



Elektroprivreda

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

Godina
Year

LVIII

Oktobar-Decembar
October-December

Broj
No.

4

Sadržaj

Strana
Page

Content



Dorđe Golubović

UVODNA REČ 5 INTRODUCTION WORD

Dorđe Golubović,

Gojko Dotlić i Zoran Ristanović

NOVA GENERACIJA OBJEKATA TS 400 kV 7 NEW GENERATION OF SS 400 kV
U EE MREŽI EMS-A IN TRANSMISSION NETWORK OF EMS

Snežana Mijailović,

Zoran Vujasinović, Ilija Cvijetić i Slobodan Marković

REKONEKCIJA UCTE-A: 14 RECONNECTION OF UCTE:
NOVI USLOVI EKSPLOATACIJE NEW CONDITIONS FOR THE EXPLOATATION

Ninel Čukalevski

SIGURNOST RADA EES U TRŽIŠNIM USLOVIMA 23 POWER SYSTEM SECURITY IN A MARKET
– ASPEKTI OPERATIVNOG PERSONALA ENVIRONMENT – OPERATIVE PERSONNEL
I NJEGOVE OBUKE AND TRAINING ASPECTS

Aca Vučković i Predrag Rajković

ODREĐIVANJE TROŠKOVA PRIKLJUČENJA 32 CALCULATION OF COSTS OF CONNECTION TO
NA PRENOSNU THE TRANSMISSION
I DISTRIBUTIVNU MREŽU AND DISTRIBUTION NETWORK

Slavoljub Lukić,

Danilo Lalović i Miroslav Beleslin

STATUS AKTIVNOSTI NA REALIZACIJI 40 THE STATUS OF THE ACTIVITIES ON THE
NOVE TELEKOMUNIKACIONE REALIZATION OF THE NEW EPS
MREŽE PRENOSA EPS-A TELECOMMUNICATIONS BACKBONE NETWORK

Igor Jurišević,

Vladimir Stanojević i Aleksandra Ignjatović

NOVI SISTEMI ZA DALJINSKO PRIKUPLJANJE 48 NEW SYSTEM FOR REMOTE ACQUISITION
I OBRADU PODATAKA SA BROJILA AND ACCOUNTING OF METERING DATA
NA PRENOSNOJ MREŽI SRBIJE (SRAAMD) IN SERBIAN POWER GRID



Dragoslav Jovanović
UVODNA REČ 56 INTRODUCTORY WORD

Dragan Tasić i Miodrag Stojanović
IZNOŠENJE POTENCIJALA IZ TS VN/SN 58 TRANSFERRED POTENTIAL FROM SUBSTATION
TROFAZNYM VODOM FORMIRANIM HV/MV BY THREE-PHASE LINE COMPOSED
OD TRI JEDNOŽILNA KABLA OF THREE SINGLE-CORE CABLES

Milanko Radić i Dušan Radić
PRISTUP ODRŽAVANJU ELEKTROENERGETSKE 65 AN APPROACH TO MAINTENANCE OF ELECTRI-
OPREME, UTEMELJEN NA POKAZATELJIMA CAL POWER EQUIPMENT, BASED ON INDICES
KVALITETA ISPORUKE ELEKTRIČNE ENERGIJE I OF QUALITY OF SUPPLY AND FAULT CAUSE
NA ANALIZI UZROKA KVAROVA ANALYSIS

Saša Stojković
PRIMENA FOLT REKORDERA 74 FAULT RECORDER APPLICATION
ZA IZRAČUNAVANJE P_t KRITERIJUMA IN CALCULATING OF P_t DISTRIBUTION
U ODRŽAVANJU CIRCUIT BREAKERS
VISOKONAPONSKIH PREKIDAČA MAINTENANCE CRITERION

Zoran J. Simendić,
Goran S. Švenda, Vladimir C. Strezoski i Vidoje R. Mijatović
VERIFIKACIJA FUNKCIJE ESTIMACIJA STANJA 81 VERIFICATION OF THE STATE ESTIMATION
U ED SOMBOR FUNCTION IN ED SOMBOR

Josif V. Spirić i Aleksandar Janjić
KORIŠĆENJE „FUZZY” LOGIKE 92 APPLICATION OF „FUZZY” LOGIC
ZA OTKRIVANJE KRAĐA KOD KUPACA IN DETECTION OF UNAUTHORIZED
ELEKTRIČNE ENERGIJE ELECTRICITY CONSUMPTION BY CUSTOMERS
SA JEDNOTARIFNIM BROJILIMA WITH SINGLE-RATE TARIFF METERS

Vladimir M. Šiljkut,
Slobodan Maksimović, Miladin R. Tanasković i Goran Vulić
EKONOMSKA GUSTINA STRUJE I IZBOR 98 ECONOMIC CURRENT DENSITY AND SELECTION
OPTIMALNOG PRESEKA AL/Č PROVODNIKA OF OPTIMAL AL-FE CONDUCTOR
NADZEMNIH VODOVA 10 kV CROSS-SECTION FOR OVERHEAD 10 kV LINES



Aleksandra Popovac-Damljanović
UVODNA REČ 108 INTRODUCTION WORD

Aleksandra Popovac-Damljanović,
Milutin Sredojević, Žarko Janda i Stojan Nikolajević
MONITORING TEMPERATURE 110 THERMAL MONITORING
VISOKONAPONSKIH KABLOVA OF HIGH VOLTAGE CABLES

Milena Nikolić,
Dorđe Glišić i Biljana Stojanović
TERMINI I DEFINICIJE ZA KOMPONENTE 119 TERMS AND DEFINITIONS FOR COMPONENTS
KABLOVSKOG PRIBORA OF CABLE ACCESSORIES

Aleksandar Krstin
ISPITIVANJE ENERGETSKIH KABLOVA 124 LIGHTNING IMPULSE VOLTAGE TESTING OF
ATMOSFERSKIM UDARNIM NAPONOM POWER CABLES

Branislav Stevanović
KORIŠĆENJE ENERGETSKIH KABLOVA ZA VEZU THE USE OF POWER CABLES FOR
ENERGETSKIH TRANSFORMATORA THE CONNECTION OF
110 kV/X(35,20,10) kV 130 110 kV/X (35, 20, 10) kV
SA SABIRNICAMA SREDNJEG NAPONA POWER TRANSFORMERS TO MV BUSBARS

Stojan Nikolajević,
Kristina Vlajinac Delečić i Stana Nikolajević
TENDENCIJA RAZVOJA 142 TENDENCY OF THE DEVELOPMENT
SUPERPROVODNIH KABLOVA OF SUPER CONDUCTIVE CABLES

Dragan Ristivojević i Radovan Maksimović
MERENJE VREDNOSTI DOZEMNIH 153 MEASUREMENT OF PHASE
I MEĐUFAZNIH KAPACITIVNOSTI KABLOVA AND MUTUAL CABLE CAPACITANCES

Dragan Čakarević
Prikaz knjige Review of book
ZBORNİK REŠENIH PROBLEMA COLLECTION OF RESOLVED PROBLEMS
IZ DISTRIBUCIJE I PRODAJE 159 RELATED TO DISTRIBUTION AND SALE OF
ELEKTRIČNE ENERGIJE ELECTRIC ENERGY

Ksenija Barac
Prikaz knjige Review of book
BEZBEDNOST I ZDRAVLJE PRI RADU NA SAFETY AND HEALTH AT WORK ON POWER
ELEKTROENERGETSKIM OBJEKTIMA SA 160 SYSTEM UTILITIES, WITH A REVIEW OF
OSVRTOM NA EVROPSKE NORME EUROPEAN STANDARDS

IZDAVAČ:
PUBLISHER:

ZAJEDNICA JUGOSLOVENSKE ELEKTROPRIVREDE
UNION OF YUGOSLAV ELECTRIC POWER INDUSTRY

11 000 Beograd, Balkanska 13

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

Telefaks: 686-398

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

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

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

Branislav A. Bošković, dipl. ing. el.

IZDAVAČKI SAVET
PUBLISHING COUNCIL

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

Zajednica jugoslovenske elektroprivrede, Beograd, predsednik;

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

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

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

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

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

REDAKCIONI ODBOR
EDITORIAL BOARD

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Lela Lončar, dipl. filolog, Beograd, član.

TEHNIČKI UREDNIK
TECHNICAL EDITOR

Jovo Todorović dipl. teh.

LEKTOR I PREVODILAC
LINGUISTIC REVIEW
& TRANSLATION

Zlata Milinović,
dipl. filolog

CIP – Katalogizacija u publikaciji
Narodna biblioteka Srbije, Beograd

620.9

621.31

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

Tromesečno

ISSN 0013-5755 = Elektroprivreda

COBISS.SR-ID 32023

Časopis „Elektroprivreda” izlazi kvartalno.

The „Elektroprivreda” journal is issued quarterly.

Štampa: „Kultura”, Beograd, Maršala Birjuzova 28

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

Tiraž: 1 000 primeraka

Circulation: 1,000 copies



Uvodna reč

U dobrim uslovima hotela Omorika na Tari, održan je 13. simpozijum Upravljanje i telekomunikacije u EES u organizaciji četiri studijska komiteta JUKO CIGRE: B5 Zaštita i automatizacija, C2 Upravljanje i eksploatacija EES, C5 Tržište električne energije i deregulacija i D2 Informacioni sistemi i telekomunikacije. Ovog puta se, zbog potrebe da se obuhvati problematika koja se odnosi na tržište električne energije i deregulaciju, prvi put pridružio studijski komitet C5.

Uz prisustvo oko 300 stručnjaka iz domena razvoja, projektovanja, izgradnje i eksploatacije EES, domaćih i stranih autora, Ministarstava, Regulatorne agencije, velikih kompanija, prezentirano je 56 radova koji su pripremljeni na osnovu prethodno usvojenih preferencijalnih tema tako da su obrađeni svi aktuelni aspekti upravljanja i telekomunikacija u EES koji su podložni brzim promenama usled razvoja nauke i tehnologije u ovoj oblasti. U radovima su po grupama obrađena aktuelna pitanja:

- U grupi B5 Zaštita i automatizacija:
principi automatizacije objekata; početna iskustva sa IEC 61850; pouzdanost rada uređaja za zaštitu; integracija/koordinacija lokalnog i daljinskog upravljanja sistema zaštite i merenja; program i metode ispitivanja i ocena kvaliteta savremenih zaštitno upravljačko mernih sistema.*
- U grupi C2 Upravljanje i eksploatacija:
upravljanje i eksploatacija EES u uslovima ponovnog povezivanja sa glavnim delom interkonekcije UCTE; eksploatacioni aspekti Regional-*

Introductory word

At hotel Omorika on Tara, on May 29 to June 2, 2006, the 13th Symposium on Management and Telecommunications in the power system was held, in organization of four studio committees JUKO CIGRE: B5 Protection and Automation, C2 Managing and Exploitation of the power system, C5 Electricity market and deregulation and D2 Information systems and telecommunications. This time, in order to comprise issues that refer to electricity market and deregulation, the studio committee C5 joined in the gathering for the first time.

In front of an attendance of 300 experts from the fields of the power system development, design, construction and operation, local and foreign authors, from Ministries, Regulation Agencies, large companies, 56 papers prepared on basis of previously adopted preferential topics were presented, dealing with all actual aspects of management and telecommunications in the power system, that are subject to fast changes due to development of science and technology in this field. In the papers the following actual issues were dealt with per groups given below:

- In group B5 Protection and Automation:
principles of automation of utilities; initial experiences with IEC 61850; reliability of the protection unit; integration, coordination of both local and remote control of the protection and measurement system; program and methods of inspection and estimate of quality of modern protection/control/measuring systems.*
- In group C2 Management and Exploitation:
Power system control and operation in the conditions of reconnection with the main part of in-*

nog tržišta električne energije (REM) u Jugoistočnoj Evropi.

– U grupi C5 Tržište električne energije i deregulacija:

reorganizovanje elektroprivrednih preduzeća; Agencija za energetiku; stvaranje regionalnog tržišta električne energije u Jugoistočnoj Evropi; teorijski i praktični aspekti proračuna i dodele prenosnih kapaciteta; regulisanja zagušenja u mreži i kompenzacije troškova prekograničnih razmena između operatora prenosnih sistema; prateće i sistemske usluge i njihova aukcija na liberalizovanom tržištu električne energije.

– U grupi D2 Informacioni sistemi i telekomunikacije: primena WEB tehnologija, CIM/CIS modela/standarda i XML jezika u SCADA/EMS/DMS sistemima, razmena podataka između centara upravljanja i sa EES objektima, komunikacione arhitekture i protokoli, modeli podataka i komunikacionih servisa, komunikacioni standardi, sigurnost komunikacija i podataka; IT sistemi i servisi za Operatore sistema i tržišta, integracija informacionih sistema i servisa na nivou kompanije, upravljanje i skladištenje podataka (Data management, Data warehouses); revitalizacija upravljanja hidroeletranama i termoeletranama: mesto/nivoi i načini upravljanja, funkcije, sistemi, uređaji, performanse, standardi, cost/benefit analize; iskustva u izgradnji telekomunikacionog sistema elektroprivrede.

Na Simpozijumu je u okviru pratećeg programa održano jedno stručno predavanje na temu „IEC 61850 u kontekstu iskustva firme ABB” i dve tribine. Prva je bila „Nikola Tesla i njegov doprinos savremenoj civilizaciji” povodom obeležavanja jubileja 150 godina od rođenja Nikole Tesle, a druga „Ravnopravno u informaciono društvo” povodom aktivnosti u okviru ITU (International Telecommunication Union). Obe tribine su bile dobro posećene pobudivši veliko interesovanje učesnika. Učesnici Simpozijuma su posetili RHE Bajina Bašta - značajnu elektranu u našem elektroenergetskom sistemu.

13. simpozijum Upravljanje i telekomunikacije u elektroenergetskom sistemu nastavlja održavanje simpozijuma koje je počelo 1975. godine, odgovarajući uvek savremenim i sve kompleksnijim zahtevima elektroprivrede.

Predsednik Programsko organizacionog odbora 13. simpozijuma JUKO CIGRE
Mr Đorđe Golubović

terconnection UCTE; operation aspects of the Regional Electricity Market (REM) in South-east Europe.

– In group C5 Electricity Market and Deregulation: reorganization of power utilities: Energetics Agency; creation of the regional electricity market in the South-east Europe; theoretical and practical aspects of calculation and allocation of transmission capacities; regulation of congestion in the network and compensation of costs of transborder exchanges among distribution system operators; system and auxiliary services and the auction thereof at the liberalized electricity market.

– In group D2 Information Systems and Telecommunications:

Application of WEB technologies, CIM/CIS models/standards and XML language in SCADA/EMS/DMS systems, exchange of data between control centers as well as with power system utilities, communication architectures and protocols, models of both data and communication services, communication standards, reliability of communication and data; IT systems and services for system and market operators, integration of information systems and services at the company's level, data management and data warehouses; revitalization of hydro power and thermal power plants control; place/levels and methods of control, functions, systems, units, performances, standards, cost/benefit analyses, experiences in construction of power utilities telecommunication systems.

At the Symposium, within the accompanying program, an expert lecture the subject of which was „IEC 61850 in the context of experience of ABB Company” and two debates were organized. The first one was „Nikola Tesla and his contribution to modern civilization” on the occasion of celebrating the jubilee of 150 years of Tesla's birth, and the second one was „On equal footing into informatics society”, related to activities within ITU (International Telecommunication Union). Both debates (round tables) were well attended and incited a great interest of participants. The participants of the Symposium visited RHE Bajina Basta, an important power plant in our power industry system.

The 13th Symposium - Control and Telecommunications in the power system - continues the tradition of organizing symposiums that started in 1975, responding always to modern and more and more complex demands of electric power industry.

Chairman of the Organization Committee of the
13th JUKO CIGRE Symposium
Mr Đorđe Golubović

*Dorđe Golubović,
Gojko Dotlić i Zoran Ristanović*

Nova generacija objekata TS 400 kV u EE mreži EMS-a

Stručni rad
UDK: 621.316.37

Rezime:

Počevši od Decembra 2005, u pogonu je prvi objekat 400 kV iz generacije novih TS najviših napona koje gradi EMS (ukupno planirano 4 nove i rekonstrukcija 5 postojećih TS, u narednih par godina). U radu će biti prikazane karakteristične specifičnosti nove generacije TS, prvenstveno iz sledećih domena: zaštite, upravljanja, lokalne automatike, dela komunikacija, merenja, dela sopstvene potrošnje, sistema blokada i arhitekture staničnog upravljačkog sistema.

Posebna pažnja će se posvetiti fazama realizacije celog projekta kao: projektovanje, FAT i SAT ispitivanjima, a pružiće se i prvi osvrt na do sada stečena iskustva u realizaciji projekta.

Primenjena i opisana rešenja će u osnovi predstavljati novi standard konceptijskih rešenja u gradnji svih budućih TS najviših napona u EMS-u, u narednom periodu.

Ključne reči: zaštita, upravljanje, merenje, lokalna automatizacija, realizacija projekta

Abstract:

NEW GENERATION OF SS 400 kV IN TRANSMISSION NETWORK OF EMS

On Dec. 2005, EMS put his first 400 kV SS from a new generation of EHV into service (first out of the four new planned SS plus reconstruction of additional /existing/ five in a same manner). This Report shall present specific characteristics of this new generation, mainly overviewing the following aspects: protection, control, SA (SS automation), local communications, metering, AUX supply, interlocking principles and station control architecture.

Special attention shall be dedicated to step by step realization of the overall Project like: design, FAT & SAT testing, with a brief overview of current experiences through Project implementation.

Already implemented and realized solutions are „de facto” a new standard in construction for all future EHV SS in EMS, in the next period.

Key words: protection, control, metering, substation automation, project implementation

Mr Dorđe Golubović, dipl. ing. el., email: djordje.golubovic@ems.co.yu, mr Gojko Dotlić, dipl. ing. el., email: gojko.dotlic@ems.co.yu, – JP „Elektromreža Srbije”, 11 000 Beograd, Kneza Miloša 9-11, Mr Zoran Ristanović, dipl. ing. el., – „Siemens”, 11 000 Beograd, Omladinskih brigada 21, email: zoran.ristanovic@siemens.com

1. UVOD

Kompanija Elektroistok (danas EMS) je početkom ove dekade krenula u zamašne projekte izgradnje (4) i rekonstrukcije (5) postrojenja najviših naponskih nivoa (400; 220; 110 kV) transformatorskih stanica (TS). Kako je postojala želja da postrojenja budu urađena savremenom tehnologijom (u svim aspektima), postojeće Tehničke preporuke EPS-a, Tehnička uputstva Elektroistoka i Interna dokumenta Elektroistoka (npr. Tipizacija Postrojenja 400/x kV/kV) su se pokazala anahronim. Više timova (konkretno 22 tima) je radilo na pripremi Tenderske dokumentacije koja bi bila harmonizovana sa postojećom regulativom ali i uz implementiranje najsavremenijih saznanja koja postoje u ovoj oblasti. Osnovni koncept je bio da se izvrši „razumna” modernizacija koncepata u skladu sa najboljom inženjerskom praksom. Neki od aspekata tih namera su već prikazane u ranijim referatima iste grupe autora na JUKO CIGRE savetovanjima. Bitno je da su svi objekti zamišljeni na isti način, pa je nivo „tipizacije” novih postrojenja maksimalno visok!

Trenutno su svi projekti u toku, a prvi objekat iz klase novih TS je realizovan i pušten u pogon tokom Decembra 2005. (TS 400/220/110 kV/kV/kV Sremska Mitrovica 2), a naredna dva se očekuju tokom 2006. godine

2. NOVINE U KONCEPTU POSTROJENJA

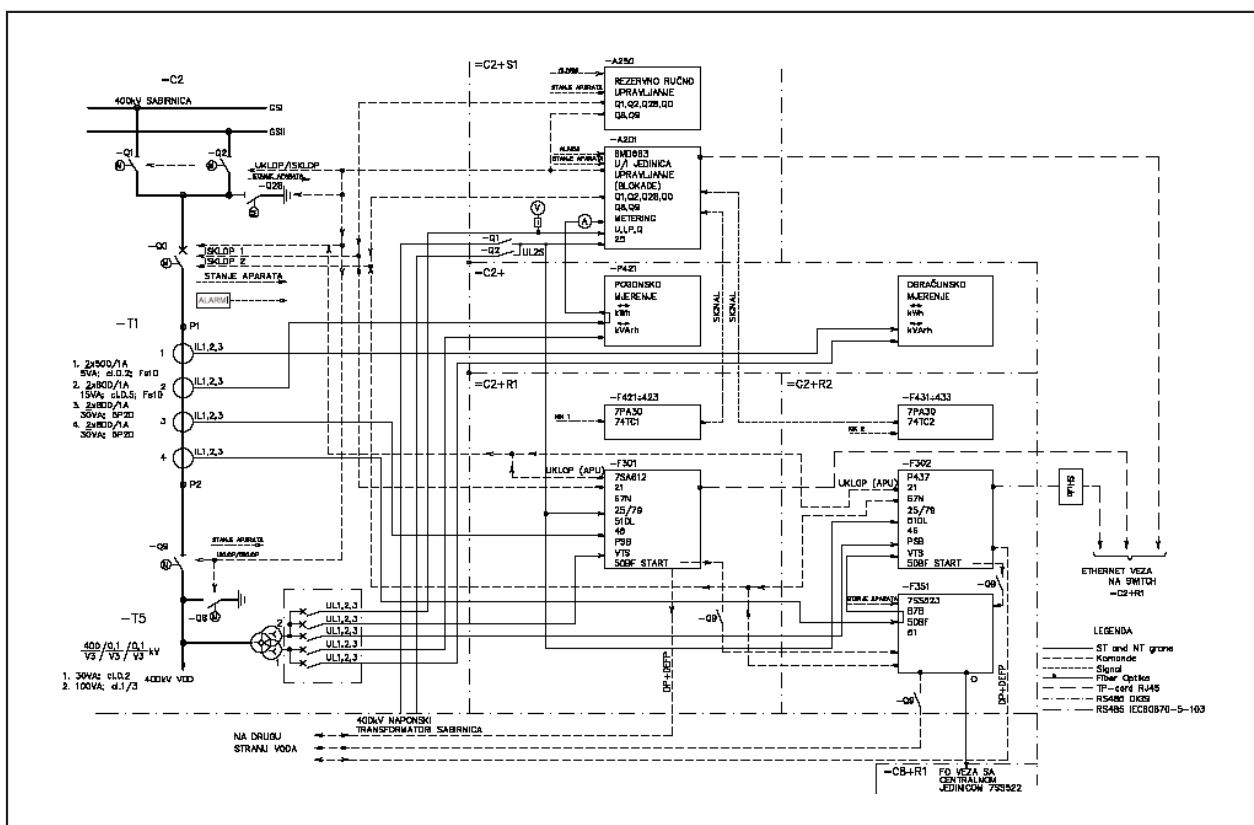
Ključne novine u konceptu postrojenja su sledeće:

- Objekat je realizovan kroz uvođenje „relejnih kućica” u samom VN postrojenju. One grubo obuhvataju: 2x polje DV 400 kV ili 4x polje 110 kV. U slučaju 400 kV postoje tri ormana (glavna zaštita_1, glavna zaštita_2, upravljanje), odnosno dva ormana (osnovna i rezervna zaštita, upravljanje) za 110 kV. Svaka relejna kućica ima sopstveni podrazvod sopstvene potrošnje koji je radikalno spojen sa glavnim razvodom u komandnoj zgradi. Nivo žičnih veza koji ide van relejne kućice je minimalan.
- Komunikacija je IEC61850 kod svih uređaja gde se to moglo primeniti u momentu gradnje TS. Konkretno u ovom momentu preostalo je da samo glavna zaštita_2, distantna zaštita, zbog trenutnog nepostojanja podrške, funkcioniše pod IEC103 protokolom. Ovo podrazumeva da je sav prenos podataka putem protokola (pa čak i kritične operacije tipa međusobnih blokadnih uslova), što za sobom povlači i mali deo „žičnih veza” (čak i mali broj binarnih izlaza BO za signalizaciju, što je npr. drastično drugačije od sličnog objekta TS 400/110

kV/kV Subotica 3 koji se radi sa savremenim zaštitama ali sa klasičnim upravljačkim sistemom). Omogućen je dvostruki optički prsten (ring) koji spaja centralni računar i sve kućice, pa je i jednostruki prekid prstena bez posledica. U samoj kućici postoji optički switch (multi port) koji prihvata komunikaciju na nivou kućice žičnim putem (konvencionalni UTP). Za opremu pod IEC103 su korišćeni media konvertori za povezivanje na optički prsten.

- U samoj kućici je moguće upravljati „lokalno” sa upravljačke jedinice polja (bay control), uz punu podršku upravljačkog sistema (moguće korišćenje svih blokadnih uslova na nivou TS). Blokadni uslovi između polja prenose se pomoću IEC61850 protokola (nema žičanih veza). Ukoliko iz nekog razloga „padne” upravljački sistem (kvar jedinice, puni prekid komunikacije i sl.), može se preći na tzv. „pomoćni upravljački tablo” koji omogućuje nužnu komandu u havarijskim uslovima sa samo podskupom podataka koji bi omogućio da takvo upravljanje ide bezbedno, ali uz puni oprez! Blokadni uslovi u tom režimu su minimalni, vezani samo za to polje i po principu da je komanda moguća samo u „bezstrujnom” režimu. Inače, ovakav koncept se pokazao uspešnim prilikom FAT-a i puštanja objekta u pogon.
- Osim distantnih zaštita, ugrađuju se i usmerene zemljospojne zaštite sa prenosom signala (ako je to moguće).
- Na vodovima 110 kV se predviđa obavezna dodatna usmerena zemljospojna zaštita (bezuslovna), i dodatna prekostrujna zaštita (rezervna u posebnom kućištu). Kao varijantno rešenje za rezervnu prekostrujnu zaštitu, može se primeniti nezavisna prekostrujna funkcija u sklopu jedinice polja od distribuirane diferencijalne zaštite sabirnica.
- Na velikim transformatorima od 150 do 400 MVA predviđa se dupliranje seta diferencijalnih zaštita (sa svim dodatnim funkcijama) i aktiviranje bar jedne zemljospojne diferencijalne zaštite (tzv. ograničena zemljospojna zaštita - REF). Obavezna je automatska regulacija napona (gde je to moguće), predviđena za paralelan rad.
- Sva veća postrojenja ubuduće imaju i diferencijalnu zaštitu sabirnica distribuiranog tipa. Ona je istovremeno iskorišćena i kao rezervna zaštita od kvarova (npr. za DV 110 kV) i otkaza prekidača.
- Skoro svi budući vodovi 400 i 220 kV će biti opremljeni OPGW vlaknima za optički prenos signala, čime ona postaju osnovni prenosni put. Gde god je to moguće (a na interkonektivnim 400 kV vodovima i obavezno), paralelno će signali ići i putem konvencionalnih VF linija.

- Invertorski naizmenični napon se ne razvodi po postrojenju, a i njegov obim je u samoj komandnoj zgradi minimalan (računari, telekomunikacije...)
- Sva jednosmerna kola u relejnoj kućici su strogo razdvojena (skoro puna simetrija), bez automatskog preklapanja DC_A i DC_B (samo ručno uz dojavu signala).
- Baterije više nisu „deljenog” tipa već jedinstvene (106 ćelija)
- Dizel agregat je jedan, spoljne izvedbe, kao i transformatori sopstvene potrošnje.
- Postrojenje srednjeg napona (sopstvena potrošnja) je metalom oklopljeno, izvedeno za konačnu fazu TS (osnovno i rezervno napajanje), i potpuno uklopljeno u sistem upravljanja. Za zaštitu i upravljanje na nivou srednjeg napona koriste se integrisani mikroprocesorski uređaji.
- Nikakva automatika (osim dizela) u sopstvenoj potrošnji se ne predviđa, mada preduslovi postoje. Svi signali i komande su dostupni sistemu lokalnog upravljanja.
- Ne postoji komandna tabla, niti išta što je za nju vezano. Celokupno upravljanje se realizuje preko staničnog računara i lokalne SCADA-e. Za upravljanje na nivou komandne zgrade (sopstvena potrošnja, provala, požar, i slično) se koriste namenske upravljačke jedinice istog tipa kao i u VN poljima.
- Realizovana je posebna radna stanica za inženjera zaštitara koja omogućava daljinsko parametrisiranje zaštita, podešavanje zaštita i pregled prispelih merenja, signala, alarma i oscilografskih zapisa događaja (nezavisno od upravljačkog dela).



Slika 1. Primer Basic Design-a DV polja 400 kV

3. PROJEKTOVANJE

Ranije je napomenuto da je bilo puno noviteta tokom realizacije prvog projekta. I za investitora i delimično za isporučioaca je ovo prvi objekat ove klase i mnoštvo elemenata je ovde po prvi put implementirano. Zato je mnogo pažnje i vremena posvećeno razradi projekta, a naročito oblastima defi-

nisanja blokada (programskih ili žičanih), i oblasti merenja, signalizacije i alarma.

Startna osnova za oba projekta je bio Idejni projekat (Basic Design). Ovaj deo sadrži osnovne principe koji treba da budu zastupljeni u projektu kao npr.: koja zaštita će isključivati koji kalem, koje blokade i na koji način će se realizovati, principi komandovanja VN rasklopnom opremom i sl. Primer Basic Design-a je dat na slici 1.

