežama 400 kV, 220 kV i 110 kV bi mogli da imaju i energetsku apsorpcionu moć i nižu od 1kJ/kV_{Uc} .

Sve napred navedene konstatacije se odnose na postojeći položaj MOP u mrežama 400 kV, 220 kV i 110 kV Elektroprivrede Srbije. Ukoliko bi se postavljali MOP na kraju vodova (kod nas ih sada nema) njihova energetska naprezanja pri delovanju prenapona bi bila značajna. Vodeći računa o nizu događaja koji se mogu pojaviti u kratkom vremenskom periodu, a koji izazivaju značajna energetska naprezanja MOP, procenjuje se da bi bilo zadovoljavajuće da imaju sledeće energetske apsorpcione moći:

$\geq 1,5\text{kJ/kV}_{Uc}$ za vodove 110 kV, $\geq 2\text{kJ/kV}_{Uc}$ za vodove 220 kV, $\geq 3,5\text{kJ/kV}_{Uc}$ za vodove 400 kV pod uslovom da se pri isključenju prekidača ne javljaju ponovna nastajanja električnog luka i $\geq 3\text{kJ/kV}_{Uc}$ za vodove 110 kV, $\geq 6\text{kJ/kV}_{Uc}$ za vodove 220 kV, $\geq 11\text{kJ/kV}_{Uc}$ za vodove 400 kV kada se pri isključenju prekidača javljaju ponovna nastajanja električnog luka.

Cene MOP nižih energetske apsorpcionih moći su niže. Prema raspoloživim podacima domaćeg proizvođača cena rezistora za MOP energetske apsorpcione moći 8kJ/kV_{Uc} je najmanje 60 % viša od cene rezistora za MOP energetske apsorpcione moći 4kJ/kV_{Uc} , a ukupna cena MOP može da bude viša i za 20 do 30 %.

4. ZAKLJUČCI

Analiza rezultata energetske naprezanja postojećih MOP, za zaštitu energetske transformatora od prenapona u mrežama 110 kV, 220 kV i 400 kV elektroenergetskog sistema Srbije, je pokazala da ona nisu visoka. Mogu da ih podnesu MOP i znatno nižih energetske apsorpcionih moći. Minimalne energetske apsorpcione moći tih MOP mogle bi da budu:

- 1kJ/kV_{Uc} na 110 kV i 220 kV priključcima transformatora i
- 2kJ/kV_{Uc} na 400 kV priključcima transformatora, pod uslovom da imaju iste zaštitne karakteristike kao postojeći MOP u mrežama 110 kV, 220 kV, 400 kV elektroenergetskog sistema Srbije.

Cene MOP viših energetske apsorpcionih moći mogu da budu za 20 do 30 % više.

Ako bi se MOP postavljali na krajeve nadzemnih vodova njihove minimalne energetske apsorpcione moći treba da iznose:

- $1,5\text{kJ/kV}_{Uc}$ za najduže vodove 110 kV,

– 2 kJ/kV_{UC} za najduže vodove 220 kV,
 – 3,5 kJ/kV_{UC} za najduže vodove 400 kV
 ako nema ponovnih nastajanja električnog luka pri
 isključenju prekidača,
 – 3 kJ/kV_{UC} za najduže vodove 110 kV,
 – 6 kJ/kV_{UC} za najduže vodove 220 kV,
 – 11 kJ/kV_{UC} za najduže vodove 400 kV.
 ako se dešavaju ponovna nastajanja električnog lu-
 ka pri isključenju prekidača.

5. LITERATURA

- [1] Berger K.: ACTUAL KNOWLEDGE ON LIGHTNING RESEARCH AND LIGHTNING PROTECTION 15TH EUROPEAN CONFERENCE ON LIGHTNING PROTECTION, Uppsala, June 23-29, 1979. godine.
- [2] IEEE WG ON LIGHTNING PERFORMANCE OF TRANSMISSION LINES A SIMPLE METHOD FOR ESTIMATING LIGHTNING PERFORMANCE OF TRANSMISSION LINES Trans IEEE, Vol. PAS-104 (1985), pp 919-932.
- [3] Aleksandrov G. N., Sorokin A.F.: OCENKA PARAMETROV RAZRJADA MOLNIJI PRI PRJAMOM PORAZENII PROVODOV (TROSOV), „Energetika”, No 10, 1985 (na ruskom)
- [4] Zdravković Z., Vukelja P.: UPOREDNA ISTRAŽIVANJA METAL-OKSIDNIH REZISTORA STRANE I DOMAĆE PROIZVODNJE, JUKO CIGRE STK 33, JUGEL, Kolokvijum, Sarajevo 1990. godine.
- [5] Zdravković Z., Vukelja P.: ELEKTRIČNE KARAKTERISTIKE METAL-OKSIDNIH REZISTORA NELINEARNE OTPORNOSTI, 20. savetovanje elektroenergetičara Jugoslavije, Neum, 22.-26. april 1991. godine.
- [6] Zdravković Z., Vukelja P. i drugi: PRIMENA SAVREMENIH ODVODNIKA PRENAPONA, Studija broj 329115, Elektrotehnički institut „Nikola Tesla”, Beograd, 1991. godine, str. 170.
- [7] Zdravković Z., Vukelja P. i drugi: KVAZISTACIONI (PRIVREMENI) PRENAPONI U MREŽAMA VISOKOG NAPONA, Studija broj 329401, Elektrotehnički institut „Nikola Tesla”, Beograd, 1994. godine, str. 179.
- [8] JUS N.B4.801/1995. GROMOBRANSKE INSTALACIJE-ODREĐIVANJE NIVOA ZAŠTITE
- [9] Zdravković Z., Vukelja P. i drugi: KOORDINACIJA IZOLACIJE POSTROJENJA I SISTEMA VISOKONAPONSKIH OBJEKATA, Studija broj 319703, Elektrotehnički institut „Nikola Tesla”, Beograd 1997. godine, str. 273.
- [10] Vukelja P., Savić M. i drugi: ENERGETSKA NAPREZANJA METALOKSIDNIH ODVODNIKA PRENAPONA, Studija br. 310305, Elektrotehnički institut „Nikola Tesla”, Beograd 2003. godine, str. 170.

Rad je primljen u uredništvo 23. 03. 2005. godine



Petar Vukelja je rođen 02. 01. 1947. godine u Prnjavoru (Republika Srpska). Osnovnu školu i gimnaziju je završio u Srpcu i Derventi. Elektrotehnički fakultet u Beogradu je upisao 1965. godine i diplomirao 1969. godine. Na istom fakultetu je magistrirao 1977. godine i doktorirao 1998. godine. Po diplomiranju se zaposlio u Elektrotehničkom institutu „Nikola Tesla” u Beogradu, gde i danas radi. Objavio je više od sto radova u domaćim i međunarodnim časopisima i zbornicima domaćih i međunarodnih skupova.



Jovan Mrvić je rođen 11. 04. 1965. godine u Beogradu gde je i završio osnovnu školu i gimnaziju. Elektrotehnički fakultet u Beogradu je upisao 1984. godine a diplomirao je 1993. godine. Po diplomiranju se zaposlio u Elektrotehničkom institutu „Nikola Tesla” u Beogradu, gde i danas radi. Objavio je više od pedeset radova u domaćim časopisima i zbornicima domaćih i međunarodnih skupova.



Dejan Hrvić je rođen 04. 06. 1961. godine u Beogradu gde je i završio osnovnu školu i gimnaziju. Elektrotehnički fakultet u Beogradu je upisao 1981. godine a diplomirao je 1986. godine. Po diplomiranju se zaposlio u Elektrotehničkom institutu „Nikola Tesla” u Beogradu, gde i danas radi. Objavio je više od trideset radova u domaćim časopisima i zbornicima domaćih i međunarodnih skupova.

Najveće dozvoljene snage kondenzatora za pojedinačnu kompenzaciju asinhronih motora

Stručni rad

UDK: 621.319.14; 621.313.333; 621.3.016.25

Rezime:

U radu su izvršene odgovarajuće analize da bi se utvrdile vrednosti prenapona samopobuđivanja koji bi se mogli javiti odmah po isključenju motora sa kondenzatorom za pojedinačnu kompenzaciju reaktivne energije. Na osnovu toga je pokazano da, za savremene motore (proizvedene 1970. godine i kasnije) sa karakteristikama magnećenja tipa U i T, dozvoljene maksimalne snage kondenzatora mogu biti znatno veće vrednosti: $Q_C \approx 1,5 Q_{0M}$ (snaga motora u praznom hodu), umesto $Q_C \approx (0,9-1,0) Q_{0M}$, kako se navodi u literaturi i odgovarajućim preporukama (za motore starije proizvodnje). To potvrđuju: pojedinačni primeri iz literature i veliki broj sistematizovanih primena pojedinačne kompenzaciju asinhronih motora, koje je realizovao autor ovog rada, sa kondenzatorima snage $Q_C = (1,1-1,8) Q_{0M}$. Činjenica da se pri tome nisu javili bilo kakvi problemi, tokom proteklih 10 – 15 godina, je dovoljna eksperimentalna provera.

Sa povećanjem snage kondenzatora za motore koji su najduže u radu, omogućeno je da se dobije znatnije smanjenje ukupne snage potrebnih kondenzatora za kompenzaciju reaktivne energije potrošača sa motorima. Zato se ovaj postupak u radu naziva „Unapređenom pojedinačnom kompenzacijom asinhronih motora”. Pokazano je, na analiziranom primeru, da ukupna snaga kondenzatora može biti toliko umanjena da postane jednaka ukupnoj snazi kondenzatorske baterije za Centralnu kompenzaciju. Pošto su i učinci navedenih kompenzacija približni, u pogledu smanjenja potrošnje reaktivne energije, to znači da su i vremenski intervali uključivanja i isključivanja odgovarajućih kondenzatorskih jedinica (po snazi), skoro identični. To pokazuje da je primenom prikazanog postupka moguće realizovati optimalnu kompenzaciju, čak i po minimumu snage potrebnih kondenzatora, iako to nije moguće ostvariti pomoću uobičajene pojedinačne kompenzacije. Unapređena pojedinačna kompenzacija je jeftinija najmanje 2 puta, u odnosu na Centralnu kompenzaciju, jer nema troškova za prateću opremu (kontaktori, osigurači, regulator faktora snage).

Ključne reči: kompenzacija reaktivne energije, pojedinačna kompenzacija motora, veće dozvoljene snage kondenzatora za motore, optimalna kompenzacija potrošača sa motorima

Abstract:

ADMISSIBLE POWERS GREATER FOR CAPACITOR POWERS FOR INDIVIDUAL COMPENSATION OF INDUCTION MOTORS

This paper presents analysis which has been carried out in order to establish self-excitation voltage which could appear right after switching-off motor with capacitor for individual compensation of reactive energy. According to the results of the analysis, it was shown that for contemporary motors (which were made at 1970 and later), with U-frame and T-frame magnetic characteristics, value of maximum admissible

Dr Miloje Kostić, dipl. ing. el. – Elektrotehnički institut „Nikola Tesla”, 11 000 Beograd, Koste Glavinića 8a

power of capacitor can be appreciably higher: $Q_c \approx 1.5 Q_{0M}$ instead of $Q_c \approx (0.9 - 1.0) Q_{0M}$ as it is quoted in the literature and appropriate recommendations (for motors of older production). It confirmed some examples from the literature and numerous systematized applications of individual reactive power compensation for asynchronous motors with capacitors whose powers are equal to $Q_c = (1.1 - 1.8) Q_{0M}$ which were realized by the author, as well as a fact that there was no problems during exploitation (in last 10 - 15 years) seems to be an adequate experimental verification.

By increasing the power of capacitors whose usage time is the longest, it is enabled to obtain remarkable reduction of capacitors total power for reactive energy compensation of consumers with motors. For this reason presented procedure was called „Advanced individual compensation of induction motors”. On the example that was analyzed in this paper, it was shown that total power of all capacitors could be reduced insofar to become equal to total power of capacitor bank for central compensation. It means that are switching-on and switching-off of appropriate capacitor units (at power values) are almost identical because of the performance are nearly equal, from the aspect of reducing reactive energy consumption. It was also shown that the appliance of this procedure makes possible attaining an optimal compensation, even by the minimum power of capacitors needed, though it is not possible by applying conventional individual compensation. The costs for Advanced individual compensation are less about around 50%, then Central compensation costs, because there are no investments for the accessories (contactors, switches, power factor regulator).

Key words: reactive energy compensation, motors individual compensation, admissible powers greater for motor capacitors, optimum compensation of consumers with motors

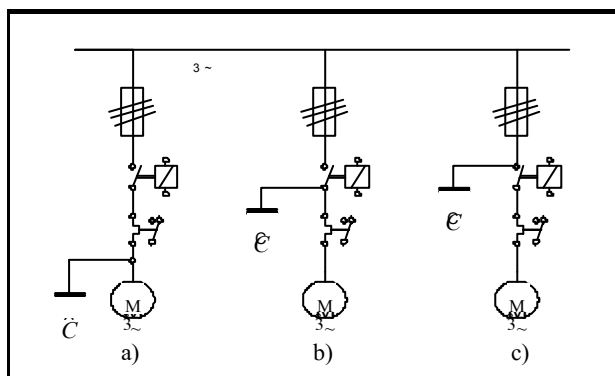
1. UVOD

Pojedinačna (individualna) kompenzacija reaktivnih opterećenja se koristi relativno često kada su u pitanju asinhroni motori. Kondenzatori se priključuju direktno (paralelno) motoru, a uključuju i isključuju sa istim sklopnim uređajem sa kojim se uključuje i isključuje motor (slike 1a i 1b).

Prednosti ovog postupka kompenzacije su:

- eliminiše se reaktivno opterećenje i u priključnom vodu motora što je značajno kod dužih priključaka,
- troškovi za kompenzaciju po 1 kvar su manji za 2-3 puta jer se svode samo na troškove za kondenzator.

Osnovni nedostatak ovog vida kompenzacije je u tome:



Slika 1. Pojedinačna kompenzacija asinhronih motora: (a) i (b) Sa istovremenim uključivanjem i isključivanjem motora i kondenzatora, i (c) Samo sa uključivanjem i isključivanjem motora (bez uključivanja i isključivanja kondenzatora)

- da se kondenzator koristi samo u vreme kada je motor u radu, i
- da zbirne snage upotrebljenih kondenzatora za pojedinačnu (individualnu) kompenzaciju nekada mogu biti i 2-3 puta veće, u odnosu na snagu kondenzatorske baterije pri centralnoj kompenzaciji.

Snaga kondenzatora za kompenzaciju reaktivne snage potrošača, čiji je prirodni (inicijalni) koeficijent reaktivne snage $\tan \mathbf{j}_i$, do nivoa da se dostigne traženi (referentni) koeficijent reaktivne snage $\tan \mathbf{j}_r$, se određuje po izrazu:

$$Q_{Cmax} = P \cdot (\tan \mathbf{j}_i - \tan \mathbf{j}_r) \quad (1)$$

gde je P (kW) - aktivna snaga potrošača. Kod motora je uobičajeno poznat nominalni faktor snage $\cos \mathbf{j}_n$, a najčešći cilj je da se dostigne traženi (referentni) faktor snage pri nominalnom opterećenju, npr. $\cos \mathbf{j}_{nr} = 0,95$ (tj. koeficijent reaktivne snage $\tan \mathbf{j}_{nr} = 0,33$), pa se u tom slučaju snaga kondenzatora izračunava po formuli:

$$Q_C = P_n \cdot (\sqrt{1 - \cos^2 \mathbf{j}_n} / \cos \mathbf{j}_n - 0,33) \quad (2)$$

Kod uključivanja i isključivanja motora zajedno sa kondenzatorom, mogu se javiti određeni problemi [1], od kojih su najvažniji (1) pojava prenapona neposredno po isključenju motora usled samopobudjenja kondenzatorom i (2) pojava velikih dinamičkih momenata ukoliko dođe do ponovnog uključivanja motora na mrežu, pre nego što se broj obrtaja svede na ispod 20-30 %. Da se te pojave svedu na

bezopasne, predlaže se da maksimalna snaga kondenzatora na krajevima motora bude $Q_{Cmax} < Q_{0M}$ ili preciznije:

$$Q_{Cmax} \leq (0,9-1,0) Q_{0M} \quad (3)$$

gde je:

Q_{0M} – reaktivno opterećenje motora u praznom hodu. Na osnovu toga definisane su i preporuke u vidu tabela, za izbor kondenzatora u zavisnosti od snage i broja obrtaja asinhronih motora [2], koje se i sada koriste u literaturi [3].

U cilju dostizanja faktora snage motora $\cos j_r > 0,95$, npr $\cos j_r = 1$, kompenzacije asinhronih motora su u nekim slučajevima izvođene i sa kondenzatorima snage $Q_C > Q_{0M}$, a se da pri tome nisu javili pomenuti problemi. Data su i neka objašnjenja tih slučajeva [4,5], ali nedostaju detaljnije analize na osnovu kojih bi bilo moguće izvesti potpunije zaključke pa i odgovarajuće preporuke. Najznačajnija su američka iskustva iz prakse sa primenom kondenzatora snage $Q_C > Q_{0M}$, pa su na osnovu empirijske analize tih slučajeva [6] predložene nove preporuke za izbor kondenzatora [6] za kompenzaciju motora snage $P_n \leq 50$ kS (37,5 kW):

$$Q_C \text{ (kvar)} \leq 0,5 P_n \text{ (kS)} \quad (4)$$

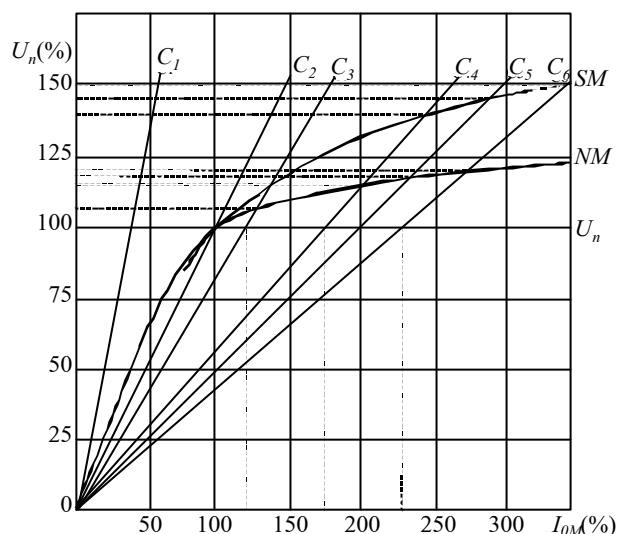
što je približno identično uslovu $Q_{Cmax} \leq 1,5Q_{on}$. Uz to se dodaje da nema iskustava sa motorima većih snaga i predlažu zadržavanje ograničenja (3) za motore iznad 50 kS (37 kW).

I autor ovog rada je, u velikom broju slučajeva, kompenzaciju asinhronih motora izveo sa kondenzatorima snage $Q_C = (1,2-1,8)Q_{0M}$, a da se pri tome nisu javili bilo kakvi problemi tokom proteklih 10-15 godina. Iz tih razloga su potrebne odgovarajuće analize tih slučajeva, uz uvažavanje promena u karakteristikama magnećenja savremenih asinhronih motora, zbog kojih su smanjene opasnosti od pojave visokih prenapona samopobuđivanja neposredno po isključenju motora sa kondenzatorom. U radu će biti provedene detaljnije analize relevantnih pojava za savremene motore sa tipičnim karakteristikama magnećenja, kako bi se došlo do novog predloga vrednosti za dozvoljene maksimalne snage kondenzatora koji se smeju priključiti direktno na krajeve asinhronih motora.

2. VEĆE DOZVOLJENE VREDNOSTI ZA MAKSIMALNE SNAGE KONDENZATORA NA KRAJEVIMA MOTORA

U radu [1] je pokazano da se pri isključivanju motora sa kondenzatorom snage $Q_C = Q_{nM} \approx 1,5Q_{0M}$ (Q_{nM} – reaktivna snaga u nominalnom režimu moto-

ra) može javiti prenapon samopobuđivanja (U_s) vrednost $U_s \geq 1,4 U_n$ i da su registrovana stradanja kondenzatora i motora u nekim slučajevima. Polazeći od uslova da bude $U_s \leq 1,20U_n$ (ili $1,15U_{cn}$ – nominalnog napona kondenzatora), u [1] je predloženo da $Q_C \leq Q_{0M}$ kako je to definisano sa izrazom (3). Od tada, u proteklih 50 godina, dogodile su se velike promene u karakteristikama motora. Tako su novi magnetni materijali uslovlili da se karakteristike magnećenja standardnih asinhronih motora približe „U” ili čak „T” obliku. Time se bitno smanjuje opasnost od prenapona samopobuđivanja, što se objašnjava pomoću slika 2.



Slika 2. Određivanje maksimalnih napona samopobuđivanja standardnih asinhronih motora, starije proizvodnje (kriva magnećenja SM) i novije proizvodnje (kriva magnećenja NM), pri isključivanju sa kondenzatorima snaga $Q_{Cn}/Q_{0M} (\%) = 100; 150; 200$ (ili $Q_{Cmax}/Q_{0M} (\%) = 115; 173; 230$)

Kako je pokazano (slika 2), pri snazi kondenzatora od $Q_{C4} = Q_{C4max} = 173 \% Q_{0M}$ (odgovara $Q_{Cn} = 150 \% Q_{0M}$ zbog dozvoljene tolerancije od +15% za kapacitet i snagu kondenzatora), najveći prenapon samopobuđivanja koji se može javiti iznosi $U_s = 1,16U_n$ za standardne asinhronne motore novije proizvodnje (NM), tj. približno je jednak prenaponu samopobuđivanja $U_s = 1,17U_n$ koji se može javiti kod motora starije proizvodnje (SM), pri $Q_{Cn} = Q_{0M}$ (računato je za odgovarajuću maksimalnu snagu kondenzatora $Q_C = Q_{C3} = Q_{C3max} = 115 Q_{0M} \%$). Do navedenih vrednosti se dolazi uprošćenim grafičkim proračunima [1], koji su prikazani na slici 2, za prosečnu krivu magnećenja motora novije proizvodnje (kriva NM na slici 2). U cilju potpunijih analiza, po postupku koji se provodi pomoću slike 2, utvrđene su vrednosti napona samopobuđivanja koji se mogu javiti pri isključivanju motora sa kondenzatorima či-

Tabela 1.

Maksimalni naponi samopobuđivanja asinhronih motora, starije proizvodnje (U_{SM} u % U_n) i novije proizvodnje (UNM u % U_n), pri isključivanju sa kondenzatorima navedenih snaga $Q_C = Q_{Cmax}$ (% Q_{0M})

Kondenzatori (Krive C_i)	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	$C_{<6}$
Maksimalna snaga $Q_C = Q_{Cmax}$ (% Q_{0M})	< 100	100	115	173	200	230
Nominalna snaga Q_{Cn} (% Q_{0M})		90	100	150	174	200
Napon samopobuđivanja U_{SM} (% U_n)		100	117	141	146	149
Napon samopobuđivanja U_{NM} (% U_n)		100	108	116	120	122

je su nominalne snage u dijapazonu vrednosti 90-200 % (u % snage Q_{0M}). Dobijeni rezultati su dati u tabeli 1. Matematička teorija samopobuđivanja omogućuje da se odredi i dinamika prigušivanja tih prenapona [4].

U praksi provereni bezopasni prenaponi na motorima starije proizvodnje (SM) sa kondenzatorima $Q_C = Q_0$, (1,17 U_n , tabela 1), se dostižu sa motorima novije proizvodnje (NM) tek pri kondenzatorima snage $Q_{Cn} = 150\% Q_{0M}$. I dosadašnja autorova praktična iskustva (tabela 2), kroz višegodišnju eksploataciju desetak tako dimenzionisanih kondenzatora sa motorima snage do 200 kW [9,10], pokazuju da opasnost od navedenih prenapona ne postoji, jer se nije desilo nijedno oštećenje ni motora ni kondenzatora, pa se sa sigurnošću za dozvoljene snage kondenzatora mogu preporučiti vrednosti

$$Q_C \leq 1,5 Q_{0M} \quad (5)$$

To znači da je sa kondenzatorom te snage (izraz 5) moguća potpuna kompenzacija reaktivne snage motora ($\cos \mathbf{j} = 1$) i pri nominalnom opterećenju, pošto je u velikom broju slučajeva $Q_{nM} \leq 1,5 Q_{0M}$. Čak se i pri snagama kondenzatora $Q_{Cn} = 174\% Q_{0M}$ i $Q_{Cn} = 200\% Q_{0M}$, kada su u pitanju motori novije proizvodnje (NM), javljaju prenaponi samopobuđivanja od 1,20 U_n i 1,22 U_n (slika 2 i tabela 1) koji su

još uvek u prihvatljivim granicama. Ali, ti prenaponi mogu biti veći i za nekoliko %, u slučaju nešto manje zasićenih motora nego što su to motori karakterisani sa krivom magnećenja NM. To znači da se, za pojedinačnu kompenzaciju motora, kondenzatori nominalnih snaga

$$Q_C \leq (1,5-2,0) Q_{0M} \quad (6)$$

mogu preporučiti uslovno, tj. samo za motore sa (približno) poznatim karakteristikama magnećenja i na osnovu odgovarajućih analiza u konkretnim slučajevima. Poznati su primeri pojedinačne kompenzacije asinhronih motora sa kondenzatorima snage iz područja vrednosti $Q_C = (1,5-2,0) Q_{0M}$, (tabela 2), bez štetnih posledica u proteklom periodu.

Kod uključivanje i isključivanje motora sa kondenzatorom, pored analizirane pojava prenapona samopobuđivanja neposredno po isključenju motora sa kondenzatorom, mogu se javiti određeni problemi zbog pojava velikih dinamičkih momenata ukoliko dođe do ponovnog uključivanja motora na mrežu, pre nego što se broj obrta svede na ispod 20-30 % [1].

Pri ponovnom uključivanju motora koji se još obrće, mehanički momenti mogu dostići dva ili tri puta veće vrednosti od maksimalnog dinamičkog momenta pri startu motora. Taj rizik se povećava ukoliko je kondenzator većeg kapaciteta jer to pro-

Tabela 2.

Primeri pojedinačnih kompenzacija motora sa kondenzatorima snage $Q_C / Q_{0M} > 1$, koje su u eksploataciji duže od 10 godina

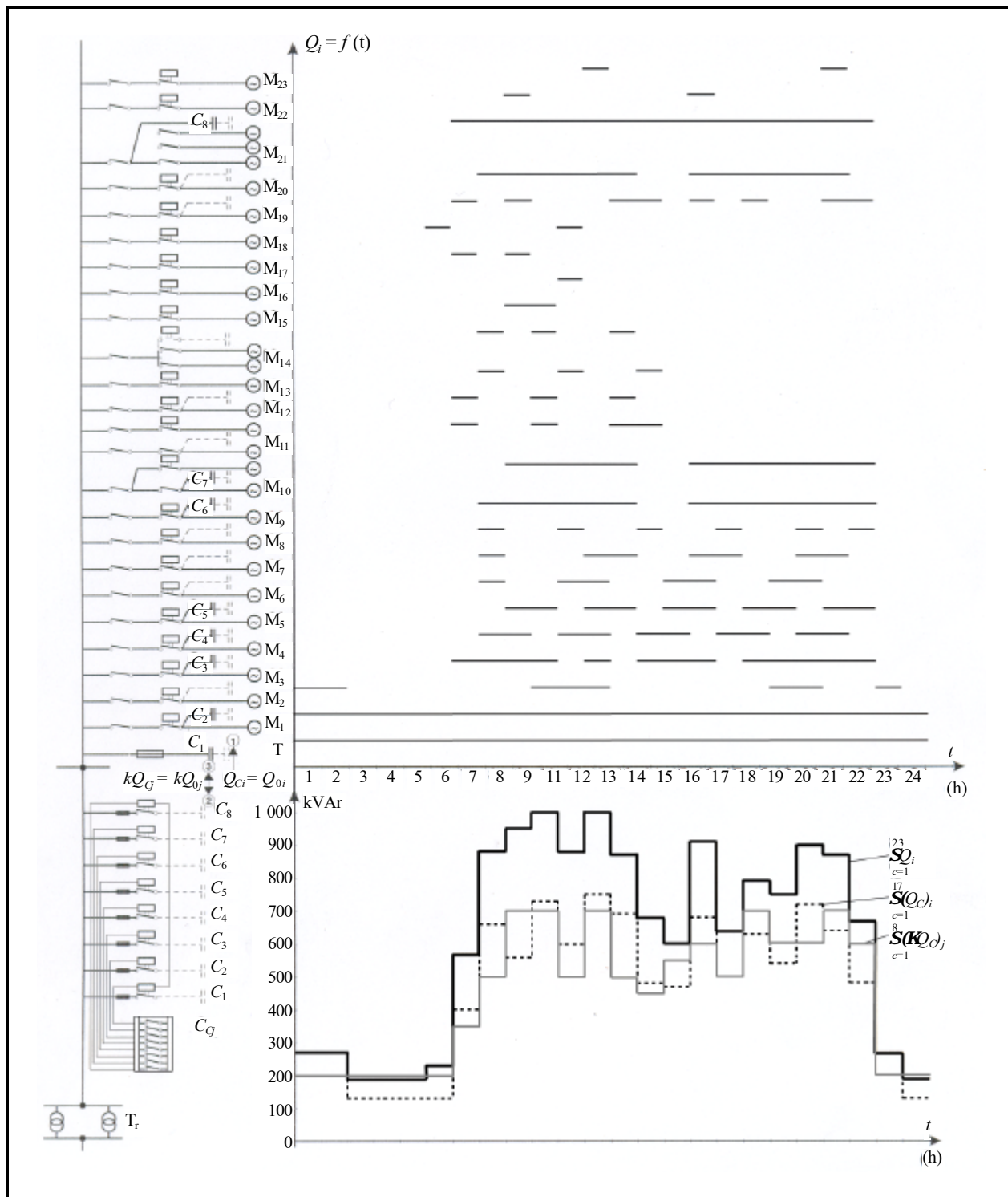
Vrsta i lokacija pogona	Karakteristike motora:				Snaga magnećenja Q_{0M} (kvar)	Priključeni kondenzatori Q_C (kvar)	Odnos Q_C / Q_{0M}	Godina ugradnje
	P	n (1/min)	$\cos \mathbf{j}_n$	M_m / M_n				
Kompresor (kom 1) [9]	275 kW	1 485	0,88	2,2	94 kvar	100 kvar	1,07	1987.
Ventilatori (kom. 1) [9]	90 kW	1 480	0,85	2,4	39 kvar	50 kvar	1,28	1989.
Ventilatori (kom. 3) [9]	18,5 kW	1 460	0,82	2,6	9 kvar	10 kvar	1,11	1989.
Ventilatori (kom. 3) [9]	15 kW	1 460	0,82	3,0	8,5 kvar	10 kvar	1,15	1989.
Pumpa (kom. 3) [9]	30 kW	1 470	0,84	2,8	14 kvar	15 kvar	1,07	1989.
Pumpa (kom. 2) [10]	200 kW	1 486	0,90	2,2	54 kvar	100 kvar	1,80	1994.

dužava zaustavljanje motora. Iz tog razloga navode se bitne činjenice za razumevanje ove problematike:

(a) Praksa je pokazala da ispunjenje uslova $Q_C \leq Q_{OM}$ u dovoljnoj meri štiti motor i od pojave

prevelikih dinamičkih momenata i pri brzom ponovnom uključanju motora.

(b) Neke analize i ispitivanja [1] pokazuju da pri brzim ponovnim uključanjima (do 0,3 s) ne dola-



Slika 3. Jednopolna šema potrošača sa motorima (na levoj strani slike), čiji su dnevni dijagrami reaktivnih opterećenja na desnoj strani -pojedinačni za motore (gore) i ukupni -zbirni (dole). Prikazane su šeme kompenzacije reaktivne energije za svaku od tri razmatrane varijante izvođenja.

zi do opasnih dinamičkih momenata. To potvrđuju i iskustva Autora sa kondenzatorima na motorima snage do 275 kW sa uključenjem zvezda/trougao.

(c) Činjenica da nema potpunijih analiza i iskustava, o posledicama primene kondenzatora snage $Q_C > Q_{OM}$ za direktnu kompenzaciju motora, upućuje iz razloga opreznosti, da se predloži upotreba većih kondenzatora ($Q_C = (1,0-1,5) Q_{OM}$ samo za motore koji ne rade u režimu automatskog ponovnog uključenja (dvobrzinske motore) i za motore sa komandom za promenu smera obrtanja.

Uslovi (5) i (6) predstavlja novi zaključak za razmatrani problem, a najveća korist od toga je što omogućavaju veću primenu pojedinačne kompenzacije (PK) u odnosu na centralnu kompenzaciju (CK), čime se, kako će biti pokazano, troškovi kompenzacije smanjuju za 30-60 %, dok se efekti povećavaju

za 10-90 %. Iz tih razloga pojedinačnu kompenzaciju motora sa kondenzatorima snage $Q_C \leq (1,5-2,0) Q_{OM}$, zvati i Unapređenom pojedinačnom kompenzacijom (UPK).

3. PRIMENA UNAPREĐENE POJEDINAČNE KOMPENZACIJE MOTORA I POREĐENJE SA DRUGIM VIDOVIMA KOMPENZACIJE

3.1. Kompenzacija reaktivne snage potrošača sa motorima

Primena unapređene pojedinačne kompenzacije sa $Q_{Cmax} \leq 1,5 Q_{OM}$ biće prikazana na primeru većeg potrošača sa motorima. U cilju poređenje daju se i varijante izvođenja kompletne kompenzacije

Tabela 3.

Tabelarni prikaz projektovanih snaga kondenzatora za pojedinačnu kompenzaciju (PK) i unapređenu pojedinačnu kompenzaciju (UPK) motora datih reaktivnih snaga i opterećenja

Motori	Reaktivne snage motora				PK sa $Q_C \leq Q_{OM}$		UPK sa $Q_C \leq 1,5 Q_{OM}$	
	Nominalna Q_{nM} (kvar)	Praznog hoda Q_{OM} (kvar)	Opterećenje u radu		Snaga kondenzatora Q_C (kvar)	Odnos Q_C/Q_{OM}	Snaga kondenzatora Q_C (kvar)	Odnos Q_C/Q_{OM}
			Q_i (kvar)	h/danu				
M ₁	100	80	90	24	80	1,00	100	1,25
M ₂	100	70	80	8	70	1,00	–	
M ₃	120	80	100	13	80	1,00	100	1,25
M ₄	110	80	90	11	70	1,00	100	1,25
M ₅	100	70	90	11	70	1,00	100	1,41
M ₆	90	70	80	7	70	1,00	–	
M ₇	120	80	100	7	80	1,00	–	
M ₈	65	40	50	6	40	1,00	–	
M ₉	50	35	45	13	35	1,00	50	1,43
M ₁₀	110	70	90	12	70	1,00	100	1,41
M ₁₁	120	60	100	4	80	1,00	–	
M ₁₂	60	40	50	3	40	1,00	–	
M ₁₃	70	40	50	3	–		–	
M ₁₄	130	80	100	3	80	1,00	–	
M ₁₅	110	70	80	2	–		–	
M ₁₆	100	80	90	1	–		–	
M ₁₇	60	40	50	2	–		–	
M ₁₈	40	30	40	2	–		–	
M ₁₉	35	25	30	8	25	1,00	–	
M ₂₀	32	25	28	13	25	1,00	–	
M ₂₁	48	40	45	16	40	1,00	50	1,25
M ₂₂	130	100	110	2	–		–	
M ₂₃	75	50	60	2	–		–	
Tr	170	50	100	24	50		100	
ΣQ_i	2 145	1 425	1 748					
ΣQ_{Ci}					1 015		700	

reaktivne energije sa drugim vidovima kompenzacije:

- Primenom pojedinačna kompenzacija sa $Q_{Cmax} \leq (0,9-1,0) Q_{OM}$, ili
- Primenom centralne kompenzacija.

Primer:

Za potrošač sa motornim konzumom, čija je jednopolna šema data na levoj strani slike 3, a dnevni dijagrami reaktivnih opterećenja na desnoj strani slike 3 -pojedinačni za motore (gore) i ukupni -zbirni (dole), dimenzionisati kompenzacije reaktivne energije za tri varijante izvođenja, tj:

- dimenzionisati snagu kondenzatorske baterije za Centralnu kompenzaciju,
- odrediti snage kondenzatora za pojedinačnu kompenzaciju datih motora sa $Q_{Cmax} \leq (0,9-1,0)Q_{OM}$, i
- utvrditi snage kondenzatora za pojedinačnu kompenzaciju datih motora sa $Q_{Cmax} \leq 1,5Q_{OM}$ tako da se u svakoj varijanti dostigne faktor snage $\cos \mathbf{j} \geq 0,95$, tj. $\tan \mathbf{j} \leq 0,33$.

Na osnovu dnevnih dijagrama reaktivnih opterećenja motora i transformatora (slika 3), kao i tabelarnog prikaza vrednosti i trajanja reaktivnih opterećenja tokom 24 sata (tabela 3), utvrđuje se da ukupna dnevna potrošnja reaktivne energije iznosi $W_Q = 14\ 799$ kvarh (dnevna potrošnja aktivne energije $W_P = 12\ 470$ kWh).

Šeme kompenzacije reaktivne energije su prikazane na slici 3, za svaku od tri razmatrane varijante izvođenja:

- Centralna kompenzacija sa od 700 kvar (6 × 100 kvar + 2 × 50 kvar) -naznačena na slici 3, levo pri dnu
- Pojedinačna kompenzacija sa kondenzatorima snage $Q_C \leq 1,0 Q_{OM}$, koji su naznačeni crta-crta linijama na jednopolnoj šemi na levoj strani slike 3, i
- Unapređena pojedinačna kompenzacija motora sa kondenzatorima snage $Q_C \leq 1,5 Q_{OM}$, koji su naznačeni punim linijama na jednopolnoj šemi na levoj strani slike 3.

Podaci o reaktivnima snagama motora, u nominalnom režimu i režimu praznog hoda, kao i o vrednostima reaktivnih opterećenja i trajanju tih opterećenja (h/danu), su dati u tabeli 3.

Podaci o snazi kondenzatora za obe pojedinačne kompenzacije (PK sa $Q_C \leq Q_{OM}$ i UPK sa $Q_C \leq 1,5Q_{OM}$) su dati u tabeli 3, kao i odgovarajući iznosi za ukupne (zbirne) snage tih kompenzacija (ΣQ_C).

3.2. Poređenje i analiza različitih varijanti kompenzacije

Šeme kompenzacije reaktivne energije su prikazane na slici 3, za svaku od tri razmatrane varijante izvođenja. Postupci za dimenzionisanje navedenih

kompenzacija, osnovni podaci kao i najvažnije karakteristike za svaku od tri razmatrane varijante kompenzacije se analiziraju posebno. Podaci o reaktivnima snagama motora, u nominalnom režimu i režimu praznog hoda, kao i o vrednostima reaktivnih opterećenja i trajanju tih opterećenja (h/danu), su dati u tabeli 3. Podaci o snazi kondenzatora za obe pojedinačne kompenzacije (PK sa $Q_C \leq Q_{OM}$ i UPK sa $Q_C \leq 1,5Q_{OM}$) su dati u tabeli 3, kao i odgovarajući iznosi za ukupne (zbirne) snage tih kompenzacija (ΣQ_C).