Pre početka samog projektovanja pristupilo se usvajanju Basic Design-a od strane Investitora. Sama procedura usvajanja je urađena tako što su na zajedničkom sastanku investitora i projekatanta i stručnjaka isporučilaca razmatrane šeme i doneseni zaključci. Ono što je bitno napomenuti, za ovakav pristup radu bilo je neophodno da svi učesnici dobiju materijal na 7 do 14 dana pre sastanka. Ovakav način rada se pokazao plodotvoran, tako da je on primenjivan i u kasnijim fazama usvajanja projekata.

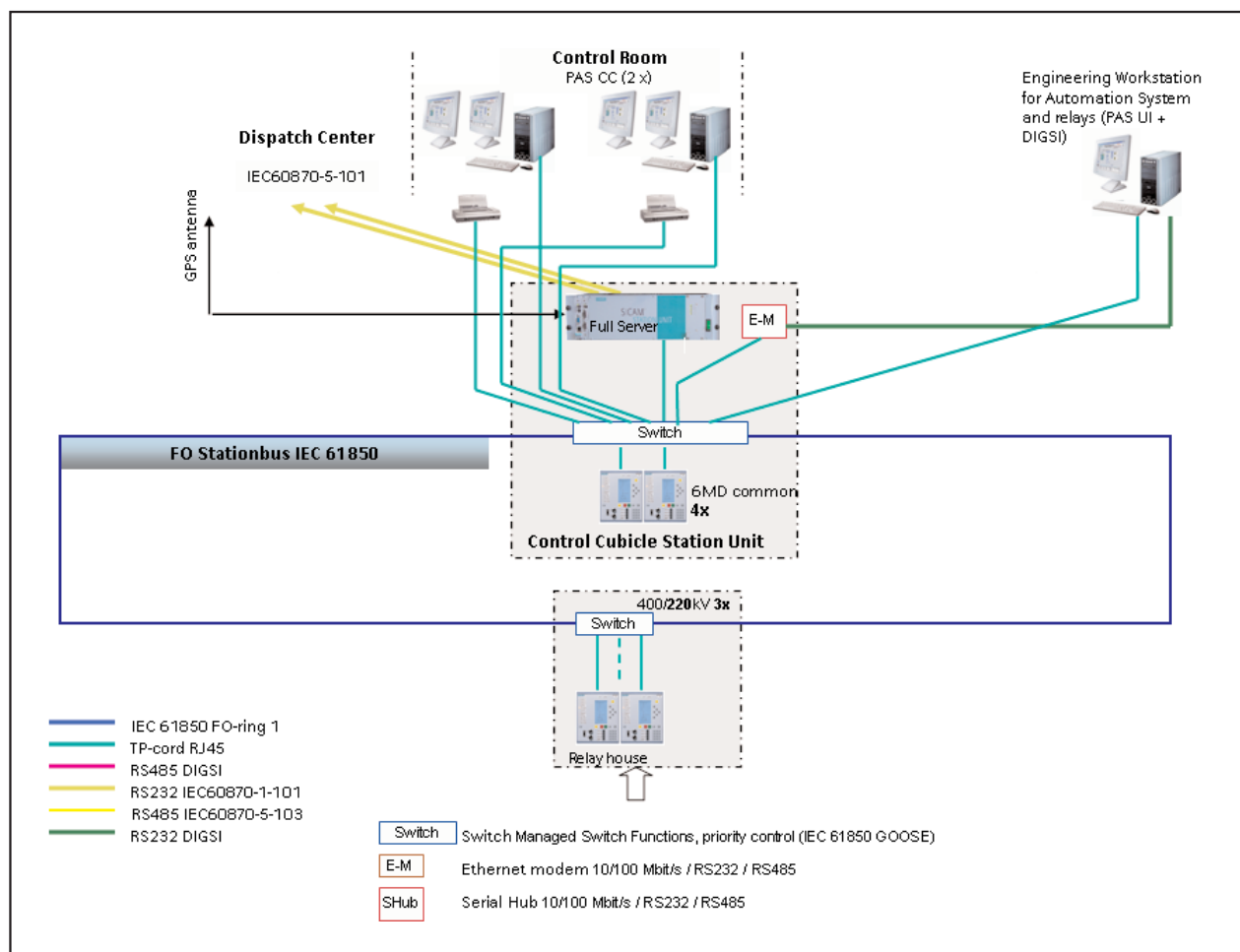
U samoj realizaciji dokumentacije za glavne projekte, donekle je postojao hendikep, jer je Izvođač angažovao tri projektantske kuće, za pojedine podsisteme u TS, pa je koordinacija projekta (naročito otklanjanje kolizija, primedbi, granica projekta) bila otežana. S druge strane, svi participant su se potrudili da ovaj projekat „uspe” pa, i uz otežane uslove, saradnja je bila veoma korektna.

Obim projektantskih poslova u oblasti sistema zaštite i upravljanja je obuhvatao sekundarne veze u postrojenju: strujne i naponske krugove, komandne krugove, krugove blokada, signalne krugove, nad-

zorne krugove, krugove pomoćnih napajanja i druge. Svi ovi poslovi u ovom projektu su bili podeljeni na dva projekta: projekat ormana zaštite i upravljanja i projekat veza VN opreme i ormana zaštite i upravljanja (tzv. konsolidovane šeme). Ova dva projekta su poverena dvema kompanijama.

Na samom početku se postavilo pitanje koji projekat treba prvi da bude napravljena, u stvari oni treba da budu jedan projekat jedinstvenog sistema zaštite i upravljanja. Zbog ranije potpisanih ugovora o radu, prvo se startovalo sa radom na projektu ormana. Prvi problem koji se pojavio je da se kvalitetna izrada ovog projekta ne može postići bez posmatranja celokupnog sastava sekundarnih veza. Problem je prevaziđen na taj način što je projektant veza u ormanima predstavio u svojim projektima sve sekundarne veze. Ovo se pokazalo dvostruko korisnim:

- projekat ormana je urađen kvalitetno i
- tokom procesa usvajanja ovih projekata, projektant konsolidovanih šema je dobio niz sugestija od strane investitora na sadržaj tog projekta.



Slika 2. Blok šema sistema za zaštitu i upravljanje

„Mana” ovakvog pristupa je bila ta što se tokom razmatranja projekata ormana više pažnje posvećivalo šemama van ormana nego onim u ormanima.

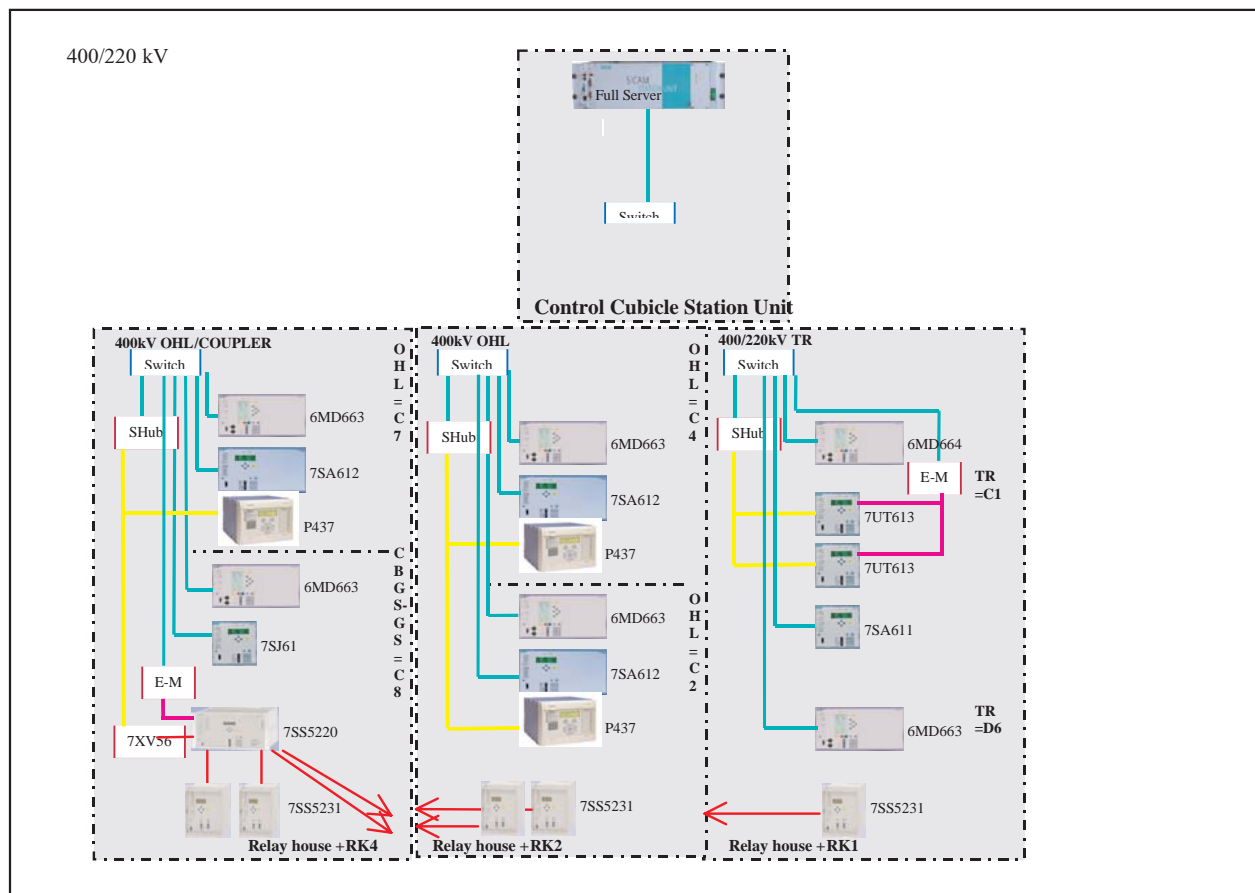
U predmetnom postrojenju (TS 400/220/110 kV/kV/kV Sremska Mitrovica 2) prepoznata su tri tipa VN polja, odnosno tri vrste šema: (1) 400 kV DV polje, (2) trafo polja 400 i 220 kV, i (3) 400 kV spojno polje. Posebno je razmatrana šema staničnog računara koja je obuhvatala veze uređaja kao i signale sa pomoćnih napajanja (slika 2).

4. MONTAŽA, PRIJEMNO ISPITIVANJE ORMANA ZAŠTITE I UPRAVLJANJA KOD PROIZVOĐAČA

Nakon usvajanja svih šema ormana pristupilo se montaži ormana. Predmet montaže je bilo 16 ormana zaštite i upravljanja. Kada je montaža ormana bila u punom zamahu, tj. oko polovine posla, izvršena je inspekcija radova od strane investitora kompaniji koja je vršila montažu. Inspekciju su uradili stručnjaci EMS-a koji imaju dugogodišnje iskustvo u montaži i ispitivanju ormana. Glavni cilj ove inspekcije je bio da se izvrši pregled stanja radova kao

i da se ukaže na neke specifične zahteve investitora (korišćenje klema, raspored opreme, izvođenja uzemljenja, i sl.). Ta praksa inspekcije radova primenjena je i kod nekih ranijih projekata i pokazala se vrlo korisnom, jer rešava mnoge probleme „u hodu”, pre isporuke ormana. Inspekcija je dala vrlo pozitivne efekte i sa aspekta manjeg utroška vremena tokom FAT-a na pregledu ormana.

Prilikom inspekcije radova kod proizvođača ormana, takođe su razmatrane i utvrđene procedure ispitivanja tokom FAT-a. Program FAT-a je predložen od strane isporučioaca ormana koji je usvojen od strane Investitora. Kao pripremu za FAT isporučilac opreme je pripremio simulaciju komandovanja i položaja VN rasklopne opreme korišćenjem bistabilnih releja. Nedostatak je bio taj što nije bio dovoljan broj bistabilnih releja pa nisu mogle u potpunosti jednovremeno biti ispitane sve funkcije. Problem je prevaziđen na taj način što su ispitivana po dva polja (obavezno sa spojnim poljem zbog blokadnih uslova). Takođe je prilikom FAT-a u samoj fabrici uspostavljen celokupan sistem komunikacija između uređaja i staničnog računara koji je urađen po protokolu IEC61850 i IEC103. Sistem komunikaci-



Slika 3. Primer sistema komunikacija u postrojenju 400 kV

ja je uspostavljen isti kao onaj koji će biti na objektu. Na slici 3 je predstavljen sistem komunikacija na delu postrojenja 400 kV.

Tokom FAT-a ormana zaštite i upravljanja provereno je sledeće:

- visokonaponsko ispitivanje ormana i ožičenja (JSS 2 kV, 1 min);
- provera da li je raspored opreme urađen prema projektnoj dokumentaciji;
- provera ožičenja ormana;
- provera opšte signalizacije;
- provera komandovanja sa pomoćne komandne table i upravljačke jedinice polja;
- provera komunikacija (između zaštita, ormana i prema nadređenim centrima upravljanja);
- provera blokada na nivou postrojenja i polja;
- ispitivanje primenjenih funkcija svih zaštitnih i upravljačkih uređaja;
- provera „slika” na upravljačkim mestima;
- provera signalizacije na pojedinim uređajima;
- provera sistema upravljanja u TS na nivou staničnog računara (indikacije položaja aparata, merenja, liste događaja, liste alarma, blokade);
- provera funkcije merenja, signalizacije i oscilografskog zapisa događaja u lokalnu, odnosno na nivou radne stanice inženjera za zaštitu i
- provera redundantnosti sistema.

Namera isporučioaca i investitora je bila ta da se na FAT-u uradi što više provera koje nije bilo potrebno kasnije raditi na SAT-u. Na FAT-u je nađeno da lista signala sa tačnim nazivom nije u potpunosti definisana te je ostavljeno da ona bude definisana do početka SAT-a. Takođe na FAT-u su sugerisani izgledi nekih stranica na lokalnoj SCADA-i. Prvo sretanje sa sistemom IEC61850 je pokazalo da sa stanovišta korisnika u TS nema nekih velikih izmena, jer su ostavljeni sistemi upravljanja i nadzora što bliži postojećim sistemima. Ono što je prvo primećeno kao velika prednost je ostvarivanje blokada na nivou celokupne TS kroz IEC61850 protokol. Na ovaj način su izbegnuta ogromna komplikovana ožičenja a sve je postignuto istim komunikacionim kanalima kojim idu i sistemi upravljanja i nadzora. Potreba za ovakvim FAT-om je pokazala da se na njemu mogu otkriti neki nedostaci koji nisu bili uočeni tokom pregleda projekta. To se posebno odnosi, u slučaju ovog projekta, na neke signale o ispadu važnih automata.

5. MONTAŽA, PRIJEMNO ISPITIVANJE ORMANA ZAŠTITE I UPRAVLJANJA NA GRADILIŠTU

Odlazak na SAT se smatrao formalnošću posle dobro obavljenog FAT-a. Sa dobrom organizacijom koja je bila na objektu to je stvarno i bilo tako. Posle

uvezivanja kablova od strane pomoćnih napajanja i VN aparata usledila je provera ožičenja od strane jedne posebne odvojene nezavisne ekipe. Nakon te ekipe došla je ekipa inženjera zaštite koji su još jednom proverili svu signalizaciju, komandovanje i zaštitne funkcije. Paralelno sa ovim radom odvijao se i SAT sistema upravljanja. Najvažnije je bilo uspostaviti komunikacije svih uređaja i funkcionisanje celokupnog sistema, kao i uspostavljanje veza ka nacionalnom i regionalnom dispečerskom centru. Tender-skom dokumentacijom je bio postavljen zahtev da se ova veza ostvari po protokolu IEC101. Posle usklađivanja međusobnih parametara veza ka nacionalnom dispečerskom centru je uspostavljena, a prema regionalnom ne, zbog problema sa prenosnim putem.

Sve u svemu, SAT je prošao lakše i sa manje problema i grešaka nego što je očekivano za objekat ove klase pri konvencionalnom načinu izvođenja.

6. NEKE KONSTATACIJE AUTORA ZA DALJE RAZMIŠLJANJE

Poslednjih godina u našoj zemlji se vode polemike oko međusobnog odnosa inženjera za zaštitu i upravljanje. Sa dolaskom mikroprocesorske tehnologije počelo je da prevladava mišljenje da ovde granica neće biti. Naime u postojećim sistemima granica je bila na rednim stezaljkama ili na odvojenim relejima koji su galvanski razdvajali sistem zaštite i sistem upravljanja. Ipak, ova granica i dalje egzistira, ali danas više nije tako uočljiva! Naime, kada inženjer zaštite izvrši parametrisanje zaštite, on inženjerima upravljanja dostavlja datoteku podataka koja se koristi u sistemu upravljanja. Ono što je bitno napomenuti to je da sada mora postojati potpuna koordinacija rada sa ovom datotekom, tj. svaka izmena ove datoteke mora se propratiti u oba sistema. U slučaju ovog projekta više nediscipline je bilo sa strane inženjera zaštite koji su menjali datoteke bez uskladenosti sa inženjerima upravljanja, te je dolazilo do prekida komunikacije sa nekim uređajima zbog nekonzistentnosti parametara.

Evidentno da sistemi ovog tipa imaju velike mogućnosti i prednosti... ali i mane! Neophodan je potpuno drugačiji pristup realizaciji projekta, sa drugačijim „težinskim” udelima pojedinih faza. Bitan je jasan tender (zahtev investitora), i mnogo pripremnih radova u fazi projektovanja. Takođe, sistem je vanredno kompleksan i zahteva veoma posebna znanja (obuku). Značajan napor je učinjen da bi se iskoristilo što više mogućnosti sistema, ali i da se deaktivira svo ono što suštinski nije potrebno! Evidentno da sistemi ovakve kompleksnosti, naročitu prednost imaju kod izgradnje novih i složenih objekata, kao i kod kapitalnih rekonstrukcija postroje-

nja. Manje zahtevni objekti, manje rekonstrukcije... ipak zahtevaju savremeni pristup ali bliži nama bog poznatih konvencionalnih rešenja.

Autori ponovo skreću pažnju na važnu ulogu funkcije „sistem integratora” koji bi mogao da bude važna karika u lancu realizacije projekata ovakvog nivoa kompleksnosti!

7. LITERATURA

- [1] Đ. Golubović, G. Dotlić: KOMUNIKACIONI ZAHTEVI ZA PODSISTEME ZAŠTITE I UPRAVLJANJA I OKVIRU ELEKTROENERGETSKOG POSTROJENJA, No. VI 2, 10. Simpozijum „Upravljanje i telekomunikacije u EES, Herceg Novi, 22-25. maj 2000.
- [2] G. Dotlić, Đ. Golubović: SMERNICE ZA IZRADU NOVIH TEHNIČKIH PREPORUKA EPS-A IZ OBLASTI RELEJNE ZAŠTITE I LOKALNOG UPRAVLJANJA, No. R34-13, 25. Savetovanje JUKO CIGRE, Herceg Novi, 16-20. sept. 2001.
- [3] G. Dotlić, Đ. Golubović, B. Azlen, D. Maksić: TELEZAŠTITNI SISTEMI NA INTERKONEKTIVNIM VODOVIMA 400 kV”, No. IV 3, 12. Simpozijum „Upravljanje i telekomunikacije u EES”, Bečići, 19-21. maj 2004.
- [4] Đ. Golubović: ULOGA SISTEM INTEGRATORA - KARIKA KOJA NEDOSTAJE, No. B5-R02, Za 27. Savetovanje JUKO CIGRE, Zlatibor, 2005.
- [5] Dokumentacija proizvođača opreme
- [6] Tenderski materijali
- [7] Interna tehnička regulativa EMS-a

Rad je primljen u uredništvo 09. 08. 2006. godine



Đorđe Golubović (1956). Direktor EMS-Centar za razvoj, diplomirao i magistrirao na ETF-Beograd. Zaposlen od 1982. u Elektroistoku, na poslovima trafostanica: opreme, zaštite, merenja i upravljanja. Član JUKO CIGRE od 1983; Predsednik STK34/ B5 od 1999. Autor više od 30 objavljenih Referata.



G. Dotlić (1949) Direktor Direkcije za Prenos u JP Elektromreža Srbije. Diplomirao je i magistrirao na ETF-Beograd. Zaposlen u firmi MAŠINOPROJEKT (1974), odnosno u ELEKTROISTOK-u (1978). Od tada se pretežno bavi poslovima lokalne automatike i relejne zaštite u EE postrojenjima. U periodu od 1997. do 2006. godine kao priznati stručnjak je više puta bio angažovan od domaćih i inostranih kompanija na izgradnji EE postrojenja i na studijama podešavanja zaštita (Katar, Oman, Dubai). Dugogodišnji član SC B5, JUKO CIGRE gde je objavio preko 20 referata. Autor je ili koautor više stručnih knjiga i priručnika, odnosno preporuka i tehničkih uputstava iz oblasti relejne zaštite koje se koriste u EPS/EMS-u. Od 1980. godine je aktivan u Savezu mašinskih i elektrotehničkih inženjera i tehničara Srbije (SMEITS). Sada je predsednik SMEITS-a, predsednik Komisije za polaganje stručnih ispita. Za dostignuća u oblasti procesne tehnike za 2001. godinu dobio je Povelju „Procesne tehnike”.



Zoran Ristanović je 1960. godine u Travniku (BiH). Gimnaziju završio u Čupriji, ETF - Beograd, energetski smer završio 1985. a magistrirao 1993. godine na istom fakultetu. Posle fakulteta godinu dana radio na izgradnji HE Đerdap 2. Od 1987. do 2001. godine je bio zaposlen u Elektrovojvodini na poslovima razvoja, merenja i zaštite, da bi, na kraju, službu završio kao Tehnički Direktor. Od 2001 godine zaposlen u Siemens d.o.o. Beograd kao odgovorno lice za poslove odelenja sistema zaštite i upravljanja. Član je komiteta za zaštitu JUKO CIGRE-a i JUKO CIRED-a, autor više radova iz navedenih oblasti.

Snežana Mijailović,
Zoran Vujasinović, Ilija Cvijetić i Slobodan Marković

Rekonekcija UCTE-a: novi uslovi eksploatacije

Stručni rad
UDK: 621.311

Rezime:

U radu je kratko prikazana istorija paralelnog rada elektroenergetskih sistema jugoistočne Evrope u periodu do rekonekcije, kao i efekti ponovnog povezivanja UCTE interkonekcije tokom protekle godine. Ovi efekti su ilustrovani kroz poboljšanje operativnih i eksploatacionih uslova rada, naročito u pogledu povećanja sigurnosti interkonekcije, naponskog profila, smanjenja proizvodnje reaktivne energije i dr. Takođe, prikazano je i kvantifikovano povećanje mogućnosti prekogranične trgovine električnom energijom, kao i povećanje tranzita električne energije.

Rekonekcija je otvorila mogućnosti za dalji razvoj liberalizovanog tržišta električne energije na području jugoistočne Evrope.

Ključne reči: UCTE, rekonekcija, jugoistočna Evropa, tržište električne energije, prekogranična trgovina, tranzit električne energije

Abstract:

RECONNECTION OF UCTE: NEW CONDITIONS FOR THE EXPLOATATION

Within this paper the short history of parallel operation of Electric Power Systems of South-eastern Europe has been presented, as well as the effects of the reconnection of UCTE interconnection during last year. These effects are illustrated through the improvement of operational and exploitation conditions, lowering of the reactive energy production etc. Also, the increased possibilities for the cross-border trade of electricity are shown and quantified, as well as the increase of the cross-border transits.

The reconnection opened the possibilities for further development of the liberalized electricity market in the South-east European region.

Key words: UCTE, reconnection, South-east Europe, electricity market, cross-border trade, transit of electricity

1. UVOD

Ponovno sinhrono povezivanje sistema jugoistočne i kontinentalne Evrope u jedinstvenu interkonekciju UCTE u potpunosti je promenilo operativne i tržišne

uslove rada elektroenergetskih sistema u regionu, koji su se već i ustalili u odvojenom radu u trajanju od trinaest godina. 10. oktobra 2004. godine nije samo objedinjen sistem UCTE interkonekcije, već je ostvaren i neophodan preduslov za daljnji razvoj i integrisanje re-

Mr Snežana Mijailović, dipl. ing. el., Zoran Vujasinović, dipl. ing. el., Slobodan Marković, dipl. ing. el.,
– EKC, 11 040 Beograd, Vojvode Stepe 412
Ilija Cvijetić, dipl. ing. el., – JP „Elektromreža Srbije”, 11 000 Beograd, Kneza Miloša 11

gionalnog tržišta električne energije u jugoistočnoj Evropi, kome kroz atinski proces teže zemlje regiona.

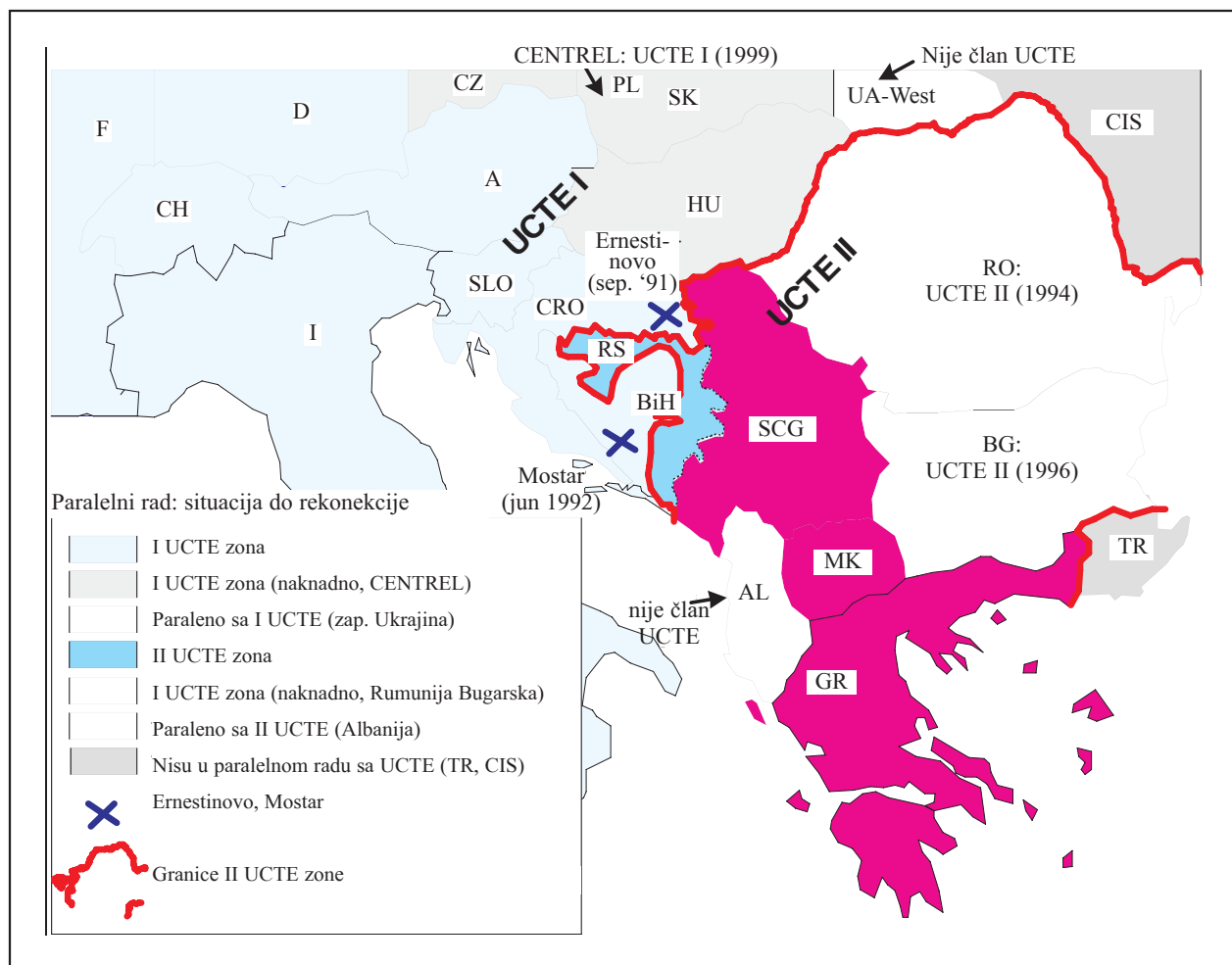
Rekonekcija je izazvala značajne, uglavnom pozitivne promene u operativnom upravljanju prenosnim sistemom, a kao posledicu toga i daljne mogućnosti razvoja tržišta električne energije, kroz povećane mogućnosti prekograničnih razmena električne energije. Kao posledica se javljaju i novi koridori preko kojih se zatvaraju kružni tokovi snaga, povećanje tranzita električne energije i drugi. Ovde je dat pregled glavnih uticaja rekonekcije na uslove eksploatacije elektroenergetskog sistema jugoistočne Evrope, u operativnom i tržišnom smislu.

2. ISTORIJA PARALELNOG RADA

Ovde je dato kratko podsećanje na redosled događaja vezanih za paralelni rad EES jugoistočne Evrope, od pristupanja bivše SFRJ interkonekciji UCTE (1976), preko razdvajanja (1991) i ponovnog povezivanja (2004).