1. varijanta: Centralna kompenzacija

Na osnovu dijagrama reaktivnih opterećenja, dolazi se do zaključka da se postavljeni cilj ($\cos \mathbf{j} \geq 0,95$) može ostvariti sa kondenzatorskom baterijom ukupne snage 700 kvar, npr. sa 6 jedinica od po 100 kvar i 2 jedinica od po 50 kvar (6 × 100 kvar + 2 × 50 kvar). Na slici 3, levo pri dnu, su prikazani kondenzatori od $C_1 - C_8$ koji se uključuju preko odgovarajućih kontaktora kojima se komanduje sa automatskim regulatorom faktora snage.

2. varijanta: Pojedinačna kompenzacija

motora sa kondenzatorima snage $Q_C \leq 1,0Q_{OM}$

Pojedinačnom kompenzacijom, sa kondenzatorima snage $Q_C \approx Q_{OM}$, prvo se obuhvataju motori koji su najduže u radu (motori sa većim vrednostima radnih časova u toku dana- većim vrednostima h/danu u tabeli 3), da bi se postupak završio sa motorom posle čije kompenzacije ukupni faktor snage potrošača dostiže vrednost $\cos \mathbf{j} \geq 0,95$ Na osnovu analize dijagrama reaktivnih opterećenja pojedinih motora i učinka pojedinih kondenzatora, dolazi se do zaključka da se postavljeni cilj može ostvariti pojedinačnom kompenzacijom 14 motora (motora $M_4 - M_{12}$; M_{14} i $M_{19} - M_{21}$). Podaci o reaktivnim opterećenjima motora i snagama odgovarajućih kondenzatora za pojedinačnu kompenzaciju su dati u tabeli 3, a ti kondenzatori su naznačeni crta-crta linijama na jednopolnoj šemi na levoj strani slike 3. Za navedeni nivo kompenzacije potrebni su kondenzatori ukupne snage 1 015 kvar (tabela 3).

3. varijanta: Unapređena pojedinačna kompenzacija motora sa kondenzatorima snage $Q_C \leq 1,5 Q_{OM}$

Slično kao i kod kompenzacije u drugoj varijanti, i pri Unapređenoj pojedinačnoj kompenzaciji, prvo se obuhvataju motori koji su najduže u radu (motori sa većim vrednostima radnih časova u toku dana- većim vrednostima h/danu u tabeli 3), da bi se postupak završio sa motorom posle čije kompenzacije ukupni faktor snage potrošača dostiže vrednost $\cos \mathbf{j} \geq 0,95$. Na osnovu analize dijagrama reaktivnih opterećenja pojedinih motora i učinka pojedinih kondenzatora, dolazi se do zaključka da se, uz primenu pojedinačne kompenzacije motora sa kondenzatorima snage $Q_C \leq 1,5Q_{OM}$, uz kontrolu da bude i

$Q_C \leq Q_{Cn}$ (nominalno reaktivno opterećenje motora), postavljeni cilj se može ostvariti sa kompenzacijom samo 8 motora (motori $M_1, M_2, M_3 - M_5; M_{10}, M_{11}$ i M_{21}). Podaci o snagama odgovarajućih kondenzatora za ovu kompenzaciju su dati u tabeli 3. Odgovarajući kondenzatori su naznačeni punim linijama na jednopolnoj šemi na levoj strani slike 3. Za navedeni nivo kompenzacije potrebni su kondenzatori ukupne snage od samo 700 kvar. Interesantno je da su navedeni kondenzatori, za ovaj vid kompenzacije, identični po ukupnoj snazi i strukturi kondenzatorima koji bi bili upotrebljeni za centralnu kompenzaciju (prva varijanta). Ali za izvođenje pojedinačne kompenzacije nije potrebna dodatna oprema - osigurači, kontaktori, automatski regulator, a i samo izvođenje je jednostavnije i jeftinije. U cilju jednostavnijeg poređenja, u tabeli 4 su prikazane važnije karakteristike i ostvareni efekti u pogledu smanjenja potrošnje reaktivne energije potrošača, za svaki od navedenih vidova kompenzacije. Takođe su dati i iznosi procenjenih troškova za navedene vidove kompenzacije, uz pretpostavku da jedinični troškovi kompenzacije iznose 10 Evra/kvar za obe pojedinačne kompenzacije i 20 Evra/kvar kada je u pitanju Centralna kompenzacija.

Na osnovu podataka u tabeli 4, zaključuje se da su troškovi za unapređenu pojedinačnu kompenzaciju najmanji. Uz poznatu prednost pojedinačne kompenzacije - nije potrebna dodatna upravljačka, prekidačka i zaštitna oprema, uočene su i dodatne prednosti:

- Ukupna snaga potrebnih kondenzatora je, po pravilu, manja jer se kod motora koji su najduže u radu koriste kondenzatori većih snaga nego kod uobičajene pojedinačne kompenzacije, pa se na račun toga eliminiše upotreba kondenzatora (u većem iznosu po snazi) kod motora koji rade kraće vreme;
- Zbog manjeg broja instaliranih kondenzatora (8 umesto 14 u datom primeru), kompenzacija je jednostavnija za kontrolu i održavanje u odnosu na pojedinačnu kompenzaciju;

Interesantno da se optimalnim projektovanjem unapređene pojedinačne kompenzacije često može

postići da ukupna snaga tih kondenzatora bude približna ukupnoj snazi kondenzatora potrebnih za varijantu centralne kompenzacije- u navedenom primeru u oba slučaja je upotrebljeno po 700 kvar. Time se postiže da ni troškovi za kondenzatore ne budu ništa veći, što uz nepostojanje drugih troškova čini unapređenu pojedinačnu kompenzaciju jeftinijom najmanje 2 puta. Kako su i pojedini kondenzatori identični, po snazi, kondenzatorskim jedinicama u odgovarajućim stepenima pomenute centralne kompenzacije, to se može predstaviti kao da su oni preseljeni i priključeni na krajeve pogodno odabranih motora. Pošto su i učinci kompenzacija koje se porede, u pogledu smanjenja potrošnje reaktivne energije potrošača, približno, isti to se može zaključiti da se i dinamika uključivanja i isključivanja odgovarajućih kondenzatorskih jedinica (po snazi) skoro ne razlikuje. Ako tako dimenzionisanu kompenzaciju definišemo kao unapređenu pojedinačnu kompenzaciju, onda njene navedene karakteristike postaju kriterijumi za projektovanje i dostizanje iste. Da bi unapređena pojedinačna kompenzacija bila i optimalna, potrebno je:

(a) da kondenzatori budu locirani kod motora koji najviše utiču na dijagram reaktivnih opterećenja konzuma kako bi dinamika njihovog uključivanja i isključivanja približno odgovarala dinamici rada centralne kompenzacije, i

(b) da snaga tih kondenzatora bude približna snazi kondenzatora u odgovarajućim stepenima pomenute centralne kompenzacije - tj. kao da su oni preseljeni i priključeni na krajeve pogodno odabranih motora.

Približno ispunjenje uslova pod (b) je, često, moguće, pri čemu ne smeju biti prekoračeni limiti koji su definisani izrazima (5) ili (6).

4. ZAKLJUČCI

U radu su izvršene detaljne analize sa ciljem da se utvrde vrednosti prenapona samopobuđivanja neposredno po isključenju motora sa kondenzatorom, kako bi se došlo do novog predloga za dozvoljene

Tabela 4.

Pregled karakteristika i ostvarenih efekata za svaki od navedenih vidova kompenzacije

Vid kompenzacije	Ukupna snaga kondenzatora ΣQ_{Ci} (kvar)	Reaktivna energija posle kompenzacije $\Sigma W_Q - \Sigma W_{Qci}$	Dostignuti faktor snage $\cos \mathbf{j}_{med}$	Procenjeni troškovi za kompenzaciju
Centralna kompenzacija	700 kvar	3 950 kvarh	0,953	14 000 Evra
Pojedinačne kompenzacije sa $Q_{Cmax} \leq Q_{OM}$	1 015 kvar	4 109 kvarh	0,950	10 150 Evra
Pojedinačne kompenzacije sa $Q_{Cmax} \leq 1,5 Q_{OM}$	700 kvar	3 849 kvarh	0,955	7 000 Evra

maksimalne snage kondenzatora, za savremene motore sa tipičnim karakteristikama magnećenja. Rezultat toga je da su dozvoljene znatno veće vrednosti: $Q_C \approx 1,5 Q_{0M}$ (često može biti i $Q_C \approx (1,5-2,0 Q_{0M})$), umesto $Q_C \approx (0,9-1,0) Q_{0M}$ -snaga motora u praznom hodu, kako se navodi u literaturi i koristi u praksi. To potvrđuju i pojedinačni primeri iz literature, kao i veliki broj sistematizovanih primena pojedinačne kompenzaciju asinhronih motora, koje je izveo autor ovog rada, sa kondenzatorima snage $Q_C = (1,2-1,8) Q_{0M}$.

Time je omogućeno da se, pored poznate prednosti da se za provođenje pojedinačne kompenzacije ne koristi dodatna upravljačka, prekidačka, i zaštitna oprema, dobije i dodatna prednost kroz znatnije smanjenje ukupne snage potrebnih kondenzatora (zato se u radu naziva „unapređenom pojedinačnom kompenzacijom“) pošto su snage kondenzatora koji su najduže u radu povećane. Kroz primenu unapređene pojedinačne kompenzacije, na primeru analiziranom u radu, pokazano je da ukupna snaga kondenzatora može biti približna ukupnoj snazi baterije za Centralnu kompenzaciju. Time se postiže da ni troškovi za kondenzatora ne budu veći, što, uz nepostojanje drugih troškova, unapređenu pojedinačnu kompenzaciju čini jeftinijom najmanje 2 puta.

Iako primena Unapređene pojedinačne kompenzacije kod potrošača sa motorima za srednji napon (6 kV i 10 kV) nije razmatrana, očigledno je da je pomoću prezentiranog postupka moguće utvrditi dozvoljene maksimalne snage kondenzatora i za ove motore.

5. LITERATURA

[1] Bloomquist W. C., Boice W. K., APPLICATION OF CAPACITORS FOR POWER - FACTOR IMPROVEMENT OF INDUCTION MOTOR, AIEE Trans.

- sactions (Electrical engineering), Vol. May 1945, pp 274-78
- [2] Beeman D., editor, INDUSTRIAL POWER & SYSTEMS HANDBOOK, Mc Grow - Hill Book Company, 1955, New York - Toronto - London, pp 972
- [3] Longland T., POWER CAPACITOR HANDBOOK Butterworth, London - Boston,1984
- [4] Mello F. P. de, Walsh C. W., RECLOSING TRANSIENTS IN INDUCTION MOTORS WITH TERMINAL CAPACITORS, AIEE Trans. on Power App. and System, Vol. 79, pp 1206-1213, Feb. 1961.
- [5] Levi E., Radivojević P., PRELAZNI PROCESI PRI ISKLJUČENJU I PONOVNOM UKLJUČENJU TROFAZNOG ASINHRONOG MOTORA KOMPENZOVANOG BATERIJOM KONDENZATORA, V Savetovanje Elektromotorni pogoni, Poreč 1990.
- [6] Zucker M., Erhart J. J., CAPACITORS NEAR LOADS? THE ENGINEERING VIEWPOINT, IEE Trans. on industry applications, Vol. 24, No. 2, 1985, pp. 308-317
- [7] Bornitz E., LEISTUNGSKONDENSATOREN UND BLINDLEISTUNGSMASCHINEN R. Oldenbourg Munchen, Wien 1965, pp 400
- [8] Kostić M., UTICAJ NAPONA U MREŽI NA OPTEREĆENJA I RACIONALNU POTROŠNJU ELEKTRIČNE ENERGIJE, Institut „Nikola Tesla“ Beograd, 1997, str. 176
- [9] Kostić M., PROJEKAT KOMPENZACIJE REAKTIVNE ENERGIJE PREDUZEĆA „PRVI PARTIZAN“ UŽICE, 1987. godine
- [10] Studija, projekat i realizacija: RACIONALIZACIJA POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U RUDNIKU „REMBAS - RESAVICA“, Institut „Nikola Tesla“, Beograd (Rukovodilac M. Kostić), 1995. g, 142 str.

Rad je primljen u uredništvo 05. 07. 2005. godine



Miloje M. Kostić je rođen 01. 10. 1950. godine u Bioski, opština Užice. Srednju elektrotehničku školu je završio u Užicu 1969. godine. Na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu je diplomirao 1974. godine, a magistrirao 1983. godine. Doktorirao je na Tehničkom fakultetu u Čačku 1990. godine.

U preduzeću „Prvi partizan“, u Užicu, radio je od 1974. do 1991. godine, kada prelazi u Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“ u Beogradu gde i sada radi. Šira područja rada su mu električne mašine, elektromotorni pogoni, industrijska i opšta elektroenergetika, i električne mreže uključujući i uticaje viših harmonika.

U oblasti racionalizacije potrošnje električne energije kod industrijskih potrošača i velikih potrošača u sastavu Elektroprivredi Srbije (rudnicima uglja i sopstvenoj potrošnji termoelektrana) uradio je i realizovao veliki broj studija i projekata, koji donose značajne uštede. U primenu uvodi savremena rešenja, ali i sopstvena tehnička unapređenja i patente. Analiza i rezultati primene jednog od originalnih rešenja se prikazuje u ovom radu.

Do sada je objavio 3 knjige, od kojih 2 monografije autora, i 82 rada - 35 radova u nacionalnim i međunarodnim časopisima i 47 radova u zbornicima domaćih i internacionalnih konferencija. Ima 1 zaštićen i primenjen patent, kao i desetak tehničkih unapređenja koja se primenjuju.

Branko Stojković i Milan Vukasović

VB/PHP aplikacija za praćenje trenutne potrošnje električne energije putem interneta

Originalni naučni rad
UDK: 681.518.3; 621.31; 621.3.016.3

Rezime:

U radu je dat detaljan opis internet aplikacije, originalno razvijene i po prvi put primijenjene unutar jedne elektroprivredne kompanije u jugoistočnoj Evropi, koja prikazuje trenutnu potrošnju (konzum) električne energije EES-a Crne Gore. Autori su odabrali Visual Basic, PHP i MySQL kao alate za izradu datog sistema. Rad je podjeljen u tri glavna dijela: opis informacionog sistema korištenog za izradu date aplikacije, kao i osnovne karakteristike Visual Basic i PHP aplikacija.

Ključne reči: SCADA, PHP, MySQL, elektroenergetski sistem, potrošnja električne energije

Abstract:

**VB/PHP APPLICATION FOR REAL-TIME TRACKING
OF ELECTRIC ENERGY CONSUMPTION VIA INTERNET**

This paper presents web-based real-time electricity demand metering, originally developed and for the first time implemented within one Electricity Company in South-East Europe. Authors selected Visual Basic, PHP and MySQL as a development tools. Paper is divided into three main parts: description of informational system used for project realisation and main features of Visual Basic and PHP applications.

Key words: SCADA, PHP, MySQL, Power System, energy consumption

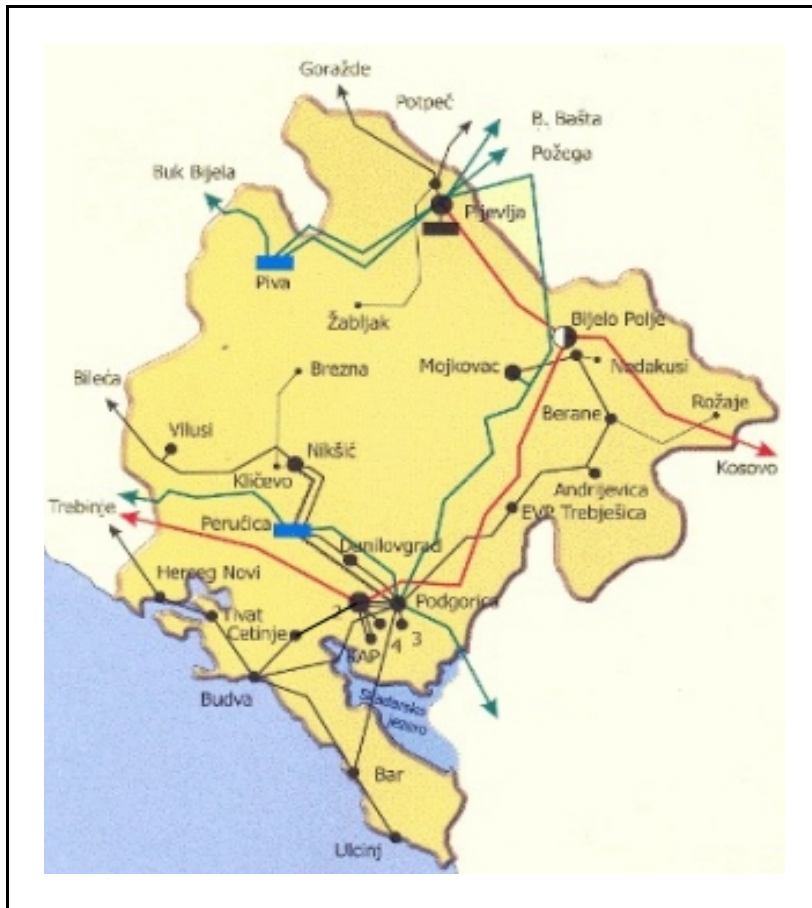
1. UVOD

Elektroenergetskim sistemom (EES) Crne Gore, upravlja se iz Nacionalnog dispečerskog centra (NDC) lociranog u Podgorici. Ovaj EES se sastoji od 400, 220 i 110 kV prenosne mreže sa ukupno 40 visokonaponskih dalekovoda, 3 elektrane (ukupne instalisane snage 868 MW) i 19 trafostanica (slika. 1). Maksimalno satno opterećenje dostiže 800 MW, a godišnja potrošnja na nivou republike je oko 4 500

GWh. Teritorija Crne Gore se prostire na oko 14 900 km².

Upravljanje EES-om se vrši pomoću SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) sistema koji prikuplja podatke iz procesa, obrađuje ih, prezentira na ekranu u realnom vremenu i smješta u bazu podataka u deseto sekundnoj rezoluciji [5,6,7]. Osnovna specifičnost SCADA sistema je, sem što je u cjelosti razvijen od strane zaposlenih u NDC-u, njegova zasnovanost na veoma malom broju ulaznih

*Dr Branko Stojković, dipl. ing. el., – Nacionalni Dispečerski Centar Crne Gore,
81 000 Podgorica, Novaka Miloševa 46, Serbia and Montenegro, email: vibas@cg.yu
Milan Vukasović, dipl. ing. el., – Nacionalni Dispečerski Centar Crne Gore,
81 000 Podgorica, Novaka Miloševa 39/1, Serbia and Montenegro, email: milanv@cg.yu*



Slika 1. EES Crne Gore sa dalekovodima 400, 220 i 110 kV

podataka (oko 70), generisanje prilično velikog broja izlaznih podataka (oko 300 izlaznih informacija [7,8,9], u koje spadaju virtuelna (izvedena) mjerenja, proračunate veličine, kao i kompletan set alarmnih informacija izvedenih i prezentiranih na osnovu dinamike promjene analognih mjerenja), kao i minimalna cijena realizacije cijelog projekta [9].

Hardver za SCADA-u je samo jedan PC sa interfejsom za akviziciju (prikupljanje podataka) koji se sastoji iz 48 analognih i 24 digitalna ulaza i 8 digitalnih izlaza. Mjerenja iz EES, u formi strujnog signala uvode se u prilagodni panel, gdje se pomoću konverzionih otpornika pretvaraju u naponsku mjerne veličinu, koja se dalje obrađuje u A/D konvertoru. Dakle, radi se o lokalnoj, simultanoj akviziciji kompletnog seta udaljenih analognih ulaznih mjerenja. Mjerenja se zahvataju na objektima EES-a posredstvom mjernih pretvarača, a do NDC SCADA sistema se prenose putem „hibridnog” sistema, koji se sastoji od četiri RTU stanice (na većim objektima) i komunikacionog servera (u NDC-u), ali i od povećeg skupa MTU (Monokanalni Telemjerni Uređaji) uređaja, koji prenose sva granična telemjerenja. Sistem RTU-a ciklično prenosi mjerenja u

NDC, sa vremenom osvježavanja od 4 sekunde, dok sistem MTU-a realizuje praktično potpun „real-time” jer je odziv $\leq 0,3$ sec. SCADA sistem vrši akviziciju „dopremljenih” mjerenja po principu „pollinga” svakih 5 sekundi. Svi telemjerni linkovi (RTU, MTU) u slučaju „ispada” generišu digitalni signal koji se uvodi u SCADA sistem, te se tada taj link (mjerenje) simulira iz baze podataka. Interni časovnik SCADA sistema se permanentno sinhronizuje posredstvom GPS prijemnika [8]. Na osnovu prethodno rečenog se lako zaključuje da je simultanost procesnih podataka značajna, što je u prethodnim godinama eksploatacije permanentno dokazivano. Naime, nad podacima (mjerenjima) koje SCADA smješta u svoju bazu deseto sekundnih trenutnih podataka (snage, MW), vrše se obrade kojima se dobijaju kumulativni satni podaci (energije, MWh), koji se upoređuju sa podacima sa brojlara (obračunski podaci, MWh). Ovo je permanentan proces tj. kontrolna procedura koja se sprovodi u NDC Podgorica [10,11], a na nivou koordinacionog centra EKC u Beogradu ova se

procedura sprovodi za real-time SCADA telemjerenja na svim preko-graničnim dalekovodima između: Srbije, Hrvatske, Crne Gore, Bosne i Hercegovine, Grčke, Makedonije, Albanije, Mađarske, Bugarske i Rumunije, i poznata je pod nazivom „Analize tačnosti telemjerenja”. Rezultati postignuti primjenom SCADA sistema u NDC Podgorica su izuzetno dobri, a prosječna odstupanja su ispod 1 % [10,11].

MS Visual Basic 6.0 pro je izabran kao softverski alat za razvoj datog sistema, zbog svojih naprednih mogućnosti i lakoće upotrebe. Prije svega treba istaći njegov objektno-orjentisani pristup, enkapsulaciju funkcija, kompletan GUI (Graphic User Interface) sa animacijom i mogućnost izgradnje raznih komunikacionih interfejsa poput onog opisanog u datom radu, oslonjenog na WWW.

2. KONZUM I PROGNOZIRANA POTROŠNJA ZA NAREDNI DAN

Konzum predstavlja ukupnu potrošnju električne energije na nivou republike, u konkretnom slučaju Crne Gore. Pod terminom „konzum” može se po-

drzumijevati bilo trenutna snaga (MW) potrošnje u tom trenutku, bilo satna energija (MWh), a isto tako ovaj termin odgovara i dnevnoj potrošnji energije koja se odnosi na neku konzumnu oblast. Potrošači električne energije obično se svrstavaju u direktne i distributivne. Direktni potrošači u Crnoj Gori su priključeni na prenosnu mrežu 110 kV (transformacija 110/x kV/kV), i tu spadaju: Kombinat Aluminiijuma Podgorica (KAP), Željeznice Crne Gore (ŽCG) i Željezara Nikšić.

Glavni potrošački čvor je Podgorica, gdje se troši više od polovine ukupne električne energije u Crnoj Gori (približno 1/3 ukupne distributivne potrošnje, plus Kombinat Aluminiijuma, što čini oko 63 % ukupne potrošnje u 2002. godini).

Trenutni konzum (MW) na nivou Republike Crne Gore se može proračunati ako su poznate vrijednosti mjerenja tokova snaga po interkonektivnim dalekovodima (ukupno 11), trenutna proizvodnja u 3 elektrane, kao i ukupna trenutna vrijednost gubitaka u prenosnoj mreži. Gubici u prenosnoj mreži se mogu podijeliti po mjestu nastanka na: gubitke u dalekovodima, gubitke u energetskim i mjernim (strujnim i naponskim) transformatorima i gubitke sopstvene potrošnje transformatorskih stanica. Relacija za proračun trenutnog konzuma je:

$$\text{konzum} = \sum_{i=1}^n P_{el_i} + \sum_{j=1}^k P_{indal_j} + P_{gubitaka_prenosa} \quad (1)$$

gdje su

P_{el_i} – trenutna proizvodnja elektrane i ;

P_{indal_j} – tok snage po interkonektivnom dalekovodu j ;

$P_{gubitak_prenosa}$ – ukupni trenutni gubici u prenosnoj mreži EES-a;

n – ukupan broj elektrana koje učestvuju u proizvodnji električne energije;

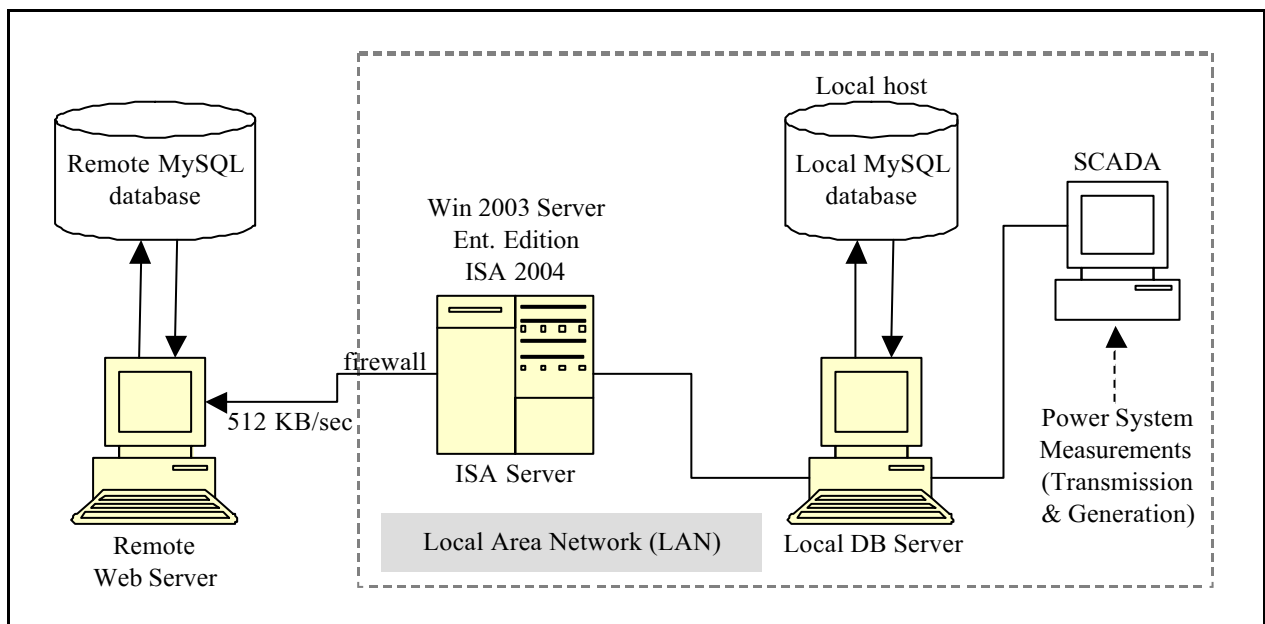
k – ukupan broj interkonektivnih dalekovoda. Znak „+” u gornjoj jednačini koristi se u slučaju uvoza električne energije (tok snage po interkonektivnom dalekovodu je ka teritoriji Crne Gore), a znak „-” u slučaju izvoza električne energije.

Za praktičnu primjenu u aplikaciji o kojoj je ovdje riječ, zanemareni su gubici prenosa iz relacije (1), tj. praktično se radi o *bruto* konzumu, dakle o konzumu koji u sebi sadrži neto konzum i gubitke prenosa.

Procjena konzuma za tekući dan se vrši (prognoziraju) dan unaprijed za 24 sata, na osnovu *ex-ante* podataka: satne potrošnje električne energije sličnih dana u prošlosti. U procjeni se uzimaju u obzir i promjenjivi faktori koje utiču na potrošnju, kao što su vremenski uslovi (koriste se meteorološke prognoze), najavljeni ulazak/izlazak direktnih potrošača sa mreže itd. Metodologija korištena u kreiranju prognoze konzuma za naredni dan STL (Short Term Load Forecast) bazirana je na autoregresionom algoritmu.

3. OPIS STRUKTURE INFORMACIONOG SISTEMA

Šema sistema [13] pomoću koje je realizovan dati projekat prikazana je na slici 2. Sva mjerenja aktivne i reaktivne snage (P , Q), napona (V), uvode se u SCADA sistem. U sklopu SCADA servera, instalirana je i posebna procedura napravljena u MS



Slika 2. Šema dijela informacionog sistema za realizaciju datog projekta

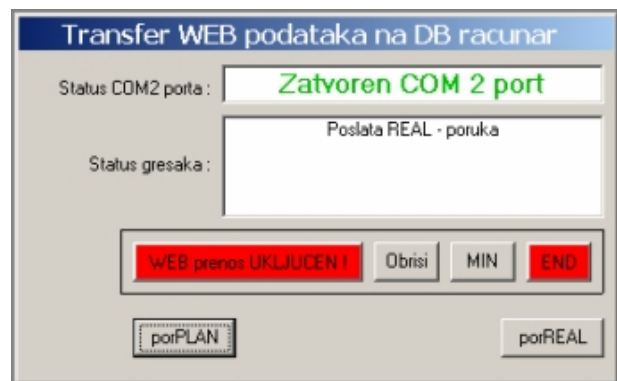
Visual Basicu 6.0 koja služi za minutno očitavanje trenutnog konzuma (MW), nakon njegovog prethodnog proračuna. Ta aplikacija šalje lokalnom DB serveru svakog minuta paket podataka koji se sastoji od vremena očitavanja i trenutne vrijednosti konzuma. Ako je tekući dan blizu isteka, MS Visual Basic aplikacija šalje i dodatni paket podataka koji se sastoji od procjene (prognoze) konzuma za naredni dan, dobijen pomoću već pomenutog STLF programa. Lokalni DB server takođe posjeduje Visual Basic aplikaciju koja „osluškuje” port i čeka podatke. Nakon pristizanja podataka, data aplikacija vrši njihovu provjeru s obzirom na dužinu i ispravnost (checksum) primljenog paketa, i ako je sve u redu, smješta podatke u lokalnu MySQL bazu.

Na lokalnom DB serveru, u sklopu iste MS Visual Basic aplikacije, nalazi se procedura koja očitava vrijednosti konzuma i vremena iz lokalne MySQL baze i šalje ih na udaljeni Web server i udaljenu MySQL bazu. Ako je tekući dan blizu isteka, MS Visual Basic aplikacija šalje i dodatni paket podataka koji se sastoji od prognoziranog konzuma za naredni dan (24 satna podatka u MWh). Komunikacija sa lokalne mreže na internet omogućena je preko ISA (Internet Security and Acceleration) servera. Bitno je istaći da je čitav proces mogao biti i pojednostavljen tako što bi se sa udaljenog servera povremeno pristupalo lokalnoj mreži, i vršio zahvat podataka sa lokalne MySQL baze. To je izbjegnuto iz razloga veće sigurnosti, jer je na ISA Serveru podešena zabrana bilo kakvog pristupa lokalnoj mreži sa interneta [13]. Na udaljenom Web serveru smještena je PHP (PHP: Hypertext Preprocessor) aplikacija korištena pri izradi projekta, kao i glavna MySQL baza, koja osim osnovnih tabela, koje takođe posjeduje i baza na lokalnom DB serveru, posjeduje i dodatne tabele formirane na osnovu prikupljenih podataka. Planer lociran na udaljenom serveru je podešen da izvrši PHP aplikaciju svaka dva minuta. Ova (tajmirana) PHP aplikacija obavlja sve neophodne proračune nad novopristiglim podacima, koji nakon toga bivaju memorisani. *Crontab utility*, koji dolazi u sklopu većine Linux distribucija, se obično koristi da bi se pokrenuli određeni procesi u isto vrijeme svakog dana, mjeseca ili godine. Svakog minuta, sistem provjerava sistemski fajl pod imenom *crontab*, da bi utvrdio da li i jedan program treba biti pokrenut.

4. VB APLIKACIJA ZA ZAHVAT PODATAKA IZ SCADA SISTEMA I PUNJENJE LOKALNE/UDALJENJE BAZE

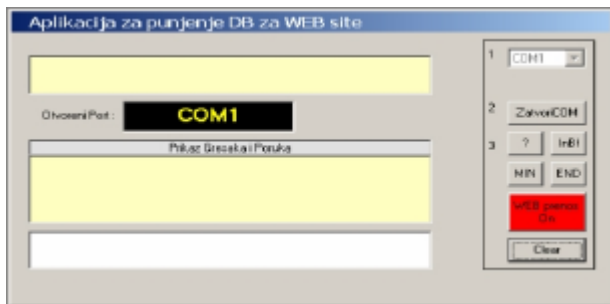
Aplikacija je strukturirana po principu client - server, locirana je na dva računara (SCADA serveru i lokalnom DB serveru) i obavlja sljedeće operacije:

1. Dio aplikacije lociran na SCADA serveru je eksterna aplikacija koja se startuje iz SCADA aplikacije i tajmirana je da svakog minuta vrši zahvat real-time konzuma Crne Gore, pakuje ga u poruku „RealMsg” po proprietary protokolu ComLink i šalje ka DB serveru preko COM porta (direct cable link). Jedanput dnevno, pet minuta prije isteka tekućeg dana, vrši se zahvat 24 planske satne varijable - planirani konzum za naredni dan (iz lokalne DB), pakuje po istom protokolu u poruku „PlanMsg” i šalje ka DB serveru. Vizuelni izgled ove aplikacije (displej) dat je na slici 3.



Slika 3. Prikaz aplikacije za zahvat podataka iz SCADA sistema

2. Dio aplikacije lociran na DB serveru je samostalna aplikacija koja se startuje i permanentno izvršava na DB serveru. Aplikacija na COM portu „osluškuje” prispjele poruke od SCADA servera. Izrađena je efikasna procedura za razdvajanje poruka (po tipu - PlanMsg/RealMsg), kao i njihovu obradu. Nakon prihvatanja poruke, te njene provjere, otvara se lokalna MySQL baza i napuni se odgovarajuća tabela (jedna sa planskim i jedna sa real-time podacima). Druga tajmirana procedura svakih 120 sec pristupa lokalnoj bazi koja sadrži real-time podatke, očitava najnoviji podatak, pristupi udaljenom Web serveru preko permanentne, brze veze (512 KB/sec), otvori identičnu tabelu (u MySQL bazi) na tome udaljenom serveru i napuni tu tabelu sadržajem iz lokalne tabele, pa nakon toga zatvori obje baze (i lokalnu i udaljenu). Punjenje tabela koja sadrži podatke o planskom konzumu, i na lokalnoj i na Web lokaciji, obavlja se na isti način, ali samo jedanput dnevno - četiri minuta prije isteka tekućeg dana. Kompletan rad sa DB je efikasan i brz zahvaljujući potpunoj primjeni tehnologije ADO (ActiveX Data Object) koje na jednak način pristupaju i lokalnim i vrlo udaljenim bazama podataka. Vizuelni izgled ove aplikacije (displej) dat je na slici 4.



Slika 4. Displej aplikacije za prijem podataka iz SCADA -e i komunikaciju sa Web serverom

5. PHP/MYSQL APLIKACIJA ALGORITAM PROJEKTA

Dio aplikacije koga čine PHP procedure i koji se nalazi na udaljenom (remote) web serveru, vrši proračune na osnovu pristiglih podataka i izvršava upite krajnjeg korisnika.

Nakon što udaljena MySQL baza primi najnoviji podatak o konzumu sa lokalne mreže, dolazi do pokretanja scheduler aplikacije na web serveru. Spe-

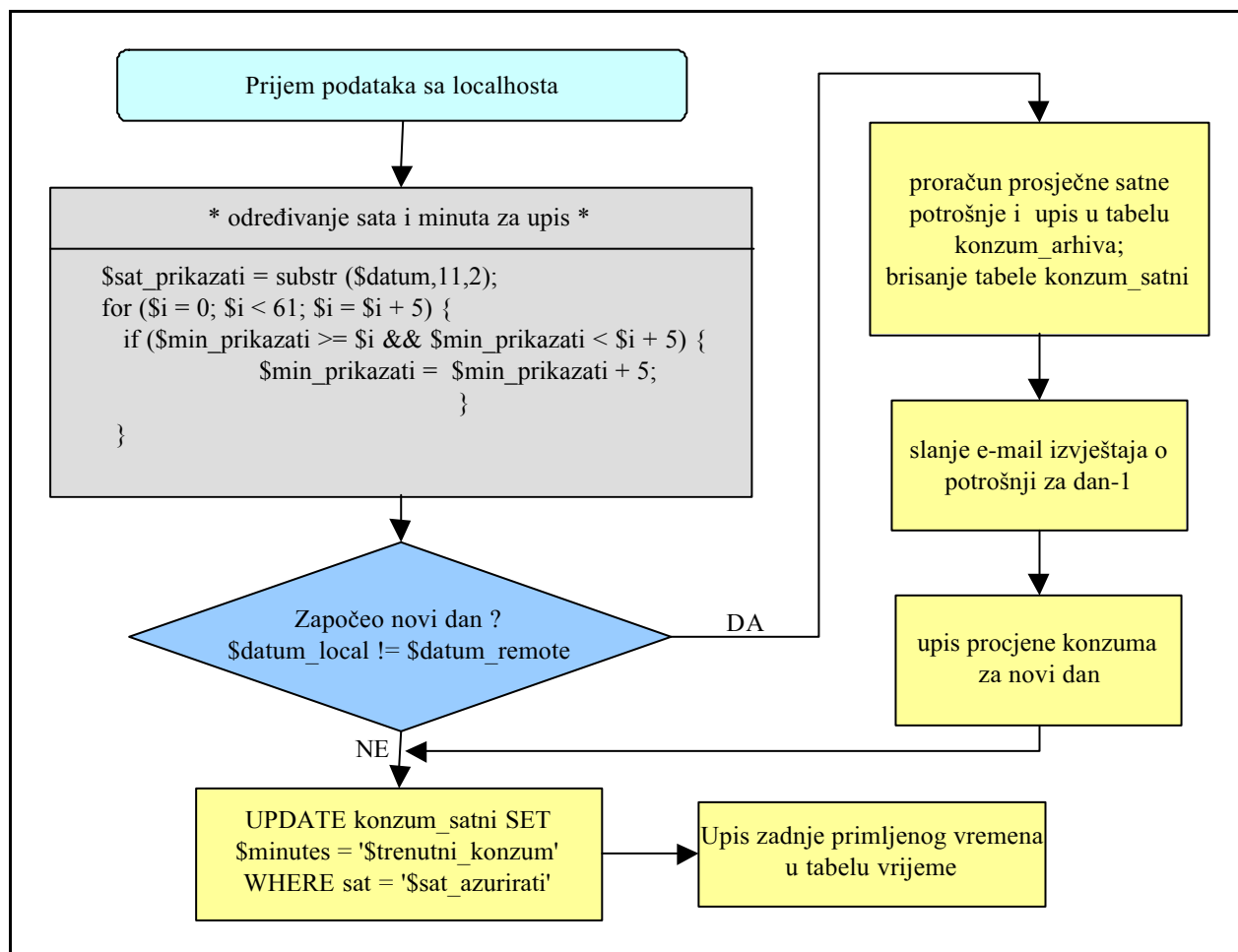
cijalna PHP procedura vrši zahvat najsvježijeg podatka i zatim vrši proračun sata i minuta za koji treba izvršiti novi upis u bazu podataka. Naime, specijalna tabela unutar baze NDC (baza na udaljenom serveru) je koncipirana tako da čuva petominutne podatke o konzumu za tekući dan. Dio koda i algoritam datog procesa prikazan je na slici 5. Poslije toga, vrši se provjera da li je novopristigli datum različit od onoga koji već postoji u tabeli [vrijeme] (to je u stvari predzadnji primljeni datum). Ako je to slučaj, znači da je započeo novi dan, te se vrši proračun prosječne satne potrošnje električne energije za upravo završeni dan:

$$P_{pot_h} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} P_{5i}, \text{ za } \forall \text{ sat: } h=1, \dots, 24 \quad (2)$$

gdje je:

P_{5xi} – potrošnja svakog petominutnog intervala posmatranog sata;

P_{pot_h} – prosječna satna potrošnja električne energije. Proračunate vrijednosti konzuma se upisuju u tabelu [konzum_arhiva], koja sadrži podatke o satnim



Slika 5. Dio PHP/MySQL algoritma na udaljenom web serveru

potrošnjama dana u prošlosti. Nakon brisanja i ponovnog kreiranja tabele [konzum_satni], ova procedura vrši automatsko slanje potrošnje za prethodni dan na već unaprijed specificirane e-mail adrese.