2.1. Članstvo u UCTE, razdvajanje

- Od 16. septembra 1976. godine elektroenergetski sistem (EES) bivše SFRJ ostvaruje trajni zajednički paralelni rad u evropskoj elektroenergetskoj interkonekciji UC(P)TE, u kojoj ostvaruju paralelni rad EES Belgije, Nemačke, Španije, Francuske, Grčke, Italije, Luksemburga, Holandije, Austrije, Portugala i Švajcarske.
- U periodu 1991-1992. godine za vreme ratnih sukoba u bivšoj SFRJ, oštećeni su elektroenergetski objekti i postrojenja na području Hrvatske i Bosne i Hercegovine. Najznačajnija oštećenja bila su u razvodnim postrojenjima Ernestinovo (septembar 1991. godine) i Mostar (jun 1992. godine), što je dovelo do odvajanja jugoistočnog dela EES republika bivše SFRJ od interkonekcije UCTE. Tada su u paralelnom radu ostali sistemi Srbije, Crne Gore, Makedonije, Republike Srpske, Grčke i Albanije. EES Albanije je već dugo godina radio paralelno povezan sa sistemom UCTE-a, iako Albanija nije član UCTE-a.



Slika 1. Paralelan rad (situacija do rekonekcije)

- Elektroenergetski sistemi Rumunije i Bugarske pristupili paralelnom radu u okviru druge UCTE sinhronone zone 1994, odnosno 1996. godine, prethodno se odvojivši od interkonekcije koju su sačinjavali EES bivšeg SSSR-a i CENTREL-a. Rumunija i Bugarska su postale punopravne članice UCTE-a 2003. godine.
- Od 1995. godine EES koji sačinjavaju regulacionu grupu CENTREL (Poljska, Češka, Slovačka i Mađarska) su u paralelnom radu sa prvom UCTE sinhronom zonom. Oni su se prethodno izdvojili iz paralelnog rada sa sistemima bivšeg SSSR-a. Takođe, i zapadni deo EES Ukrajine (Burštinsko ostrvo), radi u paralelnom radu sa UCTE-om, iako Ukrajina nije član ove organizacije.

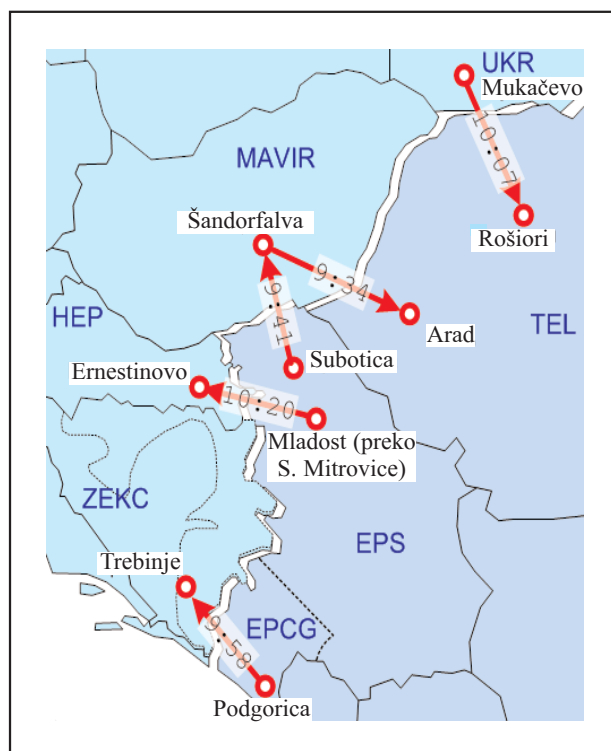
2.2. Ponovno povezivanje

Pripreme za ponovno povezivanje obuhvatile su brojne aktivnosti u smislu rehabilitacije prenosne mreže i analiza i studija. Pripreme i sama procedura povezivanja su detaljno objašnjene u [1, 2].

- Urađene su procene oštećenja prenosne mreže i projekti na osnovu kojih se pristupilo rehabilitaciji razvodnih postrojenja i dalekovoda u Hrvatskoj i Bosni i Hercegovini.
- Urađeno je više studija i analiza vezanih za uslove i procedure ponovnog povezivanja, od kojih su najvažnije: SUDEL-ova studija 1996 [3], DVG studija [4] te analize u okviru UCTE Izvršnog tima u periodu 2002-2004. godine [5, 6]. UCTE Izvršni tim je definisao sve potrebne preduslove za ponovno povezivanje, a kroz analize tokova snaga i naponskih prilika i sekvencu povezivanja. Zaključci Izvršnog tima pratili su aktivnosti na rehabilitaciji prenosne mreže na terenu, a u sklopu pripremih aktivnosti bila su rešena i mnoga tehnička i organizaciona pitanja kao što su:
 - dalekovodi koji su neophodni za rekonekciju;
 - pitanje „T” spoja u transformatorskoj stanici Sremska Mitrovica;
 - pitanje kontrolnih blokova i EES Albanije, koja nije član UCTE-a;
 - prelazak EES Republike Srpske, kao dela integrisanog EES BiH, iz JIEL bloka u blok SLO/HR/BiH i njegovo „prevezivanje” na prvu UCTE zonu (31. avgusta 2004. godine) i
 - usklađivanje faznog pomeraja EES Hrvatske i susjednih EES (septembar 2004. godine)
- Na osnovu iskustva i analiza tokova snaga i naponskih prilika, Izvršni tim je pripremio operativni program povezivanja, gde je definisan redosled uključivanja pet glavnih 400 kV interkonektivnih dalekovoda:

1. Šandorfalva (HU)-Arad (RO)
2. Subotica (SR)-Šandorfalva (HU)
3. Podgorica (CG)-Trebinje (BA)
4. Mukačevo(UA) - Rošiori(RO)
5. Mladost (SR)-Ernestinovo(HR)

- Proces povezivanja je koordiniran iz dispečerskog centra u Zagrebu. Dana 10. oktobra 2004. godine, prema gore navedenom redosledu u periodu od 09:34 do 10:20 su uključeni svi 400 kV dalekovodi između I i II UCTE sinhronone zone. Potom su usledila uključivanja 220 kV i 110 kV veza između I i II UCTE sinhronone zone, što je urađeno do 10:57. Ovim je objedinjena interkonekcija UCTE, u najvećem obimu u toku svog postojanja.



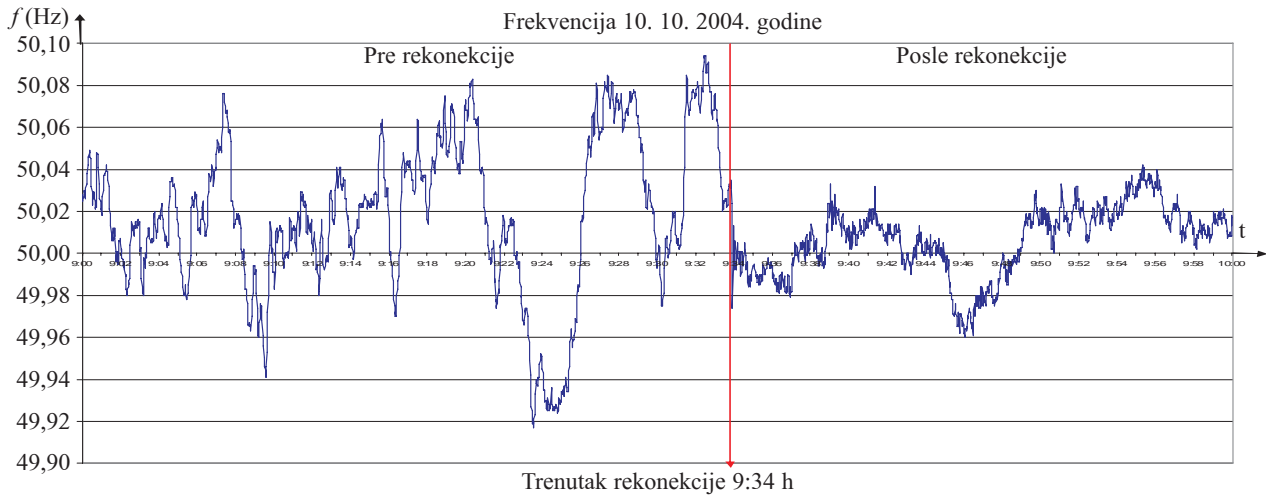
Slika 2. Redosled povezivanja 10. oktobra 2004. godine

3. UTICAJ REKONEKCIJE NA RAD ELEKTROENERGETSKOG SEKTORA

Imajući u vidu da je proteklo više od godinu dana, jasno je da je rekonekcija uticala na sve aspekte rada elektroenergetskog sistema jugoistočne Evrope, pri čemu su u okviru rada istaknuti samo najvažniji uticaji.

3.1. Uticaj na operativno upravljanje

Sa gledišta operativnog upravljanja, rekonekcija je imala brojne pozitivne efekte, kao što su:



Slika 3. Promena frekvencije (II UCTE zona) u trenutku rekonekcije

3.1.1. Frekvencija

Vidno je smanjenje odstupanja frekvencije od programirane vrednosti, pogotovo za sisteme nekadašnje druge UCTE sinhronne zone. Praktično, problem održanja frekvencije je sveden na minimum u regionu, dok je do pre rekonekcije frekvencija bila značajan podatak i u dispečerskom upravljanju. Promenu frekvencije u trenutku povezivanja možemo videti na slici 3.

3.1.2. Naponska stabilnost, smanjena proizvodnja reaktivne energije, povećana sigurnost sistema

Kada poredimo dva najkritičnija dana pre (13. februar 2004. godine) i posle rekonekcije (9. februar 2005. godine) sa stanovišta EES Srbije, iz tabele 1. se vidi poboljšana naponska situacija u severnom i severozapadnom delu Srbije, kao i generalno smanjenje proizvodnje reaktivne energije elektrana u Srbiji [8].

Tabela 1.

Poređenje napona i proizvodnje reaktivne energije pre i posle rekonekcije

Datum	13. 02. 2004. godine		09. 02. 2005. godine		Razlike:	
Proizvodnja (MW)	6 237		6 527		290	
Bruto konzum (MW)	6 448		6 867		419	
Naponi u 20:00	400 kV	220 kV	400 kV	220 kV	ΔU 400 kV	ΔU 220 kV
TS Obrenovac	397	223	401	226	4	3
TS Novi Sad 3	387	218	398	225	11	7
TS Subotica 3	381		395		14	
TS Bajina Bašta		221		225		4
Proizvod aktivne i reaktivne snage	P (MW)	Q (Mvar)	P (MW)	Q (Mvar)	ΔP (MW)	ΔQ (Mvar)
TENT B	1 080	584	1 120	360	40	-224
TENT A	810	641	1 133	588	323	-53
TE Kostolac B	535	256	268	100	-267	-156
TE Kostolac A	147	108	158	105	11	-3
HE Đerdap I	880	280	1 011	303	131	23
HE Bajina Bašta	320	140	360	120	40	-20
RHE Bajina Bašta	550	190	540	120	-10	-70
HE Piva	303	60	290	30	-13	-30
TE Novi Sad	83	26	127	81	44	55
TE Zrenjanin	55	42	55	46	0	4
Total:	4 763	2 327	5 062	1 853	299	-474

Zbog povezanosti kompletne prenosne mreže, a prvenstveno 400 kV regionalnih prstenova, sada je lakše održati sigurnost sistema, konkretno *n-1* kriterijum sigurnosti.

U cilju ilustracije povećanja sigurnosti sistema posle rekonekcije, ilustrativan je ispad koji se dogodio 14. maja 2004. godine (period pre rekonekcije): 400 kV dalekovod RP Drmno - Beograd 8 je ispao iz pogona, dok je 400 kV dalekovod RP Drmno - Pančevo 2 bio isključen. Ovaj ispad je prouzrokovao ozbiljan poremećaj rada EES, sa značajnim propadom napona i porastom proizvodnje reaktivne snage u elektranama.

Ako bismo pomoću analize tokova snaga simulirali ovaj poremećaj, a na osnovu dana sa sličnim opterećenjem sistema nakon rekonekcije (16. april 2005. godine), iz tabele 2. se vidi da bi navedeni ispad u novim uslovima izazvao mnogo manji propad napona i porast reaktivne proizvodnje.

Tabela 2.

Poređenje ispada dalekovoda Drmno-Beograd 8, situacija pre i posle rekonekcije

		14. 05. 2004. (realni ispad)			16. 04. 2005. (simulirani ispad)		
		Pre	Posle	ΔU	Pre	Posle	ΔU
TS Beograd 8 (400 kV)	kV	394	352	42	396	388	8
TS Obrenovac (220 kV)	kV	225	205	20	228	227	1
G2 u TENT-u B	Mvar	300	470	170	155	278	123

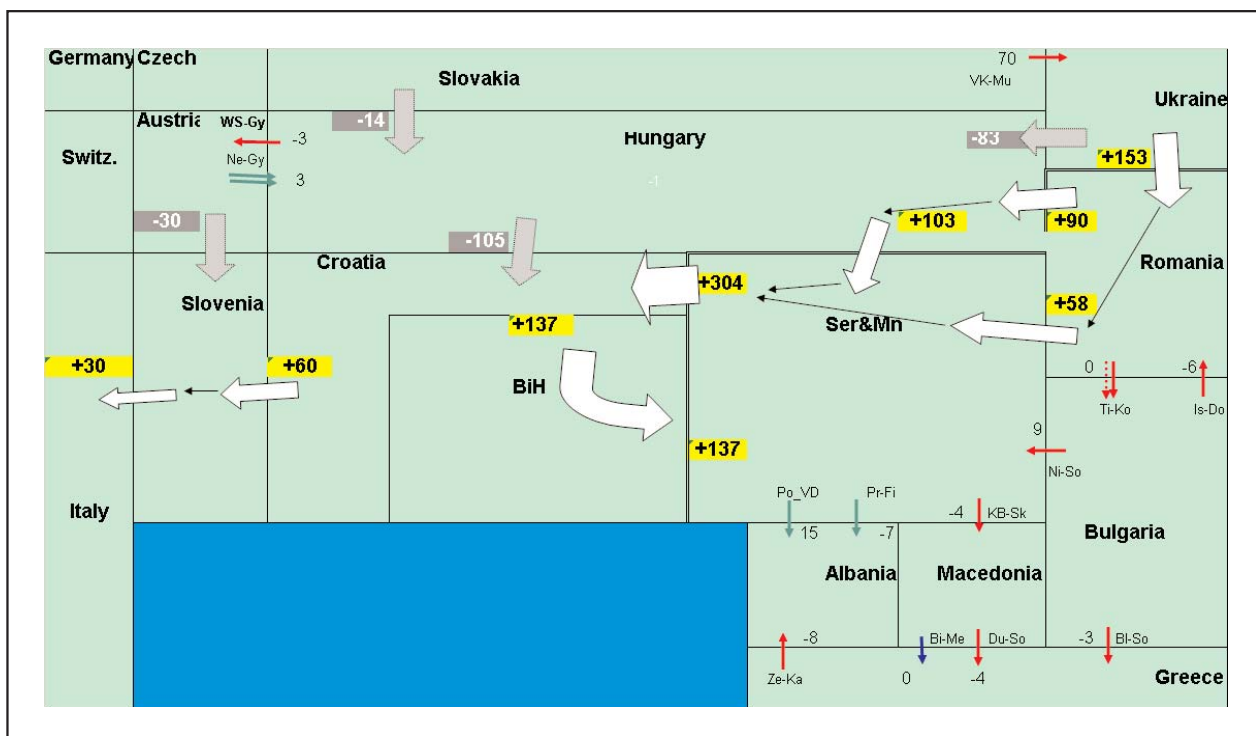
Pozitivan uticaj rekonekcije na održanje kriterijuma sigurnosti *n-1* možda je najočigledniji sa pozicije EES Crne Gore, koji je ovom prilikom dobio značajne zatvorene prenosne petlje preko sistema BiH sa zapadne strane. Tako je npr. ispad dalekovoda 400 kV Podgorica-Ribarevine, koji je do rekonekcije bio najznačajnija veza juga Crne Gore sa ostatkom sistema, pre rekonekcije redovno izazivao raspad južnog dela EES Crne Gore. Stoga je praktično veoma teško bilo i isključivati ovaj dalekovod radi planskih remonata.

Nakon rekonekcije, u nekoliko slučajeva se pokazalo da ovaj ispad ne izaziva značajnije poremećaje u EES Crne Gore, pošto je sada jug Crne Gore povezan i preko 400 kV veza EES BiH. Čak, pokazuje se da i pri planskom remontu ovog dalekovoda nema ozbiljnijih problema da se održi *n-1* kriterijum sigurnosti za EES Crne Gore.

Neposredno nakon rekonekcije, u periodu od 20. do 30. oktobra 2004. godine, dalekovod Podgorica-Ribarevine je svakodnevno isključivan od jutra do večeri, radi remonta. Analize tokova snaga (Day Ahead Congestion Forecast - DACF) za 10:30 rađene u EKC-u [9], pokazuju da pri proveru kriterijuma sigurnosti *n-1* za bilo koji od dana u navedenom periodu, nema kritičnih ispada u pomenutom delu sistema.

Možemo navesti i još neke pozitivne operativne uticaje rekonekcije:

– Ispadi generatora sada izazivaju manje propade napona;



Slika 4. Razlike u kružnim tokovima snaga pre i posle rekonekcije (MW)

- Lakše se postižu uslovi za uključenje/sinhronizaciju dalekovoda i elektrana;
- Smanjeni su gubici aktivne snage u prenosu i
- Povećane mogućnosti za razmene, npr. za havarijsku pomoć.

Od, uslovno rečeno, negativnih uticaja rekonekcije na sisteme bivše druge UCTE sinhronne zone, možemo navesti i preraspodelu kružnih tokova snaga prema istoku. Ovaj uticaj je prepoznat i u analizama tokova snaga koje su prethodile rekonekciji [5], a posle rekonekcije se to stvarno i desilo.

Na slici 4. je dato poređenje tokova snaga na osnovu modela mreže korištenog za analize koje su prethodile rekonekciji, odnosno nove petlje kružnih tokova snaga. Prikazane su razlike u tokovima aktivnih snaga na granicama između pojedinih sistema, pre i posle rekonekcije.

Primetna je preraspodela dela toka snage koji je postojao od severoistoka Evrope, preko Mađarske i Hrvatske. Nakon rekonekcije, deo ovog toka snage se zatvara preko EES Ukrajine i Rumunije, gde se u Rumuniji račva jednim delom ka Mađarskoj, a drugim ka Srbiji. U Srbiji se superponiraju tokovi snaga iz Mađarske i Rumunije, sa lokalnom petljom Srbija i Crna Gora-Hrvatska-BiH. Superponirani tokovi snaga teku ka Hrvatskoj.

Osim Srbije i Crne Gore, Rumunije i BiH, drugi EES bivše druge UCTE zone nisu značajnije pogođeni novonastalim kružnim tokovima snaga.

3.2. Uticaj rekonekcije na povećanje prekogranične trgovine električnom energijom

Po rekonekciji su se logično povećale i mogućnosti za prekograničnu trgovinu električnom energijom, u prvom redu zbog povećanog elektroenergetskog „prostora” na kome se može razmenjivati električna energija u paralelnom radu, a shodno tome i povećane konkurencije.

Takođe, u skladu sa brojnim pozitivnim uticajima koje je rekonekcija imala na operativno upravljanje, to se odrazilo i na smanjenje ograničenja u prekograničnoj razmeni, odnosno analitički dobijene prenosne kapacitete.

Tokom nekoliko meseci posle rekonekcije postepeno su povećavane prekogranične razmene električne energije preko bivše linije razdvajanja, pa je kao preporuka UCTE-a važno da se:

- u toku oktobra 2004. godine ne ugovaraju razmene preko linije razgraničenja;
- u toku novembra 2004. godine mogu ugovarati razmene do visine 30 % od vrednosti NTC-ova¹⁾ objavljenih na ETSO-ovom internet sajtu;
- u toku decembra 2004. godine mogu ugovarati razmene do visine 60 % od vrednosti NTC-ova objavljenih na ETSO-ovom internet sajtu i
- od januara 2005. godine mogu ugovarati razmene do punog prenosnog kapaciteta na granici.

Tabela 3.

Poređenje neobavezujućih vrednosti NTC-a pre i posle rekonekcije

Od	Prema	NTC (indikativne vrednosti)		
		Zima 2003/2004.	Zima 2004/2005.	Porast
BiH	Hrvatska	350	350	0
Hrvatska	BiH	400	500	100
Bugarska	JIEL (SR+CG+MK)	1 050	1 100	50
JIEL (SR+CG+MK)	Bugarska	500	950	450
Bugarska	Rumunija	700	1 135	435
Rumunija	Bugarska	750	765	15
Hrvatska	Mađarska	300	100	-200
Mađarska	Hrvatska	600	1 000	400
JIEL (SR+CG+MK)	Rumunija	1 000	1 050	50
Rumunija	JIEL (SR+CG+MK)	700	1 700	1 000
Albanija	JIEL (SR+CG+MK)	370	300	-70
JIEL (SR+CG+MK)	Albanija	300	350	50
Hrvatska	JIEL (SR+CG+MK)	*	300	*
JIEL (SR+CG+MK)	Hrvatska	*	300	*
Mađarska	JIEL (SR+CG+MK)	*	800	*
JIEL (SR+CG+MK)	Mađarska	*	650	*
Mađarska	Rumunija	*	1 100	*
Rumunija	Mađarska	*	800	*

¹⁾ NTC – Neto prenosni kapacitet

Ako uporedimo tabele neobavezujućih i indikativnih vrednosti NTC-a objavljene na ETSO-ovom internet sajtu, primetno je značajno povećanje vrednosti prenosnog kapaciteta pre i posle rekonekcije. U tabeli 3. poredene su vrednosti NTC-a za sezonu zima 2003/04. godine [11], računane od strane SETSO-a (modelovan sistem bez rekonekcije), sa vrednostima NTC-a za sezonu zima 2004/2005. godine [12], računane od strane UCTE SG „Network models and Forecast Tools” (modelovan sistem posle rekonekcije).

Primetno je povećanje prenosnog kapaciteta na gotovo svim pravcima, a od komercijalno atraktivnih pravaca može se izdvojiti Mađarska-Hrvatska (porast 400 MW) i Rumunija-JIEL (1 000 MW). Vrednosti NTC-a koje se objavljuju na ETSO-ovom internet sajtu nisu komercijalne niti simultano izvodljive, ali se u svakom slučaju iz njih može proceniti koliki značajan uticaj ima rekonekcija na povećanje mogućnosti prekogranične trgovine električnom energijom u regionu.

3.3. Uticaj rekonekcije na tranzite električne energije

Različite topologije mreža, pre i posle rekonekcije, uzrokovale su i različite tokove električne energije i kao takve uzrokovale povećanje tranzita kroz pojedine elektroenergetske sisteme. To objašnjava dodatne kružne tokove snaga na severu rekonektovane zone (bivše II UCTE sinhronne zone).

Samom povećanju tranzita kroz zemlje koje su rekonektovane, doprinela su i povećanja komercijalne transakcije, kako između samih zemalja jugoistočne Evrope (koje su radile u sinhronom radu), tako i između bivših UCTE sinhronih zona. Tabela 4. sadrži poredenje tranzita ostvarenih kroz zemlje bivše II UCTE sinhronne zone, a koji su u istom obračunskom procesu tranzita u okviru SETSO CBT²⁾ procesa (u %):

Tabela 4.

Poredenje tranzita pre i posle rekonekcije (%)

Zemlja / Mesec	Januar 2005/2004. (%)	Februar 2005/2004. (%)	Mart 2005/2004. (%)
Albanija	1 378,75	6 169,13	344,48
Bosna i Hercegovina	36,11	72,01	11,95
Bugarska	57,92	-3,14	-35,36
Makedonija	332,72	-26,83	-16,62
Crna Gora	-30,75	-54,02	28,38
Rumunija	119,83	198,86	143,28
Srbija	151,11	148,15	101,81
Total	100,33	87,51	71,38

²⁾ CBT – Cross Border Trade, ovde u smislu mehanizma naknade tranzitnih troškova

S obzirom na relativno male ostvarene tranzite u toku meseca, kao i velike promene u tokovima snaga pri promeni topologije mreže, Albanija, Crna Gora i Makedonija nisu reprezentivi za poredenje, ali se na primeru Srbije i Rumunije može uočiti velika promena ostvarenih tranzita u poredenim mesecima 2005. i 2004. godine.

Naime, ove dve zemlje se nalaze na severu „interfejsa” na kome je upravo i došlo do glavnog uticaja rekonekcije, i upravo je kroz te zemlje došlo do povećanog protoka električne energije iz Ukrajine i Mađarske. Povećan protok je direktna posledica, kako povećanja komercijalnih transakcija između Mađarske-Srbije, Srbije-Hrvatske, Rumunije-Ukrajine i Rumunije-Mađarske, tako i povećanja neželjenih, kružnih tokova iz navedenih zemalja (Hrvatske, Mađarske i Ukrajine).

Ipak, kao ključni razlog za povećanje tranzita se može izdvojiti sama promena topologije susednih zemalja bivše prve i druge UCTE sinhronne zone, do koje je došlo usled rekonekcije, što je, dalje, dovelo do povećanja već pomenutih kružnih tokova. Kao primer se može navesti odnos komercijalnih transakcija između pojedinih zemljama i fizički ostvarenih razmena električne energije između istih zemalja, za period pre i posle rekonekcije. Prikaz je dat u tabeli 5.

Tabela 5.

Poredenje razmena električne energije

Fizički uvoz/uvoz program	Januar 2005. (%)	Februar 2005. (%)	Mart 2005. (%)
Rumunija iz Ukrajine i Mađarske	126,814	107,82	48,95
Srbija iz Mađarske i Hrvatske	252,360	458,49	272,86
Total	203,670	264,51	126,63

Ta energija je većim delom otišla za Hrvatsku, kada je u pitanju Srbija, odnosno za Mađarsku i Ukrajinu, kada je u pitanju Rumunija. To se može videti iz odnosa fizičkih tokova električne energije i ugovorene razmene (tabela 3):

Tabela 6.

Poredenje razmena električne energije

Fizički izvoz/uvoz program	Januar 2005. (%)	Februar 2005. (%)	Mart 2005. (%)
Rumunija – Mađarska (+Ukrajina)	**	56,9*	22,27*
Srbija – Hrvatska	140,99	120,52	46,78

* – Rumunija je sa Ukrajinom imala fizičke razmene električne energije, ali ne i komercijalne razmene
 ** – Nedostupan podatak

Bosna i Hercegovina je zbog svoje specifične topologije, pre i posle rekonekcije, sa stanovišta proračuna tranzita praktično radila u obe rekonekcije (jedan deo je bio u II UCTE sinhronoj zoni, a drugi deo u I UCTE zoni). To je razlog zašto su promene nešto manje nego kada su u pitanju Srbija i Rumunija.

4. ZAKLJUČAK

U radu su prikazani efekti povezivanja takozvane prve i druge UCTE sinhrono zone u periodu od 2004. do 2006. godine. Ovi efekti su demonstrirani i kroz primere objašnjeni, a odnose se na povećanje sigurnosti i operativnih i eksploatacionih uslova rada elektroenergetske interkonekcije, kao i na povećanje mogućnosti razmene električne energije i nplate odgovarajućeg tranzita.

Rekonekcija druge UCTE sinhrono zone je bila jedan od glavnih preduslova za dalji razvoj regionalnog tržišta električne energije jugoistočne Evrope i početak pripreme za njegovo uključivanje u interno tržište Evropske Unije. Rekonekcija je omogućila započinjanje procesa primene mnogobrojnih tržišnih pravila i procedura u proizvodnji, prenosu i distribuciji električne energije koji su u skladu sa Direktivom Evropske Unije, kao i obezbeđenje funkcionisanja elektroenergetskih sistema u skladu sa pravilima i preporukama UCTE i ETSO organizacija. Takođe, ona je omogućila veće mogućnosti i bolji uvid u regionalno planiranje elektroenergetskih objekata, tako da je u poslednjih godinu dana urađen niz studija i projekata vezanih za izgradnju proizvodnih i prenosnih kapaciteta važnih kako sa nacionalnih, tako i sa regionalnog aspekta.