Kao što je već istaknuto, punjenje tabele koja sadrži podatke o procjeni konzuma vrši se samo jednom dnevno – četiri minuta prije isteka tekućeg dana.

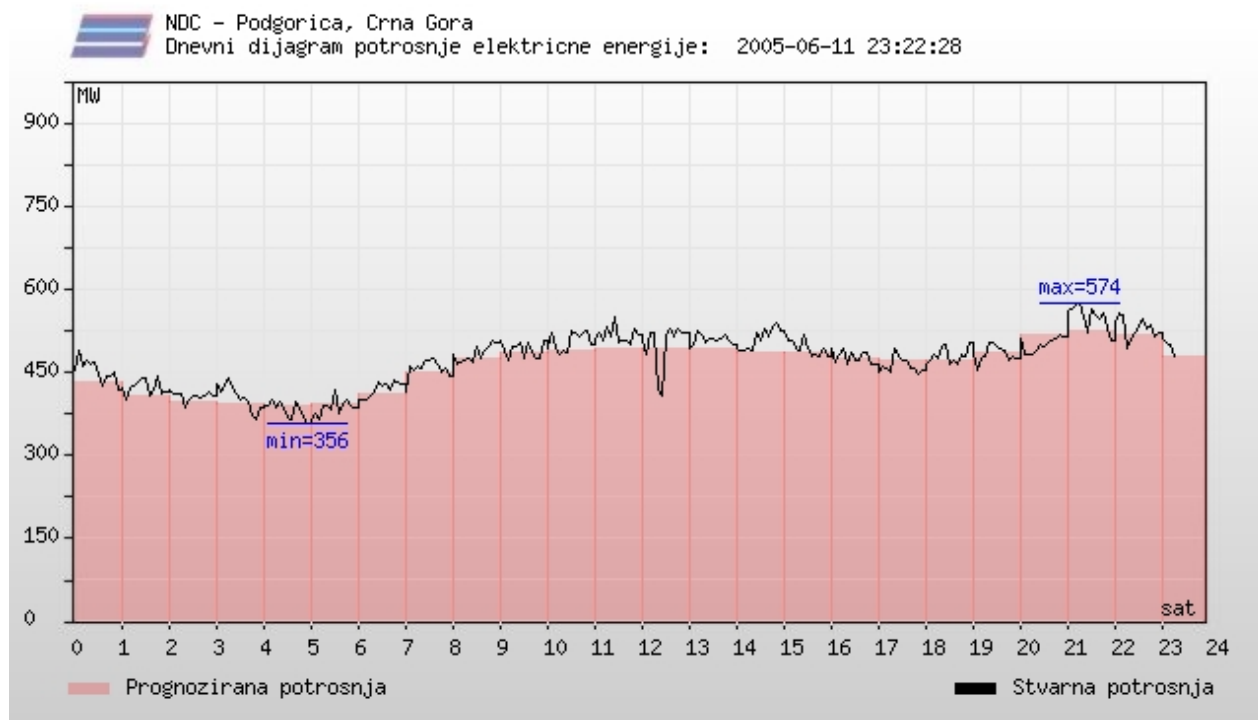
Na kraju, obavlja se ažuriranje tabele [konzum_satni] i upis zadnje primljenog vremena u tabelu [vrijeme].

6. GRAFIČKI PRIKAZ REZULTATA APLIKACIJE

GUI je napravljen uz pomoć GD toolkita, open source izvorne biblioteke koda programskog jezika C, prilagođenog za rad u PHP okruženju, prvenstveno namjenjenog za kreiranje grafičkih objekata. Data biblioteka sadrži mnoge predefinisane funkcije, GD rutine, koje mogu biti pozvane direktno iz PHP koda, te je na taj način veoma lako kreirati nove prazne grafičke objekte ili učitati i iskoristiti već postojeće grafičke fajlove. Osim toga, nakon završetka obrade novokreiranog grafičkog objekta, isti se šalje u web browser i konvertuje u standardni grafički format (JPEG, GIF, PNG). Novi objekat je takođe moguće snimiti na hard disk kao novi fajl. Zbog činjenice da je čitav proces kreiranja krajnjeg grafič-

kog fajla pod kontrolom programera, on-the-fly dinamički finalni proizvod može biti prilično kompleksan i zavisn od bilo koje promjenjive definisane u PHP kodu. GD se najčešće koristi prilikom izrade dijagrama, grafika i slika, i to za njihovo kreiranje „u letu”. Upotreba date biblioteke nije ograničena samo na web, mada se najčešće koristi upravo za te svrhe. Sledeći korak je prikazivanje slike u browseru. Da bi se to postiglo, potrebno je poslati HTTP zaglavlje web browseru prije podataka definisanih za kreiranje slike.

Nakon što korisnik pristupi početnoj strani aplikacije za prikazivanje konzuma, pojavljuje se prikaz dnevne prognozirane satne potrošnje električne energije (blokovi crvene boje izraženi u MWh) i stvarna potrošnja električne energije za tekući dan do trenutka učitavanja stranice (izlomljena crna linija). Na x-osi su prikazani sati tekućeg dana, a po y-osi snaga potrošnje izražena u MW. Dijagram prikazan na slici 6 odnosi se na 11. jun 2005. godine, sa podacima do 23 h i 22 min. Na slici se može primjetiti kratkotrajni nagli pad potrošnje u periodu 12:24 – 12:31 registrovan u dispečerskom dnevniku kao kratkotrajni izlazak iz pogona serije A u Kombinat Aluminijuma (snaga oko 100 MW), Podgorica. Osim toga, primjećuju se i nagle oscilacije konzuma u periodu maksimalne potrošnje električne energije, od 21:00 do 23:00 h. Sivom bojom su takođe naznačeni minimalna i maksimalna potro-



Slika 6. Dnevni dijagram potrošnje električne energije

šnja na nivou Republike u toku dana do posmatranog trenutka. Odmah ispod grafika prikazana je i minimalna i maksimalna potrošnja u toku tekućeg sata. Ako se korisnik nalazi na datoj web stranici više od 5 minuta, dolazi do njenog automatskog osvježavanja (ponovnog učitavanja najsvježijih podataka o konzumu, kao i proračuna maksimalne i minimalne potrošnje) i iscrtavanja dijagrama. Nakon što započne novi dan dolazi do proračuna prosječne satne potrošnje za upravo završeni dan, i upisivanja datih podataka u bazu. Na taj način se formira „glatka” kriva stvarne dnevne potrošnje električne energije. Podacima o potrošnji za protekle dane veoma je lako pristupiti pomoću forme smještene u donjem lijevom uglu početne stranice. Sve što se zahtjeva od korisnika je unos željenog dana u formatu yyyy-dd-mm. Ako korisnik greškom unese pogrešan format datuma, ili datum koji ne postoji u bazi, odgovarajuća poruka će biti prikazana. U desnom donjem uglu naslovne strane nalazi se kratak opis osnovnih podataka prikazanih na dijagramu potrošnje električne energije.

Na početnoj strani se takođe nalazi forma sa padajućim (drop-down) menijem, pomoću kojeg je korisniku omogućeno da izabere mjesec i godinu, i na taj način, dobije mjesečnu potrošnju električne energije na nivou Republike Crne Gore, u dnevnoj rezoluciji. Jedan takav dijagram, za mjesec jun, je prikazan na slici 7. Blokovi sive boje predstavljaju dnevnu

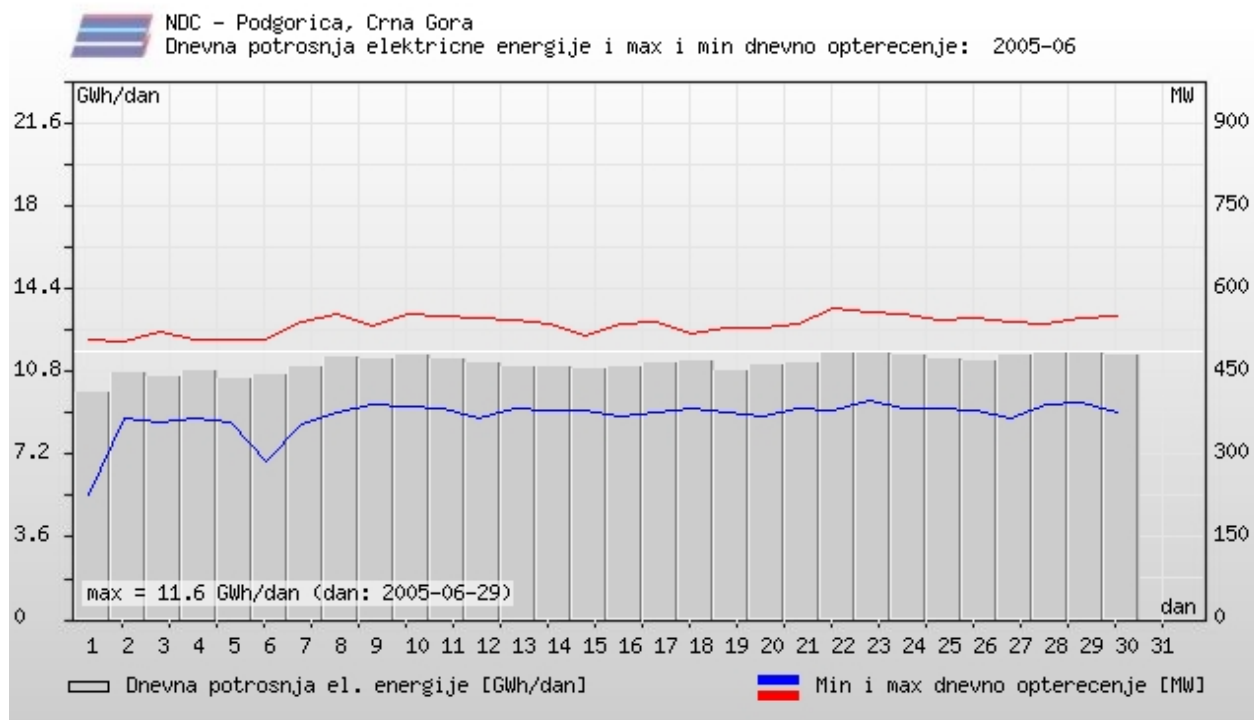
potrošnju električne energije (GWh), dok gornja i donja kriva predstavljaju maksimalno i minimalno dnevno opterećenje (MW), respektivno. Sa slike se vidi da je maksimalna potrošnja električne energije u Crnoj Gori zabilježena 29. juna i iznosila je 11,6 GWh.

Ono što se primjećuje na datoj slici je znatno povećanje potrošnje električne energije u periodu od 6. do 8. juna, što je uslovljeno meteorološkom anomalijom za ovo doba godine i prosječnim padom temperature od 15 °C na nivou Republike.

Takav trend potrošnje se zadržao narednih par dana, zatim slijedi smanjenje potrošnje, a zatim ponovo nagli skok i to ovaj put prouzrokovan velikim temperaturama u svim većim gradovima Crne Gore, i angažovanjem klima-uređaja (značajnih potrošača aktivne, ali isto tako i reaktivne energije).

7. ZAKLJUČCI

Izradom ove real-time SCADA-web aplikacije, postignuto je više ciljeva. Na prvom mjestu ispunjen je ETSO (European Transmission System Operators) zahtjev da svi operatori prenosnog sistema (TSO) moraju na svojim web lokacijama prezentirati dva osnovna real-time podatka o svom konzumu: stvarni i planirani. Zatim, svim zainteresovanim korisnicima je omogućeno da, upotrebom samo web browsera umjesto skupog softvera, dobiju odgova-



Slika 7. Dijagram mjesečne potrošnje električne energije u dnevnoj rezoluciji

rajuće izvještaje o potrošnji električne energije (**web URL: <http://www.tso-epcg.com/konzum.html>**). Dati podaci mogu biti iskorišteni za veoma brzu uporednu analizu tekućeg konzuma u odnosu na planirani konzum, u odnosu na prethodni dan, sedmicu itd. Nikakva dodatna instalacija softvera nije potrebna, a pristup podacima je omogućen 24 časa dnevno sa bilo koje lokacije.

Po prvi put u jugoistočnoj Evropi, u sklopu jednog elektroprivrednog preduzeća, uz korišćenje „state-of-the art” tehnologije, svim zainteresovanim korisnicima je putem interneta omogućen trenutni uvid u najvažniji „živi” podatak o radu jednog EES-a.

Kao nadogradnja date aplikacije, planira se uvođenje šifrom zaštićenih naloga, te na taj način već predefinisanim korisnicima dozvoliti pristup određenim vrstama podataka (proizvodnja elektra- na, razmjena po interkonektivnim dalekovodima itd).

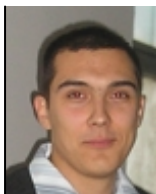
8. LITERATURA

- [1] MS VISUAL BASIC 6.0 PROFESSIONAL EDITION – USER’S & PROGRAMMING GUIDE, Microsoft Corporation, 1998.
- [2] Converse T., Park J., Morgan C., PHP5 AND MYSQL BIBLE, Wiley Publishing Inc. 2004 pp. 775 – 797.
- [3] Bill McCarty, PHP4, A BEGINNER’S GUIDE, Osborne / McGraw-Hill, 2001.
- [4] Walker M., Cox R., Anders N., INSTANT PHP4, Osborne / McGraw-Hill, 2001.
- [5] Stojković B., PROJEKT SCADA SISTEMA ZA DC EPCG, RJ „Upravljanje EES”, EPCG, Podgorica, decembar 1999.
- [6] Stojković B., SCADA SISTEM U DISPECERSKOM CENTRU EPCG – KARAKTERISTIKE I REALIZACIJA, 10. Simpozijum Juko Cigre: Upravljanje i Telekomunikacije u EES-u, H. Novi 2000.
- [7] Stojkovic B., SCADA & AGC SYSTEM IN ELECTRIC POWER COMPANY OF MONTENEGRO – AN INNOVATIVE OBJECT-ORIENTED SOLUTION FOR A COST EFFECTIVE OVERALL CONTROL, Proceedings of European CIGRE Regional Meeting, Suceava, Romania, june 2001., pp.25-31
- [8] Stojković B., SATELITSKA SINHRONIZACIJA TACNOG VREMENA U ELEKTROENERGETSKIM SISTEMIMA, „Elektroprivreda” br. 60, Nikšić, jun 2002. godine.
- [9] Stojkovic B., Vujosevic I., AN ALTERNATIVE SCADA SYSTEM DEVELOPMENT APPROACH FOR A SMALLER SIZE ELECTRIC POWER SYSTEM CONTROL, Proceedings of IEEE PES WM 2002, New York, USA, jan. 2002. pp.num. 02WM019
- [10] Stojković B., AN ORIGINAL APPROACH FOR LOAD-FREQUENCY CONTROL – THE WINNING SOLUTION IN THE SECOND UCTE SYNCHRONOUS ZONE, Electric Power Systems Research (EPSR) no.69 (2004),pp. 59-68, Elsevier B.V.2003.
- [11] Stojkovic B., AN EFFICIENT APPROACH FOR THE LOAD-FREQUENCY CONTROL AND ITS ROLE UNDER THE CONDITIONS OF DEREGULATED ENVIRONMENT, European Transactions on Electrical Power, (ETEP), 2005;15:1-13, John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, UK, 2005.
- [12] Internet and Market Information: OVERVIEW OF SEE TSOS’ WEBSITES – DRAFT VERSION 3rd Feb 2005, Document issued by SETSO Sub Group
- [13] Elmasri R. and Navathe S., FUNDAMENTALS OF DATABASE SYSTEMS, 2nd edition, The Benjamin / Cummings Publishing Co., 1994.
- [14] Gilmore W. J., AN INTRODUCTION TO DATABASE NORMALIZATION, Developer Shed, Inc., 1997.
- [15] TEHNIČKO RJEŠENJE REORGANIZACIJE RAČUNARSKE MREŽE NACIONALNOG DISPECERSKOG CENTRA EPCG, Podgorica, 2005.
- [16] Paroški M., Krstić P., ZAŠTITA PRISTUPA ARHIVSKOM WEB SERVERU, Juko Cigre 11. Simpozijum: Upravljanje i Telekomunikacije u EES-u, H. Novi 2002.
- [17] Paroški M., Krstić P., SCADA ARHIVA NA WEB-U, Juko Cigre 11. Simpozijum: Upravljanje i Telekomunikacije u EES-u, H. Novi 2002.

Rad je primljen u uredništvo 13. 08. 2005. godine



Branko Stojković je rođen u Podgorici, Crna Gora, 22. Decembra 1955. godine. Diplomirao je 1980. godine na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta Crne Gore, a magistrirao i doktorirao na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu i Podgorici, 1989. i 2003. godine, respektivno. Zaposlen je u Elektroprivredi Crne Gore – Nacionalni Dispečerski Centar, na mjestu direktora tog centra. Oblasti stručnog interesovanja: tržište električne energije, primjena računara u upravljanju EES. Autor je preko 30 radova u domaćim i stranim stručnim časopisima, kao i knjige iz oblasti deregulacije tržišta električne energije. Član je izvršnog komiteta SUDEL-a. Njegova e-mail adresa: **vibas@cg.yu**.



Milan Vukasović je rođen u Sarajevu, Bosna i Hercegovina, 26. oktobra 1981. godine. Diplomirao je na Elektrotehničkom fakultetu u Podgorici, 2004. godine. Trenutno je student postdiplomskih studija na Elektrotehničkom fakultetu u Podgorici, odsjek za elektroenergetske sisteme. Zaposlen je u Elektroprivredi Crne Gore – Nacionalni Dispečerski Centar. Glavne oblasti interesovanja odnose se na tržište električne energije, relejnu zaštitu i primjenu računara u energetici. Njegova e-mail adresa: **milanv@cg.yu**

Ljubo Knežević

Primjena novog sistema za automatsko daljinsko očitavanje brojila u Elektroprivredi Crne Gore

Stručni rad

UDK: 621.31; 53.08; 528.83; 681.2.08; 528.85

Rezime:

Sistem za automatsko daljinsko očitavanje brojila (AMR sistem) u Nacionalnom dispečerskom centru u Podgorici zvanično je pušten u rad 01. 05. 2005. godine, čime je elektroenergetski sistem kojim ovaj Centar upravlja, dobio najsavremeniju infrastrukturu za kontrolu i obračun tokova električne energije u ovom dijelu Evrope. U radu će biti ukratko prezentovane osnovne karakteristike novog AMR sistema, njegovo povezivanje sa postojećim sistemom, kao i prva zapažanja iz početnog perioda primjene.

Ključne reči: AMR, SCADA, baza podataka, SQL

Abstract:

IMPLEMENTATION OF NEW AUTOMATED METER READING IN ELECTRIC POWER COMPANY OF MONTENEGRO

Automated Meter Reading (AMR) system is officially in use in National Dispatching Center in Podgorica since May, 1st 2005. After that date, electric power system controlled from this Center became the best equipped system for billing and monitoring of power flows in this part of Europe. This paper will briefly present basic features of new AMR system and its connection with existing system, as well as impressions based on first several months of use.

Key words: AMR, SCADA, data base, SQL

1. UVOD

AMR (Automated Meter Reading) system, odnosno Sistem za automatsko očitavanje brojila je skup mjerne, komunikacione i računarske opreme i softvera koji omogućava mjerenje parametara isporučene električne energije na mjernim mjestima, te prenos, skladištenje i obradu informacija o istim na udaljenoj lokaciji. Njegova primjena u elektroenergetskim sistemima je višestruka, a u konkretnom slučaju operatoru prenosne mreže omogućeno je:

- precizno i brzo obavještanje o isporučenoj električnoj energiji u čvorovima od interesa (krajevi interkonektivnih vodova, tačke razdvajanja sa distributivnom mrežom, tačke priključenja direktnih potrošača, pragovi elektrana),
- povećanje pouzdanosti polaznih podataka za kratkoročne prognoze potrošnje električne energije;
- pravovremeno reagovanje na neusaglašenost mjerenja sa mjerenjima drugih operatora i subjekata u sistemu,
- prikupljanje detaljnih informacija o kvalitetu isporučene ili primljene električne energije - naponi,

Ljubo Knežević, dipl. ing. el.

– Elektroprivreda Crne Gore, Funkcionalna cjelina Prenos, Nacionalni dispečerski centar, 81 000 Podgorica, Moskovska 39

- struje, frekvencija, faktor snage, broj prekida napajanja...,
- dugoročna prognoza i planiranje na osnovu velikog broja podataka o ponašanju sistema u periodu koji obuhvata primjena AMR-a,
- jednostavan obračun preuzete električne energije i drugih mogućih tarifnih elemenata (obračunska snaga, trajanje vršne snage, odnos tarifa...) i gotovo automatska priprema standardizovanih izvještaja za određene vremenske intervale i
- niz drugih primjena baze podataka koja može sadržati sve značajne informacije o tokovima i kvalitetu energije u sistemu u rezoluciji od 1 do 60 min.

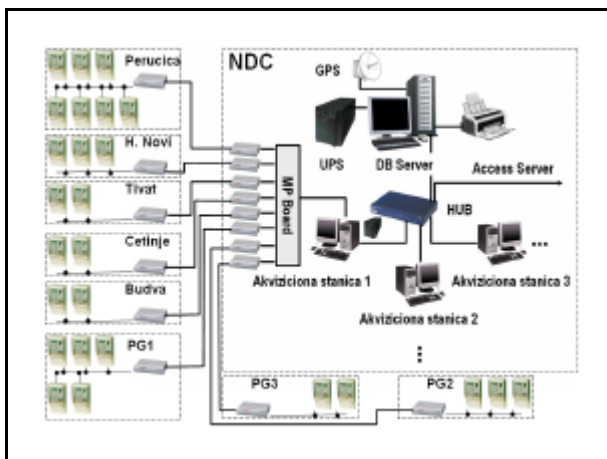
Implementacija AMR sistema u Nacionalnom dispečerskom centru Elektroprivrede Crne Gore završena je početkom 2005. godine, čime je prenosna mreža crnogorskog elektroenergetskog sistema dobila najbolju infrastrukturu za automatizovani obračun električne energije u ovom dijelu Evrope. Informacijama o tokovima snaga u EES-u Crne Gore, koje u realnom vremenu pristižu u Nacionalni Dispečerski Centar u Podgorici, zahvaljujući prethodno implementiranom SCADA sistemu, dodate su, od prethodnih potpuno nezavisno dobijene, informacije o tokovima električne energije iz svih objekata prenosne mreže i velikih proizvodnih objekata u sistemu. Zbog prirode ovako pristiglih podataka moguće je vršiti njihova poređenja, a zbog različitih namjena SCADA i AMR sistema prirodno je pretpostaviti da će ta poređenja otkriti određene razlike (SCADA sistem pruža informaciju o stanju u sistemu u realnom vremenu, te je akcenat stavljen na brzinu pristizanja najvažnijih informacija u Centar, dok AMR sistem prvenstveno omogućava obračun električne energije, pa je kod njega preciznost u prvom planu). Ovako je postignuto međusobno „potpomaganje” ovih sistema u cilju dodatnog povećanja pouzdanosti i raspoloživosti informacija u Centru, premda oba sistema posjeduju sopstvene zaštitne mehanizme.

Savremene metode upravljanja zasnivaju se na raspoloživosti i kvalitetu informacija. Konkretno, u slučaju elektroenergetskih sistema kombinacija SCADA i AMR sistema predstavlja glavni izvor informacija za sve vidove upravljanja, odvijalo se ono na osnovu odluka donešenih u realnom vremenu, u periodu operativnog planiranja, ili kao posljedica studijskih analiza.

2. ELEMENTI IMPLEMENTIRANOG AMR SISTEMA

Fizički, ovaj sistem za automatsko očitavanje brojila čine 64 brojila, koja su preko pripadajućih modema i telekomunikacionih linija povezani na tri

akvizicione stanice i centralni DB Server dalje povezan na lokalnu računarsku mrežu u NDC-u (na slici 1 dat je dio AMR sistema sa DB serverom, akvizicionim stanicama i brojlama povezanim na jednu od akvizicionih stanica). Generalno, prema lociranosti elemenata, AMR sistem moguće je podijeliti na tri dijela [4] – brojila sa odgovarajućim interfejsima, komunikacioni sistem (distribuirani elementi) i centralni dio sistema smješten u objektu glavnog korisnika usluga AMR-a (akvizicione stanice i interfejsi, server baze podataka i lokalni linkovi).



Slika 1. Šematski prikaz dijela AMR Sistema smještenog u zgradi NDC-a zajedno sa pripadajućim brojlama jedne akvizicione stanice distribuiranim u objektima prenosne mreže

2.1. Brojila i komunikacioni sistem

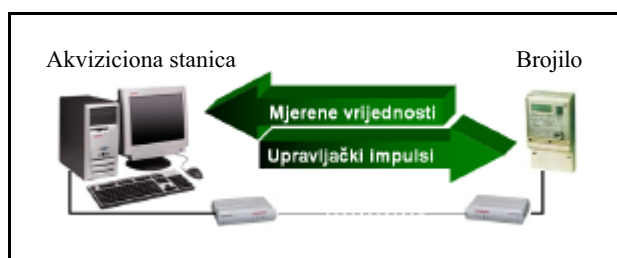
Primijenjena brojila su mikroprocesorskog tipa (višefazna elektronska brojila sa integralnim registratorom za mjerenje električne energije), a omogućavaju mjerenja aktivne, reaktivne i prividne snage, vrijednosti napona, struje i frekvencije. Posjeduju registar zbivanja, softver za očitavanje i programiranje, koji im daje mogućnost programiranja do 4 tarife za energiju. Brojila omogućavaju lokalno skladištenje podataka, a moguće je i blokiranje programiranja primjenom fizičke plombe. Postavljena su na svim interkonektivnim dalekovodima, pragovima elektrana, transformatorima koji se graniče sa distributivnom mrežom i tačkama priključka velikih potrošača.

Zbog dispozicione razuđenosti povezivanje na centralni dio sistema u početku je vršeno različitim komunikacionim medijumima, što brojila dozvoljavaju, ali je u kasnijim fazama implementacije prenos podataka putem optičkih vlakana postao dominantan, zbog niza prednosti, koje ovaj medijum nudi operatoru prenosne mreže, što sa aspekta kvaliteta signala i bezbjednosti, što zbog manje zavisnosti od

telekomunikacionih kompanija i rijedeg saobraćaja [5]. Fleksibilnost sistema u pogledu mogućih načina prenosa podataka korišćena je u svega nekoliko slučajeva, odnosno, mjerenja iz dvije TS dobijaju se putem GSM mreže. Sa aspekta brojila, brzina komunikacije može se podešavati od 300 b/s do 9 600 b/s.

2.2. Akvizicione stanice i DB server

Prikupljanje podataka sa brojila moguće je vršiti ručno, automatski i pomoćnim fajlovima (*.ri3 - fajlovi u koje program instaliran na brojilu smješta sve relevantne podatke) preko prenosivih računara. Ovdje će biti riječi o automatskom, daljinskom očitavanju brojila, jer je to osnovni režim rada AMR sistema (slika 2). Ručno prikupljanje podataka i importovanje



Slika 2. Veza između brojila i akvizicione stanice

pomoćnih fajlova mogu biti od koristi u početnim fazama implementacije sistema ili u slučaju dužeg prekida komunikacionih linija, premda postoji mogućnost davanja naloga za daljinsko očitavanje podataka sa brojila za duži vremenski period unazad, te se druga dva metoda najčešće mogu izbjeći.

Brojila su u približno jednakom broju raspodijeljena na tri akvizicione stanice, koje iniciraju automatsko daljinsko očitavanje. Softver za prikupljanje podataka na serveru za očitavanje (akvizicionoj stanici) omogućava daljinsko očitavanje na zahtjev korisnika i automatsko očitavanje u skladu sa predefinisanim rasporedom. U konkretnom slučaju, najveći dio brojila očitava se automatski petnaestominutno, što omogućava vrlo brzo dobijanje informacija najveće tačnosti o razmjeni energije u sistemu. U situaciji gdje kvalitet veze, tj. cijena usluga, ne dozvoljava komunikaciju sa brojilom svakih 15 min očitavanje se vrši rjeđe, ali pristigli podaci imaju petnaestominutnu vremensku rezoluciju. Ovaj vremenski okvir i rezolucija podatka očitano sa brojila (vrijednost u kWh) zadovoljavaju najstrožije kriterijumima UCTE-a [7]. U slučaju potrebe, trenutno podešeni vremenski okvir moguće je prilagoditi još oštrijim zahtjevima ili promijeniti na bilo koju vrijednost od 1 min do 60 min.

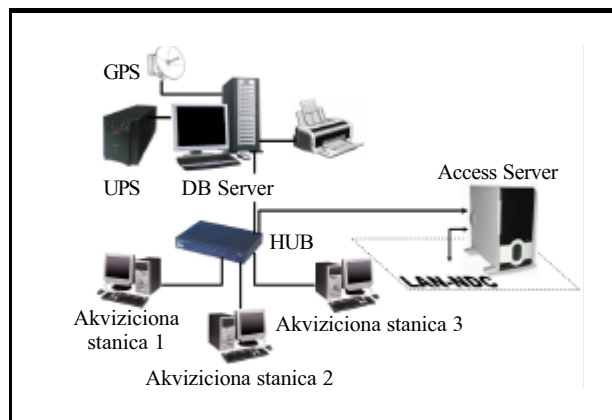
Očitavanje brojila se vrši simultano, preko svih serijskih portova na kojima su definisane komunikacione linije. U toku očitavanja, ako je potrebno,

akviziciona stanica šalje nalog za sinhronizaciju vremena na brojilu sa vremenskom osnovom na serveru koja je kontrolisana GPS-om.

Podaci prikupljeni sa brojila skladište se u bazi podataka. Za slučaj manjih sistema, akviziciona stanica može ujedno biti i računar na kom će se skladištiti podaci. Ovdje se, međutim, podaci usmjeravaju prema DB serveru (slika 3). Server na kom se nalazi baza podataka može biti zasebna mašina, koja služi isključivo za skladištenje podatka, a može se koristiti i kao server za izradu izvještaja. U konkretnoj realizaciji DB server se koristi za izradu mjesečnih i izvještaja manje učestalosti, dok se dnevni izvještaji dobijaju na posebnoj mašini, a na osnovu podataka sa DB servera (poglavlje 3). Ovim je DB server u velikoj mjeri rasterećen procesa koji nijesu u direktnoj vezi sa akvizicijom i skladištenjem podataka.

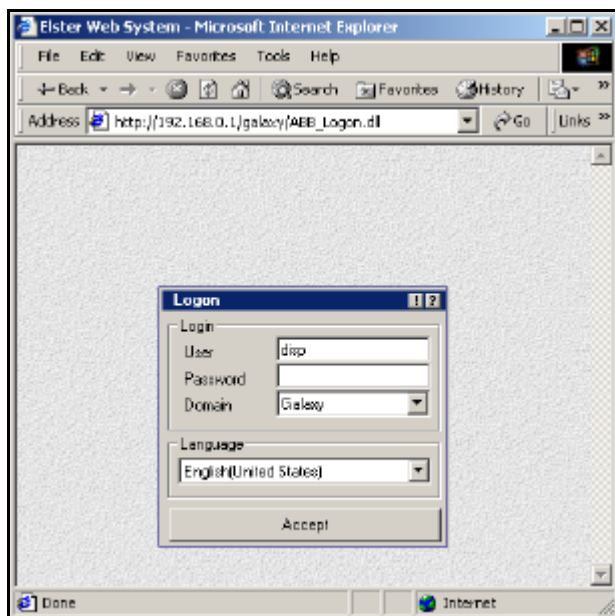
Softver koji je isporučen sa sistemom obezbjeđuje dobijanje standardnih izvještaja koje je definisao proizvođač, kao i izvještaja definisanih od strane korisnika. Izuzetna pogodnost aplikacije za izradu izvještaja je što se isti u konačnom dobija kao HTML stranica, čime je omogućeno primjenom Web servera pružati poslovnim partnerima informacije putem Interneta (TCP/IP protokol) ili dijeliti informacije u okviru lokalne mreže, što je trenutno i primijenjeno u lokalnoj računarskoj mreži u NDC-u. Na DB serveru, koji ujedno pruža i usluge *Internet Information Servera* (IIS), prethodno se definišu profili, odnosno skupovi prava pristupa, koji se kasnije dodjeljuju pojedinim korisnicima. Time se kontroliše pristup korisnika (dozvoljava ili zabranjuje pristup sa određenih IP adresa), ali se vrši i selektivna distribucija podataka različitim korisnicima.

Primjera radi, računar u kontrolnoj dispečerskoj sali NDC-a ima pristup centralnom AMR serveru, a dodijeljeni profil obezbjeđuje mu podatke grupisane u četiri glavne tabele - tzv. *Velike i Male liste*. Na sli-

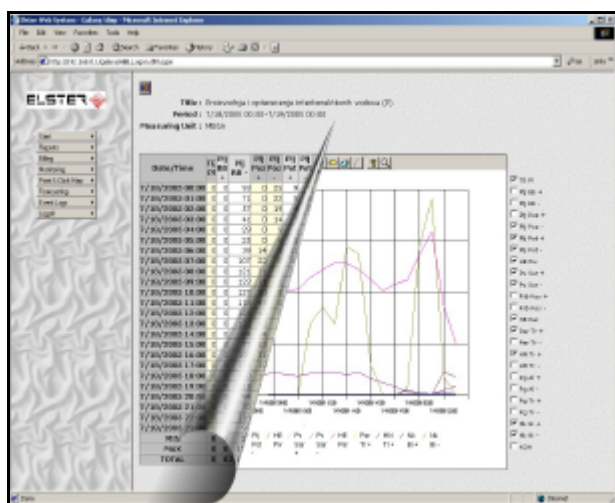


Slika 3. Centralni dio AMR sistema i veza sa lokalnom računarskom mrežom (NDC-LAN)

ci 4 je dat izgled prozora *Internet Explorer-a* nakon otvaranja početne strane (konkretno - http://DBserver/galaxy/ABB_logon), koja služi za autorizaciju.



Slika 4. Pristup centralnom serveru AMR sistema pomoću Internet Explorer-a i identifikacija korisnika



Slika 5. Forme izvještaja – tabelarni i grafički prikazi

Nakon identifikacije, korisnik od ponuđenih izvještaja odabira željeni, za odgovarajući vremenski period. Izvještaj može biti dat u tabelarnom ili grafičkom obliku (slika 5).

Dodatna pogodnost je činjenica da su svi podaci smješteni u SQL bazi potadataka (softversku platformu DB servera čine *Microsoft Windows 2000 Server Srvce pack 4* i *Microsoft SQL Server 2000 Service Pack 3*). Zahvaljujući tome, ograničenja ko-

ja eventualno, zbog raznovrsnosti tarifnih sistema, može postaviti softver za izradu izvještaja, jednostavno se izbjegavaju izradom upita, direktno u bazi. Time mogućnost kombinovanja podataka u bazi u cilju vršenja analiza ostaje ograničena jedino nivoom poznavanja mogućnosti SQL-upita.

Primjenom direktnih upita na bazu, načinjenih od svega par linija koda, moguće je dobiti i izvještaje koje standardne, ugrađene procedure za njihovu izradu ne predviđaju. Tako recimo komande:

```
USE AMR
DECLARE @vri datetime
SET @vri =
(SELECT top 1 vrijeme
FROM snage
GROUP BY vrijeme
ORDER BY sum(pisp) DESC)
```

```
SELECT ime, vrijeme, pisp
FROM snage
```

```
WHERE vrijeme=@vri
```

izvlače iz baze podataka (nazvane AMR) informacije o vremenu (lokalna promjenljiva *@vri*, tipa *datetime*) maksimalnog petnaestominutnog opterećenja (kolona „*pisp*” u tabeli „*snage*”) u sistemu i spisak opterećenja pojedinačnih potrošača u tom vremenskom intervalu. Na slici 6 je data rezultujuća tabela.

ime	vrijeme	pisp
pgl1	2005-01-05 15:00:00.000	15
pgl3	2005-01-05 15:00:00.000	30
pgl4	2005-01-05 15:00:00.000	18
ksp	2005-01-05 15:00:00.000	215
zto	2005-01-05 15:00:00.000	8
zwi	2005-01-05 15:00:00.000	40
pvl	2005-01-05 15:00:00.000	20
ntk	2005-01-05 15:00:00.000	18

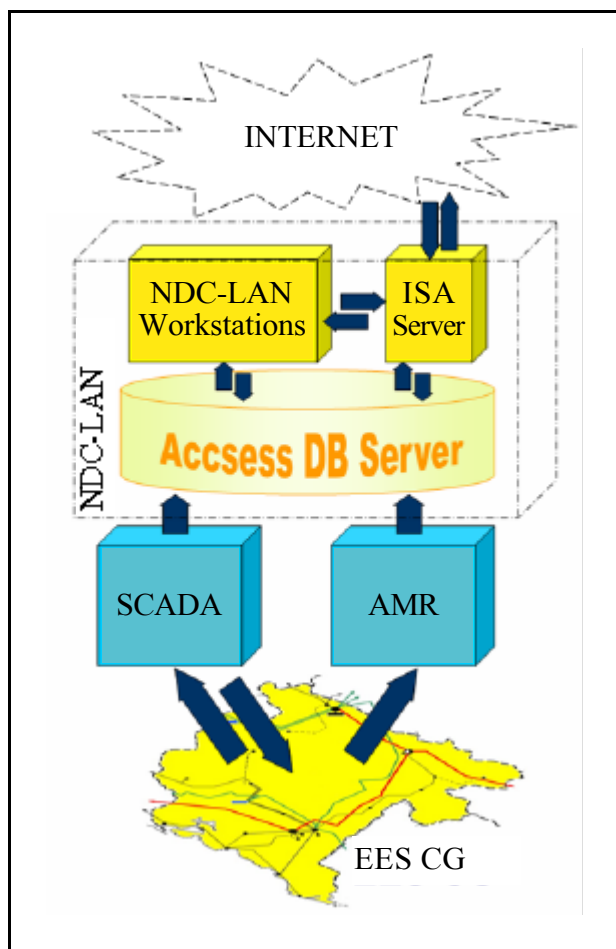
Slika 6. Tabela dobijena upitom iz prethodnog primjera

Primjenom SQL 2000 alata, u Centru je razvijena čitava biblioteka specifičnih procedura sa SQL upitima, koje obavljaju raznovrsne pretrage i kreiraju niz izvještaja za potrebe NDC-a. Ovdje je još interesantno napomenuti da se, zbog već implementiranog IIS-a na SQL serveru, standardizovani upiti, slični ovom iz prethodnog primjera, proistekli iz potreba periodičnih analiza u Centru, mogu iskoristiti za izradu interaktivnih izvještaja u obliku HTML stranica i približiti širem krugu korisnika. Time se isporučena aplikacija za izradu izvještaja može dopuniti, a cio sistem dodatno prilagoditi potrebama konkretnog korisnika.

Osim mogućnosti generisanja izveštaja softver posjeduje i aplikaciju za prognozu konzuma, baziranu na principu „self-learning” neuronske mreže. Naravno, kvalitet prognoze, pored primijenjene metode i tipa ulaznih promjenljivih, najviše zavisi od perioda za koji su u bazi prikupljeni podaci, te se u početnoj fazi korišćenja AMR sistema ne praktikuje primjena ove opcije.

3. VEZA SA OSTALIM SISTEMIMA U NDC-u

Iz razloga sigurnosti i zaštite SQL server, a time i AMR sistem, je logički izdvojen iz glavne računarske mreže u NDC-u (njegov položaj u upravljačko-informacionoj infrastrukturi ilustruje slika 7). Kako bi podaci bili dostupni personalu iskorišćena je već postojeća, u Centru razvijena, MS Access-ova baza i server koji je u tu svrhu povezan u dvije nezavisne lokalne mreže (mreža sa SQL serverom i NDC-ova lokalna računarska mreža). U Access bazi postoji čitav niz dnevnih izvještaja koji su u upotrebi već du-



Slika 7. Položaj AMR sistema u upravljačko-informacionoj infrastrukturi NDC-a u Podgorici

ži vremenski period, a koristi se i za komunikaciju sa susjednim regulacionim oblastima i koordinacionim centrom. Podaci za odabrani satni interval se periodično, uz nalog operativnog dispečera, automatski prenose sa SQL servera na Access server i postaju dostupni svim korisnicima lokalne mreže. Time je novougrađeni sistem povezan sa provjerenim sistemom, koji je u Centru već postojao, a osnovni nedostatak mu je bio početni korak obrade - ručno unošenje podataka sa mjernih uređaja u EES-u.

Prednost ove koncepcije, sem zaštite podataka u SQL bazi i dvostrukoj sigurnosti, ogleda se u već pomenutom rasterećenju SQL servera od izrade najfrekventnijih izvještaja. Sem toga, nakon poređenja i prihvatanja onih mjerenja iz okolnih sistema gdje se nalaze zvanična mjerna mjesta na interkonektivnim dalekovodima, ne vrši se promjena podataka sopstvenog AMR sistema u SQL bazi, već se ispravke unose u Access bazu. Ona dalje služi za zvaničan obračun neželjenih odstupanja i pružanje dnevnih informacija zaposlenima u NDC-u. Time se izbjegava mijenjanje automatski očitanih podataka sa broji-

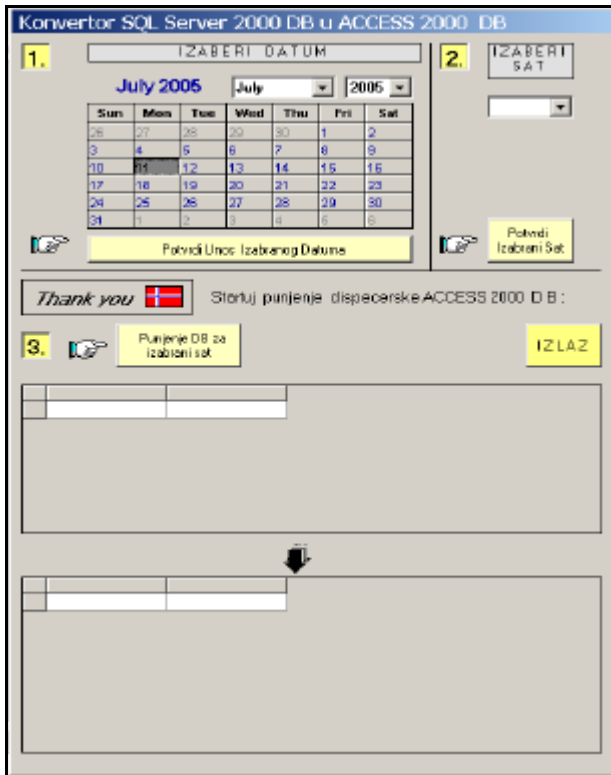
Strogo govoreći, AMR sistem završava se na SQL-serveru. Međutim, server na kom se nalazi Access-ova baza, ovdje očigledno vrši i ulogu servera za izvještaje, koji je teorijski sastavni dio AMR sistema.

Prenos podataka iz SQL baze u Access bazu vrši posebna aplikacija, namjenski razvijena u NDC-u.

4. OPIS APLIKACIJE ZA KONVERZIJU DB

Cilj koji se želio postići aplikacijom za konverziju baze podataka je sledeći: omogućiti operativnom osoblju (smjenskim dispečerima) da na najjednostavniji i najbrži način izvrše punjenje DB na Access serveru podacima (stanjima brojića) koji se prikupljaju pomoću AMR sistema. To, konkretno, znači da se iz SQL 2000 DB koja je rezidentna na AMR IBM serveru, izvrši zahvat podataka za izabrani datum i sat, da se ti podaci konvertuju u format Access 2000 DB, i da se njima napuni odgovarajuća tabela u Access DB. S tim ciljem je i razvijena aplikacija nazvana „Konvertor”, koja se nalazi na Access serveru u kontrolnoj dispečerskoj sali u NDC Podgorica. Vizuelni izgled displeja te aplikacije je dat na slici 8. Aplikacija je razvijena u VB 6.0, korištenjem ActiveX Data Objekata, osobito njihovih Recordset-a. Komunikacija operatera sa programom je krajnje uprošćena, tj. operater izabere datum i sat za koji želi da izvrši unos podataka i pritisne dugme za početak unosa.

Tok samog programa za punjenje DB (uz njenu konverziju) bio bi, u najkraćim crtama, sljedeći :



Slika 8. Vizuelni izgled komandnog displeja aplikacije „Konvertor”

- pristup udaljenoj SQL 2000 DB, tj. njenoj tabeli „Lp”, koja sadrži 15-to minutne vrijednosti aktivnih i reaktivnih energija po pojedinim brojilima, izvršavanje kombinovanog SQL upita nad njom i dobijanje privremenog Recordset-a (virtuelne tabele) koji se sastoji od satnih vrijednosti za aktivne i reaktivne energije (ulazni recordset)
- pristup lokalnoj Access 2000 DB, njenoj tabeli „ostvarenja” i kreiranju odgovarajućeg Recordset-a koji odgovara traženom datumu i satu
- izvršavanje jedne malo kompleksnije procedure nad trećim, kombinovanim, pomoćnim Recordset-om, koji se na kraju te procedure popuni traženim podacima u formatu Access 2000 DB
- izvršavanje „Update” procedure nad recordset-ima i trajan upis novih vrijednosti u Access 2000 DB, nakon čega se svi recordseti trajno brišu

Specifikum procedure je što se mora izvršiti ne samo konverzija formata (iz SQL 2000 u Access 2000 DB), već i to što se mora preći sa petnaesto minutnog na šezdeseto minutni interval, sa strukture po redovima u SQL bazi na strukturu po kolonama u Access bazi, a mora se „savladati” i atipična organizacija potrošača tj. grupisanje po raznim vrstama potrošača (KAP - 2 brojila, ŽTO - 4 grupe po dva brojila itd.). Sve u svemu - čitav postupak očitavanja brojila iz SQL 2000 DB i punjenja Access 2000 DB traje oko 5,5 sekundi po grupi podataka vezanih

za jedan sat. Primjenom ovog programa, drastično je relaksiran dotadašnji proces uzimanja stanja sa brojila iz EES-a, koji je po svojoj prirodi prilično monoton, dosadan i „neinženjerski”.

5. REZULTATI PRIMJENE

Početni period primjene AMR sistema u osnovi obilježava značajno skraćenje vremena i pojednostavljenje postupka prikupljanja podataka sa mjernih uređaja u objektima prenosne mreže. Međutim, efekti ovog unaprjeđenja su znatno veći od, istina nezanemarljivog, olakšanja posla osoblju u Centru i objektima Prenosa, koji su doskora ove podatke unosili ručno. Naime, automatizacija postupka isključila je sve tzv. „grube” greške nastale usljed pogrešnog očitavanja instrumenata, lapsusa pri zapisivanju vrijednosti ili u toku prenošenja podataka telefonskim putem. Ove greške su se, naravno, ranije uglavnom otkrivala – na osnovu poređenja zbirnih vrijednosti, na osnovu poređenja sa pokazivanjima SCADA-e i sličnim metodama, ali je to zahtijevalo dodatno vrijeme.

Nedostatak dovoljnog broja podataka za primjenu implementirane aplikacije za prognozu konzuma, u početnom periodu primjene, prevaziđen je primjenom opisane veze sa „starom” bazom. Time su automatski očitani podaci dobili staru, „standardnu” formu i zamijenili ručno unesene na mjestu polaznih informacija za prognozu konzuma, u praksi provjerenim metodama. Ovdje je do izražaja došla fleksibilnost ugrađenog AMR sistema, i njegova otvorenost za intervencije u cilju prilagođavanja specifičnostima konkretnog korisnika.

Primjena izvještaja i upita, uz veoma visoku rezoluciju i najvišu tačnost podataka u bazi umnogome su olakšali i ubrzali postupak obračuna, povećavajući pouzdanost proračuna pojedinih stavki (npr. učešće u petnaestominutnom vršnom opterećenju sistema).

Značajno je i to što je AMR sistem omogućio višestruko uvećanje preciznosti podataka vezanih za kraće vremenske intervale (satno), koji su osnova za proračun odstupanja. To je ranije zanemarivano zahvaljujući činjenici da vremenska kašnjenja od par minuta pri očitavanju gube uticaj na mjesečnom nivou (na kom se i vrše obračuni vezani za naplatu). Raniji metod očitavanja nije mogao obezbijediti ni apsolutno istovremeno uzimanje podataka sa svih brojila u sistemu, što je polazna pretpostavka za proračun nekih vrijednosti. Sem toga, tendencija usitnjavanja vremenskog okvira i rezolucije podatka koja je prisutna u UCTE preporukama, čini ručno uzimanje podataka gotovo nemogućim.

6. ZAKLJUČAK

Automatizacija postupka očitavanja brojila, visoka rezolucija podataka, vremenska sinhronizacija, mogućnost čuvanja raznovrsnih parametara tokova energije u sistemu, robusnost u odnosu na prekid komunikacija, najviši stepen tačnosti, jednostavnost korišćenja i fleksibilnost u pogledu realizacije i eventualnog naknadnog prilagođavanja, glavne su karakteristike AMR sistema NDC-a Elektroprivrede Crne Gore.

Trenutno, AMR sistemi donose olakšano prikupljanje podataka, povećanu tačnost, bolju osnovu za izradu analiza i jednostavnu pretragu i proračune. Sve ovo utiče na konstantno pooštavanje kriterijuma vezanih za prikupljanje podataka o isporučenoj ili primljenoj električnoj energiji, pa je za očekivati da će uskoro ovakvi sistemi postati obavezno sredstvo za rad operatora prenosne mreže.

Rad je primljen u uredništvo 13. 08. 2005. godine



Ljubo Knežević je rođen u Podgorici, 14. avgusta 1981. godine. Diplomirao je 2004. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Podgorici, odsjek Elektroenergetski sistemi, gdje je trenutno student postdiplomskih studija (oblasti optimizacije, zaštite i pouzdanosti EES-a). Zaposlen u Elektroprivredi Crne Gore - Nacionalni Dispečerski Centar, e-mail adresa – knezeviclj@cg.yu

7. LITERATURA

- [1] AMR SYSTEMS PRESENTATION - Elster Rome-trics S.R.L
- [2] AIN ALPHA BROJILO - Tehnički priručnik TM42-2380 B
- [3] Stojković B., Vujošević I., A COMPACT SCADA SYSTEM FOR A SMALLER SIZE ELECTRIC POWER SYSTEM CONTROL - AN FAST, OBJECT-ORIENTED AND COST-EFFECTIVE APPROACH
- [4] Tamarkin T., AUTOMATIC METER READING, Public Power magazine, Volume 50, Number 5
- [5] McDonald M., Boxer M., OPTICAL FIBER NETWORKS BOOST UTILITIES POWER TO THRIVE, ELECTRIC LIGHT & POWER, July 1997 editionm
- [6] Čalović S., Sarić A., EKSPLOATACIJA ELEKTRO-ENERGETSKIH SISTEMA, Beopres-Beograd 1999.
- [7] UCTE OPERATIVNI PRIRUČNIK - Pravilo 2: Planiranje i obračuni, EKC Beograd, mart 2005.
- [8] Bego V., MJERENJA U ELEKTROTEHNICI, Graphis- Zagreb 2003.

*Dobrivoje Stojanović, Lidija Korunović,
Sladan Jovanović, Andrija Vukašinović i Miroslav Dočić*

Faktor gubitaka na distributivnom području JP „Elektrodistribucija Niš”

Stručni rad
UDK: 621.3.017; 621.316

Rezime:

U radu se predlažu novi koeficijenti u jednačinama za faktor gubitaka koje se koriste za proračun promenljivih gubitaka električne energije u distributivnim mrežama. Koeficijenti su određeni na osnovu statističke obrade podataka o godišnjim dijagramima potrošnje na distributivnom području JP „Elektrodistribucija Niš”. Utvrđene su vrednosti koeficijenata u jednačinama polinomskog i eksponencijalnog oblika. Faktor gubitaka se računa u funkciji faktora opterećenja, koji je značajna karakteristika dijagrama potrošnje. Jednačine sa predloženim koeficijentima su proveravane na mnogim dijagramima potrošnje, kada je ustanovljeno da maksimalna greška ne prelazi 5 % i da je srednja greška ispod jednog procenta. Istovremeno, konstatovano je da standardne jednačine iz literature prave grešku kod proračuna gubitaka energije koja se kreće od 13 % do blizu 30 %.

Ključne reči: *gubici energije, faktor gubitaka, faktor opterećenja, distributivni sistem*

Abstract:

LOSS FACTOR IN DISTRIBUTIVE AREA OF UTILITY „ELEKTRODISTRIBUCIJA NIŠ”

In this paper new coefficients in loss factor equations which are used for calculation of variable energy losses in distribution networks are proposed. These coefficients are found on the base of statistic processing of annual load diagram database in distribution area of the utility „Elektrodistribucija Nis”. Coefficient values are established in the equations of polynomial and exponential form. Loss factor is calculated as a function of load factor, which is significant characteristic of the load diagram. The equations with proposed coefficients have been tested on many load diagrams, when it has been found that maximum error does not exceed 5 % and average error is less than one percentage. At the same time, it has been found that standard formulae from the literature make a mistake in the calculation of energy losses in the range from 13 % to nearly 30 %.

Key words: *energy losses, loss factor, load factor, distribution system*

*Prof. dr Dobrivoje Stojanović, dipl. ing. el., mr Lidija Korunović, dipl. ing. el.
– Elektronski fakultet, 18 000 Niš, Aleksandra Medvedeva 14,
Sladan Jovanović, dipl. ing. el., Andrija Vukašinović, dipl. ing. el. –
„EPS” JP „Elektrodistribucija Niš”, 18 000 Niš, dr Zorana Đinđića 46a,
Miroslav Dočić, dipl. ing. el. – „EPS” JP „Elektrodistribucija Leskovac”, 16 000 Leskovac, Stojana Ljubića 16*

1. UVOD

U procesu prenosa i distribucije električne energije, u svim elementima mreže od izvora do potrošača, na svim naponskim nivoima, neizbežno se javljaju gubici snage i energije. Oni zavise od niza faktora koji se uglavnom svode na stanje mreže i način eksploatacije mreže. Jedan deo gubitaka električne energije je posledica konstruktivnih osobina električnih uređaja i cele mreže i oni se ne mogu izbeći nikakvim merama, dok drugi deo zavisi od načina eksploatacije distributivne mreže. Oba dela se mogu smatrati tehnološkim, odnosno tehničkim gubicima električne energije.

Prema načinu pojave tehnički gubici dele se na:

- gubitke koji zavise od napona ili stalne gubitke i
- gubitke koji zavise od opterećenja ili promenljive gubitke.

Stalni gubici električne energije su uglavnom posledica napona, a prisutni su i u praznom hodu mreže. Javljaju se kao gubici u gvožđu energetskih i mernih transformatora, kao dielektrični gubici u kablovima i kondenzatorskim baterijama i gubici zbog korone i struja odvođenja kroz poprečne admitanse nadzemnih vodova. Polazeći od toga da se napon u mreži održava u relativno uskim granicama, može se smatrati da su gubici snage koji zavise od napona približno konstantni. Ovo omogućava jednostavno određivanje stalnih gubitaka energije za bilo koji period.

Promenljivi gubici električne energije javljaju se, usled proticanja struje, u svim elementima mreže na putu prenosa i distribucije električne energije od njenog izvora do mesta potrošnje. Ovi gubici su proporcionalni kvadratu ukupne struje i najizraženiji su kod vodova i energetskih transformatora. Zadatak skoro svih računskih metoda proračuna gubitaka električne energije jeste što realnije i potpunije određivanje upravo promenljivih gubitaka u mreži, sa ciljem otkrivanja mesta nastajanja najvećih neopravdanih gubitaka i uskih grla u prenosu i distribuciji. Nakon toga preduzimaju se odgovarajuće mere za smanjenje gubitaka i dovođenje mreže što bliže optimalnom tehničko-ekonomskom stanju sa aspekta gubitaka električne energije.

U elektroprivrednim preduzećima gubici električne energije se računaju kao razlika između raspoložive i prodane električne energije i to su tzv. obračunski gubici. Gubici određeni na ovaj način su znatno veći od pomenutih tehničkih gubitaka jer obuhvataju i netehničke, tzv. komercijalne gubitke. Komercijalni gubici su gubici koji se javljaju zbog neregistrovane potrošnje (krađe, neovlašćena priključenja na mrežu, sopstvena potrošnja preduzeća). U ovu grupu spadaju i gubici zbog dozvoljene tole-

rancije u pokazivanju mernih uređaja. Osim toga, obračunski gubici se javljaju i zbog nemogućnosti istovremenog očitavanja svih brojlara.

Problemu proračuna gubitaka električne energije u električnim mrežama posvećen je veliki broj radova, kako u svetu [1–3] tako i kod nas [4–13] u kojima se daju empirijske jednačine (formule) za proračun gubitaka ili se vodi akademska rasprava o njihovoj tačnosti i domenu primene. Sve predložene jednačine za proračun (procenu) gubitaka nastale su kao rezultat statističke obrade raspoloživih podataka o dijagramima opterećenja za dotičnu zemlju ili region. Postojanje mnogih jednačina, samo po sebi, govori da nijedna od njih nije apsolutno tačna i da sve, u većoj ili manjoj meri, uvažavaju specifičnosti dotičnih potrošača. Zbog toga se nijedna od tih jednačina ne može bezrezervno upotrebiti. Osnovna intencija kod proračuna gubitaka energije jeste da se odredi veza između gubitaka energije u nekom vremenskom periodu i maksimalnih gubitaka snage u tom periodu. Na taj način, proračun gubitaka snage samo jednog, maksimalnog, pogonskog stanja omogućuje da se odrede gubici energije sa dovoljnom tačnošću. Formule u analitičkom obliku daju faktor gubitaka (J) ili ekvivalentno vreme maksimalnih gubitaka (t). Između ovih veličina postoji jednoznačna veza.

Ovaj rad odnosi se samo na podgrupu tehničkih gubitaka koji su funkcija opterećenja (promenljivi gubici). Promenljivi gubici mogu se dobro proračunati u delovima elektroenergetskih mreža kao što su distributivne mreže i radijalni prenosni podsistemi zbog jednosmernog toka energije i lako utvrdljivih karakteristika dijagrama potrošnje. Jednačine za proračun gubitaka energije koje su u opticaju na našem području nastale su u prvoj polovini dvadesetog veka, a sredinom veka neznatno su korigovane. Uvažavajući specifičnosti naše mreže, u okviru istraživanja u [4, 5] predložena je metodologija za proračun gubitaka u prenosnim mrežama i utvrđene su jednačine za proračun gubitaka za neka distributivna područja bivše SFRJ. Urađeno je i nekoliko studija gubitaka za prenosne [4–7] i distributivne mreže [8, 9].

Polazeći od činjenice da je u međuvremenu došlo do znatne preraspodele potrošnje po naponskim nivoima i promene strukture potrošnje, autori ovoga rada smatraju da je krajnje vreme da se istraže dijagrami opterećenja i predlože nove jednačine za proračun gubitaka energije. U tu svrhu korišćena je dovoljno velika (desetogodišnja) baza podataka o dijagramima potrošnje za distributivno područje JP „Elektrodistribucija Niš”. Preduzeće snabdeva električnom energijom preko 260 000 potrošača na teritoriji od granice sa Bugarskom do administrativne

granice sa Kosmetom, površine 7 083 km², koja obuhvata tri okruga, 6 gradova i 705 naselja. Velika teritorija, raznorodna struktura naselja i potrošača i dovoljno dug period evidentiranja podataka su pouzdana osnova za utvrđivanje novih koeficijenata u jednačinama za proračun gubitaka.

Počev od 1993. godine sistematski se beleže i arhiviraju podaci o opterećenjima u tačkama kupoprodaje električne energije, koji su dobijeni sa ARES-a. Obradom ovih podataka identifikovani su faktori opterećenja i određeni faktori gubitaka za sve transformatorske stanice u kojima se preuzima električna energija za napajanje potrošača na području JP „Elektrodistribucija Niš”. Faktor gubitaka je iskazan u obliku polinoma drugog reda i u eksponencijalnom obliku. Na kraju, date su srednje vrednosti koeficijenata za petogodišnji period (2000. do 2004. godine) u kome su bile stabilne elektroenergetske prilike. Fitovanjem funkcionalne zavisnosti faktora gubitaka od faktora opterećenja utvrđene su nove vrednosti koeficijenata u jednačinama za proračun gubitaka koje odgovaraju realnim uslovima.

2. METODOLOGIJA PRORAČUNA GUBITAKA

Gubici aktivne energije u vodu otpornosti R pri promenljivoj opterećenju $I(t)$, u periodu T mogu se izračunati po jednačini

$$W = 3R \int_0^T I^2 t dt \quad (1)$$

Ukoliko bi opterećenje bilo konstantno u celom intervalu T , tj. ako je $I(t)=I_m=const$, odgovarajući gubici energije bili bi

$$W_m = 3RI_m^2 T \quad (2)$$

Odnos stvarnih gubitaka koji nastaju usled vremenski promenljive struje i gubitaka koji bi se imali kod konstantne maksimalne struje naziva se *faktor gubitaka*

$$\frac{W}{W_m} = \frac{3R \int_0^T I^2 t dt}{3RI_m^2 T} \quad (3)$$

Ako se pretpostavi da napon i faktor snage ostaju konstantni, tada se faktor gubitaka može izraziti pomoću aktivne snage kao parametra:

$$\frac{W}{W_m} = \frac{\int_0^T P^2 t dt}{P_m^2 T} \quad (4)$$

Polazeći od toga da se u najvećem broju slučajeva raspolaže podatkom o maksimalnoj (vršnoj)

snazi, gubici energije u periodu T sati, saglasno (1) i (2) biće:

$$W = 3RI_m^2 T \quad (5)$$

odnosno

$$W = R \frac{P_m^2}{U_n^2 \cos^2} T \quad (6)$$

Značajna karakteristika dijagrama opterećenja je *faktor opterećenja* koji se definiše kao odnos između ukupno prenete (preuzete) energije i energije koja bi se mogla preneti pri maksimalnom opterećenju u istom vremenskom intervalu

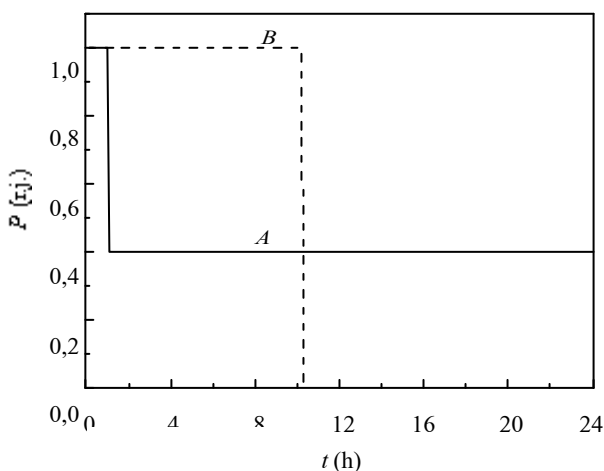
$$m = \frac{W}{P_m T} = \frac{\int_0^T P(t) dt}{P_m T} = \frac{P_{sr}}{P_m} \quad (7)$$

gde je P_{sr} srednja snaga opterećenja u intervalu T .

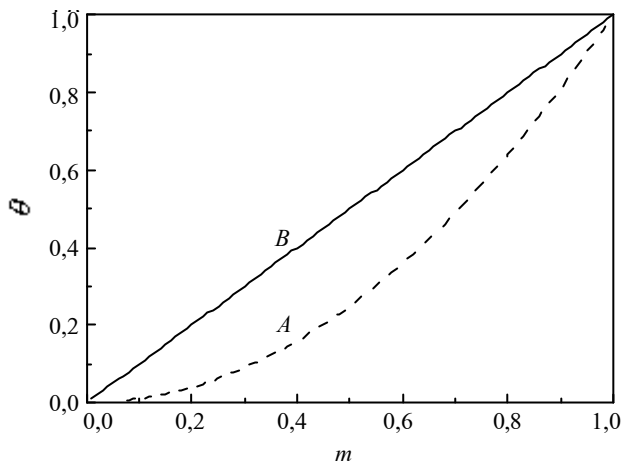
Vrednost faktora opterećenja može se lako odrediti iz dostupnih podataka o prenetoj energiji W i maksimalnoj snazi P_m , npr. iz (7), s obzirom na to da se na mestima kupoprodaje energije redovno ugrađuju brojlara sa maksigrafom. Zbog toga su mnogi istraživači tražili vezu između faktora gubitaka i faktora opterećenja. U literaturi postoji mnogo analitičkih izraza koji daju vezu između ovih veličina. Do njih se dolazi tako što se najpre normalizuje kriva trajanja opterećenja, a potom fitovanjem nalazi odgovarajuća simbolička kriva.

Pokazuje se [10] da faktor gubitaka ima vrednosti u opsegu od m^2 do m , pri čemu donja granica, $J = m^2$, odgovara dijagramu opterećenja A sa slike 1, a gornja granica, $J = m$, dijagramu opterećenja B sa iste slike. Odgovarajuće krive faktora gubitaka prikazane su na slici 2.

Po mišljenju autora ovoga rada, najjednostavnija i za praksu najprihvatljivija funkcija faktora gubitaka je ona koju su predložili Buler (Buller) i Woodrow (Woodrow) u [1]



Slika 1. Dnevni dijagram opterećenja



Slika 2. Granične vrednosti faktora gubitaka

$$mx (1-x)m^2. \quad (8)$$

Problem proračuna gubitaka energije svodi se na određivanje koeficijenta x za tipične dijagrame opterećenja na posmatranom području ili u elektroprivrednom preduzeću. Na osnovu raspoložive baze podataka o dijagramima opterećenja lako se računaju faktor opterećenja i faktor gubitaka, a potom iz (8) i traženi koeficijent, kao

$$x = \frac{m^2}{m^2}. \quad (9)$$

Koristeći normalizovane vrednosti dijagrama opterećenja u periodu od jedne godine, faktor opterećenja računa se prema jednačini (10), a faktor gubitaka prema (11):

$$m = \frac{1}{8760} \int_0^{8760} P_i dt, \quad (10)$$

$$\frac{1}{8760} \int_0^{8760} P_i^2 dt. \quad (11)$$

Ako se dijagram opterećenja izrazi preko odgovarajuće fitovane krive, $f(P)$, faktor opterećenja može se izračunati koristeći jednačinu

$$m = \frac{1}{8760} \int_0^{8760} f(P) dt. \quad (12)$$

Na sličan način računa se faktor gubitaka

$$\frac{1}{8760} \int_0^{8760} f(P_i^2) dt. \quad (13)$$

Faktor gubitaka daje se ponekad u zavisnosti od faktora opterećenja kao eksponencijalna funkcija,

$$m^k. \quad (14)$$

Eksponent k jednostavno se računa ako su prethodno određene vrednosti za J i m , kao

$$k = \frac{\ln J}{\ln m}. \quad (15)$$

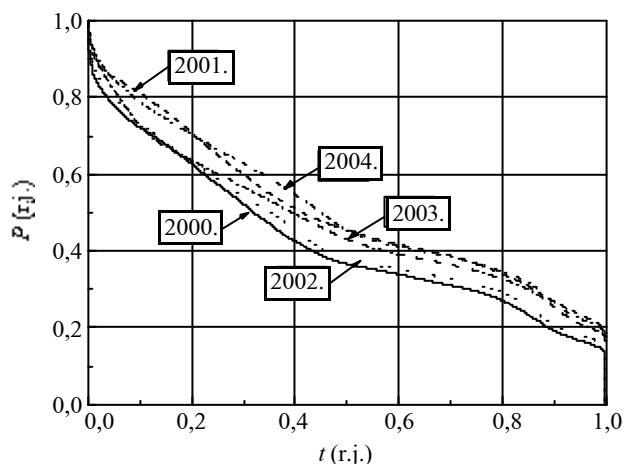
Ukoliko se raspolaže većim brojem merenja na datom području, vrednosti koeficijenta x u jednačini (8) i eksponenta k u jednačini (14) može se odrediti fitovanjem funkcije zavisnosti faktora gubitaka od faktora opterećenja.

3. REZULTATI PRORAČUNA I ANALIZA REZULTATA

Počev od juna 1993. godine, zahvaljujući ugradnji ARES-a, kontinuirano se prati snaga u devet tačaka u kojima se zadržuje JP „Elektrodistribucija Niš”. Tako je stvorena pristojna baza podataka koja omogućuje statističku obradu dijagrama opterećenja na ovom području. U ovom radu prikazani su rezultati obrade podataka o potrošnji u periodu od 2000. do 2004. godine, kada su bile stabilne elektroenergetske prilike. Izučavani su godišnji dijagrami opterećenja za sledećih devet transformatorskih stanica: TS Niš 1, TS Niš 2, TS Niš 3, TS Aleksinac, TS Prokuplje, TS Kuršumlja, TS Pirot 1, TS Pirot 2 i TS Dimitrovgrad.

U TS Niš 2, merenje snage i energije obavlja se na 110 kV, a u ostalim transformatorskim stanicama na 35 kV.

Podaci sa ARES-a se beleže na svakih 15 minuta, tako da je ukupan broj podataka po mernom mestu $4 \times 24 \times 365 = 35\ 040$ za prostu i $4 \times 24 \times 366 = 35\ 136$ za prestupnu godinu.



Slika 3. Godišnji dijagrami trajanja opterećenja za TS Niš 3

Za ilustraciju, na slici 3, prikazani su uređeni normalizovani dijagrami opterećenja (krive trajanja)

za period od 2000-2004. godine u TS 110/35 kV/kV Niš 3, koja napaja uži deo grada Niša. Očigledno, krive trajanja za poslednjih pet godina su veoma bliske, što ukazuje na to da se ovako dobijeni podaci mogu, sa sigurnošću, prihvatiti za duži vremenski period.

Faktor opterećenja i faktor gubitaka računati su saglasno (10) i (11), pri čemu je uvažen stvarni broj tačaka N

$$m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i, \quad (16)$$

i

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i^2. \quad (17)$$

Faktor opterećenja za ovih pet godina kretao se u relativno uskim granicama od 0,426 712 u 2000. godini do 0,508 480 u 2003. godini, što govori o tome da struktura potrošača na ovom području ostaje praktično nepromenjena. U istom periodu, godišnji faktor gubitaka se menjao u rasponu od 0,218 529 do 0,295 632. Male varijacije dijagrama opterećenja u prethodnim godinama ukazuju na to da su ulazni podaci statistički pouzdani te da se isti parametri mogu očekivati i u predstojećem periodu, pa se ovako utvrđeni koeficijenti u jednačinama za proračun gubitaka mogu koristiti sa zadovoljavajućom tačnošću. Karakteristične vrednosti pojedinih parametara dijagrama opterećenja prikazane su u tabeli 1.

Tabela 1.
Vrednosti parametara potrošnje u TS Niš 3

Godina	P_m (MW)	m	J	x	$1-x$
2000.	129 360	0,426 7	0,218 5	0,149 0	0,851 0
2001.	127 260	0,443 1	0,232 8	0,148 1	0,851 9
2002.	117 740	0,473 9	0,256 6	0,128 4	0,871 6
2003.	115 080	0,508 5	0,295 6	0,148 4	0,851 6
2004.	113 680	0,504 2	0,291 2	0,147 7	0,852 3
Srednja vrednost	120 624	0,471 3	0,258 9	0,144 3	0,855 7

U okviru ovoga istraživanja obrađeno je ukupno 70 skupova godišnjih podataka za devet mernih mesta sa po pet do deset godina zavisno od raspoloživih podataka. Najviše je bilo devet godišnjih dijagrama koji reprezentuju potrošače napajane iz TS Niš 2. Najstariji podaci su iz 1993. godine, a najnoviji iz 2004. godine.

U tabeli 2, prikazani su rezultati proračuna za 41 skup podataka. Godišnji faktor opterećenja menja se u granicama od najmanje vrednosti 0,351 98 do najveće 0,600 47, a njegova srednja vrednost iznosi

0,503 112. Godišnji faktor gubitaka razmatranih dijagrama opterećenja varira od najmanje vrednosti 0,144 081 do najveće 0,383 641, a njegova srednja vrednost je 0,284 214. Konstantni koeficijent u jednačini (8) varira u granicama od 0,054 087 do 0,157 681. Njegova srednja vrednost je 0,109 030. Veliko rasturanje rezultata vrednosti koeficijenta nužno povlači grešku kod proračuna faktora gubitaka.

Skup parova J i m omogućuje da se nađe funkcionalna veza između faktora gubitaka i faktora opterećenja, $J(m)$, za kompletno područje Elektrodistribucije Niš. Razmatrane su različite funkcionalne forme, ali najbolje rezultate daje polinomska funkcija oblika (8) i eksponencijalna funkcija (14). Fitovanjem zavisnosti $J(m)$ dobija se konstantni koeficijent, $x = 0,110 91$, tako da jednačina faktora gubitaka (8) postaje

$$J = 0,110 91 m + 0,889 09 m^2. \quad (18)$$

Vrednost koeficijenta x koja se dobija fitovanjem veoma je bliska njegovoj srednjoj vrednosti, pa se jednako dobri rezultati dobijaju i ako se u jednačinu (8) stavi srednja vrednost koeficijenta umesto one koja se dobija fitovanjem krive $J(m)$.

Jednačina (18) može se napisati i u eksponencijalnom obliku sa eksponentom $k=1,849 39$,

$$J = m^{1,849 39}. \quad (19)$$

Eksponent k određen je fitovanjem funkcije zavisnosti izračunatih vrednosti faktora gubitaka od faktora opterećenja.

U inženjerskoj praksi proračuna gubitaka, mogu se koristiti uprošćene jednačine (sa dve decimale):

$$J = 0,11 m + 0,89 m^2 \quad (18a)$$

i

$$J = m^{1,85} \quad (19a)$$

Jednačine (18) i (19), odnosno (18a) i (19a), predlažu se za proračun faktora gubitaka, a time i gubitaka energije pomoću jednačina (5) ili (6).

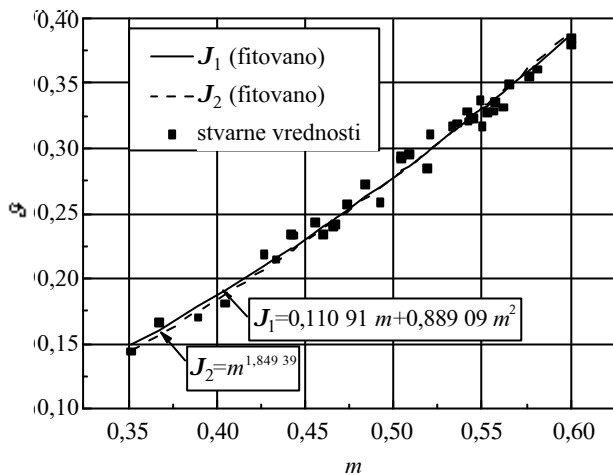
Na slici 4, prikazane su funkcionalne zavisnosti faktora gubitaka od faktora opterećenja dobijene na osnovu predloženih jednačina (18) i (19), kao i njihove stvarne vrednosti.

Predložene jednačine za proračun faktora gubitaka su proverene za sve razmatrane slučajeve. Istovremeno, proveravane su i sledeće dve empirijske formule koje se najčešće koriste za proračun godišnjih gubitaka:

Tabela 2.