5. LITERATURA

[1] UCTE Annual Report, RECONNECTION OF TWO UCTE ZONES, AS A HISTORIC MILE-

STONE IN THE EUROPEAN „ELECTRICAL” HISTORY, 2004

- [2] Duško Tubić, ZNAČAJNA TEHNIČKO-ORGANIZACIONA PITANJA TOKOM REALIZACIJE PONOVOG POVEZIVANJA SA GLAVNIM DELOM UCTE MREŽE, 27. savetovanje JUKO CIGRE, Zlatibor 2005
- [3] SUDEL Ad hoc group, RECONNECTION OF THE UCPTTE NETWORK AND PARALLEL OPERATION OF THE BULGARIAN AND ROMANIAN NETWORKS WITH UCPTTE; PPC, EKC, ENEL, 1996
- [4] DVG, STABILITY OF THE SYNCHRONOUS INTERCONNECTED OPERATION OF THE ELECTRICITY NETWORKS OF UCTE/CENTREL, Bulgaria and Romania, Heidelberg, 2001
- [5] EKC, MVM, RECONNECTION OF THE TWO UCTE SYNCHRONOUS ZONES - AUTUMN 2004 - LOAD FLOW ANALYSIS, June 2004
- [6] UCTE EXECUTIVE TEAM FOR NORTH-SOUTH RE-SYNCHRONIZATION, MULTILATERAL RE-SYNCHRONIZATION PROGRAM, September 2004
- [7] EKC, ANNUAL REPORT 2004, FOR SOUTHEASTERN EUROPEAN POWER UTILITIES, 2005
- [8] Ilija Cvijetić, EXPERIENCES AND OUTCOMES AFTER RE-SYNCHRONIZATION OF THE UCTE 2, EPS, Power System Control Department, 2005
- [9] EKC, IZVEŠTAJI DACF ANALIZA ZA PERIOD 20-30 OKTOBAR 2004.
- [10] Presentation: LOAD FLOW AND OPERATIONAL SITUATION AFTER UCTE RECONNECTION, Davorin Kučić, HEP-TSO, 7th Athens Forum Belgrade, November 2005
- [11] (www.etsa-net.org), NTC WINTER 2004 - SEE REGION (zima 2003/04)
- [12] (www.etsa-net.org), NTC WINTER 2004-2005 (zima 2004/05)

Rad je primljen u uredništvo 09. 08. 2006. godine



Snežana Mijailović je rođena 1965. godine u Pančevu. Diplomirala je 1990. godine na Energetskom odseku Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu na smeru za Elektroenergetske sisteme. Pri završetku studija, započela je rad u Institutu Nikola Tesla, u Centru za elektroenergetske sisteme, gde je radila do sredine 1997. godine. Od sredine 1997. godine radi u Elektroenergetskom koordinacionom centru, kao rukovodilac Službe za studije i konsalting. Od februara 2002. godine radi na radnom mestu zamenika direktora EKC-a. Aktivno je radila na studijskim aktivnostima vezanim za planiranje i poboljšanje operativnog rada elektroenergetskog sektora zemalja jugoistočne Evrope, odnosno na problemima interkonektivnog rada, elektroenergetskog bilansa, sigurnosti i stabilnosti sistema, primarnoj i sekundarnoj regulaciji, proširenju UCTE interkonekcije, SUDEL izvršnog komiteta i SETSO radne grupe. Koprisednik je SETSO podgrupe Pristup mreži, upravljanje zagušenjima i tokovi snaga (SETSO SG NACMPF), kao i ETSO podgrupe Pristup mreži i upravljanje zagušenjima (ETSO SG NACM) koje su osnovane sa ciljem da definišu i primene procedure za procenu prenosnih kapaciteta, procedure za upravljanje zagušenjima,

kao i da poboljšaju razmenu podataka između operatera prenosnih sistema zemalja jugoistočne Evrope. Autor je ili koautor pedesetak stručnih radova objavljenih za potrebe domaće i strane stručne javnosti.



Zoran Vujasinović je rođen 1974. godine u Kninu. Diplomirao je 1999. godine na Energetskom odseku Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu na smeru za Elektroenergetske sisteme. Od juna 2000. godine je zaposlen u Elektroenergetskom koordinacionom centru u Beogradu, gde sada radi kao inženjer za analizu.

Osnovne oblasti kako stručnog interesovanja, tako i angažovanja u okviru EKC-a su mu razvoj i primena proračuna NTC, prognoze zagušenja (DACF) i metodologija za upravljanje zagušenjima, balansno tržište električne energije, kao i svi aspekti razvoja regionalnog tržišta električne energije. Član je SETSO/SUDEL radne grupe „Pristup mreži, upravljanje zagušenjima i tokovi snaga”, čiji prvenstveni zadatak je primena pomenutih aktivnosti u regionu jugoistočne Evrope. Takođe, član je i SETSO podgrupe „Balansno tržište” koja ima za cilj da uspostavi regionalno tržište za razmenu balansne energije.

- Radio je na pripremnim analizama za povezivanje dveju UCTE sinhronnih zona.
- Koautor je studija o efektima izgradnje 400 kV dalekovoda Niš-Skoplje.
- TEN studije vezane za uticaj novih dalekovoda Niš-Skoplje i Podgorica-Elbasan.
- studije o reviziji podešenja prekostrujne zaštite na 400 kV koridoru sever-jug (Srbija-Makedonija-Bugarska-Grčka).
- Radio je analizama tokova snaga i naponskih prilika vezanih za utvrđivanje uslova rada EEC Albanije u okviru UCTE interkonekcije.
- Trenutno je angažovan na studijama povezivanja Turske sa UCTE-om i drugim projektima.

Kao autor ili koautor je objavio četiri rada na domaćim CIGRE savetovanjima, a autor je i po jednog rada na makedonskim i BiH CIGRE savetovanjima. Koautor je jednog rada na pariskoj CIGRE konferenciji, i dva rada u listu „Elektroprivreda”.



Ilija Cvijetić je rođen 1963. godine u Glamoču, Bosna i Hercegovina. Osnovnu i srednju školu kao i Elektrotehnički fakultet (energetski smer) je završio u Beogradu. Nepune dve godine (1989-1999) je radio u Elektrotehničkoj školi Nikola Tesla, a 10. 12. 1990. godine počinje da radi u EPS-u kao operativni dispečer. Od 1. 6. 1999. godine je šef smene operativnih dispečera, a od 1. 6. 2005. godine nalazi se na mestu direktora Sektora za operativno upravljanje sistemom. EMS-a.



Slobodan Marković je rođen 1967. godine u Doboju, Republika Srpska. Diplomirao je 1996. godine na Energetskom odseku Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu na smeru za Elektroenergetske sisteme. Od marta 1998. godine je zaposlen u Elektroenergetskom koordinacionom centru u Beogradu, gde sada radi kao inženjer za analizu.

Osnovne oblasti kako stručnog interesovanja tako i angažovanja u okviru EKC-a su mu razvoj i primena metodologije za obračune Prekograničnog prometa električne energije, kao i svi aspekti razvoja regionalnog tržišta električne energije. Bio je član SUDEL radne grupe „Upravljanje zagušenjima” od 2000-2002. godine. Član je SEKTO/SUDEL radne grupe „Prekogranični promet električne energije”, čiji prvenstveni zadatak je primena pomenutih aktivnosti u regionu jugoistočne Evrope. Takođe, član je i SETSO podgrupe „Balansno tržište” koja ima za cilj da uspostavi regionalno tržište za razmenu balansne energije.

- Koautor je studije o efektima izgradnje 400 kV dalekovoda Niš-Skoplje.
- Koautor je studije proračuna gubitaka u prenosnoj mreži Crne Gore.
- Koautor je studije o uticaju tranzita električne energije na elekenergetski sistem Srbije.
- Koautor je studije uklapanja hidroelektrane Bik Bijela u EES Bosne i Hercegovine.
- Radio je na analizama tokova snaga i naponskih prilika vezanih za utvrđivanje uslova rada EES-a u jugoistočnoj Evropi tzv. SECI projekat.
- Učestvovao je u razvoju i usvajanju metodologije za obračune prekograničnih tokova električne energije u JI Evropi za 2005. i 2006. godinu.
- Radio je na izveštaju pregleda snabdevanja i potreba za snabdevanje električnom energijom u JI Evropi (period 2002-2012. godina) podržanog od strane Svetske banke.

Kao autor ili koautor je objavio tri rada na domaćim CIGRE, a autor je jednog rada na makedonskim CIGRE.

Ninel Čukalevski

Sigurnost rada EES u tržišnim uslovima – aspekti operativnog personala i njegove obuke

Stručni rad
UDK: 621.3.011.79; 339.1; 005.963.1

Rezime:

U radu će se razmotriti problemi sigurnosti (operativne pouzdanosti) rada elektroenergetskog sistema (EES) u novim, liberalizovanim, tržišno orijentisanim uslovima a na primerima skorašnjih krupnih poremećaja u radu niza EES u svetu. Pri tome će se posebno uočiti i analizirati značajni aspekti ljudskog faktora. Daće se kratak pregled stanja razvoja i primene računarskih simulatora-trenažera za obuku i trening dispečera/operatora u svetu i kod nas. Identifikovaće se karakteristike novog okruženja koje zahteva inovativna rešenja i u oblasti obuke i treninga personala EES, po pravilu bazirana na intenzivnoj primeni savremenih informacionih tehnologija. Pri tome, posebna pažnja će se posvetiti celovitom pristupu koji treba da omogući prelazak iz postojećeg, u stanje bitno unapređene obuke i treninga operativnog personala. U sklopu navedenog posebno će se akcentirati aspekti projektovanja, razvoja i korišćenja odgovarajućeg programa obuke. Konačno, u radu će se postojeće stanje u svetu ilustrovati odgovarajućim kvantitativnim pokazateljima.

Ključne reči: *operativna pouzdanost EES, ljudski faktor, simulatori-trenažeri, primena IT, program obuke.*

Abstract:

**POWER SYSTEM SECURITY IN A MARKET ENVIRONMENT
– OPERATIVE PERSONNEL AND TRAINING ASPECTS**

In this paper problems related to power system security (operative reliability) in a new, liberalized, market oriented environment, based on the examples of recent large power system disturbances worldwide, are analyzed first. In this respect important human factors will be identified and analyzed. Then, a short review of the state of development and worldwide application of the computer based power-system operator dispatcher training simulator is presented.

The characteristics of new environment requiring innovative solutions in the field of EES personnel education and training, based on intensive use of modern information technologies, will be identified. Special attention is paid to the integral system approach to training, that should enable transition from the existing one to the substantially improved state of operator education and training.

Within the approach, issues of training program design, development and use are specially highlighted. Finally, existing situation in the electric utility industry round the world is illustrated in the paper with some relevant quantitative data, acquired through an international survey.

Key words: *power system security, human factors, training program design and development, operator training simulator, IT applications*

Dr Ninel Čukalevski, Institut „Mihajlo Pupin”, 11 000 Beograd, Volgina 15, Srbija, e-mail: ninel.cukalevski@automatika.imp.bg.ac.yu

1. UVOD

Tokom poslednjih 10-15 godina, kako u svetu, tako i kod nas, postupno je došlo do dubokih i značajnih promena u strukturi i položaju elektroenergetskog sektora. Navedeni proces se odvijao pod generičkim nazivom deregulacija, pri čemu su njegovi različiti aspekti (restrukturisanje, liberalizacija, privatizacija, tržišna orijentacija, itd.) povremeno dolazili u prvi plan.

Karakteristike ovoga procesa se uočavaju kroz: veća geografska područja uključena u poslovanje, integracije, veći broj aktera i učesnika na tržištu, više transakcija razmene (+400 %, SAD 1999-2002), nove funkcije za mnoge od aktera i značajno više podataka i informacija, kako tehničkih, tako i komercijalnih, koje treba obraditi i razmeniti.

Kao rezultat ovih promena, došlo je do značajnog porasta kompleksnosti i neodređenosti, kako u domenu pogona i upravljanja elektroenergetskog sistema (EES), te operativnog i dugoročnog planiranja rada, tako i planiranja razvoja i izgradnje EES.

U navedenim uslovima postalo je znatno teže donositi/preduzimati poslovne odluke/akcije, dok su konsekvence neadekvatnih, ili nepravovremenih, odluka značajno veće i skuplje nego pre, a kao posledica rasta zavisnosti društva/privrede od električne energije.

Rast primene sredstava informacionih tehnologija (IT) na tom planu, pre svega u obliku informacionih sistema, nudeći nova rešenja postavlja i nove izazove. U domenu pogona i upravljanja EES su identifikovana i analizirana tri, po proceni autora, veoma značajna i aktuelna, međusobno povezana problema/aspekta, i to: 1) sigurnost (operativna pouzdanost) rada EES, 2) performanse rada operatora (dispečera), 3) obuka i trening operatora korišćenjem simulatora za obuku (DTS), čije karakteristike i međusobni odnosi predstavljaju glavni predmet ovoga rada.

Mada je problematika sigurnosti rada EES (operativne pouzdanosti) do sada temeljno istražena i publikovana [1,2] njena veza sa performansama operatora i njihovom obukom je tek od skora došla u fokus stručne javnosti, što se moglo uočiti i tokom poslednjeg zasedanja Cigre u Parizu [3], i tek treba da bude predmet intenzivnog istraživanja. Ovaj rad je jedan od pokušaja u tom pravcu.

U radu su, posle uvoda kratko opisani uslovi rada EES u novom, tržišno orijentisanom ambijentu, u kome su detaljno opisani i skorašnji krupni poremećaji u radu brojnih EES u svetu i identifikovani ljudski aspekti pogonske pouzdanosti. U delu 3. je opisana obuka i trening operatora (dispečera) bazirana na primeni trening-simulatora (DTS). Primena je

ilustrovan praktičnim primerima i rezultatima iz skorašnje međunarodne ankete. Konačno, u delu 4. su elaborirani struktura i sadržaj savremenog programa obuke dispečera, oslonjena na računarski trening simulator.

2. SIGURNOST RADA EES U NOVIM USLOVIMA

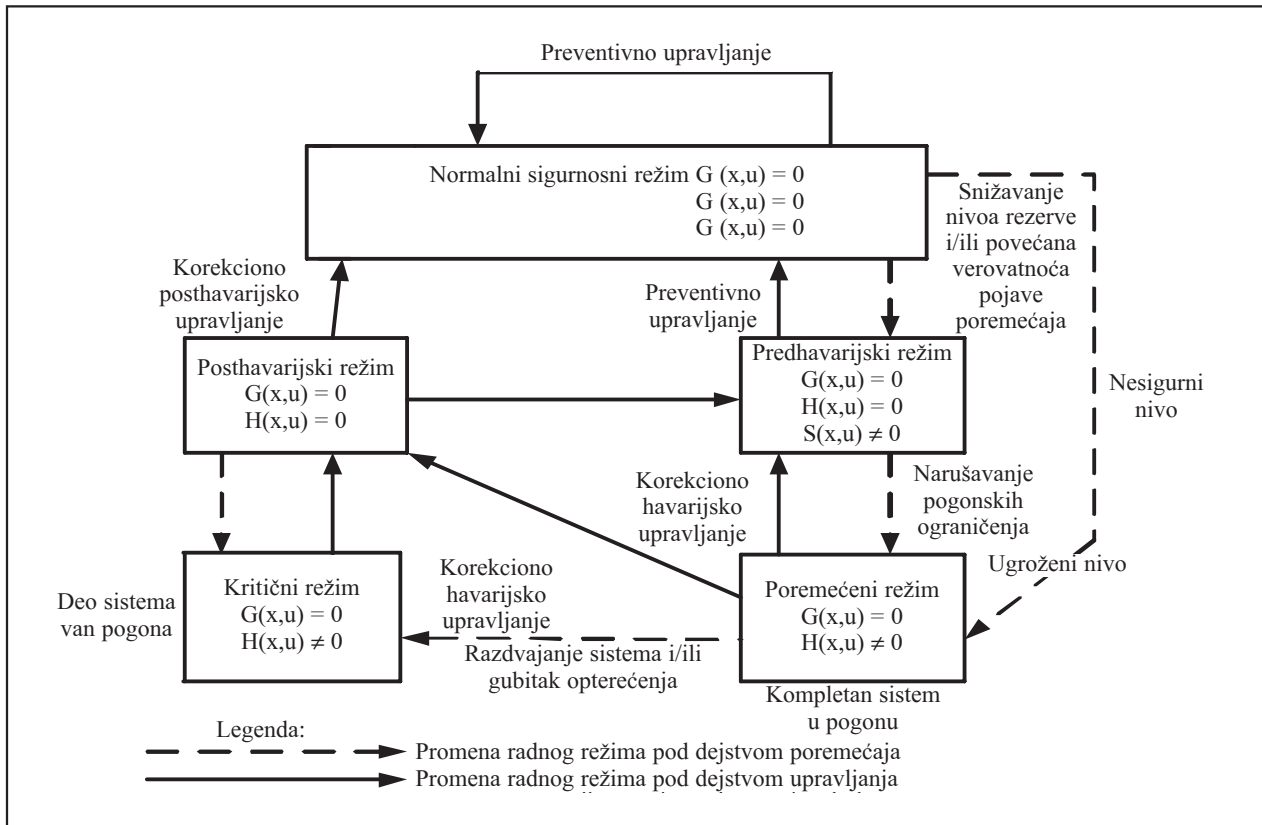
2.1. Radna stanja EES

Iako je koncept radnih stanja EES postavljen pre skoro 40 godina [4], a razrađen i dopunjen još početkom 80-ih [5] i vizualizovan na slici 1, utisak je da od mnogih praktičara, ne samo kod nas, navedeni koncept još nije precizno shvaćen i korišćen. U skladu sa ovim konceptom, koji je proširen u [6] eksplicitnim uvođenjem različitih kategorija upravljanja, sva moguća radna stanja EES su klasifikovana u pet stanja (normalno, predhavarijsko, havarijsko, ekstremalno i restorativno) koja su precizno matematički definisana kroz skupove ograničenja tipa jednakosti (balans) i nejednakosti (sigurnost, pogonska ograničenja). Šta više, koncept prikazuje efekte poremećaja na stanja i moguća upravljanja koja se primenjuju sa ciljem prevođenja sistema iz aktuelnog u željeno stanje (režim).

U normalnom, sigurnom stanju sve varijable sistema su u dopuštenim granicama (pogonska ograničenja) i postoji balans snaga u EES, sigurnosna ograničenja su zadovoljena, tj. postoje dovoljne rezerve potrebne za „izdržavanje” jednostrukih poremećaja. U predhavarijskom stanju, uslovi su isti kao u normalnom, osim što su narušena sigurnosna ograničenja, tj. sistem nema dovoljno rezerve da apsorbuje efekte jednostrukih poremećaja. Pojava aktuelnih poremećaja može prevesti sistem u poremećeno (havarijsko) stanje u kome su narušena pogonska ograničenja, što može pod dejstvom poremećaja voditi u dalje pogoršanje i prelazak u kritično (ekstremalno) stanje, u kome sistem više nije ceo, tj. narušena su balansna ograničenja. Iz navedenog stanja se dejstvom upravljanja sistem postupno prevodi u posthavarijsko (restorativno) stanje (u kome su pogonska ograničenja, barem po delovima sistema, opet zadovoljena) i nazad u normalno ili predhavarijsko stanje.

2.2. Sistemski poremećaji

Iskustvo je pokazalo da različiti inicijalni događaji praćeni dopunskim događajima, rezultiraju kaskadnim razvojem, koji u slučaju nedovoljnog/neadekvatnog upravljanja obično rezultiraju delimič-



Slika 1. Podela radnih režima (stanja)

nim ili potpunim „raspadom” sistema. Gledajući dugoročno, krupni poremećaji u radu EES su skoro neizbežna pojava, što dosadašnji primeri (tabela 1.) dobro ilustruju, kao i to da njihov obuhvat, veličina i asocirani troškovi rastu sa vremenom.

Nije jednostavno odgovoriti na pitanje da li su novi uslovi donoseći veće zarade kompanijama, doveli i do smanjenja nivoa sigurnosti rada. Stanje je u raznim zemljama različito, prate se razni pokazatelji, pa nije jednostavno komparirati. Ima indicija koje ukazuju da se pouzdanost napajanja, posebno na NN strani, kao posledica veće zainteresovanosti ED

preduzeća, i boljeg održavanja, dugoročno gledano popravlja. Ali ma kako tumačili, poslednje godine su donele i brojna neprijatna iznenađenja, prvo u SAD, pa onda i globalno, pri čemu je 2003. godina bila posebno indikativna, što se može zapaziti iz tabele 2.

Poseban motivator za sveukupno preispitivanje su rastuće posledice navedenih poremećaja, npr. broj pogođenih potrošača (7,5 miliona 1996 u SAD, i 50 miliona 2003 u SAD/Kanadi) i asocirani troškovi (350 MUSD u Njujorku 1977., oko 2 GUSD na NW SAD 1996. i 6-10 GUSD tokom SAD/Kanada poremećaja 2003).

Tabela 1.

Pregled dela ranijih raspada EES

Datum/Područje	Izgubljena snaga (MW) i trajanje (h)	Dominantni fenomen
Decembar 1978. Francuska	30 000 MW 7 h	-Naponski slom -Razdvajanje sistema
Decembar 1980. Jugoslavija	7 200 MW 8 h	-Preopterećenje u mreži -Oscilacije snage -Razdvajanje sistema
Jul/Avgust 1996. Zapadni deo SAD (WSCC)	11 850 MW/ n * min do n * h 28 000 MW/ n * min do 9 h	-Naponski slom -Oscilacije snage-Razdvajanje sistema

Tabela 2.

Pregled dela skorašnjih (2003.) raspada EES, na bazi [7]

Lokacija → Karakteristike ↓	SAD/Kanada	Helsinki	London	Sw/DK	CH/IT
Uključeni SO/TSO	Mnogi	1 SO	2 SO	2 TSO	2 TSO
Problem	Visoko opterećenje + ispadi	Ljudska greška	Buholc alarm	Retka koincidencija događaja	Visoko opterećenje + ispadi
Ispala snaga	61 GW	500 MW	724 MW	6,6 GW	28 GW
Vreme za operativni odziv	4 časa	→ 0	→ 0	→ 0	25 min.
Vreme obnavljanja	→ 48 h	15-71 min.	37 min.	1-6 ½ h	3-18 h

2.3. Ljudski aspekti pogonske pouzdanosti EES

U sklopu radne grupe Cigre, poremećaji iz 2003. godine su posebno analizirani sa dvojakim ciljem. Prvi cilj je bio da se identifikuje ponašanje centara upravljanja i operatora u situaciji poremećaja koji se razvija. U sklopu drugog, zadatak je bio da se utvrdi kako su centri upravljanja i operatori delovali u procesu obnavljanja pogona. Pri tome su posebno adresirana pitanja: raspoloživosti zahtevanih

informacija u dispečerskom centru/sali, kooperacije i komunikacije između subjekata (unutar centra upravljanja, sa drugim DC, ali i sa ostalim akterima, npr. proizvođači MO, SO itd.), adekvatnosti i dovoljnosti pravila i procedura, raspoloživosti i upotrebe tehničkih sredstava (IT) kao i pitanja pripravnosti dispečera. Dobijeni rezultati po navedenim pitanjima su, za slučaj poremećenih stanja, agregirano prikazani u tabeli 3.

Tabela 3.

Nedostaci tokom poremećenih (havarijskih) stanja iz 2003. godine

	SAD/Kanada	Helsinki	London	Sw/DK	CH/IT
Informacija	-Neadekvatna vidljivost celine EES -Otkaz razmene podataka između susednih DC				Vidljivost sistema prestaje na DV razmene
Saradnja/ Komunikacije	-Poplava dolaznih telefonskih poziva -Nejasno saopštenje statusa sistema susednim sistemima				-Optužbe za zakasnelu i nedovoljnu razmenu informacija između CH/IT TSO-ova. -Bez jezičkih problema
Pravila, Procedure	Nejasne uloge, odgovornosti i nadležnosti koordinatora pouzdanosti i regulacionih područja				Procedure nisu bile međusobno dovoljno podešene
Tehnička sredstva u DC	Zastareli sistemi upravljanja i alati	Ne postojanje sistema blokade		Teškoće u upotrebi liste alarma za detekciju uzroka	Prisustvo velikih uglova napona tokom havarijskog režima nije bilo poznato
Pripravnost dispečera	-Propust da se shvate neadekvatnosti sistema -Neadekvatna procena situacije	Otkaz uzrokovani ljudskom greškom	Ostaviti transformator u pogonu sa Buholc alarmom?	Dobar uvid u operativnu situaciju posle kolapsa	

Na bazi sprovedene analize moglo se zaključiti sledeće: da je potrebno imati bolju vidljivost stanja sistema, tj. raspolagati odgovarajućim informacijama, da moraju postojati jasni (nedvosmisleni) protokoli ljudske komunikacije, da je potrebno izvršiti prilagođenje i sertifikaciju procedura kod uključenih entiteta, da mora postojati odgovarajuća nadležnost, jer preventivne akcije mogu imati efekat na komercijalne transakcije, tehnička sredstva u centrima upravljanja treba modernizovati, uvesti šeme za automatsko rasterećenje potrošnje i obradu alarma, kao i da je potrebno obezbediti sistematičan i regularan trening dispečera u preduzimanju preventivnih akcija kao i u obnavljanju pogona, uz njihovu obaveznu sertifikaciju.

3. SIMULATORI-TRENAŽERI ZA OBUKU I TRENING DISPEČERA

3.1. Ljudski resursi i performanse dispečera

U savremenim uslovima, koje dopunski karakterišu brojne promene koje uključuju razdvajanja ali i spajanja kompanija, značaj znanja, veštine, sposobnosti i motivacije operativnog personala, nikada nije bio veći. Navedeno je uticalo da brojni Regulatori uvedu zahteve za sertifikacijom i akreditacijom. Paralelno sa tim, u uslovima rastuće konkurencije dolazi do smanjenja obima radne snage (npr. u periodu 1990-1998. godine u SAD je došlo do smanjenja broja zaposlenih u EP od oko 20-30 %). U skladu sa navedenim, proces obuke i treninga, ali i sred-

stva za njihovu realizaciju, a pre svega trening simulatori (DTS), moraju biti modifikovani kako bi se prilagodili novim potrebama koje operatori/dispečeri imaju danas. Naravno, navedeno se ne ograničava samo na operatore/dispečere, nego obuhvata i ostali operativni personal EES.

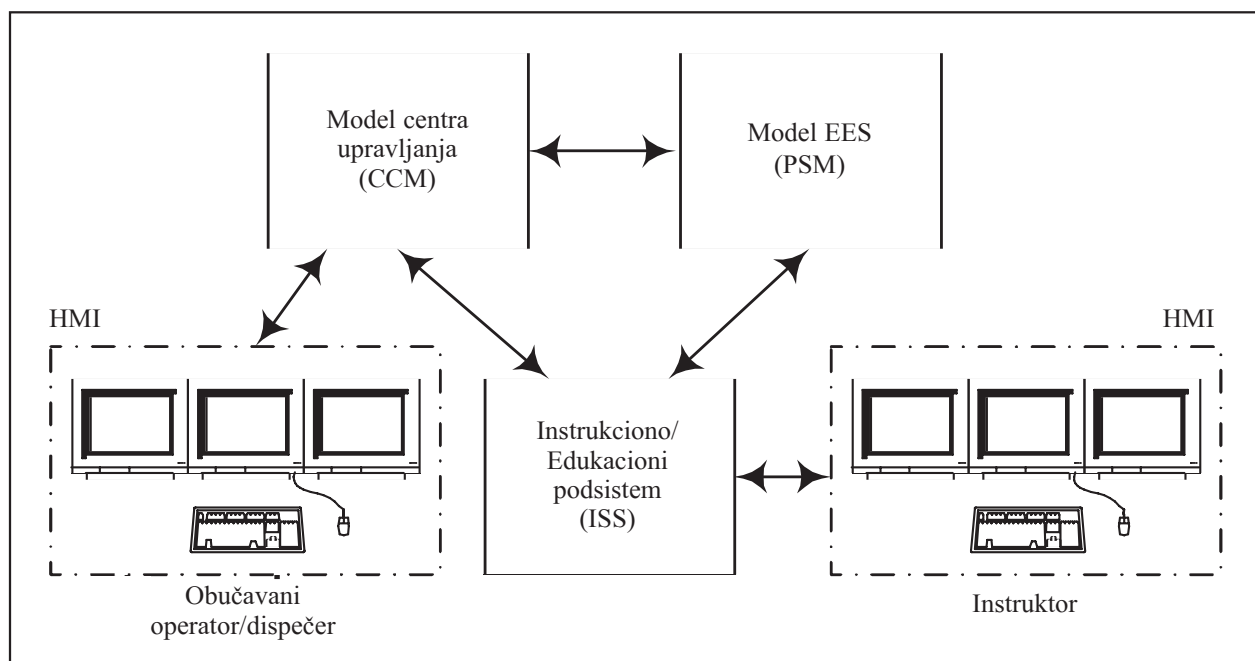
Pri tome permanentno treba imati u vidu faktore koji utiču na performanse posla koji obavljaju operatori, odnosno na: ciljeve performansi, motivaciju, znanje i veštine, raspoloživa operativna sredstva i, konačno, radno okruženje.

3.2. Obuka i trening bazirani na DTS

Postojeći standardni dispečerski trening simulator (DTS) se sastoji od tri glavna podsistema:

- Modela EES (PSM);
- Modela centra upravljanja (CCM) i
- Instrukciono/Edukacionog podsistema (ISS) čiji je međusobni odnos prikazan na slici 2.

U sklopu DTS-a, *podsystem modela EES (PSM)* se sastoji od pojedinačnih modela elemenata EES, koji uključuju: elektrane različitih tipova (fossilne, hidro, nuklearne,...), elemente mreže (AC, DC vodove, transformatore različitog tipa, SVC-ve i druge uređaje energetske elektronike), potrošače (različitih karakteristika), automatske, zaštitne i regulacione uređaje. Osim navedenih modela PS sadrži algoritme koji simuliraju statičko i sporo dinamičko ponašanje EES.