Karakteristične vrednosti dijagrama potrošnje za područje JP „Elektrodistribucija Niš”
i procentualne greške pojedinih jednačina

Broj merenja <i>N</i>	Vršna snaga <i>P_m</i> (kW)	Faktor opterećenja <i>m</i>	Faktor gubitaka <i>J</i>	Konstantni koeficijent <i>x</i>	Procentualna greška jednačine			
					(18)	(19)	(20)	(21)
35 040	42 000	0,556 801	0,336 009	0,105 285	0,413	0,774	4,753	11,380
35 040	41 286	0,433 474	0,214 968	0,110 225	0,078	-0,865	6,829	18,035
35 040	21 525	0,351 980	0,144 081	0,088 523	3,544	0,630	12,898	29,728
35 040	5 922	0,556 637	0,327 931	0,073 285	2,832	3,200	7,279	14,070
35 040	39 732	0,580 870	0,360 197	0,093 595	1,170	1,660	5,164	11,186
35 040	42 462	0,404 786	0,180 980	0,071 093	5,301	3,747	13,167	26,561
35 040	19 908	0,389 365	0,170 492	0,079 437	4,389	2,496	12,629	26,870
35 040	5 880	0,562 300	0,331 029	0,060 325	3,761	4,167	8,154	14,843
35 040	40 012	0,600 470	0,383 641	0,096 195	0,920	1,489	4,615	10,133
35 040	39 522	0,466 124	0,240 403	0,092 953	1,859	1,389	7,976	17,873
35 040	18 732	0,409 501	0,184 770	0,070 629	5,272	3,819	13,005	26,114
35 040	5 922	0,549 975	0,316 541	0,056 841	4,228	4,559	8,848	15,930
35136	41 468	0,600 105	0,378 496	0,076 551	2,178	2,753	5,925	11,520
35136	39 186	0,460 428	0,233 872	0,088 065	2,427	1,877	8,704	18,903
35136	16 296	0,467 397	0,241 314	0,091 807	1,971	1,517	8,066	17,920
35136	6 342	0,518 835	0,284 403	0,060 942	4,386	4,482	9,573	17,671
35136	65 118	0,508 586	0,296 153	0,150 018	-3,300	-3,298	1,686	9,523
35136	40 248	0,535 898	0,318 745	0,126 888	-1,247	-1,025	3,364	10,489
35136	129 360	0,426 712	0,218 529	0,148 981	-4,262	-5,274	2,353	13,397
35136	101 552	0,441 738	0,233 493	0,155 556	-4,715	-5,486	1,526	11,816
35136	20 076	0,543 830	0,323 700	0,112 661	-0,134	0,144	4,394	11,361
35 040	63 252	0,520 601	0,310 155	0,156 783	-3,691	-3,588	1,064	8,479
35 040	41 286	0,543 473	0,322 842	0,110 753	0,012	0,288	4,553	11,540
35 040	127 260	0,443 068	0,232 846	0,148 064	-3,937	-4,694	2,325	12,639
35 040	126 192	0,367 634	0,166 262	0,133 807	-3,202	-5,487	5,061	19,666
35 040	20 160	0,557 081	0,334 580	0,054 087	0,934	1,299	5,292	11,946
35 040	64 260	0,533 048	0,316 898	0,131 605	-1,626	-1,425	3,016	10,200
35 040	43 638	0,542 146	0,320 352	0,106 476	0,344	0,612	4,922	11,972
35 040	117 740	0,473 866	0,256 559	0,128 391	-1,699	-2,057	4,043	13,282
35 040	103 224	0,455 617	0,242 965	0,142 634	-3,239	-3,822	2,794	12,632
35 040	19 152	0,576 489	0,355 244	0,093 812	1,175	1,644	5,236	11,373
35 040	65 688	0,542 009	0,328 027	0,137 989	-2,049	-1,788	2,422	9,308
35 040	44 940	0,565 680	0,348 670	0,116 716	-0,409	-0,002	3,755	10,083
35 040	115 080	0,508 480	0,295 632	0,148 363	-3,166	-3,165	1,829	9,680
35 040	103 048	0,484 358	0,271 983	0,149 669	-3,559	-3,793	1,867	10,533
35 040	20 244	0,552 559	0,327 088	0,088 041	1,729	2,069	6,195	13,032
35 136	65 604	0,548 788	0,336 142	0,141 239	-2,234	-1,930	2,119	8,796
35 136	46 326	0,545 559	0,322 798	0,101 499	0,723	1,015	5,261	12,236
35 136	113 680	0,504 228	0,291 163	0,147 677	-3,157	-3,193	1,917	9,911
35 136	96 712	0,504 528	0,293 966	0,157 681	-3,977	-4,011	1,048	8,965
35 136	22 848	0,492 549	0,258 873	0,065 089	4,424	4,263	10,129	19,190
Maksimum	129 360	0,600 470	0,383 641	0,157 681	5,301	5,487	13,167	29,728
Minimum	5 880	0,351 980	0,144 081	0,054 087	0,012	0,002	1,048	8,479
Sr. vrednost	53 728,85	0,503 112	0,284 214	0,109 030	2,529	2,556	5,506	14,166



Slika 4. Faktor gubitaka u funkciji faktora opterećenja

$$J_3 = 0,17 m + 0,83 m^2 \quad (20)$$

i

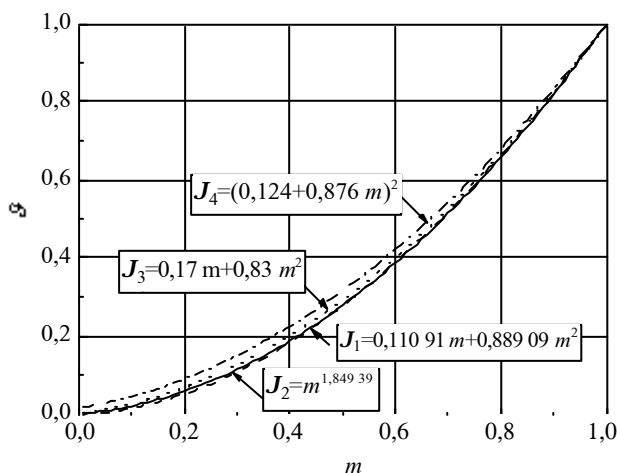
$$J_4 = 0,124 + 0,876 m^2 \quad (21)$$

Jednačina (21) u originalnom obliku predstavlja ekvivalentno vreme godišnjih gubitaka energije i sreće se u obliku

$$0,124 \frac{T_m^2}{10\,000} + 8\,760, \quad (22)$$

gde T_m označava vreme maksimalnog opterećenja.

Na slici 5 su prikazane funkcije faktora gubitaka u zavisnosti od faktora opterećenja prema predloženim jednačinama (18) i (19) i jednačinama iz literature (20) i (21).



Slika 5. Faktor gubitaka u funkciji faktora opterećenja za razne jednačine

Predložene jednačine daju gotovo iste rezultate za faktor gubitaka, jednačina (20) daje nešto veće vrednosti, dok jednačina (21) daje najveće vrednosti. Odstupanje jednačina (20) i (21) je najveće kod najmanjih vrednosti faktora opterećenja, pada sa porastom faktora opterećenja da bi kod maksimalne vrednosti faktora opterećenja od $m = 1$ sve jednačine dale isti rezultat, $J = 1$. U realnim uslovima, faktor opterećenja ima vrednost u granicama od 0,3 do 0,7. U ovom opsegu, jednačina (20) daje rezultat sa greškom u granicama od 2,42 do 10,95 %, jednačina (21) rezultat sa greškom od 5,88 do 32,06 %, pri čemu veće vrednosti greške odgovaraju manjim vrednostima faktora opterećenja.

Procentualne greške predloženih jednačina i jednačina iz literature za konkretne parametre dijagrama opterećenja, navedene su u tabeli 2. Predložene jednačine za proračun faktora gubitaka daju najmanje greške. Srednja vrednost apsolutne greške polinomske jednačine (18) je 2,529 %, a eksponencijalne jednačine (19) je 2,556 %. Maksimalne greške ovih jednačina su 5,301 %, odnosno 5,487 %. Naravno, nivo greške može se smanjiti ako se računa sa prosečnim godišnjim dijagramima opterećenja za svaku transformatorsku stanicu.

Jednačina (20) daje rezultat sa prosečnom greškom od 5,506 % i maksimalnom greškom od 13,167 %, dok jednačina (21) pravi srednju grešku od 14,166 % i maksimalnu grešku od 29,728 %. Interesantno je napomenuti da jednačine (18) i (19) imaju pozitivne i negativne greške u opsegu od najmanjeg do najvećeg faktora opterećenja. Sa druge strane, greške jednačina (20) i (21) su uvek pozitivne i veće su kod manjih faktora opterećenja. Greške jednačine (21) su najveće i blizu tri puta veće od grešaka po jednačini (20). Ovo je razumljivo jer je jednačina (21) predložena na osnovu eksperimentalnih merenja koja su obavljena sredinom prošloga veka na području Rusije.

Analizom grešaka koje daju jednačine (18) i (19), uočavaju se dve jasno izražene grupe transformatorskih stanica. Prvu grupu čine transformatorske stanice na području grada Niša kod kojih je računaska greška negativna, a njena vrednost ide do -4,715 %. Drugu grupu čine ostale transformatorske stanice gde je greška pozitivna i ide do 5,301 %. Kod prve grupe, koeficijent ima vrednost veću od prosečne, a kod druge manju od prosečne. Ovaj rezultat se očekivao jer je evidentna razlika dijagrama opterećenja ovih grupa potrošača, što se vidi na slici 6, gde su prikazani dijagrami trajanja opterećenja pojedinih transformatorskih stanica za 2004. godinu.

Razlika godišnjih dijagrama opterećenja u pojedinim transformatorskim stanicama govori o tome da se radi o potrošačima sa različitim navikama u

pogledu korišćenja električne energije. Ovo navodi na zaključak o neophodnosti uvažavanja regionalnih parametara potrošnje ukoliko se želi tačan proračun gubitaka. Tako, i pored specifičnosti svakog dijagrama opterećenja, svi dijagrami su razvrstani u pomenute dve grupe: prvu, koja odgovara području grada Niša (slika 6.a) i, drugu, koja odgovara ostalom području (slika 6.b). Kod prve grupe, period visokih opterećenja (preko 80 % od maksimalnog opterećenja) traje 10 % do 14 % godišnjeg vremena ili 880 do 1 230 sati na godišnjem nivou, dok za drugu grupu ovo vreme iznosi 1,5 % do 6 % ili svega 130 sati za reon Dimitrovgrada, Pirot 2, Aleksinac i Kuršumlje i 525 sati za reon Prokuplja i Pirot 1.

Zbog specifičnosti ovih grupa, za svaku od njih određene su posebne vrednosti koeficijenta u jednačini (8) i eksponenta k u jednačini (14), što omogućuje tačnije određivanje gubitaka energije na njihovim područjima. Nadalje, posebno su analizirane dve grupe transformatorskih stanica, odnosno dva područja: grad Niš i ostalo.

Koeficijent x , za područje grada Niša, kreće se u granicama od 0,128 391 do 0,157 68, a srednja vrednost mu je 0,145 23.

Fitovanjem podataka za faktor gubitaka i faktor opterećenja, dobija se $x = 0,145 33$ i $k = 1,801 75$, tako da jednačine za faktor gubitaka postaju:

$$J_5 = 0,145 33 m + 0,854 67 m^2 \quad (23)$$

i

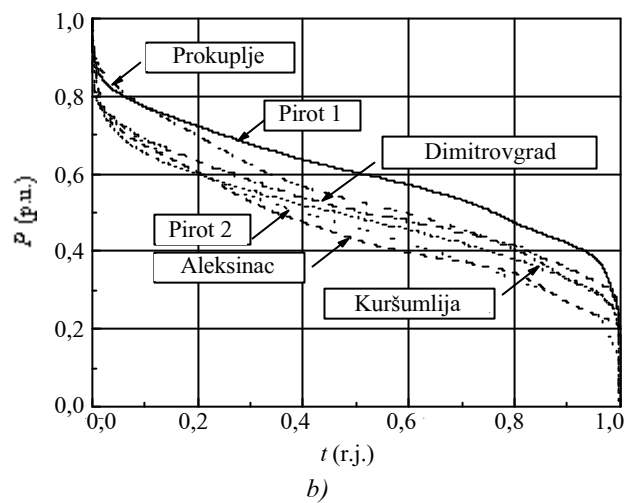
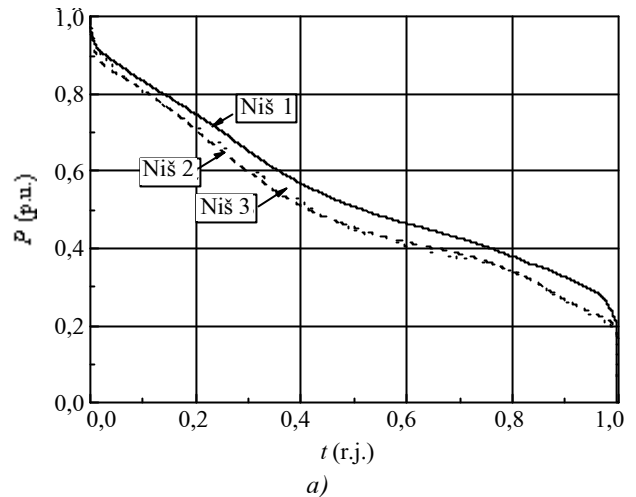
$$J_6 = m^{1,801 75} \quad (24)$$

Vrednost koeficijenta x koja je dobijena fitovanjem veoma je bliska srednjoj vrednosti, pa se u proračune može ići, bez veće greške, i sa srednjom vrednošću koeficijenta.

Na slici 7, prikazane su zavisnosti faktora gubitaka od faktora opterećenja prema jednačinama (23) i (24).

Sa ovim jednačinama, prilagođenim području, nastaju znatno manje greške kod proračuna gubitaka energije. Srednja vrednost greške polinomske jednačine (23) je 0,698 %, dok je maksimalna greška 1,646 %. Eksponencijalna jednačina (24) daje rezultate sa maksimalnom greškom od 1,735 %, a srednja vrednost greške je 0,805 %. Očigledno, korekcijom koeficijenata dobijaju se manje računске greške. Prema tome, za svako područje trebalo bi da se odrede koeficijenti u jednačinama faktora gubitaka, jer isti zavise od lokalnih parametara potrošnje.

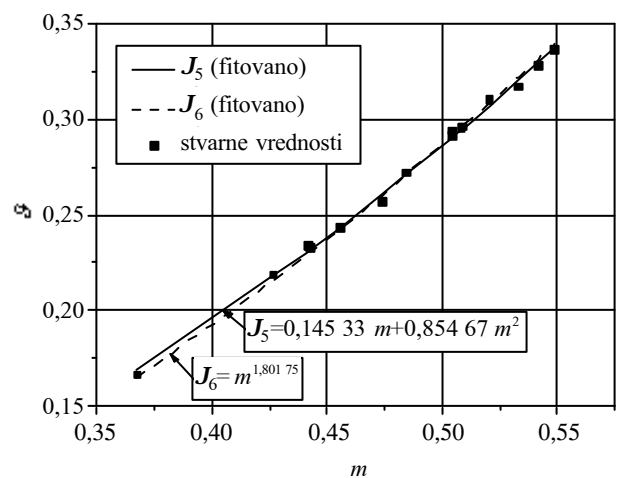
U ovim uslovima, jednačina (20) daje rezultat sa maksimalnom greškom od 5,061%, dok jednači-



Slika 6. Godišnji dijagrami trajanja opterećenja za 2004. godinu:

a) područje grada Niša, b) ostalo područje

na (21) i ovde pravi značajne greške, od 8,479 do 19,666 %.



Slika 7. Faktor gubitaka u funkciji faktora opterećenja za područje grada Niša

Izdvajanjem podataka o dijagramima opterećenja za područje izvan grada Niša dobijaju se nove vrednosti koeficijenata x i k .

Koeficijent x u polinomskoj jednačini varira u opsegu od 0,054 087 do 0,126 888, a njegova srednja vrednost je 0,088 472. Srednja vrednost koeficijenta x za ovu grupu značajno se razlikuje od srednje vrednosti grupe transformatorskih stanica na području grada Niša. Različite vrednosti koeficijenta potvrđuju pretpostavku o tome da se radi o grupama potrošača sa posebnim karakteristikama.

Fitovanjem funkcije faktora gubitaka u zavisnosti od faktora opterećenja pomoću polinomske i eksponencijalne funkcije dobija se:

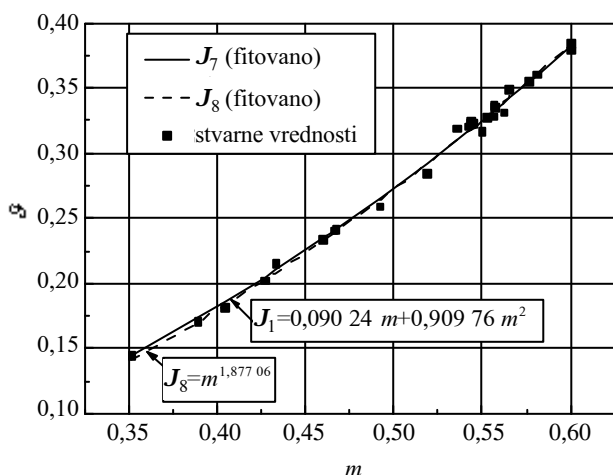
$$J_7 = 0,090\ 24 m + 0,909\ 76 m^2 \quad (25)$$

i

$$J_8 = m^{1,877\ 06} \quad (26)$$

Krive faktora gubitaka prema jednačinama (25) i (26) su prikazane na slici 8.

Računska greška proračuna faktora gubitaka pomoću jednačine (25) kreće se u granicama od -2,859 % do 2,611 %. Istovremeno, eksponencijalna jednačina (26) daje rezultat sa greškom u opsegu od -3,131 % do 2,844%. Jednačine iz literature (20) i (21) čine nedopustive greške od 13,167 % i 29,728 %, respektivno. I ovde se potvrđuje da jednačine iz literature čine velike greške te da se ne mogu koristiti bez prethodne provere.



Slika 8. Faktor gubitaka u funkciji faktora opterećenja za područje izvan grada Niša

Metodologija proračuna faktora opterećenja i faktora gubitaka izložena u poglavlju 2 može se iskoristiti za određivanje njihovih vrednosti za bilo koji period i za bilo koje područje, odnosno transfor-

matorsku stanicu. U tom smislu treba nastaviti istraživanja za letnju i zimsku sezonu za sva distributivna preduzeća u okviru Elektroprivrede Srbije.

4. ZAKLJUČAK

U radu su prikazani rezultati istraživanja dijagrama potrošnje za poslednjih desetak godina na području JP „Elektrodistribucija Niš”, sa preko 260 000 potrošača. Na osnovu statističke obrade podataka predložene su nove vrednosti koeficijenata u jednačinama za proračun faktora gubitaka. Jednačine sa novim koeficijentima daju znatno bolje rezultate od dosad poznatih jednačina iz literature i to u širokom opsegu faktora opterećenja. Jednačine se mogu koristiti u elektroenergetskim mrežama gde je struja proporcionalna snazi, što je slučaj kod distributivnih mreža i radijalnih prenosnih mreža.

Iako su koeficijenti određeni za konzumno područje Elektrodistribucije Niš, oni se preporučuju i za druga područja sa istim godišnjim dijagramima opterećenja.

Proračuni pokazuju da jednačine (25) i (26) za proračun gubitaka energije, redovno čine grešku veću od 10 %, a u nekim slučajevima i blizu 30 %. Ovo navodi na zaključak o neophodnosti utvrđivanja tačnih vrednosti koeficijenata u jednačinama koje se koriste za proračun gubitaka u Elektroprivredi Srbije.

Sadašnje računarske mogućnosti i raspoloživa baza podataka omogućuju da se izložena metodologija za proračun faktora gubitaka iskoristi za nalaženje jednačina koje odgovaraju karakteristikama potrošnje na dotičnom području. Istom metodologijom, mogu se odrediti i jednačine za karakteristične periode (letnja i zimski sezona, pa čak i za pojedine mesece u godini).

Dalja istraživanja treba usmeriti ka klasifikaciji dijagrama potrošnje prema tipu naselja i strukturi potrošača.

5. LITERATURA

- [1] Buller F. H., Woodrow C. A., LOAD FACTOR-EQUIVALENT HOUR VALUES COMPARED, Electrical World, July 14, 1928.
- [2] Gustafson M. W., Baylor I. S., THE EQUIVALENT HOURS LOSS FACTOR REVISITED, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 3, No. 4, November 1988, pp. 1502-1508.
- [3] Pospelov G. E., Sič N. M., GUBICI SNAGE I ENERGIJE U ELEKTRIČNIM MREŽAMA, Energoizdat, Moskva, 1981. (na ruskom)
- [4] Topić J., METODOLOGIJA ZA ODREĐIVANJE GUBITAKA ELEKTRIČNE ENERGIJE U PRE-

NOSNIM MREŽAMA, Institut za elektroprivredu Zagreb, Zagreb, 1982.

- [5] Topić J., PROBLEMATIKA GUBITAKA ELEKTRIČNE ENERGIJE U PRENOSNOJ I DISTRIBUTIVNIM MREŽAMA JUGOSLAVIJE, Institut za elektroprivredu Zagreb, Zagreb, 1985.
- [6] Draženović S., Kapor U., Tomić M., GUBICI ELEKTRIČNE ENERGIJE I SNAGE U ELEKTRODISTRIBUTIVNIM MREŽAMA, Elektroprivreda BiH, Sarajevo, 1980.
- [7] Turković E., Vučković J., STUDIJA PROBLEMATIKE GUBITAKA ELEKTRIČNE ENERGIJE U PRENOSNOJ MREŽI SR SRBIJE, Elektrotehnički institut „Nikola Tesla”, Beograd, 1980.
- [8] Maučec M., METODE IN UGOTAVLJANJE IZGUB ELEKTRIČNE ENERGIJE V DISTRIBUTIVNIH OMREŽJIH, Elektroinštitut „Milan Vidmar” Ljubljana, Ljubljana, 1986.
- [9] Stojanović D., PROBLEMATIKA GUBITAKA ELEKTRIČNE ENERGIJE I SNAGE U ELEKTRODISTRIBUTIVNOJ MREŽI SREDNJEG I NISKOG NAPONA U RO „ELEKTROKOSOVO”

PRIŠTINA, OUR DISTRIBUCIJA UROŠEVAC, Elektrotehnički fakultet u Prištini, Priština, 1989.

- [10] Gonen T., ELECTRIC POWER DISTRIBUTION SYSTEM ENGINEERING, McGraw-Hill Book Company, New York, 1986.
- [11] Stojanović D., Grković P., Savović D., PDM - PROGRAMSKI PAKET ZA PRORAČUN SREDNJE-NAPONSKIH MREŽA, Elektroprivreda br. 3, 1997, str. 65-72.
- [12] Kostić M., OCENA TAČNOSTI I IZBOR FORMULA ZA PRORAČUN GUBITAKA U ELEKTRIČNIM MREŽAMA, Elektroprivreda br. 1, 2000, str. 65 - 75.
- [13] Tasić D., Stojanović M., ANALIZA FORMULA ZA PROCENU GUBITAKA ELEKTRIČNE ENERGIJE, Elektroprivreda br. 2, 2002, str. 27 - 38.

6. NAPOMENA

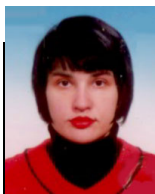
Ovaj rad nastao je kao rezultat istraživanja u okviru istraživačko-razvojnog projekata pod nazivom „Proračun gubitaka i eksperimentalna verifikacija proračuna za distributivno područje Elektrodistribucije Niš”, koji finansira Ministarstvo za nauku i zaštitu životne sredine Republike Srbije.

Rad je primljen u uredništvo 13. 05. 2005. godine



Dobrivoje P. Stojanović (1946) je diplomirao 1971. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Prištini, magistrirao 1978. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Skoplju i doktorirao 1985. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Prištini. Zaposlen je na Elektronskom fakultetu u Nišu, gde predaje Prenos i distribuciju električne energije i Elektroenergetska postrojenja. Kao autor ili koautor objavio je dve zbirke zadataka i preko 100 radova koji su prezentirani u časopisima i na domaćim i inostranim konferencijama. Učestvovao je u realizaciji 9 naučno-istraživačkih projekata. Realizovao je preko 50 stručnih radova u oblasti eksperimentalne i analitičke verifikacije uslova bezbednosti u elektroenergetskim postrojenjima.

Oblast interesovanja je analiza prenosnih i distributivnih mreža.



Lidija M. Korunović je rođena 1971. godine u Pirotu. Diplomirala je 1996. godine na Elektronskom fakultetu u Nišu na smeru za Industrijsku energetiku. Magistrirala je 2002. godine na istom fakultetu gde radi kao asistent iz predmeta Prenos i distribucija električne energije i Eksploatacija elektroenergetskih mreža. Do sada je bila angažovana na nekoliko naučnih projekata. Autor je 38 naučnih i stručnih radova i jedne zbirke zadataka. Oblasti interesovanja su joj analiza i eksploatacija distributivnih mreža.



Slađan Lj. Jovanović je rođen 1971. godine u Aleksincu. Diplomirao je na Elektronskom fakultetu u Nišu 1996. godine na smeru za Industrijsku energetiku. Posle diplomiranja zaposlio se u JP „Elektrodistribucija Niš” u Nišu, gde i danas radi. Radio je na poslovima inženjera održavanja EEO, rukovodioca službe za eksploataciju EEO i tehničkog rukovodioca Pogona Elektrodistribucija Niš.

Oblasti interesovanja su mu upravljanje i eksploatacija distributivnih mreža.



Andrija Lj. Vukašinić je rođen 1964. godine u Prokuplju, gde je završio osnovnu i srednju školu. Diplomirao je 1990. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, odsek energetska, smer Elektroenergetski sistemi. Posle diplomiranja zaposlio se u JP „Elektrodistribucija Niš” u Nišu. Radio je na poslovima glavnog inženjera za energetiku, tehničkog rukovodioca Pogona Elektrodistribucija Prokuplje, a trenutno je pomoćnik direktora za tehničke poslove JP „Elektrodistribucija Niš”.

Oblasti ineresovanja su upravljanje i eksploatacija distributivnih mreža.



Miroslav B. Dočić je rođen 1976. godine u Leskovcu, gde je završio osnovnu i srednju školu. Diplomirao je 2001. godine na Elektronskom fakultetu u Nišu na smeru za Industrijsku energetiku. Posle diplomiranja zaposlio se u JP „Elektrodistribucija Leskovac”. Radio je na poslovima tehničkog rukovodioca Pogona „Elektro-Radan” Lebane, a trenutno je inženjer za merenja i kontrolu JP „Elektrodistribucija Leskovac”.

Oblasti interesovanja su analiza i eksploatacija distributivnih mreža.

Uticaj kratkih spojeva i neregularnih isključenja u distributivnoj mreži na rad asinhronog generatora

Stručni rad
UDK: 621.313.33; 621.316

Rezime:

Na bazi tipične šeme veze asinhronog generatora sa distributivnom mrežom formiran je SIMULINK model takvog sistema. Primenom tog modela na praktičnom primeru praćeno je dinamičko ponašanje asinhronog generatora pri kratkim spojevima i prekidima veze sa distributivnom mrežom u njegovoj blizini. Kao rezultati su date promene napona, struje i brzine neposredno pre i nakon nastanka datih poremećaja. Analizom su obuhvaćeni simetrični i nesimetrični kratki spojevi, operacije otvaranja prekidača koje mogu dovesti do neželjenog samopobuđivanja, kao i rad asinhronog generatora na dve faze.

Ključne reči: asinhroni generator, distributivna mreža, kratak spoj, samopobuđivanje

Abstract:

IMPACT OF SHORT CIRCUITS AND IRREGULAR DISCONNECTION IN DISTRIBUTION NETWORK ON ASYNCHRONOUS GENERATOR OPERATION

On the base of typical sheme of induction generator connection to distribution network, the Simulink model of this system was formed. This model was applied for existing network and dynamic behaviour of induction generator was analysed in the case of short circuit and unregular disconnection near the generator. The changes of voltage, circuit and rotation speed, before and after these disturbances, are given as a result. The analyse includes symetric and unsymetric short circuits, possible self-excitation after the circuit breaker opening and induction generator operation without one phase.

Key words: induction generator, distribution network, short circuit, self-excitation

1. UVOD

Asinhroni generator (AG) ima primenu u distribuiranoj proizvodnji električne energije. Pri analizi napona i tokova snaga u distributivnoj mreži on se može modelovati kao negativno opterećenje (sa negativnom aktivnom snagom i pozitivnom reaktivnom snagom) [1].

Ponašanje AG u režimu kvara je suštinski različito u odnosu na sinhronu generatore. Ta razlika je posledica načina pobuđivanja. Dok sinhroni generator ostaje i posle kratkog spoja pobuđen jednosmernom rotorskom strujom, AG gubi pobudu (ili se ona narušava) jer potrebnu reaktivnu energiju za održavanje magnetnog polja dobija iz mreže ili paralelno priključene kondenzatorske baterije.

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

Pri trofaznom kratkom spoju, napon na krajevima paralelne veze AG i kondenzatora pada na nulu, čime se prekida dotok reaktivne energije neophodne za održavanje magnetnog polja u AG. Teorema o konstantnosti (zaleđenosti) magnetnog fluksa kazuje da je u induktivnim kolima inerciona veličina struja, odnosno korespondentni fluks. Iz tog razloga se može smatrati da je u prvih nekoliko trenutaka posle kvara fluks konstantan u jakim induktivnim kolima kakva su namotaji asinhronih generatora. Taj fluks se vrlo brzo prigušuje, tako da polje u međugvožđu opada na nulu nakon nekoliko perioda. Takođe elektrostatička energija kondenzatora se ne može trenutno izgubiti. Prema tome, asinhroni generator ima uticaja na struju kvara samo u početnom subtranzijentnom periodu. [2,3,4]. Razlika u odnosu na motorni režim je u činjenici da brzina ne pada na nulu već usled narušavanja dinamičke ravnoteže, padom na nulu elektomagnetnog momenta kojim se AG suprotstavlja momentu turbine, brzina naglo povećava, što iziskuje efikasnu mehaničku zaštitu. Praktični izrazi za struje kvara pri trofaznom i dvofaznom kratkom spoju na priključcima asinhronne mašine dati su u referencama [2,3,4].

Asinhroni generatori imaju malu impedansu za neuravnotežene napone, što može dovesti do neravnomernog povećanja struje u namotajima. Nesimetrične struje povećavaju zagrevanje generatora i uzrokuju pulsiranje obrtnog momenta. Fazni naponi seoskih distributivnih mreža su često nesimetrični zbog priključivanja jednofaznih prijemnika. Mnogstvo MHE koje koriste AG u slabim seoskim mrežama imaju teškoće u radu zbog preterano nesimetrične struje. Ovaj efekt je često uzrok nepotrebne prograde zaštite generatora od nesimetrije kada se u određeno vreme potrošači isključuju ili uključuju (npr. kada se u večernjem periodu uključuju ili isključuju grejalice). Jedino rešenje ovog problema je uravnoteženje opterećenja distributivne mreže [4].

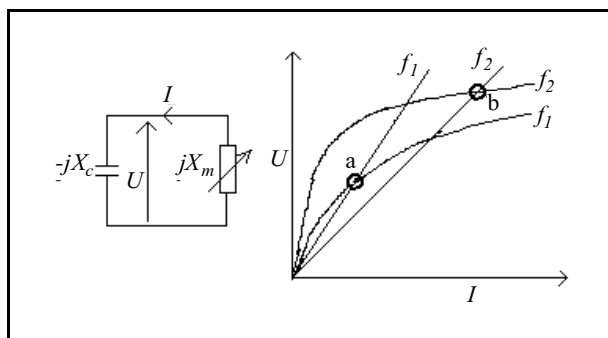
Nesimetrični kvarovi u mreži mogu dovesti asinhroni generator u dugotrajno stanje kvara a u nekim slučajevima izazvati porast struje u zdravim fazama. Struja kvara koja potiče od AG je generalno nerelevantna za delovanje relejne zaštite. Prema tome, kada se dogodi kvar u distributivnom sistemu na koji je povezan asinhroni generator, struja kvara iz mreže (od strane mreže) aktivira prekostrujnu zaštitu distributivnog sistema. Ovo izoluje generator, tako da porast napona, porast frekvencije dovode do isključenja njegovih lokalnih prekidača i turbine. Sekvencijalno isključenje generatora, korišćenjem naponske, frekventne ili zaštite od prekomerne brzine je neophodno kako bi se sprečila dugotrajna struja kvara.

Posebno opasni mogu biti prekidi provodnika u blizini AG, ili pogrešna manipulacija prekidanja,

zbog mogućnosti samopobuđivanja. U opštem slučaju, ukoliko dođe do prekida veze između AG i distributivne mreže, bez prethodnog isključenja kondenzatora i zaustavljanja turbine, mogu nastati uslovi za samopobuđivanje, što zavisi od kapacitivnosti kondenzatora, karakteristike magnećenja AG i snage lokalne potrošnje [5,6]. Stabilan rad AG u režimu samopobude moguć je samo u zasićenom delu karakteristike magnećenja. Vrednost indukovanog napona za datu brzinu određena je presečnom tačkom karakteristike magnećenja i U-I karakteristike paralelno priključenog kondenzatora [7]. U literaturi su zastupljene metode koje se bave određivanjem kritične kombinacije brzine, kapacitivnosti i opterećenja za uspostavljanje i održanje stabilnog samopobuđivanja [6]. Efekat neželjenog samopobuđivanja AG, u nekim slučajevima dovodi do stvaranja vrlo visokih napona, koji mogu ugroziti opremu i ljude.

Kada se ostvari samopobuđivanje, na krajevima AG se i dalje razvija napon, čija vrednost se menja i zavisi od parametara kola koga čini paralelna veza AG i kondenzatorske baterije. Kako je klizanje malo a aktivni otpor i reaktansa rasipanja statora mnogo manji od reaktanse magnećenja, paralelna veza AG i kondenzatorske baterije se nakon odvajanja od mreže, može predstaviti paralelnim rezonantnim kolom kao na slici 1, [4].

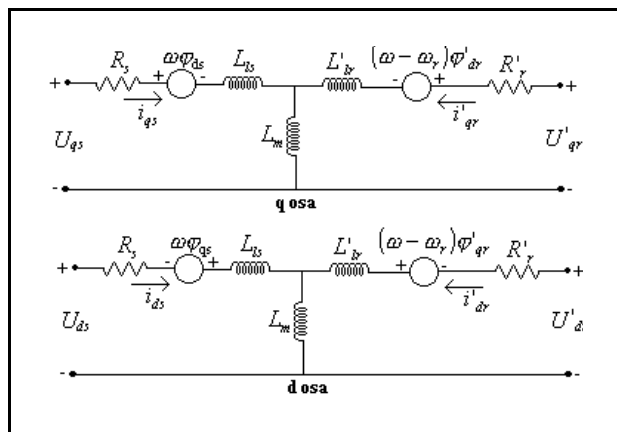
Reaktansa magnećenja AG na slici 1 je prikazana kao promenljiva jer se njena vrednost menja sa strujom zbog magnetnog zasićenja. Radna tačka paralelnog rezonantnog kola nalazi se u preseku karakteristika reaktansi kondenzatora (prave linije) i karakteristika reaktansi magnećenja. Tako, pri frekvenciji f_1 kolo će raditi u tački „a” dok pri povećanoj frekvenciji (ili ugaonoj brzini generatora) f_2 radna tačka će preći u tačku „b”, u kojoj je i napon veći [4,8]. Može se videti da je porast napona ograničen jedino karakteristikom zasićenja magnetnog kola. Radi sprečavanja mogućnosti nastanka samopobuđivanja, u praksi je potrebno osigurati isključenje kondenzatora pre ili istovremeno kada i AG.



Slika 1. Ekvivalentna šema samopobuđenog AG

2. DINAMIČKI MODEL SISTEMA

Uglavnom je preovlađujuća sledeća struktura veze: asinhroni generator je preko voda (kablovskog) i/ili transformatora povezan na distributivnu mrežu niskog ili srednjeg napona. Za takvu konfiguraciju je moguće iskoristiti programski paket SIMULINK za formiranje modela na osnovu kog se može sprovesti analiza dinamičkog ponašanja AG pri različitim događajima, od kratkih spojeva do pojave samopobuđivanja. Svaki element se predstavlja odgovarajućim matematičkim modelom. U ovom slučaju, AG je predstavljen modelom asinhronne mašine u Blondelovom području čija je ekvivalentna šema data na slici 2. Ponašanje asinhronne mašine u prelaznim režimima definiše se jednačinama naponske (1-4) i mehaničke ravnoteže (5-6) koje su izražene u proizvoljnom dvoosnom d-q referentnom sistemu [5,9,10]. U zavisnosti od znaka mehaničkog momenta asinhronna mašina se ponaša kao motor (moment pozitivan) ili generator (moment negativan). Turbina koja pokreće AG je zadata negativnom konstantom, koja predstavlja moment koji turbina predaje generatoru. Vod kojim je AG povezan sa transformatorom i lokalnom potrošnjom je modelovan kao element sa skoncentrisanim parametrima, odnosno rednom vezom aktivne otpornosti i reaktanse. Transformator je modelovan klasičnom „T” ekvivalentnom šemom. Distributivna mreža se predstavlja preko konstantnog napona i impedanse prema odgovarajućoj snazi trofaznog kratkog spoja. Za rešavanje sistema običnih diferencijalnih jednačina može se iskoristiti metoda Runge-Kutta trećeg reda (ode23tb).



Slika 2. Ekvivalentna šema asinhronog generatora u d-q referentnom sistemu

$$U_{qs} \quad R_s i_{qs} \quad \frac{d}{dt} \quad ds \quad (1)$$

$$U_{ds} \quad R_s i_{ds} \quad \frac{d}{dt} \quad ds \quad qs \quad (2)$$

$$U'_{qr} \quad R'_r i'_{qr} \quad \frac{d}{dt} \quad 'qr \quad r \quad 'dr \quad (3)$$

$$U'_{dr} \quad R'_r i'_{dr} \quad \frac{d}{dt} \quad 'dr \quad r \quad 'qr \quad (4)$$

gde su:

$$i_{qs} \quad L_s i_{qs} \quad L_m i'_{qr}; \quad i_{ds} \quad L_s i_{ds} \quad L_m i'_{dr}$$

$$i'_{qr} \quad L'_r i'_{qr} \quad L_m i_{qs}; \quad i'_{dr} \quad L'_r i'_{dr} \quad L_m i_{ds}$$

$$L_s \quad L_{ls} \quad L_m; \quad L'_r \quad L'_{lr} \quad L_m$$

Jednačina kretanja ili jednačina mehaničke ravnoteže je:

$$\frac{d}{dt} \quad m \quad \frac{1}{2H} T_e \quad F \quad m \quad T_m \quad (5)$$

$$\frac{d}{dt} \quad m \quad m \quad (6)$$

pri čemu je

$$T_e \quad 1,5p \quad ds i_{qs} \quad qs i_{ds}$$

Oznake na slici 2 i u jednačinama (1-6) su:

$\mathbf{j}_{gs}, \mathbf{j}_{ds}, \mathbf{j}'_{gr}, \mathbf{j}'_{dr}$ – fluksni obuhvati ekvivalentnih statorskih namota po poprečnoj „q” osi i po podužnoj „d” osi, kao i ekvivalentnih rotorskih namota „q” i „d”, respektivno.

$U_{qs}, U_{ds}, U'_{gr}, U'_{dr}$ – naponi na krajevima ekvivalentnih statorskih „q” i „d” namota, kao i ekvivalentnih rotorskih „q” i „d” namota, respektivno,

$i_{qs}, i_{ds}, i'_{gr}, i'_{dr}$ – struje kroz ekvivalentne statorske „q” i „d” namote, kao i ekvivalentne rotorske „q” i „d” namote, respektivno,

R_s, R'_r – otpornost statorskog i rotorskog namota, respektivno,

$L_{ls}, L_s, L_{lr}, L'_r$ – induktivnosti rasipanja i ukupna induktivnost statorskog i rotorskog namota, respektivno,

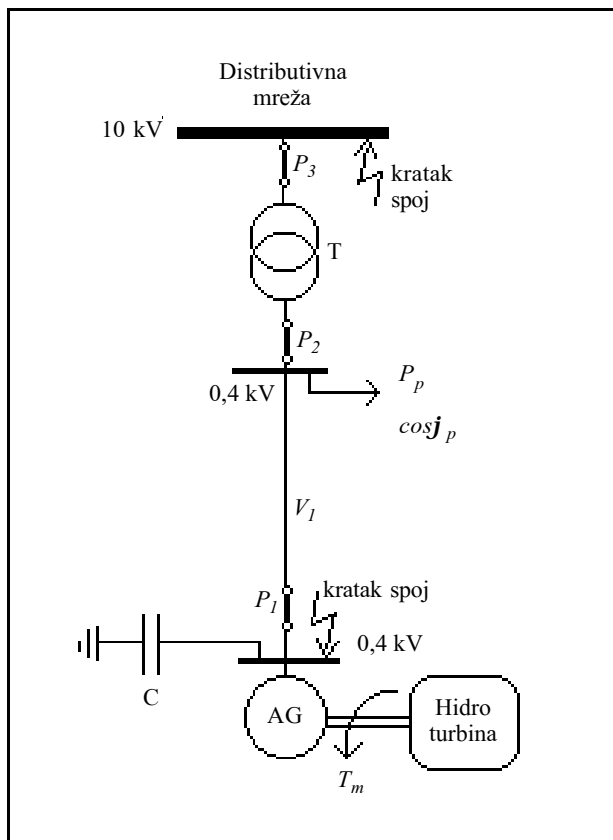
L_m – induktivnost magnecenja ili međusobna induktivnost po poprečnoj „q” osi i po podužnoj „d” osi

$\mathbf{w}, \mathbf{w}_m, \mathbf{w}_b, \mathbf{q}_m$ – ugaona brzina d-q referentnog sistema, ugaona brzina rotora, električna ugaona brzina rotora i ugaoni položaj rotora, respektivno.

p, T_e, T_m, J, H, F – broj pari polova, elektromagnetni momenat, mehanički momenat na osovini, moment inercije, mehanička konstanta ubrzanja i koeficijent trenja, respektivno.

3. PRIMER

Na osnovu prethodno opisanog načina modelovanja pojedinih elemenata, formiran je SIMULINK model konkretnog sistema koji se sastoji od AG povezanog preko voda i transformatora sa distributiv-



Slika 3. Jednopolna šema sistema

nom mrežom, (slika 3). Turbina pokreće šestopolni AG snage 30 kW, koji je preko kablovskog voda i transformatora snage 630 kVA, povezan na 10 kV distributivni sistem, čija je snaga trofaznog kratkog spoja 250 MVA.

Na slici 4 prikazan je SIMULINK model opisanog sistema.

Sprovedene su simulacije rada datog sistema za nekoliko karakterističnih događaja.

3.1. Normalni stacionarni režim

Najpre je sprovedena analiza rada sistema u normalnom stacionarnom režimu rada. Turbina pokreće AG konstantnim momentom od 300 Nm, pri konstantnoj brzini od 1 029 ob/min. Paralelno sa AG priključena je kondenzatorska baterija nominalne snage 15 kvar. U tabeli 1 su date vrednosti faznog napona, struje, aktivne i reaktivne snage kao i brzine obrtanja AG.

Tabela 1.

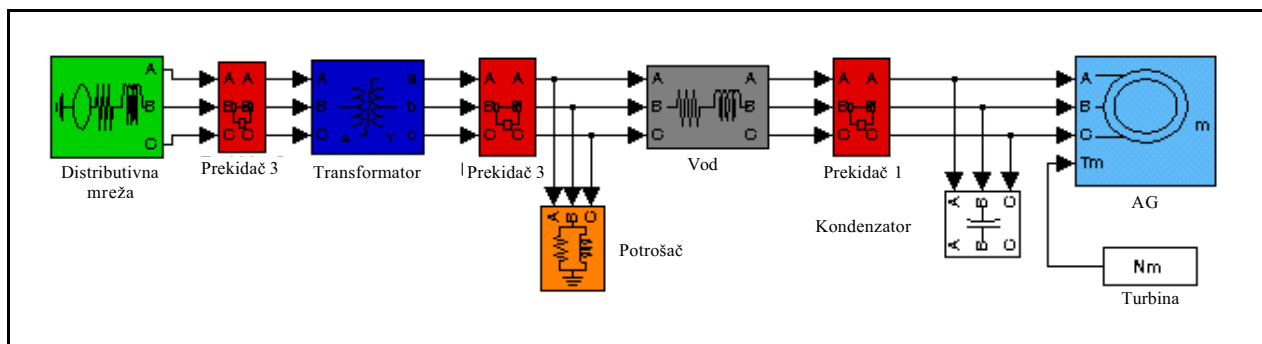
Vrednosti osnovnih veličina AG u normalnom stacionarnom režimu

C (mF)	U _{gf} (V)	I _g (A)	P _g (W)	Q _g (var)	n (o/min)
331	220,7	52,7	30 600	16 750	1 029

3.2. Kratak spoj u blizini AG

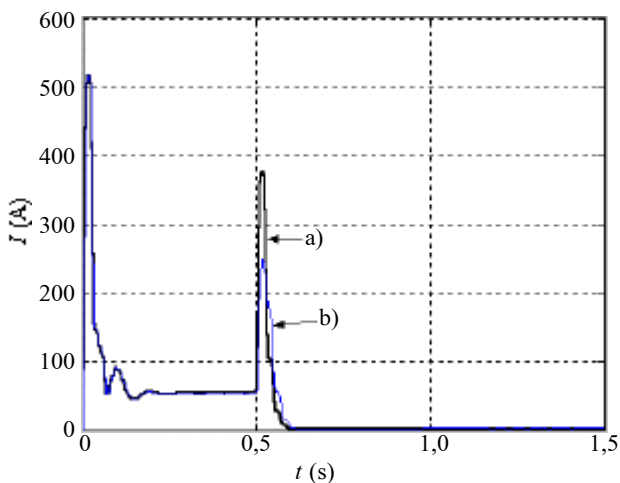
1. Trofazni kratak spoj se desio na: a) sabirnicama AG; b) sabirnicama 10 kV sistema. Za ove slučajeve, na slikama 5 i 6 su prikazane promene struje i brzine AG u periodu neposredno pre i posle kvara.

Trofazni kratak spoj u neposrednoj blizini AG prekida dotok reaktivne energije iz mreže. Istovremeno napon na kondenzatoru za kompenzaciju reaktivne snage postaje jednak nuli, čime AG ostaje bez izvora reaktivne energije. Zato se elektromotor-

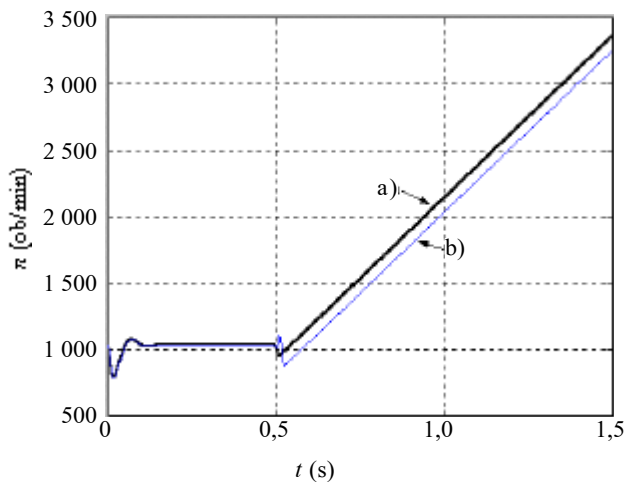


Slika 4. SIMULINK model sistema

na sila brzo smanjuje i nakon nekoliko perioda pada na nulu. To je osnovni razlog vrlo brzog prigušenja struje kratkog spoja (slika 5) kojom AG napaja mesto kvara.



Slika 5. Promena efektivne vrednosti struje AG pri trofaznom kratkom spoju:
a) na njegovim priključcima;
b) na sabirnicama 10 kV sistema

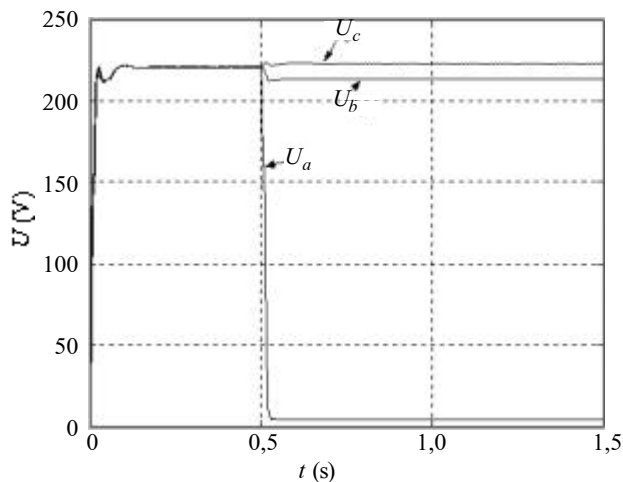


Slika 6. Promena brzine AG pri trofaznom kratkom spoju:
a) na njegovim priključcima;
b) na sabirnicama 10 kV sistema

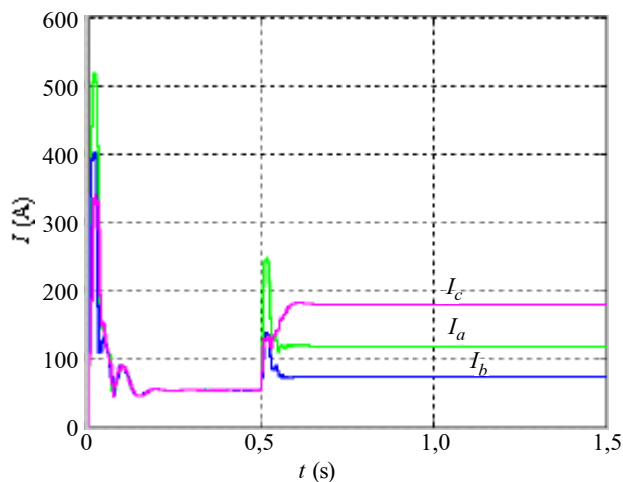
U najvećem broju slučajeva se uticaj AG na struju kvara može zanemariti. Evidentan je nagli porast brzine AG, što je posledica narušene dinamičke ravnoteže sistema turbina AG, jer elektromagnetni momenat AG ubrzo nakon kvara postaje blizak nuli, što vodi ubrzanju rotora. Prema tome, treba u minielektrana obratiti pažnju na zaštitu od prekomerne brzine.

2. Na slikama 7 i 8 su prikazane promene napona i struje AG pri jednofaznom zemljospoju na vodu između AG i transformatora. U ovom slučaju nije

prekinuto snabdevanje AG sa reaktivnom energijom, tako da on i posle kvara razvija napon, čija je vrednost u zdravim fazama približno jednaka vrednosti pre kvara. Struja nakon kvara u pojedinim fazama AG se razlikuje, i kao što se vidi sa slike 8, znatno je veća od nominalne. Prema tome, zbog načina pobuđivanja, za AG je mnogo opasniji jednofazni od trofaznog kratkog spoja.



Slika 7. Efektivne vrednosti faznih napona AG pre i posle jednofaznog kratkog spoja u blizini AG

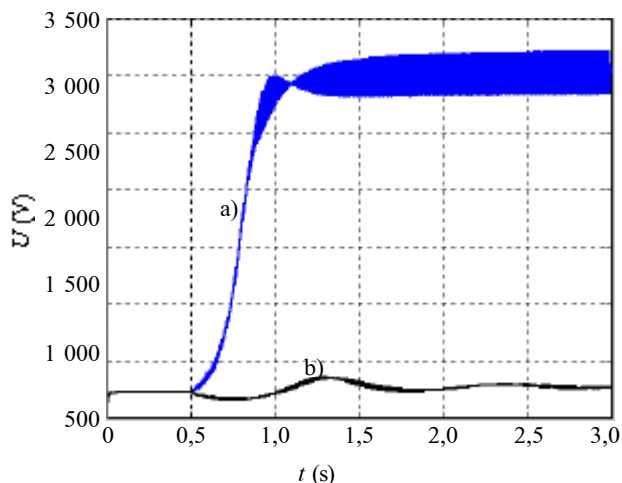


Slika 8. Efektivne vrednosti struje AG pre i posle jednofaznog kratkog spoja

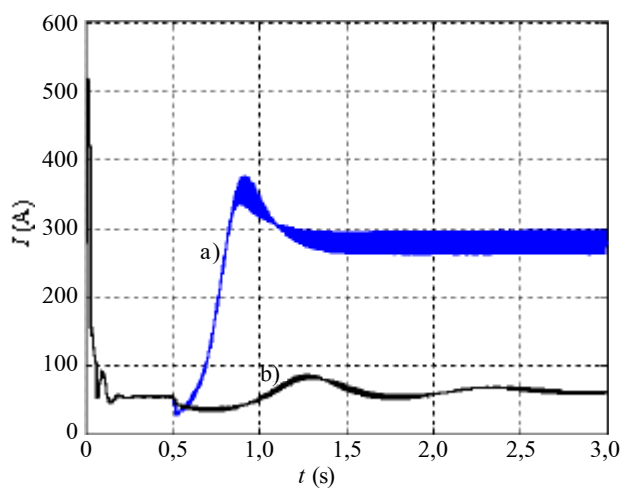
3.3. Prekidi i neregularna isključenja AG sa distributivne mreže

1. Na slikama 9, 10 i 11 su prikazane promene napona, struje i brzine AG pri:
 - a) otvaranju prekidača P1 i
 - b) otvaranju prekidača P2;

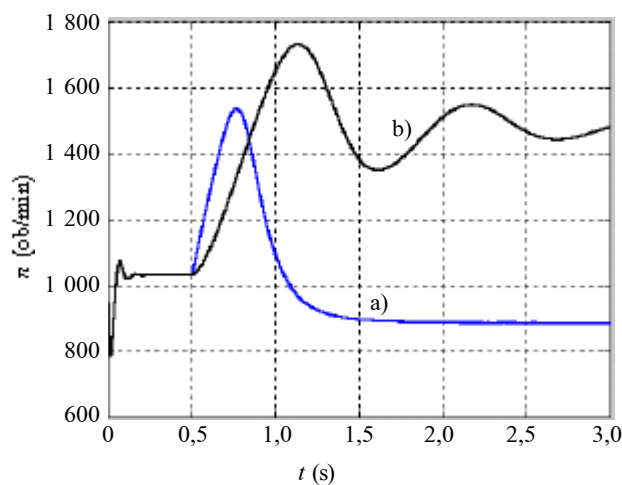
U oba slučaja turbina i kondenzator nisu prethodno isključeni.



Slika 9. Promena efektivne vrednosti napona AG pri:
a) otvaranju prekidača P1;
b) otvaranju prekidača P2



Slika 10. Promena efektivne vrednosti struje AG pri:
a) otvaranju prekidača P1;
b) otvaranju prekidača P2

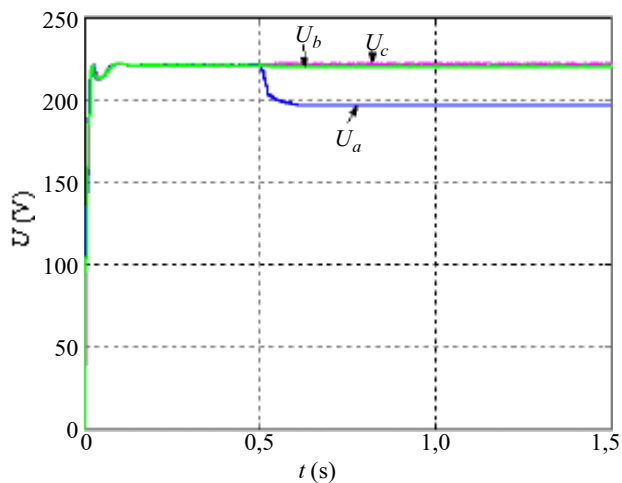


Slika 11. Promena brzine AG pri:
a) otvaranju prekidača P1;
b) otvaranju prekidača P2

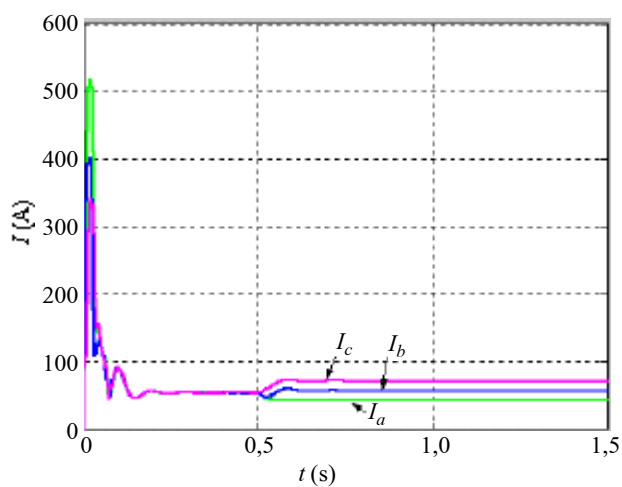
Očigledno je da u prvom slučaju (a) dolazi do samopobuđivanja AG. Zato je neophodno sprečavanje isključenja AG sa distributivne mreže bez prethodnog isključenja kondenzatora i zaustavljanja turbine.

U slučaju otvaranja prekidača P2 (b), nema drastičnih posledica, zahvaljujući lokalnom opterećenju ($P=30$ kW; $\cos \phi = 0,95$) na NN sabirnicama transformatora. Ako je lokalno opterećenje veće, AG se brže razmagnetiše, tako da je mogućnost samopobuđivanja manja, odnosno posledice samopobuđivanja su znatno blaže.

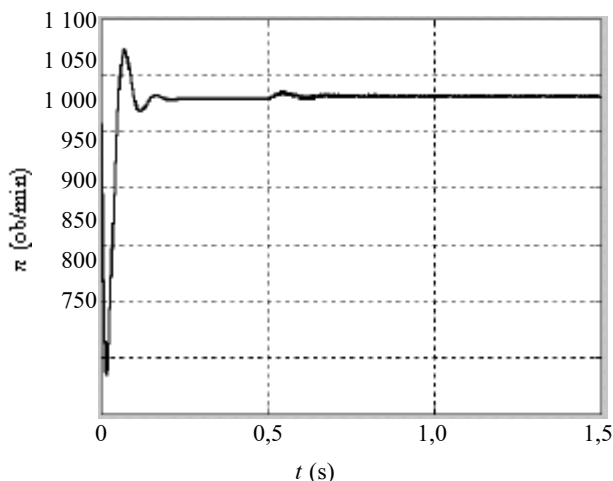
2. Situacija koja neretko može nastati je pregorevanje jednog osigurača na NN strani transformatora. Rad AG na dve faze je opisan preko dijagrama napona, struja i brzine prikazanih na slikama 12, 13 i 14.



Slika 12. Promena efektivne vrednosti napona AG pri prekidu jedne faze ili pregorevanju jednog osigurača na NN strani transformatora



Slika 13. Promena efektivnih vrednosti struja AG pri prekidu jedne faze ili pregorevanju jednog osigurača na NN strani transformatora



Slika 14. Promena brzine AG pri prekidu jedne faze ili pregorevanju jednog osigurača na NN strani transformatora

Rad AG na dve faze nije opasan, ali u dužem periodu dovodi do pojačanog i neravnomernog zagrevanja, zbog neravnomerne opterećenosti i preopterećenosti pojedinih faza. Postoji promena brzine AG (slika 14) koja je posledica nesimetrije napona i struja.

4. ZAKLJUČAK

Na bazi tipične veze asinhronog generatora sa distributivnom mrežom, napravljen je SIMULINK model sistema pomoću kog je izvršena analiza dinamičkih promena napona, struja i brzine pri kratkim spojevima, prekidima i neregularnim isključenjima u blizini asinhronog generatora.

Analizom dobijenih rezultata utvrđen je suštinski značaj načina pobuđivanja asinhronih generatora na ponašanje pri navedenim prelaznim procesima. Sa jedne strane, simetričan kratak spoj prekida dotok reaktivne energije, tako da su asinhroni generatori potpuno bezopasni u takvim režimima. Sa druge strane neregularno isključene sa distributivne mreže, u smislu otvaranja prekidača bez prethodnog zaustavljanja turbine i isključenja kondenzatorske baterije, može pod određenim uslovima dovesti do opasnog samopobuđivanja AG, sa vlo visokim naponima i strujama.

5. LITERATURA

- [1] J. Radosavljević, M. Jevtić, UTICAJ DISTRIBUIRANE PROIZVODNJE NA PADOVE NAPONA, TOKOVE SNAGA I GUBITKE SNAGE U RADIJALNOJ DISTRIBUTIVNOJ MREŽI, Časopis „Elektroprivreda”, br. 1, 2005.
- [2] N. Rajaković, ANALIZA ELEKTRO-ENERGETSKIH SISTEMA I, ETF, Beograd 2002
- [3] M. Čalovoć, A. Sarić, OSNOVI ANALIZE ELEKTROENERGETSKIH MREŽA I SISTEMA, Akademski Misao, Beograd, 2004.
- [4] N. Jenkins, R. Allan, P. Crossley, D. Kirscher and G. Strbac, „EMBEDDED GENERATION”, The Institution of Electrical Engineers, London, UK, 2000.
- [5] M. A. Ouhrouche, X. D. Do, Q. M. Le, R. Chainé, EMTP BASED SIMULATION OF A SELF-EXCITED INDUCTION GENERATOR AFTER ITS DISCONNECTION FROM THE GRID, IEEE Trans. on Egy. Conv., Vol.13, No. 1, March 1998 .
- [6] C. Chakraborty, S. N. Bhadra, A. K. Chattopadhyay, EXCITATION REQUIREMENTS FOR STAND ALONE THREE-PHASE INDUCTION GENERATOR, IEEE Trans. on Egy. Conv., Vol.13, No. 4, December 1998.
- [7] E. Suarez, G. Bortolotto, VOLTAGE-FREQUENCY CONTROL OF A SELF EXCITED INDUCTION GENERATOR, IEEE Trans. on Egy. Conv., Vol. 14, No. 3, September 1999 .
- [8] C. Allan: WATER-TURBINE-DRIVEN INDUCTION GENERATORS, IEE, Paper No. 3140 S, 1959.
- [9] L. Wang, J. Y. Su, DYNAMIC PERFORMANCES OF AN ISOLATED SELF-EXCITED INDUCTION GENERATOR UNDER VARIOUS LOADING CONDITIONS, IEEE Trans. on Egy. Conv., Vol. 14, No. 1, March 1999.
- [10] C. H. Lee, L. Wang, A NOVEL ANALYSIS OF PARALLEL OPE-RATED SELF-EXCITED INDUCTION GENERATORS, IEEE Trans. on Egy. Conv., Vol.13, No. 2, June 1998.



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



Miroljub Jevtić je diplomirao 1980. godine, magistrirao 1987. godine, a doktorirao 1991. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Skoplju na smeru za elektroenergetske sisteme. Doktorirao je, takođe, na Sankt Peterburškom tehničkom univerzitetu 1989. godine na katedri za električnu izolaciju, kablove i kondenzatore. Bio je zaposlen u Fabrici kablova Zaječar (1981-1991) kao rukovodilac razvoja i kao organizator kontrole kablova, 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 smeru za elektroenergetske sisteme. Objavio je 70 naučnih i stručnih radova, među kojima je i veći broj u vodećim međunarodnim i domaćim časopisima.

Vladica Mijailović

Model za procenu efekata pojedinih vidova preventivnog održavanja energetskih transformatora

Stručni rad
UDK: 621.314; 621.314.21; 621.314.212

Rezime:

U radu je predložen model za procenu efekata pojedinih aktivnosti i mera koje se preduzimaju u sklopu preventivnog održavanja energetskih transformatora. Model omogućava proračun očekivanih troškova otklanjanja kvarova i šteta zbog neisporučene električne energije. Primena modela je ilustrovana na primeru jedne TS 110/x kV/kV, 2x31,5 MVA.

Ključne reči: energetski transformator, preventivno održavanje, troškovi otklanjanja kvarova, šteta zbog neisporučene električne energije

Abstract:

METHOD FOR EFFECTS EVALUATION OF SOME FORMS OF POWER TRANSFORMERS PREVENTIVE MAINTENANCE

The paper suggests a method for effects evaluation of some activities and measures, undertaken as a part of preventive maintenance of power transformers. The method enables calculation of expected failures repair cost and loss of revenue. The application of the method is demonstrated for one TS 110/x kV/kV, 2x31,5MVA.

Key words: power transformer, preventive maintenance, failures repair cost, loss of revenue

1. UVOD

Imajući u vidu činjenicu da je oprema u postrojenjima svakim danom sve starija, zbog čega se snižava njena mehanička i električna izdržljivost, organizacija procesa održavanja je jedan od najvažnijih koraka u uspešnom poslovanju elektroprivredne kompanije.

Cilj kvalitetnog preventivnog održavanja je da se ispadi elemenata svedu na najmanju moguću meru, čime se minimiziraju otklanjanje dugih i skupih

kvarova i štete zbog neisporučene električne energije. S obzirom na ulogu, nabavnu cenu, broj instaliranih jedinica i tehničko-ekonomske posledice neplaniranih ispada, preventivno održavanje energetskih transformatora je od suštinskog značaja.

U nastavku rada biće izložen predlog modela koji omogućava procenu efekata pojedinih aktivnosti i mera koje se preduzimaju u sklopu preventivnog održavanja energetskih transformatora. Primena modela je ilustrovana na TS 110/x kV/kV, 2x31,5 MVA.

Dr Vladica Mijailović, vanr. prof. – Tehnički fakultet, 32 000 Čačak, Svetog Save 65

2. LISTA KORIŠĆENIH OZNAKA

t – vreme

C_{new} – nabavna cena novog transformatora

$C_{new,k}$ – nabavna cena komponente „ k ” energetskog transformatora

b – broj funkcionalnih celina (komponenti) energetskog transformatora

f_k – broj kategorija kvarova komponente „ k ” energetskog transformatora prema dužini trajanja

p_k – relativni udeo kvarova komponente „ k ” u ukupnom broju kvarova energetskog transformatora

$$\left(\sum_{k=1}^b p_k - 1 \right)$$

$p'_{k,i}$ – relativni udeo kategorije kvara „ i ” u ukupnom broju kvarova komponente „ k ” energetskog

$$\text{transformatora } \sum_{i=1}^{f_k} p'_{k,i} - 1$$

$$P_{k,i} = p_k \cdot p'_{k,i}$$

C_u – cena sušenja i filtriranja ulja

$C_{k,i}$ – cena otklanjanja kvara „ i ” na komponenti „ k ” energetskog transformatora

$r_{k,i}$ – vreme trajanja otklanjanja kvara „ i ” na komponenti „ k ” energetskog transformatora

$I_{k,MF}$ – intenzitet krupnih kvarova komponente „ k ” energetskog transformatora

$I_{k,mf}$ – intenzitet sitnih kvarova komponente „ k ” energetskog transformatora

b – opšta oznaka za parametar oblika Veibulove (*Weibull*) raspodele

a – opšta oznaka za parametar razmere Veibulove (*Weibull*) raspodele

$R(t)$ – opšta oznaka za neotkazivost

$U(t)$ – opšta oznaka za neraspoloživost

$t_1(t_1, t_2)$ – prosečno godišnje trajanje ispada jednog transformatora tokom perioda (t_1, t_2)

$t_2(t_1, t_2)$ – prosečno godišnje trajanje ispada oba transformatora tokom perioda (t_1, t_2)

$DW_{neisp}(t_1, t_2)$ – prosečno godišnje neisporučena električna energija tokom perioda (t_1, t_2)

C_{EN} – cena neisporučene električne energije

N – očekivani životni vek energetskog transformatora

C_{pm} – cena sprovođenja jednodnevnog preventivnog održavanja

$C_{reg,oil}$ – cena regeneracije ulja

$C_{reg,ins}$ – cena regeneracije izolacionog sistema

t_{pm} – vreme trajanja najjednostavnijeg vida preventivnog održavanja

t_{oil} – vreme trajanje postupka regeneracije ulja

t_{ins} – vreme trajanja postupka regeneracije izolacionog sistema

t_{ref} – vreme trajanja postupka revitalizacije transformatora

3. OSNOVNE POSTAVKE

Energetski transformator se može nalaziti u radnom ili u neradnom stanju. Kvarovi koji energetski transformator prevode u neradno stanje se mogu podeliti na sitne (*minor failures*) i krupne kvarove (*major failures*), zbog kojih dolazi do gubitka jedne ili više funkcionalnih sposobnosti transformatora. Kvarovi koji se mogu otkloniti za $t \leq 24$ h smatraju se sitnim kvarovima.

Verovatnoća boravka komponente „ k ” energetskog transformatora u radnom stanju (neotkazivost) predstavljena je izrazom:

$$R_k(t) = e^{-(\sum_{k,mf} I_{k,mf})t} e^{-\frac{t}{k}} \quad (1)$$

odnosno, usvojeno je da se iz radnog u neradno stanje može preći zbog slučajnih kvarova i/ili zbog starenja elementa respektivno.

Energetski transformator se sastoji od 5 funkcionalnih celina-komponenti:

1. Namotaji i jezgro+ulje,
2. Provodni izolatori,
3. Kotao,
4. Regulator napona i
5. Ostali pribor.

Prema očekivanoj dužini trajanja otklanjanja, postoje tri kategorije kvarova:

- $i=1$) kvarovi koji se otklanjaju za $t \leq 1$ dan,
- $i=2$) kvarovi koji se otklanjaju za $1 < t \leq 30$ dana i
- $i=3$) kvarovi koji se otklanjaju za $t > 30$ dana.

4. PREDLOG MODELA

Razmatraćemo sledeće vidove eksploatacije, preventivnog održavanja i mera:

4-1) eksploatacija bez sprovođenja preventivnog održavanja, odnosno sprovodi se korektivno održavanje.

4-2) jednodnevno održavanje (praktično osmočasovno, $t_{pm} = 8$ h) tokom koga se otklanjaju eventualna oštećenja i zamenjuju pohabani delovi (bez otvaranja kotla-nisu obuhvaćeni namotaji, jezgro i ulje).

4-3) regeneracija ulja. Usvojeno je da ova aktivnost traje $t_{oil} = 5$ dana i da će, takođe, biti obavljeno održavanje kao u 4-2). Regeneracija ulja je postupak tokom koga se hemijskim metodama i metodama upijanja eliminišu kiseline i koloidalni kontaminati, kao i subprodukti razlaganja ulja, radi dobijanja ulja sa vrednostima parametara veoma bliskim vrednostima parametara novog ulja.

4-4) regeneracija izolacionog sistema Usvojeno je da ova aktivnost traje $t_{ins} = 10$ dana i da će, takođe, biti obavljeno održavanje kao u 4-2). Pod

regeneracijom izolacionog sistema se podrazumeva regeneracija ulja, otklanjanje nečistoće i sušenje papirne izolacije cirkulacijom suvog toplog ulja. Sušenjem papirne izolacije snižava se koncentracija vlage i, prvenstveno, povećava vrednost stepena polimerizacije papira, čime se smanjuje njegova „tehnička starost” [7].

4-5) revitalizacija transformatora, nakon čega transformator ima sve karakteristike kao da je nov. Usvojeno je da nakon svake godine eksploatacije transformatora njegova vrednost opada za 1,5 % u odnosu na nabavnu cenu novog transformatora. Takođe, usvojeno je da revitalizacija traje $t_{ref} = 28$ dana. Pod revitalizacijom energetskog transformatora se podrazumeva utvrđivanje stanja svih funkcionalnih celina i dovođenje transformatora u stanje „kao da je nov” (as good as new) popravkom i/ili zamenom pohabanih delova regulatora napona, ventilatora i pumpi, regeneracijom ili zamenom ulja i delova papirne izolacije, zamenom namotaja, pritezanju jezgra, otklanjanjem korozije i farbanjem kotla, itd. [7].

4-6) ugradnja sistema za kontinualni nadzor namotaja i ulja. Očekivani vek eksploatacije komercijalno dostupnih sistema iznosi 10 godina. Stepenn detektovanih kvarova iznosi 80 %. Iza razloga sigurnosti je usvojeno da se ovi detektovani kvarovi mogu smatrati poremećajima koji se mogu otkloniti za 5 dana po ceni od 5 000 eura (svesno povećanje očekivanih troškova otklanjanja kvarova, u dostupnoj literaturi detektovani kvarovi se zanemaruju).

4-1) Za slučaj pogona bez sprovođenja preventivnog održavanja, prosečni troškovi otklanjanja kvarova tokom perioda dužine T iznose:

$$C_{ET}(0, T) = \frac{1}{T} \frac{R_{tot}(T) \prod_{k=1}^b \prod_{i=1}^{f_k} P_{k,i} C_{k,i}}{\int_0^T R_{tot}(t) dt \prod_{k=1}^b \prod_{i=1}^{f_k} P_{k,i} r_{k,i}}, \quad (2)$$

Prvi sabirak u imeniocu predstavlja matematičko očekivanje vremena trajanja ispravnog rada energetskog transformatora, a drugi matematičko očekivanje trajanja vremena otklanjanja kvarova [1].

Prosečna neraspoloživost transformatora tokom perioda dužine T računa se kao:

$$U_{ET}(0, T) = \frac{1}{T} \frac{R_{tot}(T) \prod_{k=1}^b \prod_{i=1}^{f_k} P_{k,i} r_{k,i}}{\int_0^T R_{tot}(t) dt \prod_{k=1}^b \prod_{i=1}^{f_k} P_{k,i} r_{k,i}} \quad (3)$$

Za planiranje preventivnog održavanja, čini se pogodnijim određivanje prosečnih troškova otklanjanja kvarova u periodu (T, N) :

$$C_{ET}(T, N) = \frac{1}{T} \frac{R_{tot}(N) \prod_{k=1}^b \prod_{i=1}^{f_k} P_{k,i} C_{k,i}}{\int_T^N R_{tot}(t) dt \prod_{k=1}^b \prod_{i=1}^{f_k} P_{k,i} r_{k,i}} \quad (4)$$

Izraz u uglastoj zagradi u (4) predstavlja verovatnoću da će se desiti kvar u vremenskom intervalu (T, N) ako se nije desio do trenutka T [1].

4-2) Ako se do trenutka m nije dogodio kvar, biće sprovedeno jednodnevno održavanje. Prosečni troškovi tokom perioda (m, N) izračunavaju se kao:

$$C_{ET}(m, N) = \frac{R m C_{pm} E(m) \prod_{k=1}^b \prod_{i=1}^{f_k} P_{k,i} C_{k,i}}{R m t_{pm} E(m) \int_m^N R_{tot}(t) dt \prod_{k=1}^b \prod_{i=1}^{f_k} P_{k,i} r_{k,i}} \quad (5)$$

$$E(m) = \exp\left(-\frac{b}{k} \left(\frac{m}{k_{MF}}\right)^k\right)$$

Prosečna neraspoloživost transformatora biće:

$$U_{ET}(m, N) = \frac{E(m) \prod_{k=1}^b \prod_{i=1}^{f_k} P_{k,i} r_{k,i}}{R m t_{pm} E(m) \int_m^N R_{tot}(t) dt \prod_{k=1}^b \prod_{i=1}^{f_k} P_{k,i} r_{k,i}} \quad (6)$$

4-3) Ako se do trenutka T_{oil} nije dogodio kvar biće sprovedena regeneracija ulja. Prosečni troškovi i nerasploživost tokom perioda (T_{oil}, N) izračunavaju se kao:

$$C_{ET}(T_{oil}, N) = \frac{R_{tot} T_{oil} C_{reg, oil} E(T_{oil}) + 1 \frac{R_{tot}(N)}{R_{tot}(T_{oil})} \sum_{k=1}^b p_{k,i}^{f_k} C_{k,i}}{R_{tot} T_{oil} t_{oil} E(T_{oil}) + \int_{T_{oil}}^N R_{tot}(t) dt + 1 \frac{R_{tot}(N)}{R_{tot}(T_{oil})} \sum_{k=1}^b p_{k,i}^{f_k} r_{k,i}} \quad (7)$$

$$U_{ET}(T_{oil}, N) = \frac{E(T_{oil}) + 1 \frac{R_{tot}(N)}{R_{tot}(T_{oil})} \sum_{k=1}^b p_{k,i}^{f_k} r_{k,i}}{R T_{oil} t_{oil} E(T_{oil}) + \int_{T_{oil}}^N R_{tot}(t) dt + 1 \frac{R_{tot}(N)}{R_{tot}(T_{oil})} \sum_{k=1}^b p_{k,i}^{f_k} r_{k,i}}$$

$$E(T_{oil}) = \exp(-\lambda_{mf} - \lambda_{MF}) T_{oil} \exp\left(\frac{b}{k+2} (\lambda_{k,mf} - \lambda_{k,MF}) T_{oil}\right) \quad (8)$$

4-4) *Regeneracija izolacionog sistema.* Poboljšanje u odnosu na regeneraciju ulja je što se smanjuje „tehnička starost“ papirne izolacije za $x = (20-30)\%$. Dakle, nakon regeneracije neotkazivost komponente će se menjati prema izrazu:

$$R_{l,reg}(t) = \exp(-\lambda_{MF} t) \exp\left(\frac{t(1-x)}{1}\right) \quad (9)$$

a neotkazivost transformatora kao celine:

$$R_{t,reg} = R_{l,reg}(t) \sum_{k=2}^b R_k(t) \quad (10)$$

Prosečni troškovi i nerasploživost tokom perioda izračunavaju se kao:

$$C_{ET}(T_{reg}, N) = \frac{R_{tot} T_{reg} C_{reg, ins} E(T_{reg}) + 1 \frac{R_{t,reg}(N)}{R_{t,reg}(T_{reg})} \sum_{k=1}^b p_{k,i}^{f_k} C_{k,i}}{R_{tot} T_{reg} t_{ins} E(T_{reg}) + \int_{T_{reg}}^N R_{t,reg}(t) dt + 1 \frac{R_{t,reg}(N)}{R_{t,reg}(T_{oil})} \sum_{k=1}^b p_{k,i}^{f_k} r_{k,i}} \quad (11)$$

$$U_{ET}(T_{reg}, N) = \frac{E(T_{reg}) + 1 \frac{R_{t,reg}(N)}{R_{t,reg}(T_{reg})} \sum_{k=1}^b p_{k,i}^{f_k} r_{k,i}}{R_{tot} T_{reg} t_{ins} E(T_{reg}) + \int_{T_{reg}}^N R_{t,reg}(t) dt + 1 \frac{R_{t,reg}(N)}{R_{t,reg}(T_{oil})} \sum_{k=1}^b p_{k,i}^{f_k} r_{k,i}}$$

$$E(T_{reg}) = \exp(-\lambda_{mf} - \lambda_{MF}) T_{reg} \exp\left(\frac{b}{k+2} (\lambda_{k,mf} - \lambda_{k,MF}) T_{reg}\right) \quad (12)$$

4-5) Na osnovu usvojene pretpostavke, nakon T_{ref} godina eksploatacije bez kvarova cena revitalizacije će iznositi: $C_{ref}(T_{ref}) = 0,015 \cdot T_{ref} \cdot C_{new}$. Prosečni troškovi i nerasploživost tokom perioda (T_{ref}, N) izračunavaju se kao:

$$C_{ET}(T_{ref}, N) = \frac{R_{tot}(T_{ref}) C_{ref}(T_{ref}) \int_0^N R_{tot}(N - T_{ref})^{b-1} P_{k,i} C_{k,i} dt}{R_{tot}(T_{ref}) t_{ref} \int_0^N R_{tot}(t) dt \int_0^N R_{tot}(N - T_{ref})^{b-1} P_{k,i} r_{k,i} dt} \quad (13)$$

$$U_{ET}(T_{ref}, N) = \frac{\int_0^N R_{tot}(N - T_{ref})^{b-1} P_{k,i} r_{k,i} dt}{R_{tot}(T_{ref}) t_{ref} \int_0^N R_{tot}(t) dt \int_0^N R_{tot}(N - T_{ref})^{b-1} P_{k,i} r_{k,i} dt} \quad (14)$$

4-6) Ugradnjom sistema za kontinualni nadzor namotaja i ulja omogućava se detekcija kvarova u najranijoj fazi razvoja. Time se povećava intenzitet sitnih a smanjuje intenzitet krupnih kvarova posmatrane komponente. Sniženje intenziteta krupnih kvarova ima za posledicu povećanje parametra razmere Weibull-ove raspodele.