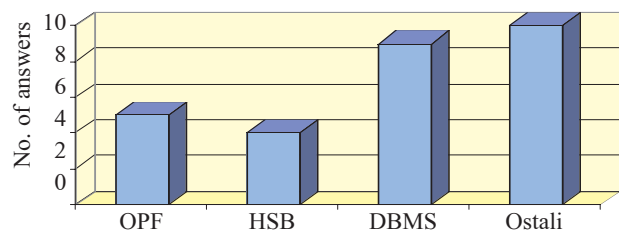


Slika 2. Osnovna arhitektura DTS

U sklopu DTS-a, *podsystem modela centra upravljanja (CCM)* se sastoji od modela sistema upravljanja, obično replike SCADA/EMS sistema koji se normalno koristi od strane obučanih dispečera, kao i od korisničkog interfejsa operatora, koji predstavlja radnu poziciju obučavanog. Konačno, u novim uslovima, sistem mora raspolagati mehanizmom koji simulira i funkcije tržišta, ili koji barem poseduje interfejs prema njima.

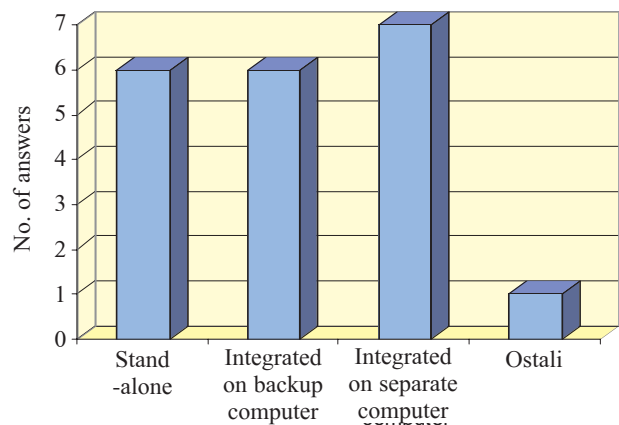
U sklopu DTS-a, *Instrukciono/Edukacioni podsystem (ISS)* se sastoji od korisničkog interfejsa koji je na raspolaganju instruktoru, kao i od skupa softverskih alata koji administratorima/instruktorima omogućavaju: Kreiranje scenarija obuke, Nadzor, upravljanje i pregled sesije obuke, Evaluaciju sesije obuke i (eventualno) obučavanog.

Sa svoje strane s/w alati za kreiranje scenarija obuke moraju omogućiti: definisanje baznog stanja, profila opterećenja, skupa događaja, ali i validaciju i dokumentovanje scenarija. Koji su alati za tu namenu danas stvarno u upotrebi prikazuju rezultati skorašnje međunarodne ankete, koju je sproveo autor rada u sklopu WG C2.03, prikazani na slici 3., sa koje se vidi da dominira upotreba jednostavnih, ne generičkih alata (DBMS).



Slika 3. Alati korišćeni za pripremu scenarija obuke u sklopu DTS, na bazi [8]

U pogledu odnosa simulatora prema on-line sistemu upravljanja u DC, DTS može biti implementiran u dve osnovne varijante:



Slika 4. Osnovne DTS konfiguracije, na bazi [8]

– Kao *samostalan* (stand alone), gde su PSM, CCM i ISS na istoj računarskoj platformi i obično bez on-line veze sa SCADA/EMS sistemom i

– Kao *integrisan*, gde je DTS u on-line vezi sa SCADA/EMS, raspoloživ u raznim konfiguracijama.

Današnja situacija u tom pogledu je ilustrovana slikom 4. sa rezultatima pomenute ankete.

U pogledu *nivoa vernosti same simulacije* DTS-ove je moguće klasifikovati u sledeće četiri grupe:

– DTS sa generičkim PSM-om i bez CCM-a;

– DTS sa specifičnim PSM-om i bez CCM-a;

– DTS sa specifičnim PSM-om i replika CCM-om i

– Replika DTS sa interfejsom prema sistemu za podršku tržištu (MO), ili njegovom modelu (PXM).

Analizirajući ove različite mogućnosti jasno je da generički DTS predstavlja najjeftinije rešenje (npr. ono na nivou EPRI PC OTS) koje se može koristiti kao početno. Integrisani DTS nudi značajne prednosti kroz potpunu i realističnu predstavu okruženja dispečera u centru upravljanja, što je od posebnog značaja za ubrzanje procesa učenja.

3.3. Posledice restrukturisanja na DTS

Brojne promene koje prate deregulaciju i restrukturisanje nameću nove zahteve, kako samim simulatorima-trenažerima, tako i načinu njihove primene, u vezi čega su inicijalni zahtevi od strane autora formulisani još u [9]. U sklopu navedenog nužno je obezbediti timsku obuku ali i obuku za operatore iz svih DC koji redovno kooperiraju u radu. U ovu kategoriju spada i potreba da se u obuku uključe i sve one brojne nove funkcije koje su danas obaveza dispečera sistem operatora. Šta više, dispečeri moraju imati kako obuku tako i redovni trening koji uključuje sve relevantne elemente interakcije SO sa tržištem energije i drugih servisa. U tom kontekstu poseban značaj imaju simulatori tržišta (PXM) koji se mogu uključiti u DTS ili se na DTS dodaje samo odgovarajući interfejs. Konačno, deregulacija je na mnogim mestima (SAD, Argentina,...) rezultirala zahtevom za zvaničnu sertifikaciju (npr. od strane NERC-a u SAD) operatora/dispečera.

Ako se detaljnije pogleda **CCM deo** savremenog DTS-a, restrukturisanje sektora uslovljava da se navedeni podsystem opremi: alatima za upravljanje zagušenjima u mreži, upravljanje dopunskim servisima, sredstvima simulacije tržišta energije i dopunskih servisa, sredstvima obračuna (za energiju i AS), kao i novim sigurnosnim aplikacijama koji se koriste u sklopu SCADA/EMS u poslednje vreme, kakvi su DSA i VSA alati.

Ako se detaljnije razmotri **PSM deo** savremenog DTS-a, može se uočiti zahtev za podršku značajno većim dimenzijama EES, recimo do 10 000

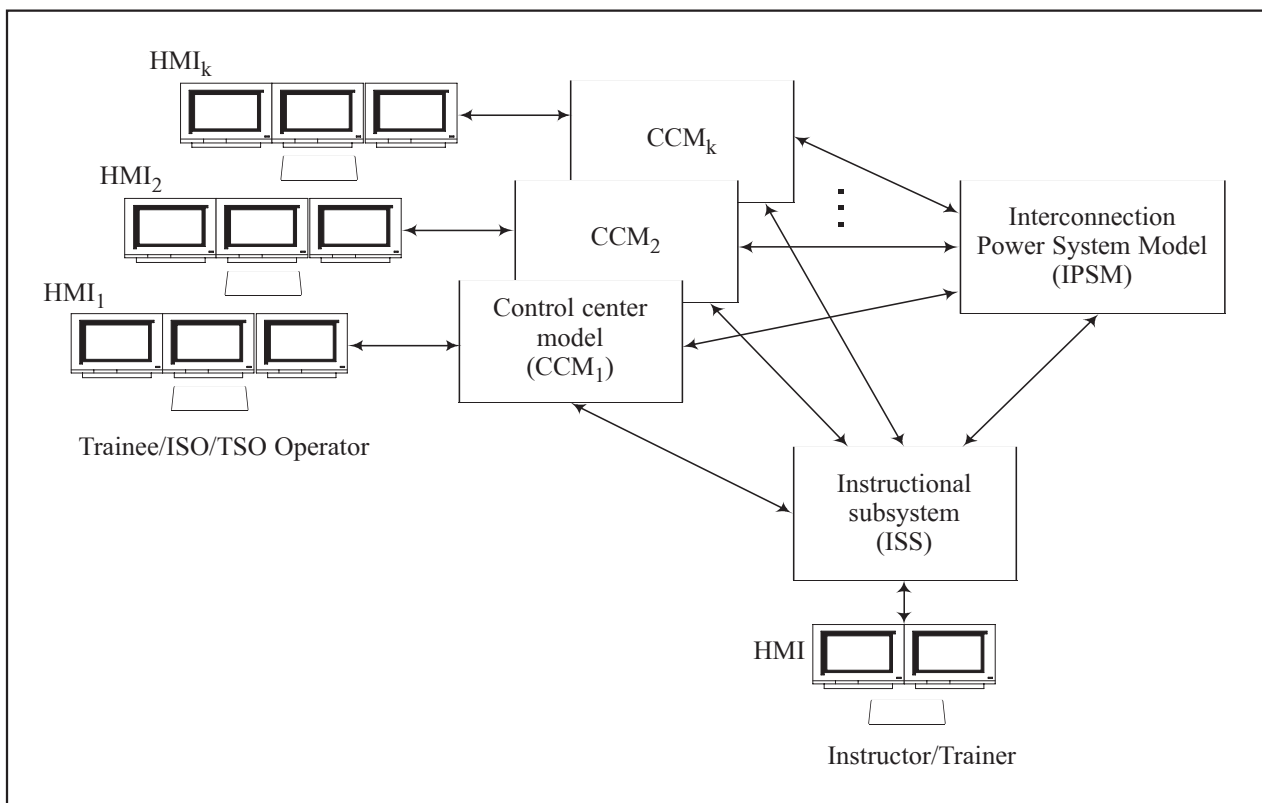
čvorova i 1 000 generatora, sa bitno većim brojem regulacionih područja/zona, modela spoljnih sistema, novom energetsom i upravljačkom opremom, uključujući FACTS uređaje i uređaje protivhavarijske automatike. Takođe, potrebno je u model EES uključiti i modele novih EE uređaja, kakvi su na primer TE sa kombinovanim ciklusom, ili SVC (shunt var control) uređaji. Predložena arhitektura DTS koja omogućava istovremenu obuku nekoliko dispečerskih timova iz više centara, bilo unutar kompanije, bilo onih iz okruženja, je prikazana na slici 5.

Treba navesti da novi uslovi u pojedinim situacijama i sistemima mogu zahtevati i uključanje u DTS simulaciju procesa sa brзом dinamikom (domen tranzijentne stabilnosti). Za sada realizovani DTS-ovi ovakvog tipa su izvedeni, kako u standalone konfiguraciji, tako i integrisanoj. Karakterističan je slučaj DTS tipa ARISTO, razvijen u Švedskoj, koji omogućava simulaciju fenomena, kako kratkotrajne dinamike (tranzijentna stabilnost) i naponske stabilnosti, tako i one dugotrajne. Konačno, u ovom kontekstu treba spomenuti i simulator tržišta tipa STEMS koji je razvijen po zahtevu EPRI-a, a prema FERC standardnom dizajnu tržišta (SMD), koji obuhvata tržište za jedan dan unapred i real-time tržište, kao i druga svojstva, koja se pokušavaju standardizovati u SAD.

4. RAZVOJ PROGRAMA OBUKE

Može se slobodno konstatovati da u mnogim elektroprivredama, do skora, dizajn i razvoj programa obuke nisu bili tretirani kao posebna i značajna aktivnost, koja treba da bude podržana odgovarajućim resursima i organizacijom, nego su pre imali ad-hoc karakter. Pristup je često bio neformalizovan i ograničen samo na dizajn „curriculum“ obuke, a implementiran uglavnom kroz obuku kroz rad (on-the-job-training), koja je ograničenog obuhvata i pedagoške efikasnosti. Međutim, danas je formalizacija programa obuke postala imperativ i to, ne toliko zbog zahteva Regulatora, koliko zbog svoje korisnosti.

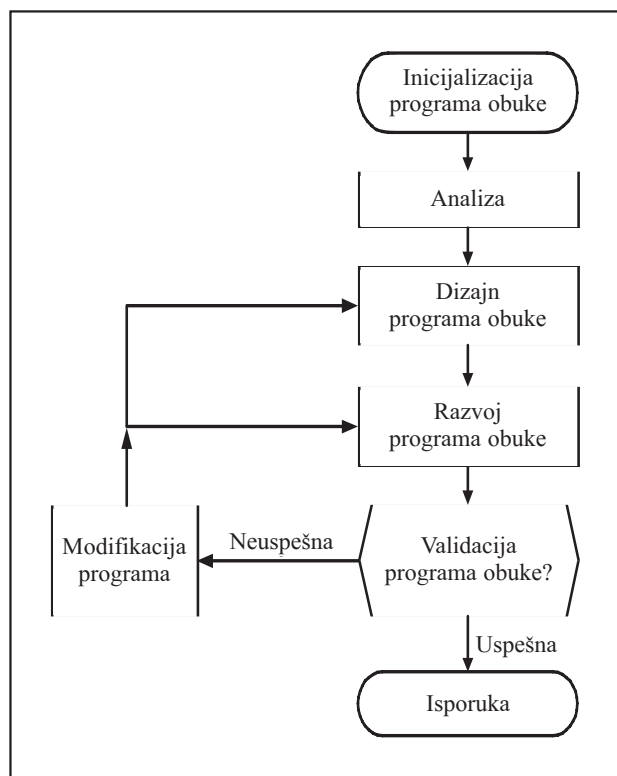
Tipična greška koja se pravi u mnogim EP kompanijama širom sveta posle kupovine DTS-a, obično u sklopu nabavke savremenog SCADA/EMS sistema, je da se potcenjuju, kako značaj tako i resursi potrebni za edukaciono efektivnu upotrebu trening simulatora. Poslednje se najsigurnije može postići, prvo, dizajnom i razvojem programa obuke koji je baziran na savremenim metodologijama kakve su SAT (Systems Approach to Training) ili ISD (Instructional System Development), koje svoje korene vuku iz oblasti industrijske psihologije i razvoja programa obuke, uz korišćenje trening simulatora, pilo-



Slika 5. Arhitektura DTS za obuku dispečera iz više DC-a

ta, operatora u nuklearnim elektranama, brojnih vojnih namena i dr. I drugo, nezaobilazan preduslov je alokacija dovoljnih resursa (pre svega ljudskih, sa odgovarajućim znanjem i iskustvom, uključujući bivše dispečere, ali i neophodne informatičare).

Predloženi sistemski pristup dizajnu i razvoju programa obuke dispečera (SAT) je fokusiran, prvo na identifikaciju funkcija i aktivnosti koje obavljaju operatori/dispečeri, i drugo, na formiranje i razvoj operativnih znanja, motoričkih veština i donošenja odluka od strane operatora EES. Struktura predloženeog procesa dizajna i razvoja programa obuke i treninga dispečera je prikazana na slici 6.



Slika 6. Struktura procesa dizajna i razvoja programa obuke dispečera EES

Što se tiče obuhvata obuke i treninga operatora u današnjem, liberalizovanom okruženju, ono mora biti znatno interdisciplinarnije nego ranije, u vreme dominacije vertikalno organizovanih elektroprivreda, odnosno ono mora uključiti:

- Tehničke aspekte;
- Ekonomske aspekte;
- Pravne aspekte;
- Aspekte upravljanja odnosa sa klijentima;
- Aspekte informacionih tehnologija (IT) i
- Etičke aspekte

čiju strukturu i sadržaj treba razraditi prema konkretnim uslovima određene elektroprivrede.

5. ZAKLJUČAK

U radu su razmotreni problemi sigurnosti (operativne pouzdanosti) rada EES u novim, liberalizovanim, tržišno orijentisanim uslovima a na primerima skorašnjih (2003. godine) krupnih poremećaja u radu niza EES u svetu. Pri tome su uočeni i analizirani značajni aspekti uticaja ljudskog faktora u havarijskim i restorativnim stanjima rada. Dat je kratak pregled stanja razvoja i primene računarskih simulatora-trenažera za obuku i trening dispečera/operatora u svetu. Iz analize je zaključeno da je, globalno gledano, EE sektor spreman da ponovo razmotri postojeći pristup obuci i treningu operatora EES, zajedno sa asociranim unapređenim tehnološkim (nova generacija DTS) i metodološkim (SAT, ISD) opcijama. U brojnim naprednim elektroprivrednim subjektima ovaj proces je već daleko odmakao. Konačno, od neprocenjivog je značaja da se obuka i trening dispečera tretiraju kao integralni deo pogona sistema a ne samo kao izvor dopunskih troškova. Navedeno je naravno direktna posledica neposrednog uticaja koje dispečeri imaju na operativnu pouzdanost rada EES i enormne troškove povezane sa sistemskim poremećajima i raspadima. Stoga je ulaganje u sredstva i metode kojima se obezbeđuje sistematična, redovna i naučno fundirana obuka operatora EES, ekonomski gledano veoma isplativo. Smatramo da o navedenom treba voditi računa i u našim uslovima, posebno u procesu modernizacije NDC.

6. LITERATURA

- [1] F. F. Wu, R. D. Masiello, Eds., COMPUTERS IN POWER SYSTEM OPERATION, Proc. IEEE, vol.75, no. 12, Dec. 1987.
- [2] F. F. Wu, REAL-TIME NETWORK SECURITY MONITORING, ASSESSMENT, AND OPTIMIZATION, Electric Power Energy Systems, vol. 10, pp. 83-100, April 1988.
- [3] Cigre Session 2004, SC C2 Workshop on Large Disturbances, 30. August 2004.
- [4] T. E. Dy Liacco, THE ADAPTIVE RELIABILITY CONTROL SYSTEM, IEEE Trans. Power App. Syst., vol. PAS-86, no.5, pp.517-531, May 1967.
- [5] L. Fink, K. Carlsen, OPERATING UNDER STRESS AND STRAIN, IEEE Spectrum, vol.15, no. 3, pp.48-53, March 1978.
- [6] N. Čukalevski, M.Čalović, J. Medanić: KLASIFIKACIJA POJAVA I UPRAVLJAČKIH AKCIJA U ABNORMALNIM RADNIM REŽIMIMA ELEKTROENERGETSKIH SISTEMA, IV Stručno savetovanje o upravljanju i informatici u elektroprivredi Jugoslavije, Cavtat, 1982,

- [7] Cigre WG C2.03 (G. Krost at all.), LESSONS LEARNED AND TO BE LEARNED FROM THE 2003 BLACKOUTS, SC C2 Workshop on Large Disturbances, Paris 2004.
- [8] N. Čukalevski, S. Allamby, H. Jones, G. Flores, THE IMPACT OF DEREGULATION AND MARKET TRADING ON THE REQUIREMENTS FOR AND FUTURE DEVELOPMENT OF OPERATOR TRAINING SIMULATORS, CIGRE Conference, SC39 Session, paper 39-104, Paris, France, August 2002.
- [9] Y. Logeay, A. Bose, N. Čukalevski, E. Handschin, REQUIREMENTS FOR A NEW GENERATION OF SIMULATORS TO TRAIN DISPATCHERS IN A CHANGING CONTROL ENVIRONMENT, ELECTRA No.167, August 1996.

Rad je primljen u uredništvo 09. 08. 2006. godine



Ninel Čukalevski je rođen 1949. godine u Beogradu, diplomirao je 1972. godine, magistrirao 1983. godine i doktorirao 1990. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, na problemima upravljanja elektroenergetskim sistemima. Od 1973. do 1976. godine je radio u Elektrotehničkoj školi „Nikola Tesla” u Beogradu, a od 1977. godine neprekidno je zaposlen u Institutu „Mihajlo Pupin” u RJ Automatika, gde je 1986. godine formirao Odeljenje za upravljanje EES, čiji je rukovodilac od tada. Do sada je radio na brojnim problemima primene informacionih tehnologija (IT) u elektroenergetici, kao i na problemima analize, planiranja i upravljanja savremenim elektroenergetskim sistemima (EES). Njegovi sadašnji stručni interesi se nalaze u oblasti projektovanja i realizacije distribuiranih informacionih sistema, skladišta podataka (Data Warehouses) i metoda integracije aplikacija korporativnih informacionih sistema (EAI), dok se istraživački interesi nalaze u domenu analize efekata deregulacije i restrukturiranja EE sektora na upravljanje i potrebnu IT podršku.

Godine 1998. je izabran za profesora za predmet „Klijent-server sistemi” na smeru za Nove računarske tehnologije Više elektrotehničke škole u Beogradu (sa nepunim radnim vremenom). Godine 2003. izabran je u NI zvanje naučni savetnik.

Kao autor ili koautor objavio je 104 rada u zemlji i inostranstvu (od čega: 4 poglavlja u dve monografije, 7 radova u vodećim međunarodnim časopisima, 19 radova na međunarodnim konferencijama, 9 radova u domaćim časopisima i 65 radova na domaćim konferencijama) i realizovao je brojna tehnička rešenja (pre svega u domenu informacionih sistema, baza podataka i aplikativnih programskih paketa). Pored toga, učestvovao je u realizaciji (kao obrađivač i/ili rukovodilac) značajnog broja studija i projekata (više od 50) urađenih za različite naručioce u Jugoslaviji i inostranstvu, čiji su rezultati prezentovani u preko 90 dokumenata.

Od profesionalnih zaduženja, član je međunarodne organizacije IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers), Power Engineering Society (PES) od 1986. godine i Computer Society od 2000. godine. Član je međunarodne radne grupe (WGC2.01) za centre upravljanja EES, kao i radne grupe (WGC2.03) za obuku dispečera primenom simulaciono-trenažnih sistema, međunarodne organizacije CIGRE Pariz, kao i član STK-39 (Upravljanje i eksploatacija EES) JUKO CIGRE. Član je programskog odbora jugoslovenskog udruženja ETRAN.

Aca Vučković i Predrag Rajković

Određivanje troškova priključenja na prenosnu i distributivnu mrežu

Stručni rad
UDK: 621.316

Rezime:

Promena zakonske regulative u energetsom sektoru dovela je do stvaranja novih energetskih subjekata i uslovila je potrebu za definisanjem novih ili redefinisanjem postojećih pravila u odnosima između njih. Agencija za energetiku Republike Srbije je jedna od novouspostavljenih institucija. Jedna od obaveza Agencije je i donošenje metodologije za određivanje troškova priklučenja kako proizvođača tako i potrošača na prenosnu i distributivnu mrežu.

U ovom radu će biti dat pregled mogućih pristupa pri definisanju metodologije za određivanje troškova priklučenja, njihove prednosti i nedostaci. Biće date odgovarajuće definicije samog priključka i slučajevi koji usložnjavaju metodologiju, a saglasno tome biće navedeni troškovi koji se mogu obuhvatiti kroz naknadu za priključak. Takođe će biti opisani načini finansiranja izrade priključka. Na kraju će biti dat pregled rešenja koja se primenjuju u nekim evropskim državama.

Ključne reči: priključak, troškovi priklučenja, duboki priključak, plitki priključak

Abstract:

CALCULATION OF COSTS OF CONNECTION TO THE TRANSMISSION AND DISTRIBUTION NETWORK

New legislation in the energy sector has led to the establishment of new energy subjects and has caused for existing rules to be redefined and new ones to be developed. The Energy Agency of the Republic of Serbia is one of the newly formed institutions. One of the tasks of the Energy Agency is development of methodology for calculation of costs of connection (of generators and consumers) to the transmission and distribution network.

This paper gives a short overview of possible approaches to defining methodologies for calculating the cost of connection to the network, their strengths and weaknesses. Relevant definitions will be given, cases that contribute to the complexity of the issue as well as cost positions that could be included in the calculation. Ways of financing connection itself will, also, be given. At the end the overview of solutions that have been implemented in several European countries will be shown.

Key words: connection, costs of connection, deep approach, shallow approach

*Mr Aca Vučković, dipl. ing. el., e-mail: aca.vuckovic@aers.org.yu, mr Predrag Rajković, dipl. ek.
– Agencija za energetiku Republike Srbije, 11 000 Beograd, Terazije 5/V*

1. UVOD

Novom organizacijom energetskog sektora regulatorne agencije donose ili odobravaju metodologije za određivanje troškova priključenja proizvođača i potrošača na prenosnu i distributivnu mrežu. Postoje dva osnovna pristupa pri rešavanju ovog problema: plitki i duboki priključak (shallow and deep connection). Na prvi pogled ova problematika nije komplikovana, posebno ako se ima u vidu kompleksnost problematike pri donošenju tarifnih sistema. Međutim, kada se započne sa definisanjem metodologije određivanja troškova priključenja na mrežu, pojave se mnogobrojne, prvenstveno praktične, dileme. Ove dileme treba pažljivo rešavati, jer je najveći broj žalbi u prvim godinama po uspostavljanju regulatorne agencije vezan za priključak (na primer, iz prakse regulatora iz Velike Britanije u prvim godinama preko 90 % žalbi je bilo vezano za priključak).

Kod nas, u Srbiji, se kod određivanja ove metodologije, posebno mora imati u vidu činjenica da cena električne energije trenutno ne pokriva sve opravdane troškove elektroprivrede. To, na žalost, u praksi znači da se pri planiranju rada kompanija prvo eliminišu troškovi investicija i troškovi investicionog održavanja. Međutim, proces priključivanja novih potrošača je stalan i iziskuje razvoj kako distributivne tako i prenosne mreže. Ni u slučaju nedostatka sredstava s jedne strane i kontinualnog pritiska da se novi potrošači priključuju na mrežu sa druge, ne sme doći do prestanka razvoja mreže. Ovo iziskuje da metodologija koja se usvaja mora da uvažava i realne okolnosti, a ne samo teorijske postavke.

Imajući u vidu da je u proteklih petnaestak godina cena električne energija bila manja od adekvatnog nivoa za pokriće troškova, Elektroprivreda Srbije je morala da donese pravilnik o određivanju troškova priključenja potrošača na prenosnu i distributivnu mrežu. Usvojen je princip da potrošač mora da snosi sve troškove u prenosnoj i distributivnoj mreži koje svojim priključenjem izaziva. To znači da pored direktnih troškova materijala i opreme koji se koriste za realizaciju samog priključenja, potrošač treba da plati i određenu participaciju po kW zadržane snage koja služi za razvoj mreže po dubini do najvišeg naponskog nivoa. Ta sredstva su namenski sakupljena i korišćena za razvoj, prvenstveno distributivne mreže.

U Zakonu o energetici Republike Srbije, u članu 3, definisan je priključak na sistem kao „fizički priključak na sistem kojim se povezuje energetski objekat ili objekat kupca sa prenosnom, transportnim, odnosno distributivnim sistemom”. Prema članu 15 u kome se definišu poslovi Agencije za ener-

getiku Republike Srbije, Agencija „utvrđuje kriterijume i način određivanja troškova priključka na sistem za prenos, transport i distribuciju energije”. Članovi Zakona 51 do 59 se takođe odnose na realizaciju priključka energetskih objekata na prenosni i distributivni sistem.

Ovaj rad nema za cilj da precizira rešenje koje će od strane Agencije za energetiku Republike Srbije biti usvojeno kao metodologija za određivanje troškova priključenja. Cilj je da se prikažu moguća rešenja, da se istaknu njihove prednosti i nedostaci i da se prezentiraju neke od dilema sa kojima se regulatori sreću pri definisanju ove metodologije.

2. OSNOVNI PRINCIPI KOD ODREĐIVANJA TROŠKOVA PRIKLJUČENJA

Pri definisanju metodologije za određivanje troškova priključenja potrebno je voditi računa o osnovnim principima koji su često međusobno povezani ali i jedan drugom kontradiktorni. Metodologija treba da bude zasnovana na principu pokrivanja opravdanih troškova, da promoviše ekonomsku efikasnost, minimizira administriranje i administrativne troškove, da bude jasna i jednostavna i, konačno, da bude nediskriminatorna. Takođe je jako važno naglasiti da se metodologija za određivanje troškova priključenja mora posmatrati u sklopu celokupnog tarifnog sistema, odnosno da ova metodologija mora biti u skladu sa rešenjima vezanim za korišćenje prenosne i distributivne mreže.

Principi plitkog i dubokog priključka su dva osnovna principa pri definisanju metodologije za određivanje troškova priključenja, bilo na prenosnu, bilo na distributivnu mrežu. Njihova suštinska razlika je u strukturi troškova priključenja. Troškovi priključenja se definišu u odnosu na tačku priključenja, koja predstavlja granicu mreže i priključka. Drugim rečima, tačka priključenja deli uređaje i opremu koji se koriste za realizaciju samog priključka od uređaja i opreme koji suštinski predstavljaju prenosnu ili distributivnu mrežu.

Pri definisanju metodologije se mora voditi računa o različitim potrebama potrošača i proizvođača, o stepenu složenosti priključka i o potrebi da metodologija ima potreban nivo opštosti.

2.1. Princip plitkog priključka

Principom plitkog priključka propisuje se da proizvođač ili potrošač pri priključenju na prenosni ili distributivni sistem pokriva jedino troškove koji su izazvani realizacijom samog priključka do najbliže tačke u sistemu gde je priključenje moguće izvesti. Ovi troškovi obuhvataju troškove uređaja, opre-

me i materijala, radova, projektantske i administrativne troškove koji se odnose na realizaciju samog fizičkog priključka od tačke priključenja u sistemu do mesta merenja predate (proizvođač) ili preuzete (potrošač) električne energije. Važno je naglasiti da se u ovom slučaju ne obuhvataju bilo kakvi troškovi povećanja kapaciteta prenosne ili distributivne mreže „iza” tačke priključenja na mrežu niti troškovi eventualnog povećanja gubitaka u mreži koje je uzrokovano priključenjem proizvođača ili potrošača na sistem. Svi troškovi vezani za prenosnu ili distributivnu mrežu će se pokriti kroz troškove korišćenja mreže.