Označimo sa a_1 parametar razmere namotaja nakon ugradnje sistema za kontinualni nadzor. Sistem je, po pretpostavci, ugrađen nakon T_s godina pogona bez kvarova.

Neotkazivost transformatora tokom sledećih 10 godina eksploatacije će se menjati prema izrazu:

$$R'_{tot}(t) = R_1(T_s) R'_1(t - T_s)^{b-1} R_k(t) \quad (15)$$

$$R'_1(z) = \exp\left[-\frac{z}{1, MF} - \frac{z}{1, mf}\right] = \exp\left[-\frac{z}{1}\right] \quad (16)$$

5. PRIMENA PREDLOŽENOG MODELA

Primena predloženog modela biće ilustrovana na primeru jedne TS 110/x kV/kV, u kojoj su instalirana dva energetska transformatora od po 31,5

MVA. Proračuni su urađeni za očekivani životni vek transformatora od $N = 40$ godina.

Linearizovani godišnji dijagram trajanja opterećenja za analiziranu TS je prikazan na slici 1. Maksimalno opterećenje iznosi 80 % a minimalno 40 % instalisane snage, $P_{inst} = 2 \cdot 31,5 = 63$ MVA.

Očekivano prosečno godišnje trajanje ispada jednog transformatora tokom perioda (t_1, t_2) je:

$$U_{ET}(t_1, t_2) = 8760 \int_{t_1}^{t_2} R_{tot}(t) dt \quad (17)$$

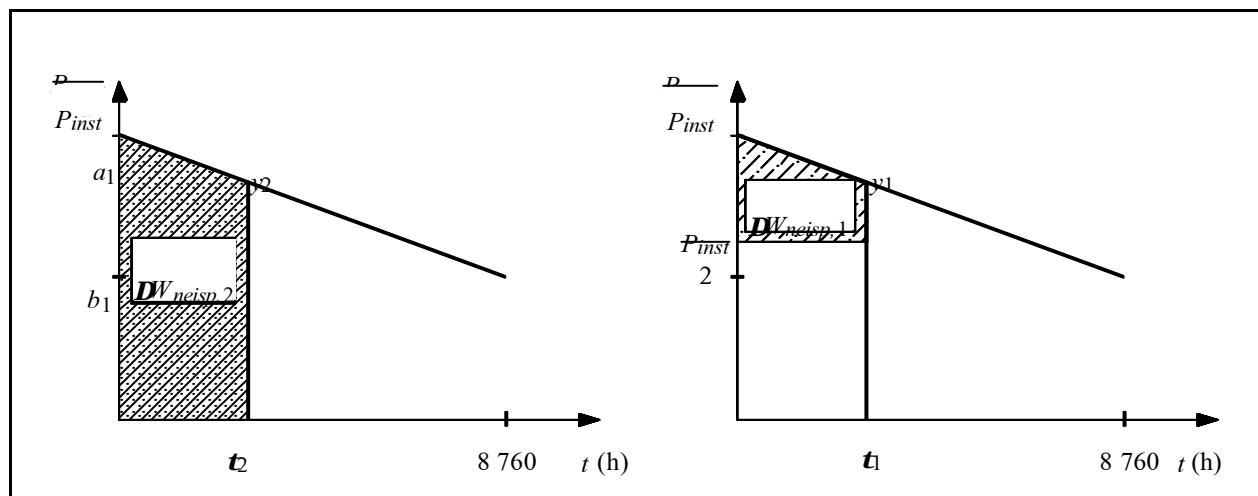
Očekivano prosečno godišnje trajanje ispada oba transformatora tokom perioda (t_1, t_2) je:

$$U_{ET}(t_1, t_2) = 2 \int_{t_1}^{t_2} R_{tot}(t) dt \quad (18)$$

Imajući u vidu sliku 1 i izraze (17) i (18), za neisporučenu električnu energiju se ima:

$$y_{1(2)} = a_1 \frac{b_1}{8760} \int_{t_1}^{t_2} P_{inst} dt \quad (19)$$

$$W_{neisp,1} = 2 \int_{t_1}^{t_2} P_{inst} dt = 2 \int_{t_1}^{t_2} a_1 P_{inst} dt = 2 a_1 P_{inst} (t_2 - t_1) \quad (20)$$



Slika 1. Linearizovani godišnji dijagram trajanja opterećenja $(a_1 = 0,8; b_1 = 0,4)$

$$W_{neisp,2} = \frac{a_1 P_{inst} y_2}{2} t_1, t_2$$

Prosečna godišnja šteta zbog neisporučene električne energije je:

$$W_{TS,god} = C_{EN} W_{neisp,1} + W_{neisp,2} \text{ evro (21)}$$

Usvojeno je da cena neisporučene električne energije iznosi $C_{en} = 0,05$ evra/kWh.

Nabavne cene komponenti energetskog transformatora 110 kV, 31,5 MVA su navedene u tabeli 1. U tabeli 2 su dati podaci o udelu pojedinih komponenti u ukupnom broju kvarova, usvojena vremena trajanja i cene otklanjanja pojedinih kategorija kvarova.

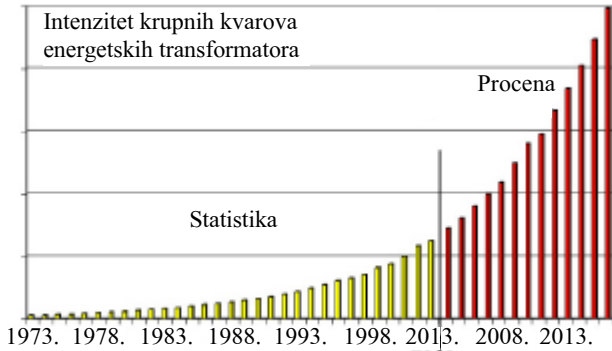
Cena sušenja i filtriranja ulja C_u iznosi 20 % od nabavne cene novog ulja.

Tabela 1

k	Komponenta	Cena $C_{new,k}$, (evro)
1.	Namotaji i jezgro + ulje	220 000+25 000
2.	Provodni izolator	570
3.	Kotao	20 000
4.	Regulator napona	15 000
5.	Ostali pribor	15 000

Parametri u (1) su određeni na osnovu slike 2 [3] primenom metode minimuma sume kvadrata odstupanja.

Usvojeno je da je $I^0 = I_{MF}^0 + I_{mf}^0 = 0,01 = 1\%$. Na osnovu podataka iz tabele 2 dobija se da je $I_{MF}^0 = 0,007\ 918\ 7$, $I_{mf}^0 = 0,002\ 081\ 3$.



Slika 2. Statistički podaci o intenzitetu krupnih kvarova $I_{t,MF}^0$ u periodu 1973.-2003. godine i procena za period 2004.-2015. godine [3]

Za mešavinu eksponencijalne i Weibull-ove raspodele, za intenzitet krupnih kvarova ima se:

$$f_{MF}(t) = \frac{1}{t} e^{-\lambda t} + \lambda t^{b-1} e^{-\lambda t^b} \quad (22)$$

Parametri Weibull-ove raspodele su određeni na osnovu uslova da suma

$$\int_0^{\infty} f_{MF}(t) dt = 1 \quad (23)$$

ima minimalnu vrednost.

Da bi se pomenuti uslov ispunio potrebno je rešiti jednačine:

$$\frac{d}{db} \int_0^{\infty} f_{MF}(t) dt = 0, \quad \frac{d}{d\lambda} \int_0^{\infty} f_{MF}(t) dt = 0 \quad (24)$$

Parcijalni izvod po b nije praktično upotrebljiv zbog složenosti izraza, zbog čega je određen samo

Tabela 2

k	Komponenta	P_k (%)	„Kategorija” kvara prema trajanju	Usvojena trajanja otklanjanja	$P'_{k,i}$ (%)	Cena otklanjanja kvara
1.	Namotaji i jezgro	35	do 30 dana	15 dana	18,35	$0,2 \cdot C_1 + C_u$
			> 30 dana	120 dana	81,65	$0,5 \cdot C_1 + C_u$
2.	Provodni izolatori	14	≤ 1 dan	1 dan	15,83	$0,4 \cdot C_2$
			1 ÷ 30dana	3 dana	54,16	C_2
			> 30 dana	30 dana	30,01	$C_2 + C_u$
3.	Kotao	6	≤ 1 dan	1 dan	63,29	$0,1 \cdot C_3$
			1 ÷ 30 dana	3 dana	25,32	$0,2 \cdot C_3 + C_u$
			> 30 dana	60 dana	11,39	$C_3 + C_u$
4.	Regulator napona	40	≤ 1 dan	1 dan	28,74	$0,1 \cdot C_4$
			1 ÷ 30 dana	3 dana	51,60	$0,2 \cdot C_4$
			> 30 dana	30 dana	19,66	$0,4 \cdot C_4$
5.	Ostalo	5	≤ 1 dan	1 dan	66,00	$0,1 \cdot C_5$
			1 ÷ 30 dana	15 dana	34,00	C_5

parcijalni izvod po \mathbf{a} , a zatim je vrednost \mathbf{a} određena za usvojeno \mathbf{b} uz dodatni kriterijum da varijanta bude minimalna. Rezultati proračuna su dati u tabeli 3.

Tabela 3.

Parametri Weibull-ove raspodele

k	Komponenta	b_k	a_k
1.	Namotaji i jezgro	3,58	31,661 00
2.	Provodni izolator	3,58	42,513 51
3.	Kotao	3,58	67,938 40
4.	Regulator napona	3,58	33,217 40
5.	Ostali pribor	3,58	73,011 80

Ostali podaci korišćeni za proračun su:

- $C_{pm} = 100$ evra, $C_{reg,oil} = 7\ 000$ evra, $x = 0,3$, $C_{reg,ins} = 10\ 000$ evra,
- nabavna cena i ugradnja sistema za kontinualni nadzor 30 000 evra, troškovi održavanja sistema 500 evra/godišnje.

Na slikama 3 i 4 prikazani su očekivani troškovi otklanjanja kvarova i očekivane štete, respektivno, za slučaj pogona bez sprovođenja preventivnog održavanja.

Odgovarajući rezultati za slučaj sprovođenja jednodnevnog preventivnog održavanja su prikazani na slikama 5 i 6, a za slučaj sprovođenja regeneracije ulja na slikama 7 i 8.

Na slici 9 su dati podaci o neotkazivosti transformatora za slučaj pogona bez održavanja i za slučaj sprovođenja regeneracije ulja.

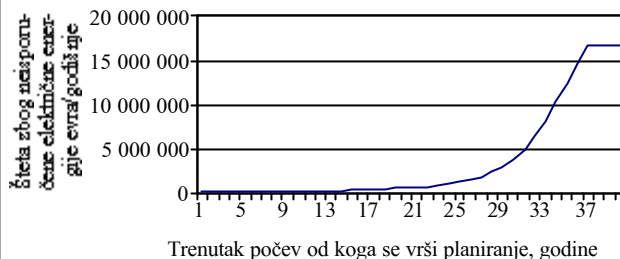
Na slici 10 dat je uporedni pregled očekivanih troškova za slučaj eksploatacije bez održavanja i za slučaj sprovođenja regeneracije izolacionog sistema, a na slici 11 uporedni pregled prosečnih očekivanih šteta za slučaj eksploatacije bez održavanja i za slučaj sprovođenja regeneracije izolacionog sistema.

Ilustracije radi, na slici 12 je dat uporedni pregled neotkazivosti transformatora za slučaj pogona bez održavanja i za slučaj kada se regeneracija izolacionog sistema sprovodi nakon određenog perioda.

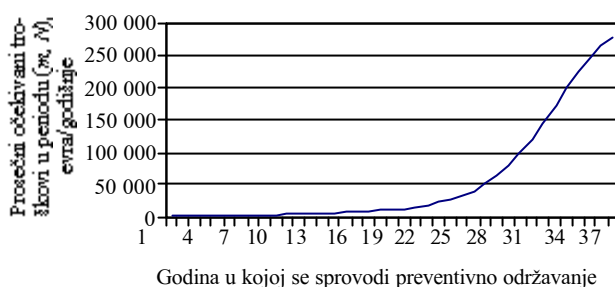


Slika 3. Prosečni očekivani troškovi otklanjanja kvarova tokom perioda (T, N)

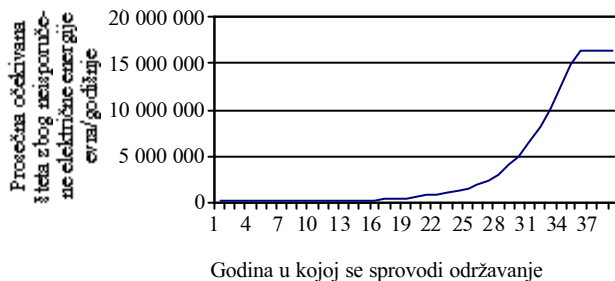
Rezultati proračuna za slučaj sprovođenja revitalizacije transformatora su dati na slici 13 i slici 14.



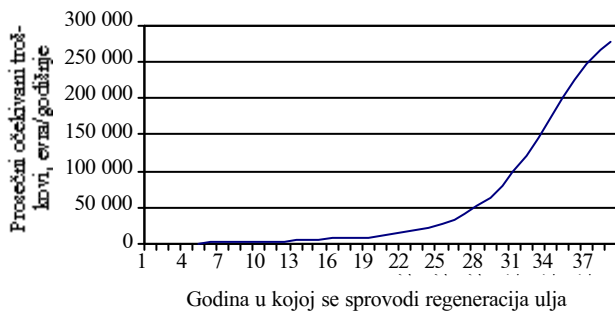
Slika 4. Prosečne očekivane štete zbog neisporučene električne energije tokom perioda (T, N)



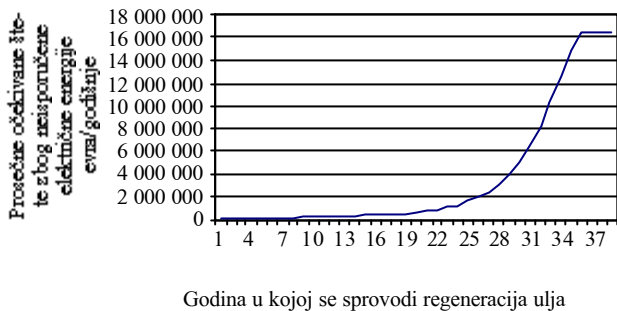
Slika 5. Prosečni troškovi u zavisnosti od trenutka sprovođenja preventivnog održavanja



Slika 6. Prosečne štete u zavisnosti od trenutka sprovođenja preventivnog održavanja

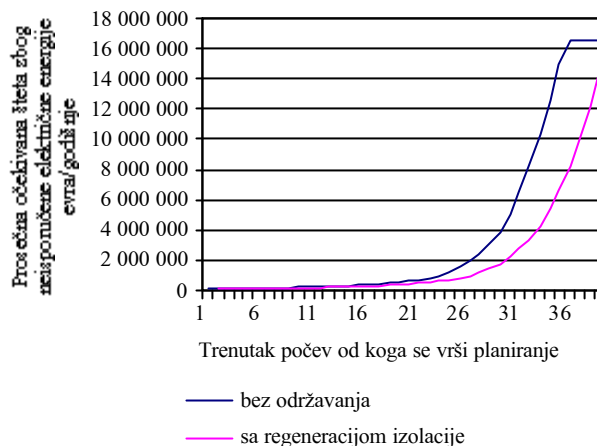


Slika 7. Prosečni troškovi u zavisnosti od trenutka sprovođenja regeneracije ulja



Godina u kojoj se sprovodi regeneracija ulja

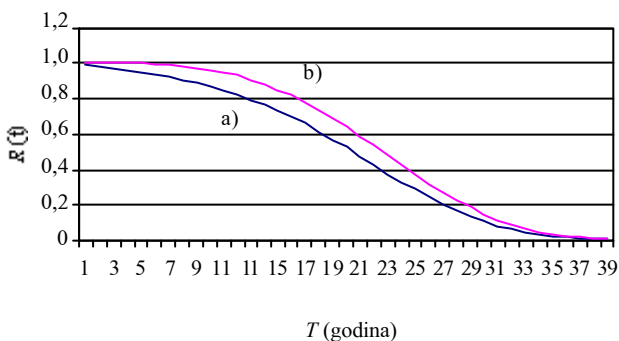
Slika 8. Prosečne štete u zavisnosti od trenutka sprovođenja regeneracije ulja



Trenutak počev od koga se vrši planiranje

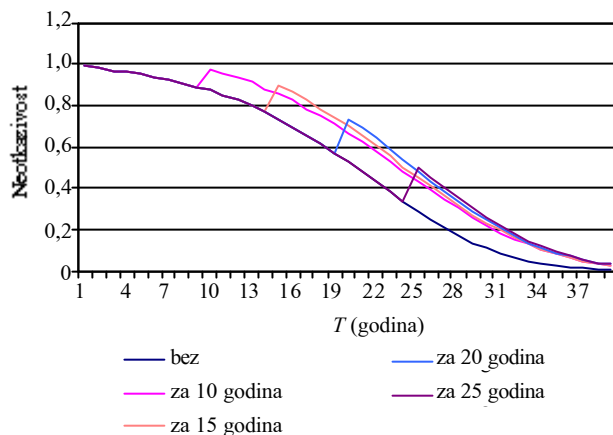
— bez održavanja
— sa regeneracijom izolacije

Slika 11. Uporedni pregled prosečnih očekivanih šteta za slučaj eksploatacije bez održavanja i za slučaj sprovođenja regeneracije izolacionog sistema



T (godina)

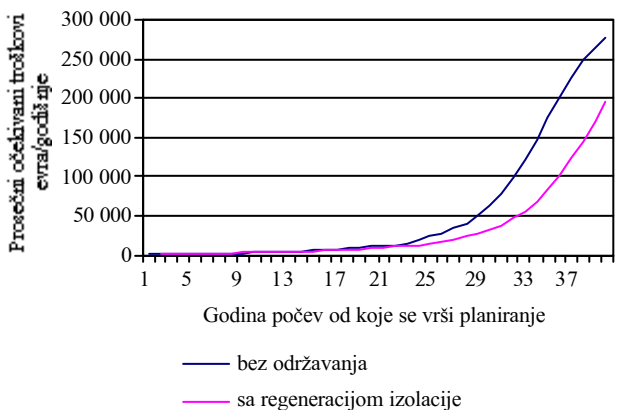
Slika 9. Neotkazivost transformatora za slučaj pogona bez održavanja (kriva a) i za slučaj sprovođenja regeneracije ulja u godini T (kriva b)



T (godina)

— bez
— za 10 godina
— za 15 godina
— za 20 godina

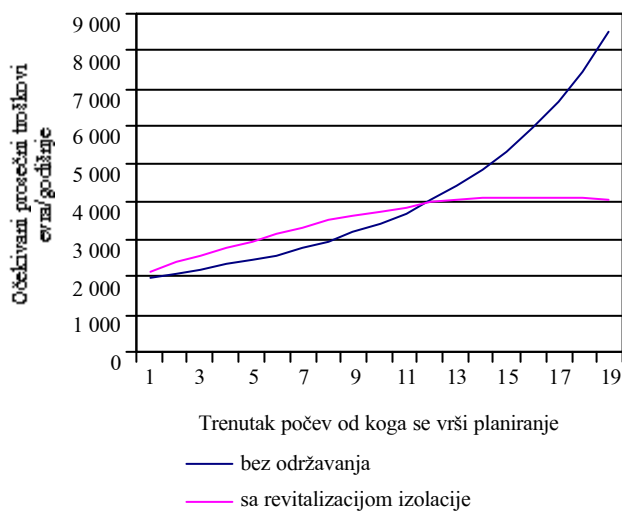
Slika 12. Uporedni pregled neotkazivosti transformatora za slučaj pogona bez održavanja i za slučaj kada se regeneracija izolacionog sistema sprovodi nakon određenog perioda eksploatacije



Godina počev od koje se vrši planiranje

— bez održavanja
— sa regeneracijom izolacije

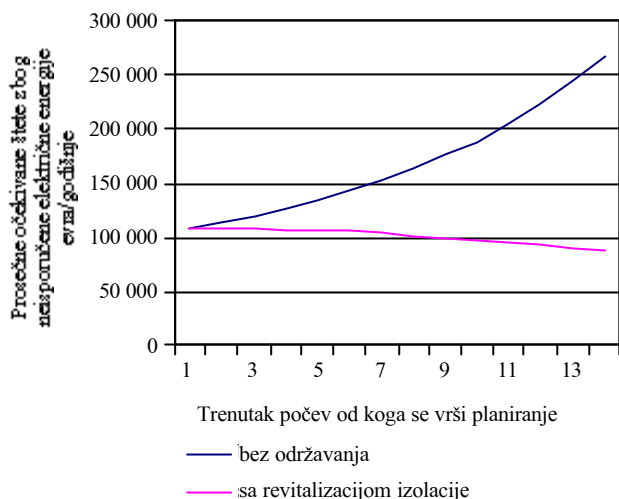
Slika 10. Uporedni pregled očekivanih troškova za slučaj eksploatacije bez održavanja i za slučaj sprovođenja regeneracije izolacionog sistema



Trenutak počev od koga se vrši planiranje

— bez održavanja
— sa revitalizacijom izolacije

Slika 13. Uporedni pregled očekivanih troškova za slučaj eksploatacije bez održavanja i za slučaj sprovođenja revitalizacije transformatora



Slika 14. Uporedni pregled prosečnih očekivanih šteta za slučaj eksploatacije bez održavanja i za slučaj sprovođenja revitalizacije transformatora

Ugradnjom sistema za kontinualni nadzor namotaja i ulja utiče se na brzinu starenja. Za usvojeni stepen detektovanih kvarova od 80 % dobija se:

$$\begin{matrix} 1, MF & 0,2 & 1, MF & 1, mf & 0,8 & 1, MF \\ 1 & & & & & \end{matrix}$$

49,08

Uporedni pregled očekivanih troškova i šteta za slučaj pogona bez održavanja i za slučaj sa ugrađenim sistemom za kontinualni nadzor namotaja i ulja dat je u tabeli 4.

6. ZAKLJUČAK

U radu je predložen model za procenu efekata aktivnosti različitog obima koje se sprovode u sklopu preventivnog održavanja energetskih transformatora.

Upoređenjem (slika 3 i slika 5) i (slika 4 i slika 6) može se zaključiti sledeće: tokom prvih 5 godina eksploatacije smanjenje štete zbog neisporučene električne energije je jednako povećanju troškova.

Ako se prvo održavanje sprovede 6. godine u periodu od naredne 34 godine eksploatacije može se očekivati smanjenje troškova i šteta od 3 evra/godišnje.

Ako se uporede ukupni troškovi i štete za slučaj pogona bez održavanja i za slučaj sa regeneracijom ulja zaključuje se sledeće: ako bi se regeneracija obavila u 19. godini prosečna ušteda u narednim godinama eksploatacije bi iznosila 95 evra/godišnje, u 20. godini – 257 evra/godišnje, u 21. godini – 477 evra/godišnje.

Ako je kriterijum odlučivanja visina očekivane štete zbog neisporučene električne energije ugradnja sistema za kontinualni nadzor je vrlo povoljno rešenje tokom čitavog veka eksploatacije.

Ako je kriterijum odlučivanja visina očekivanih troškova ugradnja sistema za kontinualni nadzor je ekonomski opravdana nakon 20. godine.

7. LITERATURA

- [1] J. M. Nahman, DEPENDABILITY OF ENGINEERING SYSTEMS, Springer, 2002.
- [2] R. Fischer, MAINTENANCE AND DIAGNOSIS STRATEGIES FOR HIGH VOLTAGE SUBSTATIONS, Tettex Instruments, april 28, 2004.
- [3] B. Augenstein, OUTSOURCED MONITORING AND RELIABILITY OF CRITICAL ASSETS, DistribuTech, February 4-6, 2003, Las Vegas
- [4] D. M. Reineke et al., IMPROVING AVAILABILITY AND COST PERFORMANCE FOR COMPLEX SYSTEMS WITH PREVENTIVE MAINTENANCE, Annual Reliability and Maintainability Symposium, Proc. 1999.
- [5] AN INTERNATIONAL SURVEY ON FAILURES IN LARGE POWER TRANSFORMERS IN SERVICE, ELECTRA No. 88, 1983.
- [6] V. Mijailović, PROBABILISTIC METHOD FOR PLANNING OF MAINTENANCE ACTIVITIES OF SUBSTATION COMPONENTS, International Journal of Electric Power Systems Research 64(2003), pp.53-58
- [7] MAINTENANCE TESTING SPECIFICATIONS, InterNational Electrical Testing Association, 2005.

Tabela 4

Period, godina	Pogon bez održavanja		Ugrađen sistem za nadzor	
	Očekivani prosečni troškovi (evra/godišnje)	Očekivane prosečne štete (evra/godišnje)	Očekivani prosečni troškovi (evra/godišnje)	Očekivane prosečne štete (evra/godišnje)
[1-10]	337,587	29 579,8	3 848,25	11 914,4
[11-20]	2 172,400	119 965,0	4 221,90	34 060,3
[21-30]	10 108,300	567 951,0	5 406,90	122 852,0
[31-40]	78 381,400	5 miliona	10 882,70	643 791,0

Predloženi model je rezultat rada na projektu TR 6608-A, koji u okviru programa Tehnološkog Razvoja finansira Ministarstvo za nauku i zaštitu životne sredine.

Participant EPS-JP „Elektrosrbija“ Kraljevo.
Najiskrenije se zahvaljujem prof. dr Jovanu Nahmanu na korisnim savetima i sugestijama pruženim tokom rada na razvoju modela.

Rad je primljen u uredništvo 24. 08. 2005. godine



Vladica Mijailović je rođen 1966. godine u Kraljevu, gde je završio osnovnu i srednju školu. Na Energetskom odseku elektrotehničkog fakulteta u Beogradu je diplomirao 1991. godine. Magistrirao je i doktorirao na istom fakultetu 1995. i 1999. godine, respektivno. Nakon diplomiranja zaposlio se na Tehničkom fakultetu u Čačku, gde je i sada zaposlen u zvanju vanredni profesor, na Katedri za Industrijsku Energetiku.

Kao autor ili koautor do sada je objavio 2 rada u vodećim međunarodnim časopisima, 3 rada u vodećem nacionalnom časopisu i 14 radova na domaćim konferencijama i savetovanjima. Koautor je jednog univerzitetskog udžbenika, jedne zbirke zadataka i dve monografije nacionalnog značaja. Učestvovao je na tri projekta finansirana od strane Ministarstva za nauku i zaštitu životne sredine.

Žarko Markov i Goran Nedić

Šta ISDN tehnika može da donese telefonskoj mreži EPS-a

Pregledni rad
UDK: 621.395; 654.15

Rezime:

Razmatra se primena ISDN tehnike u telefonskoj mreži EPS-a. Opisuju se osnovna svojstva ISDN-a: digitalizovana korisnička linija, interfejsi, signalizacija i dodatne usluge. Ukazuje se na svojstva koja će se moći koristiti u EPS-u. Naglašene su razlike između javne i privatne ISDN mreže. Ukratko se opisuje proces migracije ISDN mreže ka IP telefonskoj mreži i šta se dešava sa signalizacijom i numeracijom. Daje se zaključak o promeni raspoloživosti EPS-ove mreže korišćenjem ISDN tehnike.

Ključne reči: ISDN, dodatne usluge, Qsig

Abstract:

WHAT ISDN TECHNOLOGY SHOULD BRING TO EPS TELEPHONE NETWORK

The utilization of ISDN technology is analysed in this paper. The digital subscriber line, interfaces, signaling system and supplementary services of ISDN are considered. It is pointed out the most useful ISDN properties in EPS telephone network. The significant differences between private and public ISDN are described. Private ISDN to private IP network migration is explained in short. The conclusion relates to availability in EPS ISDN network.

Key words: ISDN, supplementary services, Qsig

1. UVOD

Mreža poznata pod imenom ISDN (*Integrated Services Digital Network*) a može se nazvati digitalnom mrežom objedinjenih usluga, je poslednji stepen razvoja telekomunikacione mreže koja se zasniva na tzv. komutaciji kola ili kanala (*circuit switching*). Korišćenje ove tehnike je počelo 1985. godine. Tačniji naziv ove tehnike je uskopojasni ISDN (*Narrowband ISDN, N-ISDN*), pošto se skraćena ISDN koristi i kod širokopojasnog ISDN-a (*Broad-*

band ISDN, B-ISDN) ali se ovde misli na ostvarivanje usluga mrežom koja nudi visoke bitske protoke ostvarene paketskim tehnikama. Pošto se u N-ISDN-u radi o komutaciji vremenskih kanala, za ovu mrežu je svojstveno da je nazivaju još i mrežom izgrađenom na načelima vremenskog multipleksa (*Time Division Multiplex, TDM*) mada ovaj termin obuhvata i digitalne telefonske mreže bez ISDN svojstava. U ovom kratkom radu će biti izložena svojstva (uskopojasne) ISDN tehnike i analiziraće se koja bi od tih svojstava mogla da se iskoriste u te-

Prof. dr Žarko Markov, dipl. ing. el. – Iritel, 11 080 Zemun, Batajnički put 23
Goran Nedić, dipl. ing. el. – „EPS” JP „Elektrovojvodina”, 21 000 Novi Sad, Bulevar oslobođenja 100

lekomunikacionoj mreži EPS-a. U daljem tekstu će se koristiti manje tačna ali uobičajena skraćenica – ISDN.

2. ŠTA JE ISDN TEHNIKA I KOME JE NAMENJENA

Stepenica razvoja telefonske mreže koja prethodi ISDN tehnici je tzv. integrisana digitalna mreža (*Integrated Digital Network, IDN*), tj. digitalna mreža koja objedinjuje komutaciju i prenos telefonskog signala u istom, digitalnom obliku. ISDN tehnika je pokušaj da se od IDN izgradi mreža za prenos podataka, glasa i slike tj. da se izgradi mreža za objedinjene usluge. Zainteresovanost korisnika je naročito velika za tzv. korisničke mogućnosti koje korisniku pomažu tako što povećavaju delotvornost ostvarivanja veza. Ove korisničke (dodatne) mogućnosti se dele u sedam grupa: o identifikaciji, (ITU-T I.251.x), o prenosu veze i preusmeravanju poziva, (I.252.x), o uspostavi veza, (I.253.x), o vezama više učesnika, (I.254.x), o grupama, (I.255.x), o naplati, (I.256.x), o dodatnom prenosu informacija, (I.257.x), [1].

Naglasimo da je prva i osnovna ideja razvoja ISDN tehnike bila da se objedinjene usluge mogu pružiti tzv. *rezidencijalnom* korisniku (u stanu) koji na raspolaganju ima samo telefonsku liniju kao prenosni put. Telefonska linija ili, popularno, telefonska parica je par bakarnih provodnika čije su mogućnosti prenosa viših učestanosti dosta ograničene, uglavnom, zbog slabljenja i preslušavanja. Da bi se ostvarila ideja ISDN-a bilo je potrebno odgovoriti na tri važna pitanja.

- Kako po svim pretplatničkim linijama ostvariti bitski protok od bar 160 kb/s?
- Kako ostvariti dvosmerni prenos tj. *full duplex* vezu?
- Kako ostvariti signalizaciju koja mora biti brza, pouzdana i sa velikim skupom signala da bi se korisnicima mogle dati razne usluge?

Odgovori na ova tri pitanja predstavljaju osnovu ISDN tehnike.

3. NA ČEMU SE ZASNIVA ISDN TEHNIKA

To su prenos relativno visokog bitskog protoka po liniji, rešenje istovremenog dvosmernog digitalnog prenosa po telefonskoj parici i signalni D kanal sa posebnom paketskom signalizacijom.

Osnovni, bazni, priključak ili interfejs ISDN-a je tzv. 2B+D (*Basic Rate Interface, BRI* ili *Basic Rate Access, BRA*) tj. koji se sastoji od dva korisnička B (*bearer*) kanala, svaki protoka 64 kb/s i jednog signalnog D (*data*) kanala protoka 16 kb/s. Ukupni

protok, koji se na liniji (U presek) uvećava do 160 kb/s, nije bilo lako obezbediti u vreme razvoja ove tehnike. Naime, korišćenjem linijskih kodova kod kojih je bitski protok bio bročano jednak osnovnoj učestanosti prenosa (AMI, *Alternate Mark Inversion*, i HDB3, *High Density Bipolar order 3*) postavljao se problem prenosa po najdužim korisničkim linijama (dužim od 3 do 4 km a provodnicima prečnika 0,4 do 0,6 mm). U ovom slučaju je osnovna učestanost prenosa morala biti bar 160 kHz. Problem je uspešno rešen tek razvojem linijskih kodova koji koriste više od dva naponska nivoa. To su najčešće 2B1Q (*2 Binary 1 Quaternary*, dva bita određena jednim kvaternarnim signalom) korišćen u Americi i Evropi i 4B3T (*4 Binary 3 Ternary*, četiri bita određena pomoću tri ternarna signala) korišćen u Nemačkoj. Na ovaj način je potreban bitski protok ostvaren korišćenjem učestanosti koja je (za polovinu ili četvrtinu) niža od 160 kHz. Sam osnovni pristup liniji korisnički telefon ostvaruje preko četvorozične instalacije i mrežnog adaptera (NT).

Dvosmerni digitalni prenos po telefonskoj parici je omogućen posebnim tehnikama prigušivača odjeka (*echo chanceler* ili *echo supressor*) i tzv. *ping – pong* (ili *burst-mode operation* ili *time compression multiplex*, [2]) tehnikom od kojih je prva dominantna u oblasti javnih ISDN mreža. Prigušivač odjeka je tehnika koja u dolaznom digitalnom signalu prepoznaje komponentu odjeka zbog neuravnoteženosti račvalice na daljem kraju linije, i proizvodi signal koji signal odjeka svodi na zanemarljivu meru.

Signalni D kanal predstavlja, u vreme nastanka, višestruko originalno rešenje. On omogućava, po prvi put, korisničku signalizaciju po zajedničkom kanalu. To je, takođe, prva telefonska korisnička signalizacija u paketskom obliku. Signalizacija se obavlja sa potvrdom i retransmisijom (ako je potrebno).

4. ISDN SIGNALIZACIJA

Kao što je često kod telefonskih signalizacija i ISDN signalizacija u javnoj telefonskoj mreži se sastoji od korisničke i mrežne signalizacije.

Korisnička ISDN signalizacija je standardizovana kroz ITU-T preporuke serija Q.92x Q.93x i naziva se signalizacijom ISDN korisničkog pristupa, UNI (*User – Network Interface*) signalizacijom, [3], ili DSS1 (*Digital subscriber Signaling System No 1*). Postoji nekoliko verzija korisničke signalizacije. O sveobuhvatnosti ove signalizacije možda najviše govori činjenica da je od jedne verzije ove korisničke signalizacije (engleske) nastala mrežna signalizacija za povezivanje kućnih ISDN centrala DPNSS1 (*Digital Private Network Signaling System No 1*).

Kasnije je od korisničke ISDN signalizacije nastala signalizacija, Qsig, za povezivanje ISDN korporacijskih centrala.

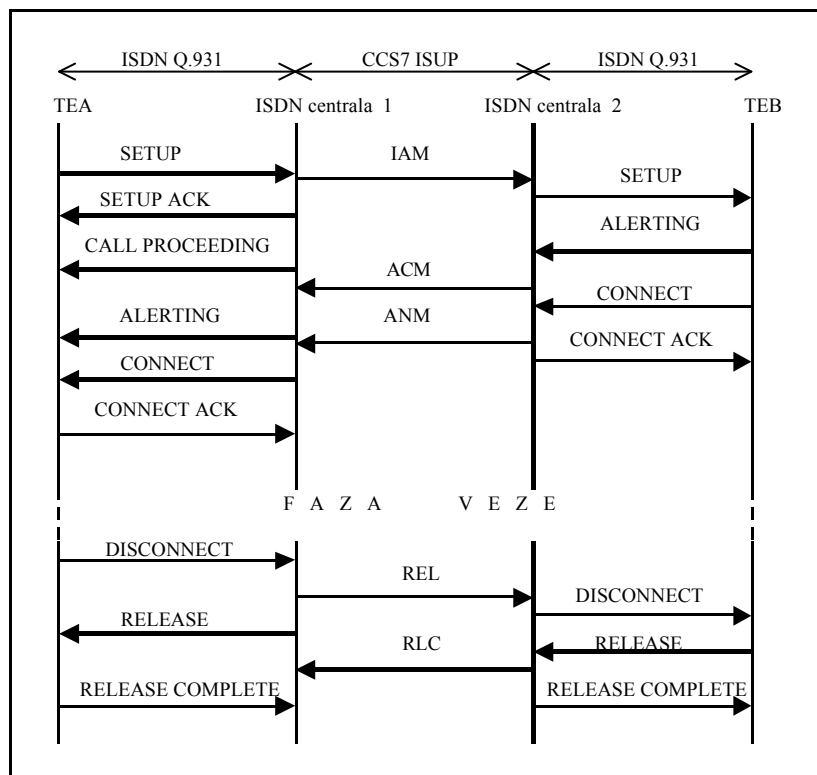
Mrežna ISDN signalizacija je signalizacija ITU-T broj 7, zvana još *CCS7 (Common Channel Signaling No 7)*, tj. jedan njen deo. Kao što je poznato, signalizacija CCS7 ima zajednička tri sloja (MTP) dok se četvrti, korisnički sloj razlikuje za svaku primenu. Za ISDN mrežu namenjen je *CCS7 ISDN User Part* ili popularno ISUP, [4]. Signalizacija CCS7 je najpoznatija signalizacija primenjena u mrežama sa komutacijom kola, ali će zbog svoje sveobuhvatnosti naći primene i u tehnološki novim, paketskim, IP mrežama.

Koja svojstva čine signalizaciju CCS7 veoma dobrom? To su visoka raspoloživost, postignuta organizacijom mreže, mehanizmi nadgledanja rada i mogućnost izgradnje inteligentnih delova telekomunikacione mreže.

po zajedničkom kanalu: centralizacija signalnih resursa pa zbog toga ugroženost raspoloživosti.

Izgradnja inteligentnih delova mreže (IN) je omogućena korišćenjem delova CCS7 (SCCP, TCAP) koji omogućavaju razmenu poruka bez uspostave telefonske veze. Ova mogućnost dobija sve više na značaju uvođenjem novih mogućnosti u mreže koje traže da komutacioni čvor raspolaže informacijama o celoj mreži (besplatni pozivi, prenosivost broja).

Na slici 1. je prikazan tok ostvarenja jedne uobičajene ISDN veze koja polazi od od telefona A (TEA) kroz dve ISDN centrale do telefona B (TEB). U ovoj vezi inicijator prekida veze je pozivajući učesnik. Značenje signalnih ISDN poruka je očigledno a značenje CCS7 ISUP poruka je sledeće: IAM (*Initial Address Message*), ACM (*Address CoMplete*), ANM (*ANswer Message*), REL (*RELease*), RLC (*ReLease Complete*).



Slika 1. Signalni protokol u javnoj ISDN mreži

Organizacija mreže je takva da signalna tačka u mreži ne može ostati bez signalne veze posle kvara nekog signalnog linka. Nadgledanjem rada pojedinih signalnih linkova je moguće otkriti povećani nivo grešaka i zagušenja pa saobraćaj prebaciti na druge linkove. Na ovaj način je ublažena ili otklonjena osnovna mana signalizacije CCS7 kao signalizacije

i druge mreže. Osnovne razlike su:

- način digitalnog prenosa po korisničkoj liniji,
- mrežni završetak tj. interfejs i
- mrežna signalizacija.

Telefonska korisnička linija se u korporacijskoj mreži razlikuje od korisničke linije u javnoj mreži po dužini i broju provodnika. Velika većina

5. RAZLIKE KORPORACIJSKE I JAVNE ISDN MREŽE

Mada je ISDN tehnika prvenstveno razvijena za korisnike javne mreže, ona je primenjena i na tzv. korporacijske centrale (kućne, pretplatničke, privatne). Osnovni razlog za ovo leži u vrlo pogodnim korisničkim mogućnostima. Pokazalo se da je za delotvorno obavljanje posla vrlo pogodno imati na raspolaganju mogućnosti kao što su: prolazno biranje, prenos ostvarene veze (*call transfer*), prenos dolaznih poziva u slučaju zauzetosti traženog (*call forwarding busy*), prenos dolaznih poziva u slučaju odsutnosti traženog (*call forwarding no reply*), prenos svih dolaznih poziva (*call forwarding unconditional*), razne oblike identifikacije (pozivajućeg, spojenog), itd.

Razlike između javne i korporacijske ISDN tehnike su posledica različitosti javne telefonske i korporacijske linije i različitosti jedne

korisničkih linija u korporacijskoj mreži je ograničena na nekoliko stotina metara u odnosu na nekoliko hiljada metara u javnoj mreži. S druge strane postoji, značajan broj novijih korporacijskih mreža, kod kojih se pretplatnička linija sastoji od 4 provodnika. I jedna i druga činjenica olakšavaju problem digitalizacije korisničke linije.

Kratke linije imaju znatno veći propusni opseg pa se za **dvosmerni digitalni prenos** ne mora primenjivati tehnika prigušivača odjeka već se može primeniti jednostavnija tzv. TCM (*Time Compression Multiplex*) tehnika koja zahteva propusni opseg od oko 400 kHz. Ova tehnika se sastoji od naizmeničnog, kratkotrajnog korišćenja linije samo u jednom smeru (*simplex* ili *half duplex*) i bafera na krajevima koji svode prenos od telefona ka korisniku i od linije prema mreži na potpuno dvosmerni (*full duplex*). Da bi prenos bio u realnom vremenu, za vreme jednosmernog korišćenja linije, prenos se, teorijski, mora vršiti bar dvostruko većim protokom od protoka govornog kanala.

Četvorožične linije rešavaju problem dvosmernog prenosa tako što se od mikrofona do slušalice prenos vrši u svakom smeru posebnim putem.

Posledica ovih razlika je da korporacijske ISDN centrale često imaju **tri vrste ISDN interfejsa**: četvorožični, interfejs sa TCM koji se označava sa U_{P0} ili U_{PN} i standardni U_{K0} interfejs koji se koristi i u javnoj ISDN korisničkoj liniji i koji zahteva mrežni adapter – završetak. Posledica različitosti ovih interfejsa je da se, uz dvožičnu instalaciju, samo na poslednjem interfejsu, U_{K0} , sa sigurnošću mogu koristiti standardni ISDN terminali dok se za, objektivno, najjednostavnije rešenje sa interfejsom U_{P0} moraju uglavnom koristiti telefoni istog proizvođača čija je i centrala.

Mrežna signalizacija u korporacijskoj ISDN mreži se u potpunosti razlikuje od mrežne signalizacije u javnoj ISDN mreži (ISUP): u velikoj meri su izjednačene korisnička i mrežna signalizacija. Pre nego što nešto kažemo o korporacijskoj mrežnoj ISDN signalizaciji potrebno je potražiti odgovor na sledeća dva pitanja:

- zašto se u klasičnim javnim telefonskim mrežama korisnička signalizacija nije koristila kao mrežna?
- zašto je moguće u korporacijskoj ISDN mreži primeniti korisničku signalizaciju kao mrežnu a nije moguće u javnoj ISDN mreži?

Najkraći odgovor na prvo pitanje bi bio da je korisnička signalizacija u klasičnim javnim telefonskim mrežama bila siromašna signalima, spora i vršila se bez ikakve potvrde. Primena ove signalizacije kao mrežne bi imala za posledicu sporu uspostavu veza, puno neuspešnih poziva i nemogućnost ostvarivanja raznih korisničkih funkcija.

Odgovor na drugo pitanje može da se nađe u razlikama mreža. Naime, korporacijska mreža je, po pravilu, jednoslojna tj. nehijerarhijska, uvek mnogo manja od javne, bez potrebe za svojom inteligentnom mrežom. Ovo znači da brza, pouzdana korisnička signalizacija sa potvrdom i sa bogatim skupom signalnih poruka može da se upotrebi kao mrežna signalizacija u korporacijskoj mreži. Ovaj princip je danas često primenjivan u paketskim mrežama korišćenjem protokola SIP (*Session Initiation Protocol*), [5]. Prva korisnička signalizacija primenjena kao mrežna (u privatnim mrežama) je bila DPNSS1 (*Digital Private Network Signaling System no 1*) koja je nastala od engleske verzije pristupne signalizacije DASS1 (*Digital Access Signaling System no 1*). Od 1994. godine se za povezivanje korporativnih ISDN centrala koristi signalizacija poznata pod nazivom *Qsig*.

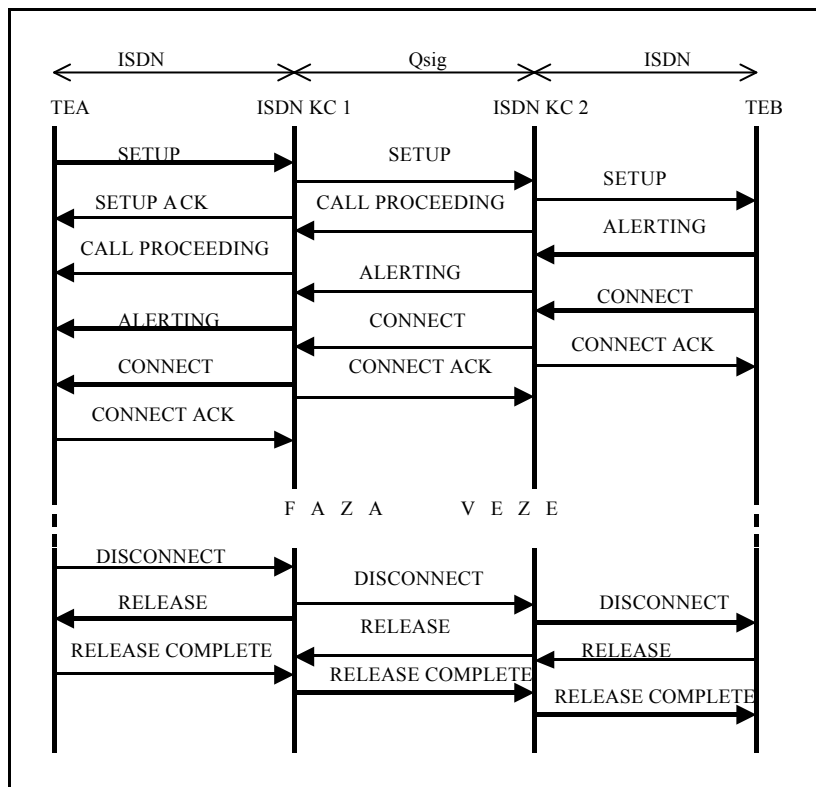
6. ŠTA JE *Qsig*?

To je mrežna signalizacija primenjena u korporacijskoj ISDN mreži (*Private Integrated Services Network, PISN*) za povezivanje ISDN centrala (*Private Integrated services Network eXchange, PINX*), [6]. Osnova ove signalizacije je korisnička ISDN signalizacija koja je određena ITU-T preporukom Q.931. Ova signalizacija se, dakle, obavlja paketskim porukama, radi sa potvrdom i retransmisijom, na načelu deonica po deonica (link by link). Signalizacija je dobila ime po tzv. logičkoj tački *Q* koja pripada interfejsu privatne ISDN centrale a koja služi da se ove centrale međusobno povežu, [6]. Signalizacija je nastala kao posledica **Memoranduma o razumevanju** (*Memorandum of Understanding, MoU*) koji je sklopljen (1994. godine sa rokom važnosti do kraja 1999. godine) između 11 velikih proizvođača ISDN centrala. Signalizacija *Qsig* je propisana standardima [7] i [8].

Razlika između pristupne ISDN signalizacije i *Qsig* je u izjednačavanju signalnih tačaka koje razmenjuju signalne poruke. Naime, u pristupnoj ISDN signalizaciji se neki parametri veze nikada ne šalju u oba smera jer je to razmena signala korisnika i centrale. Prilikom razmene *Qsig* poruka tačke koje razmenjuju poruke su ravnopravne i svi parametri se mogu prenositi i u jednom i u drugom smeru. Ovo se može pokazati na primeru poruke SETUP koja postoji u obe signalizacije. Ova poruka u ISDN signalizaciji ima 18 polja dodatnih informacija. Od toga se 13 polja sadrže i u poruci SETUP od korisnika ka mreži i u poruci SETUP od mreže ka korisniku. Tri parametra se mogu slati samo u smeru od korisnika ka centrali a dva samo od centrale ka korisniku. Poruka SETUP u *Qsig* ima 12 polja koja nose parametre

tre i podaci iz ovih polja se šalju u oba smera, ako se o smeru ovde i može govoriti. Na slici 2. je prikazana razmena signalnih poruka kroz PISN prilikom ostvarenja i raskidanja jedne veze. Inicijator veze i raskida je isti kao i na slici 1, koja se odnosi na javnu ISDN mrežu.

- Ovo pitanje se može razložiti na sledeća:
- da li se prelaskom na IP telefoniju mogu izgubiti ISDN korisničke mogućnosti?
 - šta biva sa ISDN signalizacijom na granicama IP i ne-IP oblasti?
 - kakav se imenik može primeniti u mešovitoj mreži?



Slika 2. Signalni protokol u korporacijskoj ISDN mreži

7. PAKETSKA I MEŠOVITA TELEFONSKA MREŽA

Paketska telefonija je tehnika u kojoj se svi telefonski signali prenose u paketskom obliku, [9]. Ova tehnika, često nazivana IP telefonijom ili VoIP-om, je danas (2005. godine) u takvom stanju razvoja da se može reći da u području korporacijskih mreža preuzima prednost nad klasičnom ISDN tehnikom a u području javnih mreža se nalazi u velikom usponu. Osnovni problemi koje IP telefonska tehnika rešava poslednjih godina je rad mešovitim mrežama tj. kako treba organizovati mrežu da ona bude bešavna (*seamless*) u funkcionalnom smislu. Pod mešovitom mrežom se podrazumeva zajednica dve (ISDN i IP) telefonske mreže od kojih svaka ima sve elemente mreže (terminalne, prenos i mrežne čvorove). Ono što je za nas u ovom radu važno je sledeće pitanje: kako će raditi mešovita korporacijska ISDN i IP telefonska mreža?

Osnovni uslov rada svih mešovitim mreža je da korisnik ne može izgubiti pogodnosti koje pruža tehnološki starija mreža zbog uvođenja tehnološki novije mreže. To znači da će sve **korisničke mogućnosti** biti sačuvane u mešovitoj mreži.

U IP telefonskim mrežama je moguće primenjivati jednu od **dve standardizovane signalizacije** za ostvarivanje telefonskih veza: H.323 ili SIP.

Signalizacija H.323 je zasnovana na ISDN korisničkoj signalizaciji (Q.931) pa se na sučelju PISN i IP telefonske mreže (*Qsig* ↔ H.323) poruke vrlo lako prepravljaju.

Signalizacija SIP je nastala od protokola HTTP i na granicama od IP ka ISDN mreže mora se prevoditi. U obrnutom smeru, od ISDN ka IP mreži poruke se mogu prevoditi ili prenositi učeurene. Za ovo je razvijen posebni protokol tzv. SIP-T, koji na granici javne ISDN i IP mreže vrši prevođenje signalizacije SIP i ISUP jedne u drugu, [10].

Prevođenje se vrši ukoliko korisnici pripadaju različitim mrežama, a učeurenje se sprovodi ako korisnici pripadaju ISDN mreži ili mrežama a ISDN signali se samo prenose kroz IP mrežu.

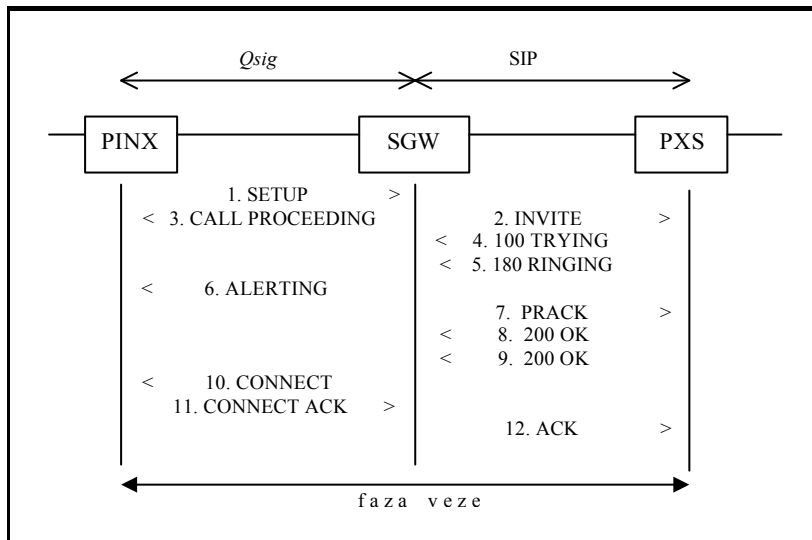
Kada je u pitanju granica PISN i IP, stvari su slične. Poruke se na granici prevode, [12]. Poruke *Qsig* se mogu prenositi kroz IP – SIP oblast učeurene u SIP poruke, [13].

Prevođenje signalizacije H.323 u *Qsig* i obrnuto je najjednostavnije. Naime, poznato je da je deo H.323 signalizacije, poznat pod nazivom H.225.0 *Call Signaling*, nastao na osnovi korisničke ISDN signalizacije, baš kao što je slučaj i sa *Qsig*. Signalizacione poruke na granici *Qsig* i H.323 oblasti ne menjaju ime i značenje već se samo informacioni elementi poruka podešavaju da nose podatke o vezi, terminalima i uslugama koji se mogu tumačiti u ciljnoj mreži.

Prevođenje signalnih poruka signalizacija SIP i *Qsig* jednih u druge je složenije jer treba odabrati ta-

kve *prevode* poruka da se sačuvaju korisničke mogućnosti.

Na slici 3. je prikazan postupak dvosmernog prevođenja signalnih *Qsig* i SIP poruka u procesu ostvarenja veze koja počinje u PISN a završava se u IP (SIP) oblasti. Oznake imaju sledeće značenje: PINX – centrala u PISN, SGW – signalni gejtvej, PXS – proksi server u IP mreži. Postupku sa slike 3. je vrlo sličan obrnuti postupak kada se inicijator veze nalazi u IP mreži a pozvani korisnik je u PISN.



Slika 3. Prevođenje *Qsig* i SIP signalizacije

Numeracija u mešovitoj mreži predstavlja poseban izazov. Univerzalno rešenje numeracije u mešovitoj mreži podrazumeva zadovoljavajuće rešenje tri problema.

1. Pozivajući terminal, koji može biti i običan telefon, se nalazi u PISN. Traženi se nalazi u IP telefonskoj mreži. Pozivajući terminal ima samo tastaturu (brojčanik) kao sredstvo biranja adrese traženog. Adresa traženog terminala u IP mreži (adresa se često zove URI, *Uniform Resource Identifier*) ima oblik *userb@target.com* ili oblik IP adrese *abc.efg.hij.klm* (gde su *a, e, h, k=0, 1, 2; b, c, f, g, i, j, l, m=0,...9*), dakle, oblik koji se ne može jednostavno birati sa brojčanika. **Prvi problem** je: kako korisnik iz PISN može pozvati korisnika u IP?
2. Pozivajući terminal, IPfon (*IPphone*), se nalazi u IP. Traženi se nalazi u PISN. Birana adresa ima oblik *123456789@target.com*, gde je *123456789* pozivni broj traženog terminala u PISN a *target.com* je domensko ime jednog od gejtvejeva (GW) preko kojih se može dosegnuti traženi terminal. Ako se poziv može ostvariti preko nekoliko GW-a koji se nalaze na granici IP i PISN, tada je **drugi problem** odrediti koji GW nudi optimalni put.

3. Treći problem je identičan drugom ali posmatrajući uspostavu veze iz PISN. On se svodi na pitanje: kako u PISN imati u centralama uvek takve tabele upućivanja koje će obezbediti optimalno upućivanje poziva PISN → IP.

Prvi problem se može rešiti postupkom zvanim ENUM (*Electronic NUMbering, tElephone NUMbering, E.164 NUmber Mapping, tElephone NUmber Mapping*), [14]. Postupak ENUM koristi svetski telefonski imenik i svetsku bazu domenskih imena i IP adresa i sastoji se od sledećih aktivnosti.

Svakom korisniku IP telefonske mreže se daje kvalifikovani telefonski broj tj. broj koji je saglasan sa ITU-T preporukom E.164.

Posle biranja ovog broja, broj se posebnim postupkom u GW-u pretvara u domensko ime IP telefona (ili IP resursa).

Na osnovu domenskog imena se u DNS-u nalazi IP adresa.

Upućivanje u IP mreži se vrši prema nađenoj IP adresi.

Drugi problem se može rešiti primenom protokola TRIP (*Telephone Routing over IP*), [15]. TRIP je protokol koji služi za razmenu podataka između čvorova IP mreže o upućivanju poziva iz IP mreže ka klasičnoj telefonskoj mreži. Na

osnovu ovog protokolu svaka promena u tabelama upućivanja u tzv. lokacijskim serverima (GK-ima i PXS-ima) se prosleđuje svim tačkama mreže. Na taj način se obezbeđuje da upućivanje iz IP mreže bude uvek optimalno, uprkos čestim promenama u strukturi, vlasničkim odnosima i proširenjima IP mreže.

Slično protokolu TRIP, protokol CTRIP (*Circuit Telephony Routing Information Protocol*, koji je još u fazi predloga) rešava **treći problem** tj. optimalno upućivanje iz klasične mreže ka IP mreži. To je protokol koji dinamički osvežava tabele upućivanja u klasičnoj telefonskoj mreži i usklađen je sa TRIP-om. Ako se desi promena u tabeli upućivanja, na primer, u IP mreži ova promena se protokolom TRIP dostavlja svim tačkama u IP mreži a na granici IP i klasične mreže TRIP se prevodi u CTRIP i dopeva do svih komutacionih tačaka klasične mreže.

8. POGODNOSTI ISDN TEHNIKE ZA TELEFONSKU MREŽU EPS-A

Korisnici ISDN tehnike u EPS-u mogu ovu tehniku videti kao korisnu, skoro isključivo preko dodatnih usluga koje pruža korisnicima. Ostale pred-

nosti koje ova tehnika pruža *rezidencijalnim* korisnicima javne mreže gube smisao u mreži (TM) EPS-a:

- EPS ima svoju računarsku mrežu pa povezivanje računara preko korporacijskih ISDN priključaka nema opravdanja,
- radna mesta su, uglavnom, opremljena telefonima pa potreba za vezivanjem više aparata na jednu liniju ne postoji,
- višestrukost korisničkih interfejsa u PISN ne predstavlja prednost za mrežu EPS-a jer usložnjava mogućnost snimanja razgovora.

Dodatne usluge mogu imati pogodnosti u pogledu uspostave veza. Korisničke usluge nemaju jednaku važnost za korisnike PISN i za korisnike javne ISDN mreže. Kriterijum za ocenu vrednosti pojedinih korisničkih usluga u TM EPS-a bi mogao biti saglasan sa osnovnom namenom mreže a to je brzo uspostavljanje veze sa traženim posle prvog pokušaja. Ovaj kriterijum, dakle, kao najdelotvornije dodatne korisničke mogućnosti ocenjuje one koje pružaju mogućnost prevazilaženja stanja zagušenosti mreže i centrale, zauzetosti traženog i odsutnosti traženog. Na drugom mestu po važnosti su one mogućnosti koje daju prednost pozivima operativne telefonije nad ostalim pozivima. Primenjujući ove kriterijume kao najvažnije mogućnosti izdvajamo:

- preusmeravanje poziva u slučaju zauzetosti traženog (ITU-T preporuka I.252.2, *Call Forwarding Busy*, CFB),
- preusmeravanje poziva u slučaju odsutnosti traženog (I.252.3, *Call Forwarding No Reply*, CFNR),
- bezuslovno preusmeravanje poziva (I.252.4, *Call Forwarding Unconditional*, CFU)
- prenos veze (I.252.1, *Call Transfer*, CT),
- uspostava veze sa zauzetim traženim (I.253.3, *Completion of Calls to Busy Subscribers*, CCBS).

Primenom ovih mogućnosti i mreže mobilne telefonije moglo bi se postići da uspešnost pozivanja bude skoro potpuna. Proširenje mogućnosti preusmeravanja funkcijom *preusmeravanje u slučaju zauzetosti puta ili centrale* moglo bi u potpunosti da automatizuje i zameni sadašnju mogućnost biranja pod zauzećem (tzv. *dobiravanje*).

Prema drugom kriterijumu mogu se izdvojiti mogućnosti:

- poziv na čekanju (I.253.1, *Call Waiting*, CW),
- poziv na držanju (I.253.2, *Call Hold*, HOLD),
- prolazno biranje (I.251.1, *Direct-Dialling-In*, DDI),
- identifikacija pozivajućeg (I.251.3, *Calling Line Identification Presentation*, CLIP),
- identifikacija spojenog (I.251.5, *Connected Line Identification Presentation*, COLP).

Treba naglasiti da se neke od ovih mogućnosti mogu ostvariti i u mrežama koje nisu izgrađene u

ISDN tehnologiji. Tako je stara mogućnost kućnih centrala povratni upit ustvari delimični ili potpuni *prenos veze*, CT. Međutim, u ISDN mreži ove mogućnosti su obavezne.

Kao što se iz kratkog izlaganja o ISDN signalizaciji vidi, migracija PISN ka IP telefonskoj mreži i rad mešovite PISN i IP mreže su omogućeni postojećim postupcima prevođenja signalizacije.

Numeracija u mešovitoj mreži treba da bude rešena kvalifikovanim pozivnim brojevima. U tom slučaju je moguće primeniti postupak ENUM i globalnu DNS bazu. Ako se u privatnoj mreži želi izbeći korišćenje kvalifikovanih brojeva, koji mogu imati do dve cifre više od brojeva u privatnoj mreži, tada je za korporacijski saobraćaj moguće primeniti privatni DNS i ENUM postupak.

Ukoliko TM EPS-a ostane u vlasništvu jedne organizacije, primena protokola TRIP i CTRIP neće imati smisla jer će isti administrator određivati upućivanja koja će biti optimalna.

9. ZAKLJUČAK

Suštinsku korist ISDN tehnike za primenu u telefonskoj mreži EPS-a predstavlja skup korisničkih usluga koje povećavaju brzinu ostvarivanja poziva upućenog zauzetom ili odsutnom korisniku i olakšavaju davanje prednosti pozivima operativne telefonije. Neka od suštinskih svojstava ISDN tehnike u javnoj mreži gube smisao u TM EPS-a. Postojeća rešenja signalizacije i numeracije omogućavaju organizaciju bešavne mešovite ISDN i IP telefonske mreže. Ono što još treba brižljivo ispitati kod primene ove tehnike u mreži EPS-a je funkcionalnost komandnog pulsa, rad u vanrednim okolnostima i otpornost na prenaponske smetnje u energetskim objektima. Zaštita profesionalnih informacija se mora vršiti kontrolisanim pristupom mreži. Oprema koja se nalazi u mreži EPS-a, a pripada starijim tehnološkim generacijama, ne može pružiti ISDN mogućnosti korisnicima, ali povećava raspoloživost mreže u vanrednim okolnostima.

Napomena. Ovaj rad je rezultat istraživanja na projektu: TR6136, Razvoj elemenata mreža nove generacije. Sredstva za istraživanje na ovom projektu obezbedilo je i Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije.

8. LITERATURA

- [1] ITU – T RECOMMENDATION I.250,
- [2] ITU – T RECOMMENDATION G.961,
- [3] ITU – T RECOMMENDATION Q.931,
- [4] ITU – T RECOMMENDATION Q.761-Q.764, Q.766
- [5] IETF RFC 3261

- | | |
|---|---|
| <p>[6] http://www.icc-uk.com/download/qsig.pdf</p> <p>[7] ETSI standardi ETS 300 172, ETS 300 173, ETS 300 239</p> <p>[8] ECMA standardi ECMA-133, ECMA-142, ECMA-143, ECMA-163,164,165</p> <p>[9] http://www.iptelephony.org/</p> <p>[10] IETF RFC 3372 (SIP for Telephones)</p> | <p>[11] Markov, Ž.: O NUMERACIJI U TELEFONSKOJ MREŽI ELEKTROPRIVREDE SRBIJE, Elektroprivreda, 1/05</p> <p>[12] ECMA standard ECMA-339</p> <p>[13] ECMA standard ECMA-333</p> <p>[14] IETF RFC 2916 (E.164 number and DNS)</p> <p>[15] IETF RFC 3219 (Telephone Routing over IP)</p> |
|---|---|

Rad je primljen u uredništvo 26. 07. 2005. godine



Žarko Markov rođen 1946. godine. Diplomirao 1969, magistrirao 1975. godine i doktorirao 1976. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu. Radi u Iritelu na razvoju i proizvodnji telefonskih centrala za elektroprivrednu telefonsku mrežu (videti: www.iritel.com/english/products/products.html). Autor nekoliko desetina radova objavljenih u zemlji i inostranstvu, od kojih se petnaestak odnosi na elektroprivrednu telefoniju. Učestvovao u izradi Tehničkih uslova za elektroprivredne telefonske centrale i u projektima digitalne telefonske mreže EPS-a. Objavio nekoliko knjiga i udžbenika. Ima naučno zvanje naučnog savetnika i nastavno zvanje vanrednog profesora. Dobitnik nagrade za elektroniku iz fonda „Prof. Branko Raković” za 1997. godinu.



Goran Nedić, dipl. ing. el., rođen je 02. 03. 1967. godine u Novom Sadu. Diplomirao je 1992. godine na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, elektrotehnički odsek, smer elektronika i telekomunikacije. Trenutno radi u „EPS” JP „Elektrovojvodina” u Upravi preduzeća u Sektoru telekomunikacija kao rukovodilac Odeljenja za radio-komunikacije.

Eksploatacija elektroenergetskih sistema u uslovima slobodnog tržišta

Autori: dr M. S. Čalović, dr A. T. Sarić i dr P. Č. Stefanov

Posle knjiga iz oblasti planiranja (2000. godine), analize (2004. godine), regulacije (1997. godine) i eksploatacije elektroenergetskih sistema (1999. godine), autori ove monografije su ponudili stručnoj javnosti u oblasti elektroenergetike, u novu knjigu pod gornjim naslovom, koja tretira probleme eksploatacije dereguliranih elektroenergetskih sistema. Naime, poslednjih godina dešavaju se velike promene u organizaciji elektroprivreda u svetu, koje imaju uticaj na razne probleme eksploatacije. Taj proces sasvim sigurno očekuje i našu zemlju, jer je predviđen novim Zakonom o energetici, koji je usvojen 2004. godine. Svesni te činjenice, autori su se potrudili da stručnoj javnosti bolje objasne probleme međusobne veze deregulacije elektroprivrede i eksploatacije elektroenergetskih sistema, koji se mogu očekivati u skorijoj budućnosti. Kao rezultat tog rada nastala je sveobuhvatna monografija, koja se sastoji od 16 glava, podeljenih u četiri dela, napisanih na oko 420 strana. Ona se jednim manjim delom zasniva na napred pomenutom udžbeniku iz 1999. godine.

Pored vrlo bogatog spiska tema koje su obrađene u monografiji (globalno svrstane u proizvodnju, prenos, distribuciju i potrošnju u širem smislu), posebnu njenu vrednost čini spisak literature, koji je priložen na kraju svake glave. Iz njega se može zaključiti da su autori imali na raspolaganju gotovo sva najnovija svetska izdanja, koja su relevantna za oblast eksploatacije i deregulacije elektroenergetskih sistema. Drugu, veliku prednost monografije čini i njoj

pridruženo drugo spremno za štampanje prošireno izdanje Zbirke rešenih zadataka iz eksploatacije elektroenergetskih sistema (od istih autora), u kojoj se ilustruje praktična primena izloženih teorijskih razmatranja u monografiji. U Zbirci je rešeno preko 100 ilustrativnih primera, kojima se u potpunosti podržavaju i zaokružuju teorijska razmatranja monografije.

Materija u monografiji predstavlja sintezu znanja koje je sticano izučavanjem velikog broja oblasti elektroenergetike. Na primer, to su: elementi elektroenergetskih sistema (izvori, transformatori, vodovi, potrošači i drugi), analiza elektroenergetskih sistema (proračuni tokova snaga, optimalni tokovi snaga, analiza sigurnosti, stabilnost elektroenergetskim sistema i drugi), upravljanje elektroenergetskim sistemima (SCADA sistemi, regulacija učestanosti i aktivnih snaga, regulacija napona i reaktivnih snaga, obezbeđenje sigurnosti, estimacija stanja i drugi), operativno planiranje (prognoza potrošnje, problemi angažovanja agregata i drugi), kvalitet električne energije (pokazatelji kvaliteta vezani za napon, učestanost i talasni oblik napona i drugi problemi kvaliteta) itd.

Toj materiji je dodato bogato iskustvo stečeno radom u zemlji i inostranstvu na različitim praktičnim problemima iz domena eksploatacije elektroenergetskih sistema (tarife i tarifni sistemi sa fakturisanjem i naplatom električne energije, promene u organizacionoj strukturi dereguliranih elektroenergetskih sistema, uticaj deregulacije na različite eksploatacione probleme, kao što su sigurnost, razmena energije i sl.).

Dakle, na osnovu bogatog spiska tema, koje su i sa teorijskog i praktičnog aspekta vrlo kvalitetno obrađene u monografiji, sveobuhvatnog spiska ne samo korišćene literature, već i one koja se bavi širim aspektima obrađivane materije, kao i kompatibilne zbirke rešenih računskih zadataka, očigledno je da se radi o vrlo sveobuhvatnom delu posvećenom studentima, postdiplomcima i inženjerima-praktičarima, koji se bave eksploatacijom elektroenergetskog sistema (podjednako interesantnom u domenu proizvodnje, prenosa i distribucije). Skoro da nije moguće naći oblast iz eksploatacije elektroenergetskih sistema koja nije obuhvaćena monografijom. Ona je obogaćena i aktuelnom situacijom elektroenergetskog sistema Srbije i okruženja, sa statističkim podacima koji su vrlo dragoceni za inženjere naše elektroprivrede. Potrebno je još napomenuti da su u monografiji obrađene i gasnoturbinske elektrane, kao i drugi obnovljivi izvori električne energije (vetrogeneratori i fotonaponske ćelije) na istom nivou kao i standardni tipovi izvora - elektrana, što je dosta redak primer u literaturi koja se odnosi na ovu materiju.

Monografija iz ove oblasti i sa takvim nivoom obrađenih tema po prvi put se na srpskom jeziku pojavljuje na našim prostorima. U njoj se nalazi materijal kojim svaki stručnjak u elektroprivredi može da zaokruži i upotpuni svoje znanje iz eksploatacije elektroenergetskih sistema, koje je sticano parcijalno tokom studija, ili radeći u drugim oblastima elektroenergetike. Sa zadovoljstvom konstatujem da se ova monografija već pojavila u prodaji i postala dostupna stručnoj javnosti.

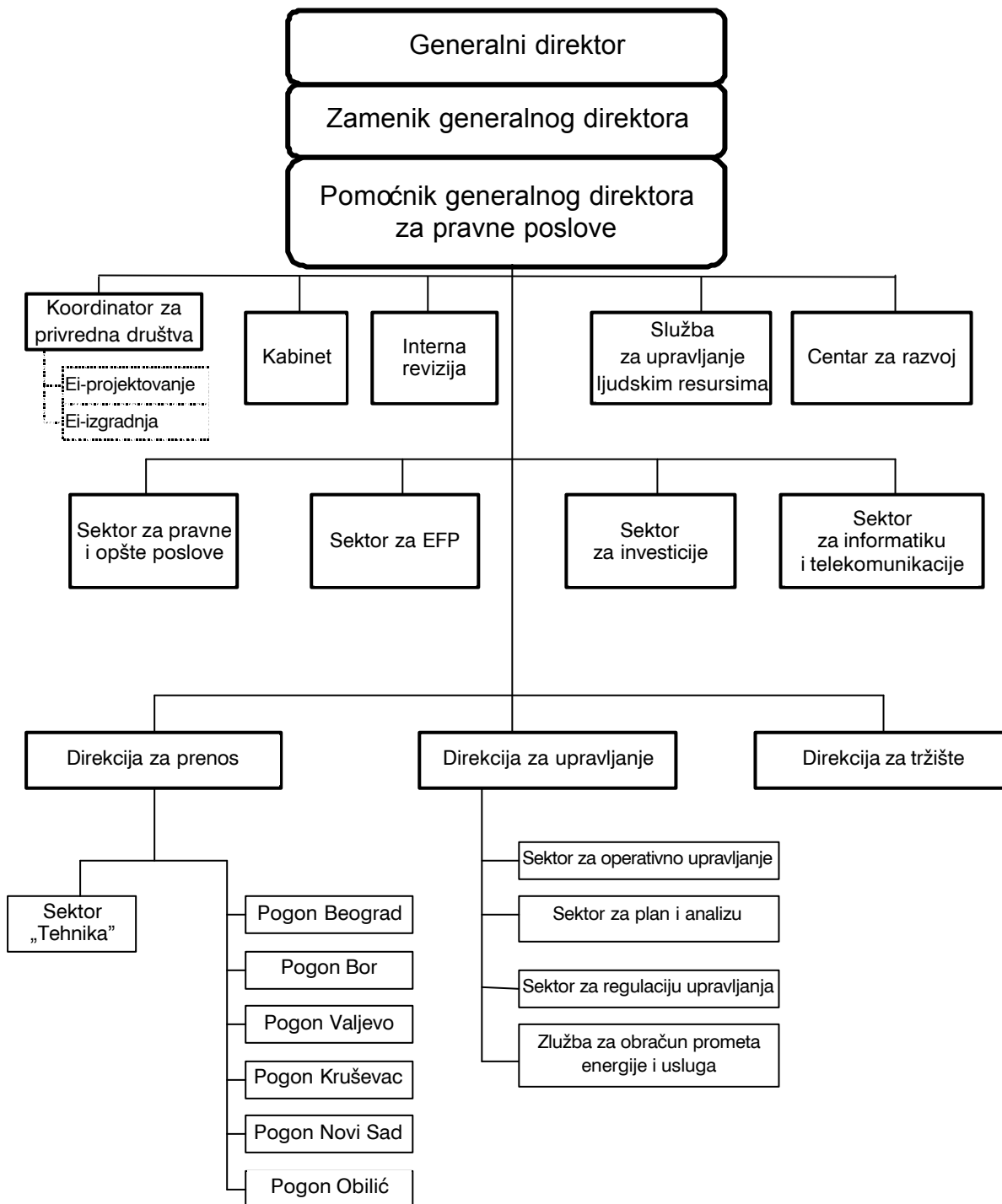
Izdavač je Tehnički fakultet Čačak, a štampanje je obavljeno u štampariji Riža, Kraljevo u relativno malom tiražu (300 primeraka). Knjiga se može naručiti direktno kod izdavača, kontaktirati A. T. Savića ili preko knjižare „Akademiska misao”, Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd.

Novi Sad,
Prof. dr Vladimir Strezoski
septembra 2005. godine
Fakultet tehničkih nauka



JAVNO PREDUZEĆE ELEKTROMREŽA SRBIJE

ORGANIZACIONE ŠEME



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 časopisa, 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.

Radovi autora iz susednih zemalja i zemalja u okruženju objavljiivaće se na srpskom ili engleskom jeziku. Ukoliko je rad dostavljen na engleskom jeziku objaviće se i prevod na srpski jezik naziva rada, rezimea, ključnih reči i zaključka.

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).

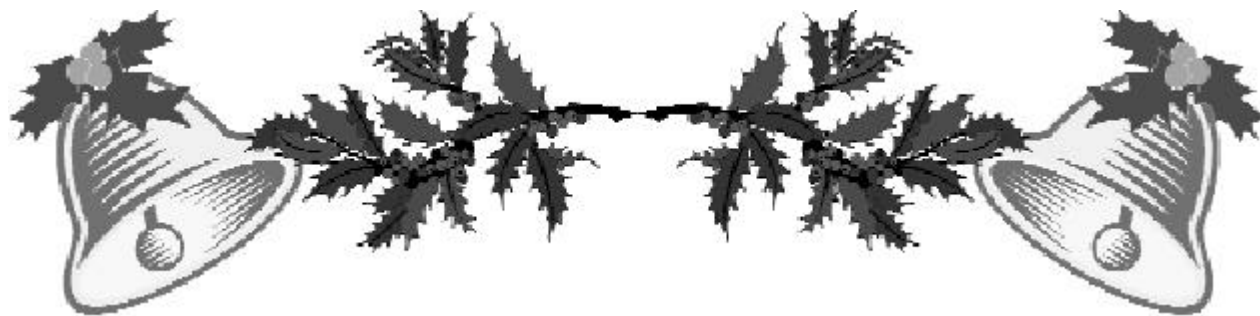
Za objavljeni rad autor dobija honorar. Autor i koautori dobijaju besplatno po jedan primerak časopisa u kome je objavljen njihov rad.

U slučaju bilo kakvih nejasnoća ili različitih stavova kod koautorskog rada, prihvataju se samo stavovi koje iznosi prvi autor.

Rad se šalje na adresu:

Rad se šalje na adresu:

**ZAJEDNICA
JUGOSLOVENSKE
ELEKTROPRIVREDE
Balkanska 13/II, 11 000 Beograd**



*Svim čitaocima i saradnicima
časopisa „Elektroprivreda”
Zajednica jugoslovenske elektroprivrede
želi srećnu i uspešnu 2006. godinu*