U odnosu na druga moguća rešenja, primenom principa plitkog priključka troškovi priključenja su manji. Na taj način se i proizvođači i potrošači ohrabruju da se priključuju na prenosnu ili distributivnu mrežu. Ovim principom su jasno razgraničeni troškovi priključka i troškovi mreže. Jasno je definisano koji se uređaji, oprema i materijali koriste za realizaciju samog priključka, pa onaj ko se priključuje unapred može tačno znati iznos troškova priključenja na mrežu. Zbog toga je jasnost i jednostavnost osnovna prednost principa plitkog priključenja na sistem.

Osnovni nedostatak ovog principa je da se proizvođačima i potrošačima ne daje nikakav signal gde je, sa stanovišta postojeće mreže, povoljnije da se izvrši priključenje. Naime, novim priključenjima može se pogoršati stanje u mreži, tako da se u nju mora više ulagati nego u slučaju da se novi priključci realizuju na nekom drugom mestu.

Takođe je potrebno naglasiti da u tranzicionim zemljama, gde po pravilu cena električne energije ne pokriva troškove sistema, primenom principa plitkog priključka dolazi do izražaja problem obezbeđenja sredstava za razvoj mreže po dubini. O tome se mora voditi računa jer je proces priključenja novih proizvođača, a posebno potrošača nezaustavljiv, pa je neophodno da se obezbede i sredstva za razvoj prenosnog i distributivnog sistema, kako bi se svi zahtevi za priključenje ispunili.

2.2. Princip dubokog priključka

Da bi neki potrošač ili proizvođač bio priključen na distributivni ili prenosni sistem, potrebno je ugraditi odgovarajuću opremu i uređaje za povezivanje sa sistemom, čime će priključak biti fizički realizovan. Pored realizacije fizičkog priključka, novi potrošač izaziva i potrebu za pojačavanjem mreže do najvišeg naponskog nivoa (po dubini sistema) i utiče na povećanje gubitaka u sistemu. Princip dubokog priključka znači da će se troškovima priključenja obuhvatiti i troškovi proistekli iz realizacije

samog priključka i troškovi pojačanja sistema po dubini, zbog povećanog opterećenja mreže. Očito je da su troškovi dubokog priključka veći nego troškovi plitkog priključka, kojim se obuhvataju samo troškovi investicija potrebnih za realizaciju fizičkog priključka. Zbog toga je prirodno da u slučaju dubokog priključka troškovi korišćenja sistema za sve korisnike mreže budu manji.

Osnovna prednost dubokog priključka je da se njegovom primenom daju jasni signali korisnicima prenosnog ili distributivnog sistema u pogledu lokacije. Naime, na mestima gde su potrebna veća ulaganja u pojačanje sistema, biće veći i troškovi priključenja, što predstavlja jasan signal da se razmotri mogućnost nekog drugog mesta za priključenje na sistem, iako su te mogućnosti ograničene. Novi izvori se u principu prave u blizini primarnog energetskog resursa (uglja, vode) ili u blizini gasovoda i može se porediti da li je jeftinije transportovati gas ili ugalj do neke povoljnije lokacije sa stanovišta mreže. Kod potrošača, izgradnja je uslovljena prvenstveno urbanističkim uslovima, tako da je već unapred određeno gde će biti novi potrošači, bez obzira na „signale” koji bi se mogli slati sa stanovišta razvoja prenosne i distributivne mreže. Posebno se mora naglasiti da je u slučaju malih potrošača, prvenstveno domaćinstava, mesto priključenja u principu određeno unapred, bez obzira na stepen izgrađenosti prenosnog i distributivnog sistema i praktično nema mogućnosti promene lokacije tih potrošača, bez obzira na troškove priključenja.

Relativno je jednostavno odrediti koji uređaji i oprema čine sam priključak, tako da su i odgovarajući troškovi definisani. Ovi troškovi predstavljaju samo deo troškova kod dubokog priključka, pa je osnovni nedostatak ove metodologije to što određivanje troškova po dubini sistema nije eksplicitno definisano, već je predmet mnogobrojnih pretpostavki. Pored toga, problem predstavlja i to što je pojačavanje elemenata mreže moguće u diskretnim koracima, zavisno od snage elemenata mreže, koja je po pravilu mnogo veća od zahtevane snage malih potrošača, kao što su domaćinstva. To dodatno usložnjava problem kako tim potrošačima odrediti opravdani trošak pojačanja mreže.

Takođe se često dešava da primena ovog principa dovodi do neravnopravnosti potrošača. U slučaju da jedna grupa potrošača investira u pojačanje ili čak i izgradnju potpuno nove mreže, potrošači koji se kasnije priključuju koriste tako pojačanu ili izgrađenu mrežu ne investirajući u nju, pa imaju znatno niže troškove priključenja.

Na osnovu svega rečenog, može se zaključiti da je osnovni nedostatak principa dubokog priključka njegova složenost i netransparentnost, a prisutna je i

diskriminacija, jer troškovi potrošača mogu zavistiti od trenutka kada se priključuje na mrežu. Međutim u tranzicionim uslovima, u slučaju kada nije dostignut realni nivo cene električne energije, principom dubokog priključka mogu se obezbediti sredstva za razvoj mreže, tako da se priključenje novih potrošača može obavljati bez većih problema.

2.3. Tipski priključak

Troškovi priključenja se moraju odrediti za svakog potrošača, odnosno proizvođača, jer je svaki priključak specifičan (u literaturi se često sreće i termin „individualni priključak” - u smislu individualnog, posebnog određivanja troškova priključenja). Različito shvatanje troškova priključenja koje mogu da imaju prenosne ili distributivne kompanije i korisnici mreže, često dovodi do žalbi korisnika i potrebe za arbitražom regulatora. Zbog toga je korisno da budu definisane grupe međusobno sličnih priključaka, posebno kod najbrojnije kategorije potrošača, domaćinstava i javnog i komercijalnog sektora. Za te potrošače regulator može detaljnije da razradi metod proračuna troškova priključka, čime se postiže jednostavnost i transparentnost obračuna, kao i smanjenje administrativnog opterećenja za potrošača.

Priključci malih snaga na niskonaponskoj mreži, koji su najjednostavniji a najrasprostranjeniji, mogu se razvrstati u grupe unutar kojih praktično nema razlike u stvarnim troškovima, ili su one minimalne. Takvi priključci bi bili „tipski priključci” (u literaturi se često sreće i termin „standardni priključci”), a njihovi troškovi bi bili određeni na bazi usrednjenih vrednosti za svaki od tako definisanih tipova priključka.

Praktično, tipski mogu biti samo priključci potrošača na niskonaponsku distributivnu mrežu. Tipizacija troškova ima smisla kada se za izgradnju priključka mogu koristiti isti uređaji, oprema i materijali, gde su radovi na realizaciji priključka identični i gde je ista administrativna procedura za obezbeđenje priključka. Tipovi ovakvih priključaka se definišu u zavisnosti od zahtevane snage priključenja, naponskog nivoa i vrste mreže (nadzemna ili podzemna) na koju se potrošač priključuje. Definisanjem tipskih priključaka se olakšava potrošačima i distributerima da jasnije definišu međusobne odnose, a regulator može da očekuje mnogo manje žalbi vezanih za priključenje.

2.4. Tretman proizvođača i potrošača

Pri definisanju metodologije za određivanje troškova priključenja, tretman proizvođača i potrošača električne energije može biti isti ili različit. Metodo-

logijom može biti određeno da troškove koji nastaju priključenjem snosi energetski subjekt koji se priključuje, bez obzira da li je u pitanju proizvođač ili potrošač. Pri tome nije važno da li je metodologija bazirana na principu plitkog ili dubokog priključka. Međutim, tretman proizvođača i potrošača može biti i različit. Postoje rešenja kada proizvođač plaća sve troškove priključenja, a potrošač samo deo troškova, na primer 50 % troškova priključenja, a preostali deo se naplaćuje kroz upotrebu sistema. Kod principa dubokog priključka, problem određivanja troškova koji nastaju zbog pojačanja mreže po dubini se usložnjava. Za razliku od potrošača, proizvođači svojim priključenjem sa jedne strane mogu izazvati potrebu za pojačanjem mreže, ali sa druge strane svojim priključenjem mogu poboljšati naponske prilike i dovesti do smanjenja gubitaka u sistemu. Sve to se, uz uvažavanje puno nesigurnih pretpostavki, mora obuhvatiti metodologijom. Razlika u tretmanu može da postoji u energetskim sistemima gde je prisutna koncentracija proizvodnje i potrošnje u različitim regionima, pa se često javlja problem zagušenja u prenosnoj mreži. Zbog toga se metodologijom određuje da u regionu gde postoji koncentracija izvora novi proizvođači snose pune troškove priključenja, dok se priključenje potrošača stimuliše kroz smanjene troškove priključenja. U regionima sa preovlađujućom potrošnjom je suprotno, stimuliše se priključenje proizvođača.

Distribuirana proizvodnja, obično proizvođači male snage, mogu imati poseban tretman kod određivanja troškova priključenja, posebno ako su u pitanju proizvođači koji koriste obnovljive izvore energije. Ovi proizvođači, na primer male hidroelektrane ili farme vetrenjača, su po pravilu daleko od postojeće distributivne mreže, tako da je sam priključak veoma skup. Pored toga, ovi proizvođači često izazivaju potrebu za ojačanjem postojećeg distributivnog sistema, a zbog svoje nepredvidive proizvodnje mogu izazvati i dodatne troškove kod upravljanja sistemom. Zbog toga, a u cilju promocije obnovljivih izvora energije, troškove njihovog priključenja bi trebalo određivati primenom principa plitkog priključka, kojim se ovi troškovi minimiziraju. Ali i tako određeni troškovi mogu biti izuzetno visoki, pa se evropskim direktivama predviđa i mogućnost da distributivna preduzeća snose deo tih troškova, imajući u vidu opredeljenje da se obnovljivi izvori energije što više koriste.

3. FINANSIRANJE PRIKLJUČKA

Jedno od ključnih pitanja kod realizacije priključka jeste ko će finansirati njegovu izgradnju. Po-

stoje dva suprotno orijentisana odgovora i treći koji je između ova dva.

Izgradnja priključka može da bude finansirana iz sredstava energetskog subjekta na čiji sistem se korisnik priključuje. To bi značilo da se zainteresovani potrošač ili proizvođač prijavljuje za priključenje, a distributivno ili prenosno preduzeće je dužno da ga bez naknade priključi na sistem. Troškovi nastali priključenjem bili bi pokriveni iz naknade za upotrebu sistema. Ovakav pristup je naročito povoljan za korisnike sistema, odnosno potrošače i proizvođače, obzirom da od njih ne iziskuje finansijsko naprezanje. Iako može da izgleda neobično, ovakav pristup bi se mogao pravdati time što je razvoj sistema jedna od osnovnih uloga distributivnih, odnosno prenosnog preduzeća, a to podrazumeva i priključenje novih korisnika. Pored toga, priključak pripada ovim preduzećima, pa je i logično da ona plaćaju za njegovu izgradnju, odnosno da investiraju u sopstvena sredstva. Sa druge strane, jasno je da ovaj pristup za preduzeće predstavlja znatan finansijski napor jer ulaže finansijska sredstva u jednom trenutku (pri izgradnji priključka), dok se povraćaj novca odvija tokom dužeg vremenskog perioda. Posebnu prepreku ovom pristupu predstavlja situacija karakteristična za zemlje u tranziciji, odnosno situacija u kojoj je cena električne energije ispod nivoa potrebnog za pokriće troškova.

Sa druge strane, u slučaju kada energetski subjekti nemaju finansijski potencijal za obezbeđenje ravnomernog razvoja mreže i izgradnju priključaka, korisnici prihvataju da jednokratnim plaćanjem obezbede blagovremeno priključenje, a kasnije da plaćaju samo za pristup i korišćenje sistema. Regulator propisuje kako se računa jednokratna naknada za priključenje, dok distributivno, odnosno prenosno preduzeće propisuje uslove priključivanja i organizuje izgradnju priključka. Korisnik plaća priključenje prema utvrđenom i javnom cenovniku. Jasno je da ovo rešenje korisnicima nameće finansijske izdatke, dok preduzećima pruža mogućnost da besplatno dođu do sredstava za finansiranje priključka. Mora se naglasiti da sredstva dobijena na ovaj način ne smeju da uđu u osnovicu za izračunavanje prinosa (povraćaja angažovanih finansijskih sredstava) koji preduzeća mogu da ostvare svojim poslovanjem. Tako, ono što za preduzeće može izgledati primamljivo u kratkom, daje negativne efekte u dugom roku.

Treće rešenje bi bilo da jedan deo priključka finansiraju i grade budući korisnici sistema, a drugi deo prenosno ili distributivno preduzeće. Ovo kompromisno rešenje karakterišu sledeći nedostaci - arbitrarnost, netransparentnost i diskriminatorsnost. Odluka o odnosu u kojem će partneri učestvovati u

izgradnji priključka je sasvim arbitrarna i zavisi od onoga ko je donosi. Sama činjenica da jedan deo priključka finansira korisnik, a drugi preduzeće, ukazuje na netransparentnost. U takvom slučaju nejasno je ko je vlasnik priključka kao celine, na kome je obaveza zamene i održavanja opreme i ko može da prisvaja profit iz ove investicije. Praksa da korisnik besplatno ustupi preduzeću deo izgrađenog priključka koji je on finansirao nije u skladu sa tržišnim načinom privređivanja i razmišljanja. Konačno, ukoliko bi se pomenuti odnosi finansiranja vremenom menjali, došlo bi do diskriminacije korisnika, obzirom da bi za isti priključak jedni plaćali više, a drugi manje. Diskriminacija je utoliko uočljivija kada se u obzir uzme činjenica da se pokriva za deo priključka koji finansira preduzeće nalazi u naknadi za upotrebu sistema koju plaćaju svi korisnici sistema. Ovo znači da bi jedan potrošač koji je, recimo, finansirao 70 % svog priključka, preostalih 30 % koji je finansirala distributivna kompanija, platio kroz naknadu za upotrebu sistema. Međutim, ukoliko se pomenuti odnosi promene, pa kasnije drugi potrošač finansira samo 40 % svog priključka, to bi značilo da se preostalih 60 % finansira kroz naknadu za upotrebu sistema. Prema tome, prvi potrošač je dvostruko diskriminisan: kroz naknadu za upotrebu sistema finansira 30 % svog, a čak 60 % priključka drugog potrošača, a prilikom svog priključenja platio je čak 70 % vrednosti svog priključka, dok kod drugog potrošača taj procenat iznosi samo 40 %.

Sledeće pitanje vezano za finansiranje priključka je ko će da finansira zamenu opreme kada joj istekne vek trajanja. Odgovor na ovo pitanje je vezan za tretman amortizacije sredstava priključka. Moguće je da korisnik sam finansira priključak, a njegova amortizacija je isključena iz troškova preduzeća. U ovom slučaju, kada istekne vek trajanja opreme, distributivno, odnosno prenosno preduzeće bi trebalo od korisnika da zahteva novo plaćanje priključenja. Ovakvo rešenje donosi brojna pitanja vezana za tretman osnovnih sredstava koja su knjigovodstveno otpisana, a i dalje su u upotrebi, tretman njihove preostale vrednosti ukoliko potrošač želi da bude isključen sa sistema, kao i praktični problem objašnjavanja potrošačima zašto plaćaju za priključenje posle, recimo, dvadeset godina upotrebe sistema i korišćenja električne energije.

Moguće je i drugi pristup, po kome preduzeće finansira izgradnju priključka pa im se troškovi amortizacije opreme kojom je realizovan priključak priznaju kao opravdani troškovi. Dakle, budući da je amortizacija priznata kao trošak preduzeća, ono na kraju veka trajanja priključka ima sredstava da izvrši zamenu dotrajale opreme.

Postoji i treće rešenje, a to je da potrošač, odnosno proizvođač, finansira sredstva priključka, a da se amortizacija ipak priznaje kao trošak energetskog subjekta, odnosno da je za zamenu sredstava zaduženo distributivno, odnosno prenosno preduzeće. Pitanje je u kojoj meri je ovakav pristup ispravan, obzirom da se preduzeću omogućava ostvarivanje prihoda za pokriće troškova amortizacije opreme priključka koju nije ono finansiralo i koja mu stoga, ekonomski gledano, i ne pripadaju. Istovremeno, potrošač ne samo da je finansirao priključak, nego kroz naknadu za upotrebu sistema plaća i zamenu opreme priključka po isteku njenog životnog veka.

Naredno pitanje vezano za finansiranje priključka je kako rešiti problem „deljenja” priključka, kada ga zajednički koriste dva ili više korisnika. Ovakav slučaj nastaje kada se na opremu koja pripada priključku jednog korisnika priključuje novi korisnik. Ovde se, naravno, podrazumeva da je priključak u potpunosti sam finansirao prvi korisnik i da postoje tehničke mogućnosti napajanja oba korisnika. Obzirom da je deo priključka koji zajednički upotrebljavaju oba korisnika finansirao prvi korisnik, postavlja se pitanje da li treba dozvoliti novom korisniku da besplatno koristi ova sredstva. Moguće rešenje u ovakvim slučajevima je da regulator uspostavi kompenzacioni mehanizam kroz koji bi novi korisnik „obešteti” postojećeg za deo zajedničkih sredstava, proporcionalno snazi svog priključka. Ovaj kompenzacioni mehanizam može da ustanovi i vremensku granicu iza koje neće biti ovog obeštećenja, odnosno iza koje će novi korisnici moći da se priključuju bez plaćanja naknade postojećem korisniku.

Takođe, postavlja se pitanje tretmana postojećih korisnika, onih koji su u trenutku uspostavljanja novih odnosa već priključeni na sistem. Odnosno, da li bi oni trebalo da plaćaju svoje priključenje ili samo da nastave da koriste sistem? Obzirom da je veoma teško, ako ne i nemoguće, vratiti se uz pomoć knjigovodstva u prošlost i pronaći konkretne podatke o pojedinim priključcima, u principu se uzima u obzir zatečeno stanje i dopušta se da postojeći korisnici nastave da koriste sistem bez plaćanja naknade za priključenje.

I na kraju, kada su prethodna pitanja razmotrena, postavlja se pitanje kako izvršiti plaćanje, odnosno kakva treba da bude dinamika plaćanja. Moguće je da korisnici sve plate odjednom (po pravilu unapred) ili da plaćaju u jednakim godišnjim ratama kroz vek upotrebe sredstava. Treće rešenje se zasniva na međusobnom dogovoru između korisnika i prenosnog, odnosno distributivnog preduzeća i predstavlja vrstu komercijalnog aranžmana između njih.

Plaćanje odjednom ili kroz manji broj jednakih obroka pre nego što do priključenja dođe, uglavnom se primenjuje za plaćanje tipskih priključaka. Druga mogućnost plaćanja je u godišnjim ratama tokom životnog veka priključka. Obračun ovih rata ne predstavlja jednostavni količnik vrednosti sredstava i veka trajanja tih sredstava. On treba da obuhvati: troškove amortizacije, troškove održavanja sredstava i određeni prinos na angažovana sredstva. Plaćanje naknade u godišnjim ratama sa sobom nosi i pitanje šta se dešava ukoliko korisnik reši (ili bude primoran) da se isključi sa mreže, pre nego što je isplatio troškove priključenja. Kao rešenje, uvodi se takozvana likvidaciona naknada. Ona omogućava da preduzeće naplati od korisnika preostali (nenaplaćeni) deo sredstava priključka, kao i neposredne troškove izazvane činom njegovog isključenja sa sistema.

4. REŠENJA U DRUGIM DRŽAVAMA

U različitim evropskim državama definisane su različite metodologije za određivanje troškova priključenja korisnika na prenosnu i distributivnu mrežu.

Prema regulatornoj praksi u Bugarskoj, prihod od naknade za priključenje je izdvojen i isključuje se iz prihoda ostvarenog upotrebom prenosnog, odnosno distributivnog sistema. Tipski priključci su definisani prema snazi u opsegu 1 kW - 1 MW uz uslov da se priključak nalazi na teritoriji za koju postoji plan razvoja mreže. Primenjuje se jedinstvena nacionalna politika priključivanja na teritoriji čitave zemlje. Potrošači koji zahtevaju veću snagu od naznačene nemaju tretman tipskog priključka i naknade za priključenje se obračunavaju za svakog ponaosob.

U Velikoj Britaniji, kada je reč o priključcima na distributivnu mrežu, u primeni je pristup koji je nešto dublji od plitkog, a daleko plići od klasičnog dubokog pristupa. Prema ovom pristupu, potrošač ili proizvođač koji se priključuje na mrežu snosi neposredne troškove svog priključenja (plitki pristup), ali snosi i deo troškova pojačanja mreže na jednom naponskom nivou iznad onog na koji se priključuje. Određivanje iznosa troškova ojačanja koja će snositi korisnik određuje se proporcionalno zahtevanoj snazi. Na ovaj način se postiže davanje lokacijskih signala u pogledu najpoželjnijeg mesta za priključenje na mrežu.

U Republici Irskoj, naknade za priključenje se naplaćuju različitim kategorijama potrošača uzimajući u obzir udaljenost mesta priključenja od postojeće mreže. Razlikuju se sledeći slučajevi:

1. Priključenje potrošača iz kategorije domaćinstva se u zavisnosti od zahtevane snage priključenja ti-

- pizira ako je objekat od mreže udaljen do 500 m u ruralnim, odnosno 50 m u urbanim područjima.
2. Naknada za priključenje potrošača čiji objekti ne zadovoljavaju kriterijum udaljenosti se računa kao u slučaju zadovoljavajuće udaljenosti, s tim što se tako izračunatoj naknadi dodaje:
 - 50 % troškova izgradnje nove linije, za udaljenosti između 500 metara i 1 km i
 - puni troškovi izgradnje voda iznad udaljenosti od 1 km
 3. Za priključenje poslovnih objekata na mrežu, predviđene su četiri grupe tipičnih naknada:
 - namenski jednofazni na niskom naponu, snage do 2 kVA - obuhvataju priključenje uličnih elemenata poput autobuskih kućica, oglasnih panoa, javnih toaleta i slično;
 - jednofazni priključci na niskom naponu;
 - trofazni priključci na niskom naponu;
 - priključci na niskom naponu između 500 kVA i 1 000 kVA.

Gore pomenute grupe su dalje diferencirane prema zahtevanoj snazi priključenja. Naknada za priključenje kod svih grupa se sastoji iz osnovne naknade, koja je izražena po priključku, i dodatne naknade, koja je izražena po metru udaljenosti objekta od mreže.

4. Priključenje proizvođača električne energije iz obnovljivih izvora na distributivnu mrežu se bazira na plitkom pristupu. Troškove priključenja na mrežu snosi vlasnik elektrane, dok troškove pojačanja mreže snosi distributivna kompanija.

U Nemačkoj se prema Uredbi Ministarstva ekonomskih poslova iz 1980. godine naknada za priključenje sastoji iz dva dela: troškova ojačanja mreže i troškova neposrednog priključenja od tačke priključenja na mreži do kućne instalacije. Obe ove komponente moraju da budu zasebno iskazane i računa ih svaka od 900 distributivnih kompanija u Nemačkoj za sebe. Za obračun komponente koja se odnosi na ojačanje mreže, distributivne kompanije mogu da uzmu u obzir nove investicije i troškove ojačanja elemenata mreže, do naponskog nivoa od 30 kV i do 70 % vrednosti investicije.

U Francuskoj, naknada za priključenje zavisi od udaljenosti objekta od mreže i zahtevane snage. Definisana je granična udaljenost objekta od mreže. Za sve objekte na udaljenosti manjoj od granične plaća se ista naknada bez obzira na stvarnu udaljenost. Toj vrednosti se dodaje deo koji je definisan u zavisnosti od zahtevane snage. U slučajevima kada je udaljenost veća od granične ili ako se priključenje vrši na više naponske nivoe, izrađuje se „studija izvodljivosti” na osnovu koje se određuju troškovi priključenja.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu je prikazano sa kakvim se ograničenjima i dilemama suočavaju regulatorna tela pri definisanju metodologije za određivanje troškova priključenja potrošača ili proizvođača na prenosnu ili distributivnu mrežu. Prikazana su dva osnovna principa za određivanje ovih troškova - princip plitkog i princip dubokog priključka, sa osnovnim prednostima i nedostacima. Na osnovu analiziranih prednosti i nedostataka, autori zaključuju da ima više prednosti primena principa plitkog priključka od principa dubokog priključka, ali samo uz uslov da se troškovi razvoja prenosnog i distributivnog sistema u potpunosti pokrivaju kroz tarifu za upotrebu sistema.

U radu je navedena i mogućnost tipizacije priključaka potrošača na niskom naponu, kod kojih se troškovi priključenja obračunavaju na bazi usrednjenih cena ugrađene opreme, jer su stvarni troškovi priključenja potrošača koji pripadaju jednom tipu u proseku jednaki. Istaknuto je da se time povećava jednostavnost i transparentnost obračuna troškova priključenja za veliki broj potrošača, a pojednostavljuju se administrativna procedura i odnosi između korisnika i distribucije.

Kod tretmana proizvođača i potrošača, prikazani su osnovni pristupi i slučajevi kada njihov tretman može biti različit. Posebno je analiziran slučaj malih proizvođača i proizvođača koji koriste obnovljive izvore energije, a priključuju se na distributivnu mrežu. Pri određivanju troškova priključenja treba voditi računa o opštem opredeljenju da se stimuliše izgradnja ovih izvora, jer se može desiti da od tretmana troškova priključenja zavisi isplativost tih projekata.

Posebno je obrađeno pitanje finansiranja priključka. Priključak može biti finansiran i od strane prenosne ili distributivne kompanije, ali je uobičajeno da troškove priključenja snosi budući korisnik mreže. Obično mali korisnici te troškove plaćuju u celosti pre priključenja. Kod korisnika sa velikim troškovima priključenja, finansiranje priključka se može organizovati u više jednakih rata. U tom slučaju, mora se voditi računa i o troškovima koji nisu u potpunosti naplaćeni ako se korisnik neplanirano, na primer zbog stečaja, isključuje sa mreže pre isteka perioda otplate.

Na kraju je dat pregled rešenja u nekoliko evropskih država. Može se videti da univerzalni pristup za određivanje troškova priključenja na prenosnu i distributivnu mrežu ne postoji, ali se teži tipizaciji troškova, prvenstveno za pojedine grupe potrošača sa jednostavnim priključcima koji se priključuju na niskonaponsku distributivnu mrežu.

6. LITERATURA

- [1] ZAKON O ENERGETICI, „Službeni glasnik RS” broj 84/04
- [2] UREDBA O USLOVIMA ZA ISPORUKU ELEKTRIČNE ENERGIJE, „Službeni glasnik RS” broj 107/05
- [3] KPMG, PROJEKAT ZA ENERGETSKU REGULATORNU AGENCIJU
- [4] KEMA, IPA i Rocas, Projekat - Formiranje i rad Agencije za energetiku Republike Srbije
- [5] CHARGING METHODOLOGY, CENTRAL NETWORKS EAST - COMPANY OF EON

Rad je primljen u uredništvo 09. 08. 2006. godine



Aca Vučković je rođen 1961. godine u Beogradu. Diplomirao je na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu 1984. godine, gde je i magistrirao 1995. godine. Od 1989 do 2005. godine je u okviru sadašnje Elektroprivrede Srbije radio na poslovima razvoja programskih paketa za prognozu potrošnje električne energije, razvoja programskih paketa za kratkoročno i dugoročno planiranje rada, perspektivnog planiranja, analize promena u obimu i strukturi potrošnje, analize troškova u sistemu i razvoja tarifnih sistema za prodaju električne energije. Autor je većeg broja radova iz navedenih oblasti koji su objavljeni ili prezentovani u domaćim i inostranim časopisima ili na konferencijama. Trenutno je kao viši stručni saradnik za električnu energiju zaposlen u Agenciji za energetiku Republike Srbije.



Predrag Rajković je rođen 1974. godine. Diplomirao je na Ekonomskom fakultetu u Beogradu 1999, a magistarsku tezu je odbranio 2005. godine. Od avgusta 2002. do avgusta 2005. godine radio je kao lokalni ekspert na projektima: Nacrt za osnivanje Agencije za energetiku Srbije i osnivanje i funkcionisanje Regulatorne agencije za energetiku. Od avgusta 2005. godine do danas radi kao stručni saradnik za ekonomsko-finansijske poslove na razvoju metodologija za određivanje cena i razvoju tarifnih sistema za električnu energiju u Agenciji za energetiku Republike Srbije. Posebna interesovanja: podsticajni metodi regulacije cena, funkcionisanje, razvoj i proizvodi kojim se trguje na tržištima električne energije. Autor je više članaka iz oblasti određivanja cena i reforme energetskog sektora.

*Slavoljub Lukić
Danilo Lalović i Miroslav Beleslin*

Status aktivnosti na realizaciji nove telekomunikacione mreže prenosa EPS-a

Stručni rad
UDK: 621.395.74

Rezime:

U ovom radu su predstavljene osnovni principi i tekući plan realizacije nove telekomunikacione mreže prenosa EPS-a bazirane na OPGW kablovima i SDH sistemima prenosa. Opisan je dostignuti stepen izgradnje, trenutni status aktivnosti i osnovni koncepti realizacije SDH mreže kao i DWDM sistema prenosa

Ključne reči: mreža prenosa, SDH tehnologija, OPGW kabl

Abstract:

*THE STATUS OF THE ACTIVITIES ON THE REALIZATION
OF THE NEW EPS TELECOMMUNICATIONS BACKBONE NETWORK*

This paper presents basic principles and current plans of realization of the new telecommunications network of EPS, based on OPGW cables and SDH technology. The accomplished level of implementation of the network is shown. Also, description of the current status of the activities as well as the basic concepts in realization of SDH network and DWDM systems are presented.

Key words: backbone network, SDH Technology, OPGW Cable

1. UVOD

U toku 2002. godine u Elektroprivredi Srbije (EPS) je izrađena i usvojena studija izvodljivosti za izgradnju novog telekomunikacionog sistema EPS-a. Na osnovu ovog dokumenta su dobijeni krediti od evropskih banaka EIB i EBRD kojim se finansira projekat izgradnje telekomunikacionog sistema. U Elektroprivredi Srbije (EPS) je sada upravo u toku realizacija novog telekomunikacionog sistema, koji će predstavljati jedan od infrastrukturnih sistema EPS-a. Osnovu novog sistema čini telekomunikaciona mreža prenosa koja predstavlja jedinstvenu transportnu infrastrukturu baziranu na optičkim

vlaknima u OPGW kablovima i SDH sistemima prenosa. Izgradnja novog telekomunikacionog sistema je zasnovana na primeni najsavremenijih tehnologija kojim će se zameniti postojeći sistem. Osnovni zadatak je da novi telekomunikacioni sistem zadovolji potrebe za komuniciranjem u okviru tehničkog i poslovnog sistema upravljanja EPS-a, kao i sa susjednim elektroprivredama i evropskim interkonekcijama. U tom cilju je potrebno obezbediti prenos sledećih telekomunikacionih signala:

- govornih signala;
- podataka za upravljanje elektroenergetskim sistemom;
- signala zaštite;

*Mr Slavoljub Lukić, dipl. ing. el., mr Danilo Lalović, dipl. ing. el., Miroslav Beleslin, dipl. ing. el.,
– JP „EPS” Projekat telekomunikacije, 11 000 Beograd, Carice Milice 2*

- poslovnih podataka i
- podataka za upravljanje telekomunikacionim sistemom.

Isto tako se vodilo računa o sledećim aspektima projekta:

- da razvoj TK sistema bude usklađen sa razvojem EES i potrebama dispečerskog i poslovnog upravljanja;
- da mreža prenosa bude usklađena sa razvojem mreža prenosa u susednim elektroprivredama u cilju međusobnog povezivanja i
- da shodno iskustvu drugih elektroprivreda, mreža prenosa treba da bude izgrađena tako da se u budućnosti omogući njeno korišćenje za stvaranje prihoda kako to rade i druge elektroprivrede u svetu.

U ovom radu je dalje prikazan plan realizacije nove telekomunikacione mreže prenosa EPS-a i predstavljen trenutni status aktivnosti i iskustva u realizaciji projekta.

2. PLAN REALIZACIJE PROJEKTA

Projekat izgradnje novog telekomunikacionog sistema EPS-a je predviđen u tri faze raspodeljene u tri godine (2005.-2008.). Dinamika realizacije je usklađena sa projektom EMS/SCADA koji se finansira iz donacije švajcarske vlade SECO. Osnovni plan realizacije projekta je organizovan u dvanaest tenderskih paketa koji su pripremljeni u skladu sa procedurama evropskih banaka EIB i EBRD. Projekat je multidisciplinarni i obuhvata različite oblasti od elektroenergetske i dalekovodne problematike pa do najnovijih telekomunikacionih uređaja i sistema prenosa. Iz ovog razloga je neophodno angažovanje stručnjaka iz različitih oblasti i stalna koordinacija i

praćenje svih aktivnosti na realizaciji projekta u čemu učešće ima i strana konsultantska firma Intech.

U tabeli 1 je prikazan dinamički plan realizacije celog projekta. Neki od tendera su predviđeni po sistemu ključ u ruke, dok su drugi predviđeni posebno za nabavku opreme, a posebno za servise i izvođenje radova na montaži opreme.

Izgradnja optičke mreže je organizovana kroz realizaciju šest tendera gde je nabavka OPGW kablova odvojena od tendera za servise i izvođenje radova na montaži optičkih kablova. Nabavka SDH uređaja, fleksibilnih multipleksera, sistema za upravljanje mrežom, sistema za sinhronizaciju, prateće opreme i servisa, realizovaće se kroz jedinstven tender po sistemu ključ u ruke i implementiraće se u tri faze prilagođene dinamici izgradnje optičke infrastrukture. Nabavka i instalacija sistema za napajanje nove telekomunikacione opreme je podeljena u dve faze. Faze realizacije ovog projekta su usklađene sa dinamikom realizacije SDH mreže i prethodne instalaciji telekomunikacione opreme. Isto tako nabavka i instalacija sistema za klimatizaciju prostorija u kojima se smešta telekomunikaciona oprema je usklađena sa dinamikom realizacije SDH mreže i odvijaće se u jednoj fazi. Projekat izgradnje novog telekomunikacionog sistema EPS-a uključuje i nabavku i montažu savremenih telefonskih centrala za realizaciju operativnog i poslovnog telefonskog saobraćaja. Telefonska mreža će se realizovati u dve faze, a povezivanje telefonskih centrala će se obezbediti kroz SDH mrežu. Za realizaciju sistema poslovnog upravljanja EPS-a predviđa se nabavka i instalacija modernih rutera kojim će se formirati mreža za prenos poslovnog saobraćaja. Na kraju je predviđena nabavka SDH i IP merne i test opreme potrebne za osnovno održavanje mreže.

Tabela 1.

Plan realizacije projekta

ID	Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessor	2005	2006	2007	2008
1	EPS, Establishment of Network	840	Mon 1	Fri 2		[Gantt bar spanning from Mon 1 2005 to Fri 2 2008]			
2	OPGW CABLE PACKAGE 1	272,95	Mon 1	Wed		[Gantt bar spanning from Mon 1 2005 to Wed 2005]			
3	OPGW INSTALLATION PACKAGE 1	416	Mon 1	Mon 1		[Gantt bar spanning from Mon 1 2005 to Mon 1 2006]			
8	OPGW CABLE PACKAGE 2	297	Fri 2	Mon 1		[Gantt bar spanning from Fri 2 2005 to Mon 1 2006]			
13	OPGW INSTALLATION PACKAGE	383	Mon 4	Wed 2		[Gantt bar spanning from Mon 4 2005 to Wed 2 2006]			
17	48 V POWER SUPPLY	604	Mon 2	Thu 1		[Gantt bar spanning from Mon 2 2005 to Thu 1 2006]			
22	TEST INSTRUMENTS	192	Mon	Tue 2		[Gantt bar spanning from Mon 2005 to Tue 2006]			
24	AIR CONDITION	231	Mon 2	Mon 1		[Gantt bar spanning from Mon 2 2005 to Mon 1 2006]			
26	SDH PACKAGE	755	Mon 5	Fri 2		[Gantt bar spanning from Mon 5 2005 to Fri 2 2006]			
33	PAX PACKAGE	532	Mon 7	Tue 20		[Gantt bar spanning from Mon 7 2005 to Tue 20 2006]			
35	OPGW CABLE PACKAGE 3	216	Mon	Mon 2		[Gantt bar spanning from Mon 2005 to Mon 2 2006]			
38	OPGW INSTALLATION PACKAGE	402	Mon	Tue 13		[Gantt bar spanning from Mon 2005 to Tue 13 2006]			
40	ROUTER PACKAGE (Optional)	365	Mon 2	Fri 2		[Gantt bar spanning from Mon 2 2005 to Fri 2 2006]			

Treba napomenuti da su svi planovi realizacije bazirani na organizaciji EPS-a kao jedinstvenoj celini. U međuvremenu je izvršena reorganizacija elektroprivrede što će imati određenog uticaja na planirana rešenja u projektu.

3. PREGLED AKTIVNOSTI NA REALIZACIJI OPTIČKE MREŽE

Telekomunikaciona mreža prenosa se zasniva na primeni OPGW kablova na dalekovodima visokog napona. Optika je medijum prenosa koji pored nespornog kvaliteta pri prenosu signala daje velike mogućnosti budućeg proširenja kapaciteta. Iskustva drugih elektroprivreda u svetu, u kojima je svakako najrasprostranjenija primena OPGW tehnologije, potvrđuje ovakvo opredeljenje.

Kapacitet OPGW kabla u mreži je po pravilu 48 vlakana. Povećani broj vlakana ima mali uticaj na cenu kabla, ali istovremeno obezbeđuje dovoljan kapacitet za sve buduće telekomunikacione potrebe u dužem vremenskom periodu. Struktura OPGW kablova je mešovito tipa, 24 vlakna su tipa ITU-T G.652, a drugih 24 su tipa ITU-T G.655B. Primena optičkog vlakna tipa ITU-T G.655B je posebno značajna jer obezbeđuje prednosti u primeni DWDM tehnologije u mreži za eventualne potrebe velikih kapaciteta prenosa.

Na slici 1 prikazana je fizička struktura mreže EPS-a bazirana na korišćenju OPGW kablova. Prilikom definisanja dinamike realizacije pošlo se od principa da treba prvo doći do svih lokacija i susednih elektroprivreda topologijom stabla a onda, u kasnijim fazama, realizovati zatvaranje fizičkih prstenova u cilju povećanja pouzdanosti rada celokupne mreže.

Trenutno u telekomunikacionoj mreži prenosa EPS-a je montirano oko 1 050 km OPGW kabla na dalekovodima 400 kV, 220 kV i 110 kV naponskog nivoa. Nabavljeni su i instalirani OPGW kablovi visokog kvaliteta koje su proizvele vodeće svetske kompanije u ovoj oblasti.

Deo postojeće OPGW mreže je realizovan iz sopstvenih sredstava EPS-a 2003. godine kada je instaliran OPGW kabl na pravcu od DC EPS preko elektro-energetskih objekata na području Obrenovca sve do HE Bajina Bašta. Iste godine je instaliran i OPGW kabl na pravcima prema Mađarskoj i Hrvatskoj elektroprivredi. Posle izvedenih radova, opsežna optička merenja karakteristika vlakana su urađena u zimskom i letnjem periodu i dobijeni rezultati su potvrdili visoki kvalitet instaliranih optičkih kablova.

U toku 2005. godine je realizovano oko 600 km OPGW kablova u okviru prve faze projekta na prav-

cima prema Rumunskoj i Bugarskoj elektroprivredi. Instaliran je OPGW kabl koji je ispunio zahtevane, veoma stroge optičke i elektro-mehaničke uslove, s obzirom da je instalacija ovog kabla bila na veoma važnim dalekovodima 400 kV koji se jednim delom nalaze u veoma složenim geografskim i klimatskim uslovima. Konstrukcija dominantnog tipa OPGW kabla koji je primenjen u prvoj fazi projekta je prikazana na slici 2. U pitanju je konstrukcija sa centralnom aluminijumskom cevčicom u kojoj se nalaze optička vlakna. Osnovne optičke karakteristike vlakana su date u sledećoj tabeli 2.

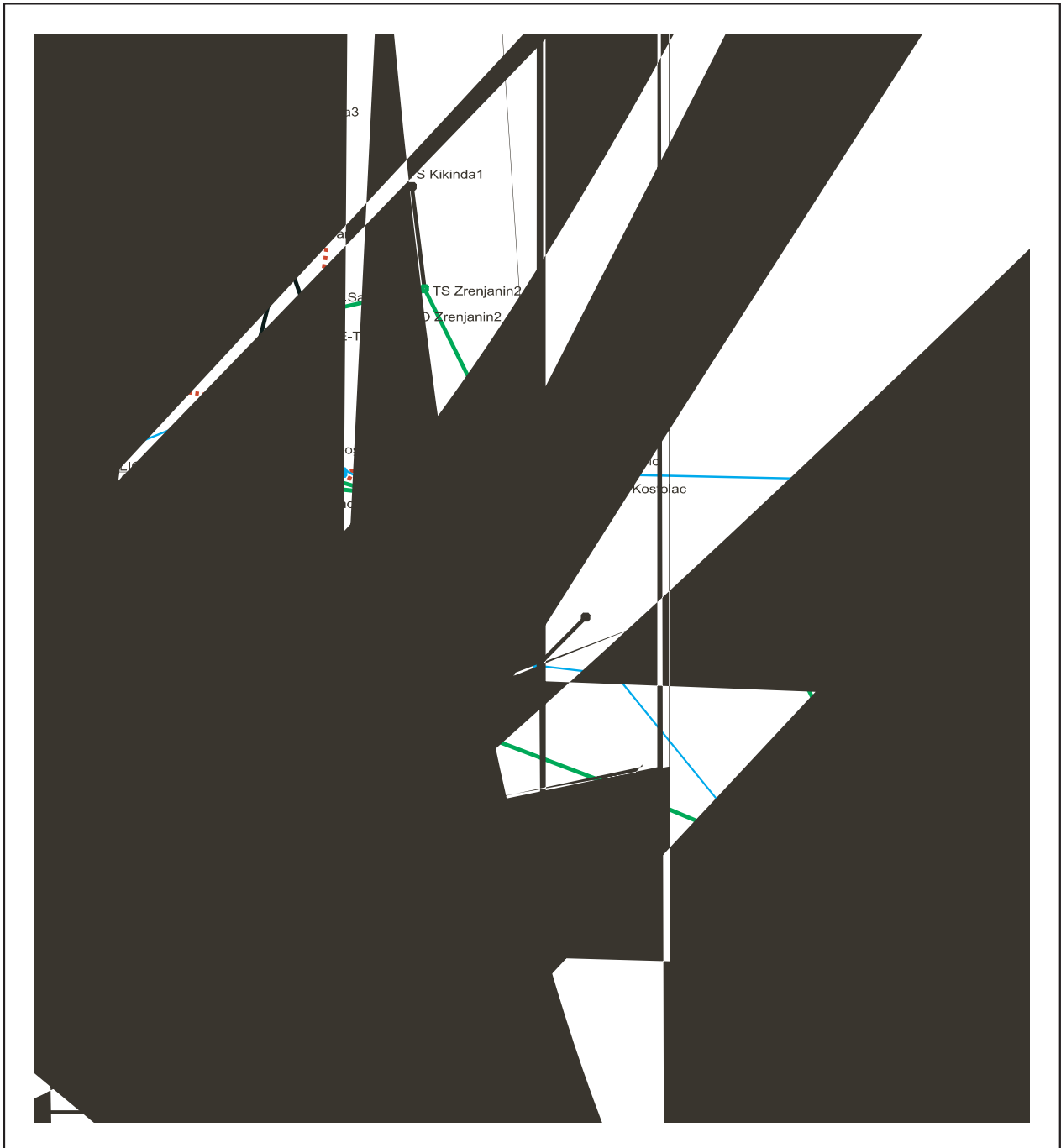
Tabela 2.
Karakteristike instaliranih optičkih vlakana

Optičke karakteristike	Vlakno G.652	Vlakno G.655
Slabljenje (1 310 nm) (1 550 nm)	$\leq 0,35$ dB/km $\leq 0,22$ dB/km	0,22 dB/km
Hromatska disperzija (1 550 nm)	≤ 18 ps/(nm*km)	(1-10) ps/(nm*km) za opseg λ (1 535 -1 565) nm
Disperzija polarizacionog moda	$\leq 0,2$ ps/ $\sqrt{\text{km}}$	$\leq 0,2$ ps/ $\sqrt{\text{km}}$

Kompletna optička deonica se sastoji i od privodnih nemetalnih optičkih kablova za povezivanje OPGW kabla završenog na portalu do optičkog razdelnika u komandnim zgradama na krajevima deonice. Privodni kabl je konstrukcije sa dvostrukim omotačem i zaštitnim slojem staklenih vlakana za zaštitu od glodara i sa identičnim vlaknima kao što su primenjeni u OPGW kابلu. Na krajevima optičke deonice, u okviru optičkog razdelnika, su instalirani optički konektori tipa E2000/APC sa slabljenjima konektorskog spoja manjim od 0,3 dB i slabljenjem povratne refleksije većim od 65 dB.

Izvođenje radova na instalaciji OPGW kablova je počelo u junu 2005. godine i trajalo je sve do početka novembra 2005. godine. Ovaj posao je organizovan u dva lota i poveren je dvema firmama. Termini isključenja predmetnih dalekovoda su bili vezani za dogovore na međunarodnom nivou u okviru UCTE i rokovi za izvođenje radova su morali da strogo prate dogovorenu dinamiku realizacije.

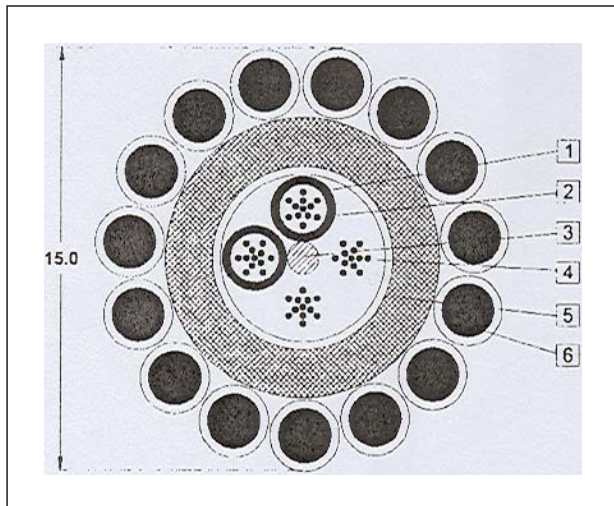
Za uspešno odvijanje ovog složenog i multidisciplinarnog projekta bila je neophodna pažljiva svakodnevna koordinacija i tesna saradnja svih učesnika u poslu. Pored izvođača radova i rukovodioca projekta sa strane EPS-a, tu su bili i predstavnici dispečerskog centra, kao i predstavnici EMS-a, koji su vršili nadzor nad izvođenjem radova. Radovi su bili uslovljeni i stanjem u elektroenergetskom sistemu,



zbog čega su nekada morali biti prekinuti na kraće vreme da bi se kasnije nastavili.

Potrebno je bilo i rešavati probleme isključenja prilikom ukrštanja dalekovoda sa železnicom, autoputem ili prilikom isključenja distributivne mreže kada su potrošači električne energije ostajali bez struje. Dodatno opterećenje za izvođače radova na nekim dalekovodima je bilo to što su zajedno sa montažom OPGW kabla morali da zamene u istom vremenskom roku i zemljovodno uže po drugom vr-

hu dalekovoda. U cilju završavanja predviđenog posla u okviru dogovorenih termina na nekim deonicama su instalaciju OPGW kabla morala da rade dva tima za izvođenje radova sa po dva para vučnih i kočionih mašina. Zbog kašnjenja u isporuci spojne opreme nije bilo moguće završiti instalaciju OPGW kablova na dalekovodima br. 436 TS Obrenovac A - TS Kragujevac 2 i br. 402 HE Đerdap 1 - TS Bor 2 i ovi dalekovodi su prebačeni u plan za radove u ovoj godinu.



1. Cevčice za slobodno smeštanje optičkih vlakana;
2. Optička vlakna;
3. Centralni noseći element;
4. Zaštitni omotač;
5. Aluminijumska cevčica i
6. ACS žice.

Slika 2. Konstrukcija dominantnog tipa OPGW kabla

Godine 2006. je nabavljeno novih 900 km OPGW kabla za drugu fazu projekta. Planirani početak radova je 10. april i radovi na instalaciji OPGW kablova će trajati do novembra meseca ove godine. Proizvođač OPGW kablova je renomirana kompanija u ovoj oblasti.

4. KONCEPCIJA I PLAN IZGRADNJE SDH MREŽE

Zbog neodložnih potreba povezivanja na UCTE izvršeno je opremanje telekomunikacionih čvorišta na pravcima prema Hrvatskoj, Mađarskoj i Bajinoj Bašti uređajima kapaciteta STM-1. Njihov dosadašnji rad je pokazao visok kvalitet i pouzdanost izgrađene mreže i omogućio siguran rad postojećem sistemu dispečerskog upravljanja, kao i primenu novog SCADA sistema (donacija SECO).

Krajem prošle godine je objavljen i tender za nabavku SDH uređaja, fleksibilnih multipleksera, sistema za upravljanje mrežom, sistema za sinhronizaciju, prateće opreme, servisa i ovaj postupak je još uvek u toku. Tenderska dokumentacija za nabavku telekomunikacione opreme je zasnovana na Idejnom projektu magistralne ravni telekomunikacione mreže prenosa EPS-a i novim podacima po pitanju potrebnih komunikacionih kapaciteta koji su dobijeni iz posebnog projekta pod imenom "Plan prosleđivanja kanala u magistralnoj telekomunikacionoj mreži Elektroprivrede Srbije" koji je urađen na osnovu an-

ketiranja stvarnih potreba u EPS-u. Na osnovu ovih podataka su precizno definisani načini povezivanja funkcionalnih mreža u EPS-u.

Osnovni princip tehničkog rešenja predstavlja korišćenje SDH uređaja nove generacije (NG SDH). Korišćenjem takvih uređaja moguće je realizovati topologiju mesh tipa što odgovara i stvarnoj topologiji mreže EPS-a predstavljenoj na slici 1. Pošto se radi o mreži koja treba da reši sadašnje i buduće potrebe EPS-a, bilo je potrebno predvideti da svi uređaji budu modularnog tipa i proširivi čime će se omogućiti fleksibilnost i lako širenje mreže kada se za tim pojavi potreba. Takođe je u jednom delu mreže predviđena nabavka i korišćenje DWDM sistema po posebnom paru vlakana zbog eventualnog puštanja u rad gigabitskih kapaciteta u cilju daljeg razvoja telekomunikacione mreže EPS-a.

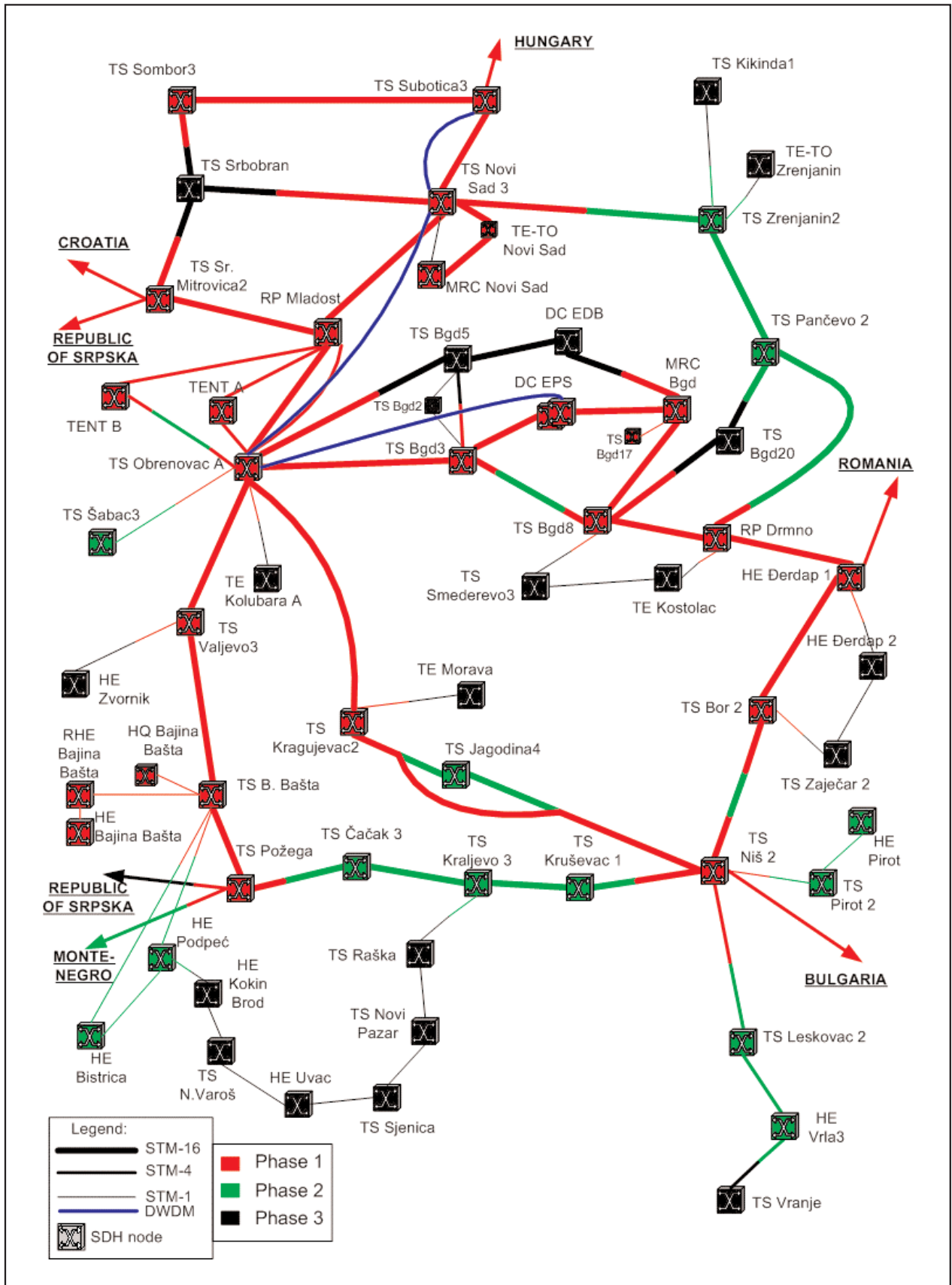
Na osnovu prethodno pomenutih ulaznih podataka odredili su se sledeći osnovni tehnički parametri SDH mreže:

- protoci na glavnim linkovima moraju da budu STM-16;
- protoci ka susednim elektroprivredama moraju da budu STM-4 i
- unutar mreže EPS-a na većim linkovima će biti protoci STM-4, a na ostalim linkovima će biti STM-1.

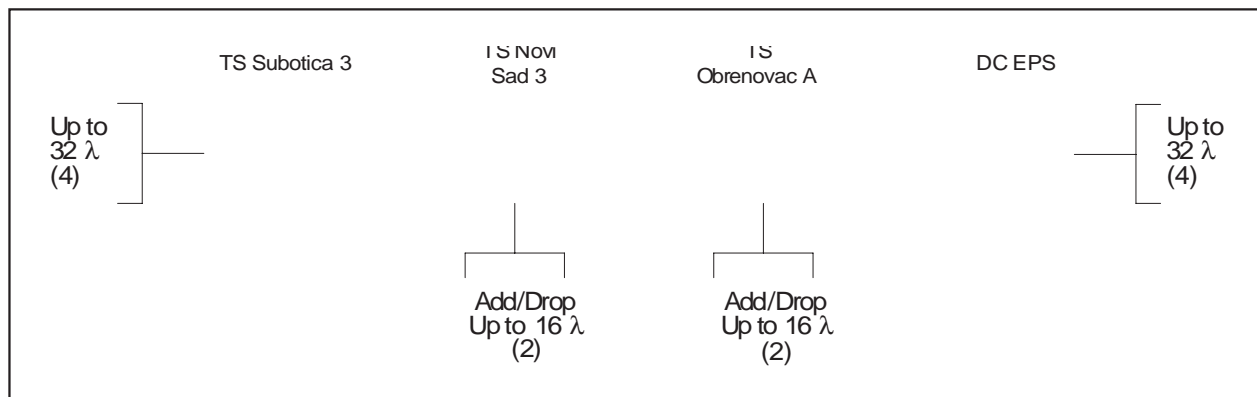
Predviđeni protoci na linkovima u mreži su određeni kao rezultat komunikacionih potreba i očekivanog povećanja saobraćaja.

Aktuelno tehničko rešenje je predstavljeno na slici 3 gde su različitim bojama predstavljene faze u realizaciji mreže. Faze u instalaciji telekomunikacione opreme su u tesnoj vezi sa fazama instalacije OPGW kablova. U prvoj fazi realizacije mreže su predviđena samo ona čvorišta koja će u tom trenutku imati instalirane OPGW kablove. Na taj način je obezbeđeno da oni čvorovi na kojima se instalira telekomunikaciona oprema mogu odmah i da se koriste. Različitim debljinom linija su predstavljeni različiti protoci na pojedinim linkovima. Plavom bojom je predstavljen DWDM podsistem koji će biti, u početku, instaliran samo u severnom delu mreže, na vezi ka Mađarskoj i dalje prema Evropi gde se očekuje najveći saobraćaj.

Prilikom definisanja potrebnih karakteristika SDH uređaja, predviđeno je da svi bitni elementi uređaja budu redundantni. To se odnosi na kontrolersku ploču, izvor takta sinhronizacije, napajanje. Imajući u vidu značaj mreže, predviđeno je da komutaciono polje (cross connect) SDH čvora bude ne blokirajuće za maksimalni kapacitet uređaja. Na taj način se obezbeđuje da mreža može da se širi bez posledica da će to izazvati probleme u rutiranju sa-



Slika 3. Arhitektura mreže



Slika 4. Izgled DWDM podsistema

braćaja. Svi uređaji moraju da imaju mogućnost daljinskog nadgledanja i upravljanja. Na taj način je obezbeđeno upravljanje celom mrežom iz jednog centra.

Pošto je topologija SDH mreže mesh tipa, to je uslovalo da i mehanizmi zaštite budu odgovarajući. S obzirom da u mreži ne postoje klasični prstenovi, nije bilo moguće koristiti ni klasične mehanizme zaštite saobraćaja. Za zaštitu saobraćaja u mesh SDH mreži koriste se 1+1 MSP (Multiplex Section Protection) i SNCP (Sub Network Connection Protection) mehanizmi zaštite. Oni obezbeđuju zaštitu saobraćaja po principu tačka-tačka, tj. između ulazne i izlazne tačke u SDH mreži.

Zbog potrebe prenosa podataka i lakše integracije LAN-ova, na svakom čvorištu će postojati i ethernet interfejs. Ovi interfejsi se mogu koristiti i za formiranje eksterne DCN mreže za nadzor i upravljanje.

Kao što je ranije spomenuto, u jednom delu mreže je predviđeno postavljanje DWDM sistema. DWDM se postavlja na potezu TS Subotica 3 - TS Novi Sad 3 - TS Obrenovac A - DC EPS. Izgled DWDM podsistema prikazan je na slici 4. Traženo je da DWDM podsistem bude proširiv do 32 talasne dužine. U početku se nabavlja sistem sa 4 talasne dužine pri čemu po svakoj talasnoj dužini prolazi 2,5 Gb/s. Na usputnim čvorovima traži se mogućnost skidanja/dodavanja do 16 talasnih dužina (u početnoj konfiguraciji 2 talasne dužine). Svaki od DWDM čvorova treba da ima optički ADM (Add/Drop Multiplexer).

Za sinhronizaciju SDH mreže predviđena je nabavka jednog PRC (Primary Reference Clock) cezi-

jumskog izvora signala takta i tri SSU (Synchronization Supply Unit) uređaja za generisanje signala takta sinhronizacije baziranog na GPS prijemu i lokalnom rubidijum-kvarcnom oscilatoru. Način realizacije je hijerarhijski, gde se signal za sinhronizaciju prostire kroz mrežu istim linkovima kojima ide i korisnički saobraćaj.

5. ZAKLJUČAK

Prva iskustva sa realizacijom privremenog rešenja dela telekomunikacione mreže (pravci prema hrvatskoj i mađarskoj elektroprivredi) su povoljna i predstavljaju podstrek za dalji rad. Projekat izgradnje novog telekomunikacionog sistema u Elektroprivredi Srbije je u toku i odvija se prema predviđenom vremenskom planu. Realizacija ovog projekta će omogućiti ispunjenje svih zahteva za prenosom telekomunikacionih signala za potrebe tehničkog i poslovnog sistema upravljanja EPS-a, dok bi se višak kapaciteta mogao koristiti za proširenje telekomunikacione mreže i zadovoljenje budućih potreba.

6. LITERATURA

- [1] IDEJNI PROJEKAT TELEKOMUNIKACIONE MREŽE PRENOSA EPS-a
- [2] PLAN PROSEĐIVANJA KANALA U MAGISTRALNOJ TELEKOMUNIKACIONOJ MREŽI ELEKTROPRIVREDE SRBIJE
- [3] BUSINESS CASE FOR THE DEVELOPMENT OF THE SYSTEM TELECOMMUNICATIONS NETWORK



Slavoљjub Lukić je diplomirao i magistrirao na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu. Od 2001. godine radi u Elektroprivredi Srbije na poslovima realizacije novog telekomunikacionog sistema. Ranije radio u Vazduhoplovnom institutu i Elektronskoj industriji. Do sada objavio oko 30 radova iz oblasti automatskog upravljanja sistemima i vodenja projekata.



Danilo Lalović je rođen 1970. godine u Banjaluci. Diplomirao je 1997. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu na Smeru za telekomunikacije. Magistrirao je 2006. godine na Ekonomskom fakultetu u Beogradu, na Smeru za međunarodne finansije. Zaposlen je u Elektroprivredi Srbije, Direkcija za strategiju i investicije, Projekat telekomunikacije u zvanju Vodećeg inženjera za telekomunikacije. Autor je više stručnih radova.



Miroslav M. Beleslin je rođen 1942. godine u Novom Sadu. Diplomirao je 1967. godine na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu, smer telekomunikacije. Zaposlen je u Elektroprivredi Srbije, Direkcija za strategiju i investicije, Projekat telekomunikacije. Bavi se problemima telekomunikacija u elektroprivredi. Autor je više stručnih radova.

Igor Jurišević,
Vladimir Stanojević i Aleksandra Ignjatović

Novi sistemi za daljinsko prikupljanje i obradu podataka sa brojila na prenosnoj mreži Srbije

Stručni rad
UDK: 621.317.58; 621.398

Rezime:

U sklopu SECO donacije Švajcarske vlade krajem 2005. godine u Direkciji za upravljanje EMS instaliran je i pušten u probni rad novi sistem za daljinsku akviziciju podataka sa brojila i obradu obračunskih podataka (SRAAMD) na tačkama primopredaje sa prenosnog sistema Srbije (proizvodnja, distribucije, direktni potrošači, interkonekcije). Jedan od osnovnih zahteva koji se postavio pred sistem je da on podržava kako postojeće uređaje za merenje energije i prikupljanje podataka - postojeća impulsna brojila i registratori ARES, tako i nove merne uređaje nabavljene tokom poslednje dve godine - brojila Actaris i Landis+Gyr i modeme SKALAR. Sistem se sastoji iz tri dela: za očitavanje brojila i uređaja za prikupljanje podataka služi aplikacija ENZ2000, za obradu prikupljenih podataka koristi se aplikacija EDW3000, dok se za razmenu i objavljivanje podataka na Internetu koristi Web aplikacija. Aplikacija ENZ2000 čita automatski brojila i uređaje za prikupljanje podataka prema unapred definisanom rasporedu poslova. Putem aplikacije EDW3000 je omogućeno izvršiti sve neophodne manipulacije nad podacima, grupisanje i klasifikacija podataka po raznim kriterijumima, testiranje verodostojnosti očitanih podataka, pravljenje izveštaja, faktura i sl. U radu je opisan princip rada SRAAMD sistema sa njegovim osnovnim logičkim, softverskim i hardverskim celinama.

Ključne reči: daljinsko očitavanje brojila, automatski obračun el. energije, AMR, SRAAMD

Abstract:

NEW SYSTEM FOR REMOTE ACQUISITION AND ACCOUNTING OF METERING DATA (SRAAMD) IN SERBIAN POWER GRID

As a part of SECO donation (donation of Swiss Government), a new System for Remote Acquisition and Accounting of Metering Data (SRAAMD) at the point of connection to Serbian Power Grid was installed and put in probation work within the Operation Department of EMS at the end of 2005. One of the basic demands for the new system is to support the AMR function toward the existing meters and data loggers - ARES, as well as new metering and communication devices acquired over the last two years - Actaris and Landis+Gyr meters and modem SKALAR. The system itself consists of three main parts: meters and data loggers are read by the application ENZ2000, data processing is performed by the application EDW3000, while the Web application is used for the exchange and broadcasting of data on Internet. The application ENZ2000 reads the meters and data loggers automatically, according to the task scheduler. Application

Igor Jurišević, dipl.ing. el., Vladimir Jurišić, dipl. ing. el., Aleksandra Ignjatović, dipl. ing. el.
- JP „Elektromreža Srbije”, 11 000 Beograd, Vojvode Stepe 412,

EDW3000 allows all necessary calculation and data handling, data aggregation and classification, data plausibility check and creation of Reports and Bills etc. In this paper, the basic principle of SRAAMD system operation is described, with all its logical, software and hardware parts.

Key words: remote meters reading, automatic accounting of electric energy, AMR, SRAAMD

1. UVOD

U sklopu SECO donacije Švajcarske vlade krajem 2005. godine u Direkciji za upravljanje prenosnim sistemom EMS instaliran je i pušten u probni rad novi sistem za daljinsku akviziciju podataka sa brojila i obradu obračunskih podataka (SRAAMD) u tačkama konekcije prenosnog sistema Srbije (proizvodnja, distribucije, direktni potrošači, interkonekcije). Nabavka i puštanje u rad ovog sistema su zaokružili postupak osavremenjivanja sistema za merenje i obračun električne energije na prenosnoj mreži Srbije, i obezbedili raspoloživost i tačnost mernih podataka o protocima i razmenama energije u meri koja je neophodna JP Elektromreža Srbije za obavljanje funkcije operatora prenosnog sistema i operatora tržišta energije.

U proteklom periodu iz nekoliko međunarodnih donacija i kredita realizovana je nabavka većeg broja uređaja i sistema za merenje električne energije na mreži prenosa Srbije. U okviru ovih projekata izvršena je nabavka 770 pouzdanih, visokopreciznih brojila električne energije klase 0,2 sa mogućnošću daljinske komunikacije po standardnim protokolima. Brojila su nabavljena u količini koja je omogućila da se pokriju sve tačke konekcije na prenosni sistem, kao i da se ostavi jedna količina brojila kao rezerva za potrebe zamene i baždarenja brojila. Trenutno smo u fazi završetka procesa instalacije ovih brojila (već je obavljeno preko 90 % planiranih instalacija).

Ugradnja i puštanje u rad savremenih brojila ne bi doneli značajniju korist po preduzeće da nije istovremeno započet rad na uvođenju novog sistema za daljinsko prikupljanje i obradu podataka sa mernih uređaja. Sistem je nabavljen od renomiranog svetskog proizvođača sistema iz ove oblasti, i trenutno se nalazi u fazi probnog rada i podešavanja parametara za puni automatski rad. Jedan od osnovnih zahteva koji se postavio pred sistem je da on podržava, pored novih mernih uređaja, i postojeće uređaje za merenje energije i prikupljanje podataka koji se koriste u našoj mreži. Takođe zahtev je bio da sistem bude modularan, da mu je jednostavna implementacija dodatnih funkcija, da isporučilac garantuje isporuku redovnih unapređenja sistema kao i da pruža nadzor i brzu podršku korisniku u slučaju problema u radu. Krajnji zahtev je bio da sistem omogućí da se svi korisnici prenosnog sistema mogu preko od-

govarajućih korisničkih šifri prijaviti na sistem i putem Interneta daljinski pregledati i preuzimati merne i obračunske podatke u vezi sa svojim razmenama energije.

Započinjanje pravog automatskog rada ovog sistema je uslovljeno postojanjem raspoloživih komunikacionih puteva prema svim elektroenergetskim objektima gde se nalaze merna mesta. Zbog nedovoljno razvijene telekomunikacione mreže u Srbiji, ovi problemi se rešavaju od slučaja do slučaja. Predviđeno je da se komunikacija sistema sa brojlilima obavlja putem optičkih provodnika kada bude završen projekat opremanja svih objekata ovim komunikacionim medijumom. Do tada na najvećem broju mernih mesta se koristi javna telefonska mreža (PSTN). Tamo gde ona nije dostupna, koristi se GSM veza. Očekuje se da će puni automatski rad ovog sistema započeti u drugoj polovini 2006. godine.

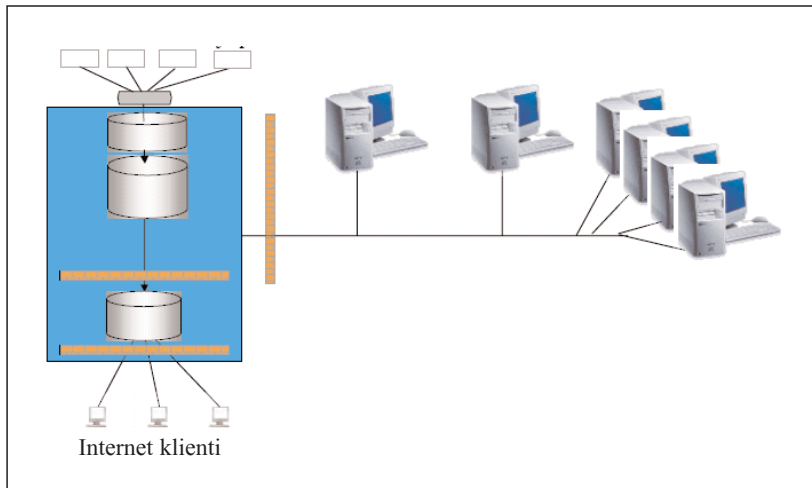
2. OSOBINE SISTEMA

SRAAMD sistem je namenjen za prikupljanje i obradu mernih podataka u cilju unutrašnjeg i međunarodnog obračuna el. energije.

Operativni sistem je Windows2003 Server, baze podataka su MS SQL2000 i MS Access. Veza sa drugim sistemima za obradu podataka se vrši preko XML ili ASCII formata podataka. Glavni delovi sistema za automatsku obradu podataka su prikazani u sledećoj tabeli:

Tabela 1.
Funkcije i aplikacije SRAAMD sistema:

Funkcija	Softverske aplikacije
Centralni komunikacioni server	SRV2000 Application Mod2000 Application ENZ2000 Client
Centralni aplikacioni server	EDW3000 Server Components
Centralni Internet server	EDW3000.Webdata Server
Radne stanice	EDW3000 i ENZ2000 Clients
Mobilni klijenti	ENZ local



Slika 1: Blok šema sistema SRAAMD

Blok šema sistema je prikazana na slici 1.

Sa slike 1 se vidi da sistem ima tri osnovne funkcije:

- Skupljanje podataka (ENZ2000),
- Obrada podataka (EDW3000) i
- Objavljivanje mernih podataka i rezultata obračuna (Web server).

Glavni zadatak prve funkcije jeste da prikuplja podatke sa mernih tačaka. U cilju konfiguracije i nadzora sistema, na svakoj radnoj stanici se instalira po jedan ENZ2000 klijent. Skupljanje podataka sa svih brojila i registratora podataka se obavlja potpuno automatski, prema unapred programiranom rasporedu i komunikacionim kanalima (PSTN, GSM, Ethernet). Pročitani podaci se direktno prosleđuju centralnom EDW3000 sistemu.

Drugu funkciju obavlja EDW3000 koji omogućava sve neophodne manipulacije nad prikupljenim podacima, kao što su grupisanje podataka, testiranje verodostojnosti očitanih vrednosti, zamena nedostajućih vrednosti, izrada faktura, razmena sa drugim sistemima i pravljenje raznih izveštaja. Automatski se ispituje i celovitost primljenih podataka i kreira lista brojila sa kojih nedostaju informacije. Korisnici pristupaju podacima sa EDW3000 sistema preko klijent konekcije. Na taj način mogu da pokrenu bilo koju akciju ili izveštaj za koji imaju prava pristupa.

Treća funkcija se ostvaruje tako što se svi podaci o merenjima i rezultati obračuna objavljuju na WEB serveru tako da se svaki korisnik prenosnog sistema može prijaviti na sistem daljinski i preuzeti sve podatke za koje ima pravo pristupa.

Sistem može da očitava svih 600 mernih tačaka, uzimajući pri tome u obzir da se sva brojila mogu očitati u periodu od 4 sata. Sistem za arhiviranje podataka je u stanju da u bazu podataka skladišti 3 000 dijagrama opterećenja (merjenih ili izračunatih) sa

rezolucijom od 15 minuta i neograničeni broj izračunatih registara barem za tri godine.

Podacima koji su jednom sačuvani u sistemu se dalje može pristupiti u zavisnosti od prava pristupa korisnika.

3. APLIKACIJA ENZ2000

ENZ2000 je program za automatsko očitavanje brojila zasnovan na klijent-server arhitekturi. Akvizicija podataka predstavlja prvi nivo sistema. Radi pod operativnim sistemom Windows2000 ili novijim, upravlja i nadgleda akviziciju podataka sa brojila i formira Access bazu

podataka na serveru. Arhitektura sistema koristi standardne mogućnosti za povezivanje koje nudi Windows2000. Podržane su i WAN i LAN konekcije, a takođe je podržan i Majkrosoftov RAS (Remote Access Service).

ENZ2000 je 32-bitna aplikacija. Ova arhitektura podržava onoliko klijenata koliko je potrebno za svakodnevne AMR poslove. Zajedničkoj bazi podataka može istovremeno pristupiti do 64 korisnika, čime upravlja DB server. Na nivou klijenta, obrada podataka je minimizirana da bi se smanjio protok podataka kroz mrežu. Tako svim izabranim operacijama i obradama podataka upravlja DB server (SRV2000), svodeći klijenta manje-više na pretraživača podataka.

U slučaju istovremenog rada više klijenata, oni mogu simultano zahtevati rad na istim podacima. Da bi osigurao ovaj pristup, ENZ2000 vrši sve neophodne sigurnosne provere. Program sledi logiku rada Windows2000, što znači da su organizacija ekrana i sve prečice koje važe u Windows2000, podržane i ovde.

Druga važna karakteristika omogućava da korisnik izabere automatsku akviziciju i eksport podataka, u unapred zadatim vremenima i intervalima. Ovo omogućava automatizaciju pripreme podataka za fakturisanje ili prikazivanje. Potom, ENZ2000 omogućava direktnu analizu podataka i obradu dijagrama opterećenja. Ukratko, ENZ2000 Klijent-Server arhitektura je najjača osobina aplikacije. Zapravo, ovo omogućava da se ista aplikacija može instalirati na nezavisnom PC-u, ili na mrežnoj konfiguraciji sa nekoliko klijenata i modem servera.

ENZ2000 sistem se sastoji od tri potprograma:

- Data base server SRV2000
- Modem server MOD2000
- Client ENZ2000

DB server je srce sistema. Odavde se kontrolišu svi pristupi bazi podataka, komunikacije i rad radnih stanica. ENZ2000 ima jednu bazu podataka kojoj istovremeno može pristupiti nekoliko (do 64) korisnika, što zavisi od broja licenciranih korisnika.

Softver koji radi kao DB server upravlja svim operacijama koje se tiču skladištenja, manipulacijama i prikazivanjem podataka. Glavne karakteristike sistema su:

- Standardni SQL database interfejs (DAO - data access object)
- Funkcija učitavanja fajla. Podržava (između ostalih) sledeće formate:
- Landis & Gyr ZMQ and ZMD
- Siemens LSV-1
- Actaris SL7000
- ARES format
- Funkcija upisivanja u fajl:
- ASCII format
- XML format
- Upravljanje do 2 GB podataka.

Operacije čitanja podataka ili generisanje izveštaja se vrše automatski. U instaliranom sistemu SRAAMD, podaci se prenose u EDW3000. Tokom akvizicije podataka DB server radi kao klijent modem servera, tako što šalje zahteve za očitavanje i čeka odgovore. Prevođenje očitanih (sirovih) podataka u interni DB format vrši DB server kad dobije podatke sa modem servera. Podržani su merni uređaji od raznih proizvođača brojila. Ova lista nije ograničena i u nju se po potrebi mogu dodavati novi uređaji. Na zahtev EPS-a, sistem je prilagođen i ARES-u (registrator podataka koji proizvodi Institut Mihajlo Pupin - protokol IEC 870-5-102). DB server vodi računa i o redundantnosti komunikacija. U slučaju nenormalnog rada on traži moguće puteve do drugih modema ili čak i modem servera. Korisnik ima i mogućnost pravljenja rezervne kopije baze podataka, koristeći ENZ2000.

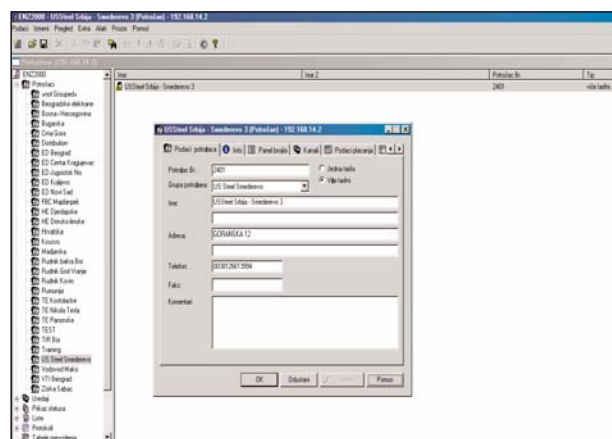
Modem server predstavlja fizičku vezu između sistema i mernih uređaja. Omogućava akviziciju podataka raznim standardnim komunikacionim kanalima. Takođe vrši on-line validaciju sirovih podataka i njihov prenos do DB servera. U sistemu SRAAMD u EMS-u je instalisan jedan modem server, što omogućava korišćenje do 16 modema. Rad modem servera je kontrolisan od strane DB servera. ENZ2000 modem server upravlja dinamičkom alokacijom poziva prema raspoloživim prenosnim putevima. ENZ2000 podržava sledeće komunikacione kanale:

- PSTN
- ISDN
- GSM/GPRS
- Internet/Intranet (Ethernet)

Upravljanje greškama u komunikacijama omogućava ne samo da se kreira lista alarma gde akvizicija nije uspeła, već i da se neuspele komande stave u bafer, što omogućava njihovu analizu. Time se ove komande mogu izvršiti pojedinačno, zajednički ili se mogu ponoviti veći broj puta.

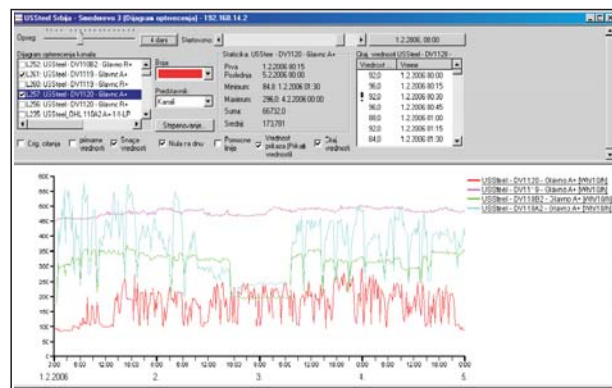
Klijent ENZ2000 je program koji omogućava korisniku, u zavisnosti od njegovih prava, kompletn pristup aplikaciji. Putem njega korisnik podešava sve performanse sistema za čitanje, modem server, brojila kojima aplikacija upravlja i proverava rezultat očitavanja (kompletnost podataka).

Tipičan prozor klijenta ENZ2000 je prikazan na sledećoj slici:



Slika 2. Klijent ENZ2000

ENZ2000 klijent omogućava razne analize i vizualizaciju izmerenih podataka. Korisnik može videti i odštampati sva očitavanja registara koja su potrebna potrošaču. Što se tiče dijagrama opterećenja, oni se mogu prikazati paralelno, mogu se vršiti aritmetičke operacije, porediti različiti intervali snimanja ili kombinovati dijagrami sa različitim brojila. Tipičan primer je pokazan na sledećoj slici:



Slika 3. Primer očitanih dijagrama opterećenja u zadatom intervalu

4. APLIKACIJA EDW3000

Program EDW3000 služi za prikupljanje mernih podataka sa drugih sistema, uglavnom sa sistema za daljinsko očitavanje brojila. Ulazni podaci se onda proveravaju, kompletiraju a ako je neophodno i koriguju, zatim se snimaju u željenom formatu i prosleđuju drugim sistemima na dalju obradu. Funkcije koje nudi EDW3000 su:

- Administracija mernih tačaka
- Upravljanje podacima
- Provera ispravnosti podataka
- Korekcija podataka
- Obrada, računanje, tarifikacija i grupisanje podataka u skladu sa obračunskom regulativom
- Upravljanje prikazivanjem podataka, administracija prenosa podataka i njihova distribucija

EDW3000 može da radi sa sledećim podacima sa brojila:

- Identifikatori (oni definišu potrošača i mernu tačku, npr. ETSO kod i sl.)
- Dijagrami opterećenja (obično su to 15-minutne snage, a sadrže i informacije statusa i validnosti)
- Registri (obično sadrže energije)
- Datum i vreme (uvek se čuva zajedno sa podacima)

Pomoću registara se može proveriti da li su dijagrami opterećenja pravilno očitani.

Funkcionalnost EDW3000 se zasniva na potpuno automatizovanom nizu poslova koji se sastoji od osnovnih operacija (job steps). Podaci dobijeni iz jednog koraka se mogu preneti u sledeći. Pri tome se kontroliše kompletnost operacija. U slučaju operacija koje mogu uzrokovati promenu vrednosti ili statusa podataka, DB će prvo sačuvati originalne vrednosti, a zatim omogućiti njihovu dalju obradu.

Unos podataka u EDW3000 se može izvršiti na sledeće načine:

- Iz raspoloživih fajlova (XML, MSCONS, registri)
- Iz drugih sistema (kontrolni sistemi kao što je SCADA, EDM, MMS...)
- Ručno

Razmena podataka između ENZ2000 i EDW3000 se vrši u XML formatu. Učitavanje podataka iz ENZ2000 fajlova u EDW3000 sistem se može vršiti na sledeće načine:

- u unapred definisano vreme;
- pri nekom događaju (Event-Driven) i
- ručno: klijent inicira unos

Pri prenosu podataka iz ENZ2000 u EDW3000, prenose se samo oni podaci koji nisu ranije eksportovani iz ENZ2000, čime se štedi na vremenu.

U cilju otkrivanja neregularnog rada sistema, EDW3000 omogućava proveru verodostojnosti mernih podataka u nekoliko koraka:

- Kompletnost podataka

– Zamena podataka

– Provera ispravnosti i realnosti podataka

Za vreme provere kompletnosti podataka, EDW3000 proverava da li su svi podaci u datom mernom periodu raspoloživi ili neki podaci nedostaju. Podaci sa vrednošću „510” su validni sa tačke gledišta kompletnosti. Sistem pravi datoteku ulaza o rezultatima i informiše korisnika koja merna tačka i koji podaci nedostaju. Takođe, moguće je automatski pokrenuti ENZ2000 radi ponovne akvizicije podataka koji nedostaju.

Na osnovu dijagrama opterećenja i definisanih parametara mogu se izračunati energije po tarifama. Tarifni registri se u sistemu vode kao izračunati registri (calculated registers), na osnovu izmerenog ili izračunatog dijagrama opterećenja. Korisnik može kreirati promenljive tarifne šeme sa rezolucijom promene tarife od čak 15 min, sa proizvoljnim brojem tarifa, kako za vikende, tako i za praznike.

Iz EDW3000 podaci se mogu eksportovati i distribuirati na razne načine. Izlazne liste se mogu ograničiti da sadrže samo vrednosti potrebne za fakturisanje, ili samo one u čiju se verodostojnost sumnja, ili pak one čije je merenje imalo nekih smetnji. Takođe, podaci se automatski ili ručno mogu poslati pojedinim partnerima preko e-maila, FTP-a i sl.

4.1. EDW3000 Arhitektura

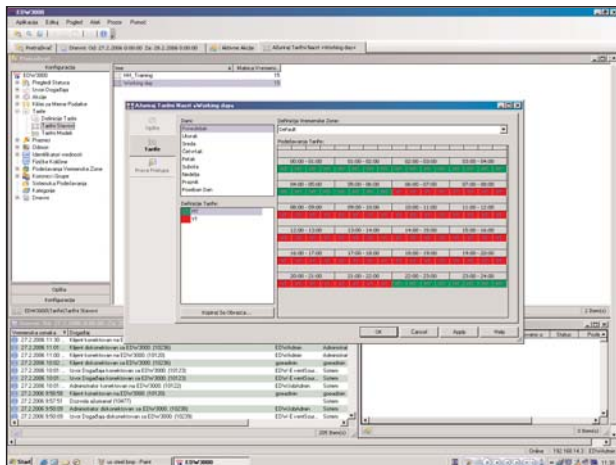
Prema Microsoft Business COM+ object model specifikacijama, EDW3000 je distribuirani procesni sistem. To je klijent/server sistem koji podržava distribuirane procese i aplikacije. Osnovu sistema čini nenamenska server aplikacija koja neprekidno obavlja sistemске procese i kontrolu, a takođe održava jednu ili više konekcija sa bazom podataka. Svi pristupi sistemu ili bazama podataka se kontrolišu preko centralnog servera.

Pristup klijenata se može usmeriti preko Interneta na neki od servera EDW3000, koji je odvojen firewallom i koji namerno ima redukovana prava u mreži, dok se interfejs prema obračunskom sistemu vrši preko unutrašnjeg servera preduzeća bez ikakvih ograničenja. Ove specifikacije se u EDW3000 zovu pravila (RULES). EDW3000 omogućava slobodan, ali kontrolisan pristup softverskim aplikacijama trećeg lica preko API (application interface). Svaka aplikacija, koja podržava COM+ objekte ili VBA skripte može da pristupa EDW3000.

Prijavlivanje na sistem se sastoji iz dva dela: prvo se korisnik prijavljuje na domen ili na lokalni računar gde je instaliran EDW3000. Na taj način samo registrovani korisnici imaju pristup. Drugo, autentičnost korisnika se potvrđuje preko njegove lične lozinke na EDW3000. Tek posle ovoga, moguća je konekcija sa serverom.

4.2. Funkcije

Osnovne funkcije EDW3000 su administrativne i analitičke aplikacije.



Slika 4. Primer EDW3000 komandnog prozora

Administrativne aplikacije	Analitičke aplikacije
Konfiguracija poslova	Prikaz dijagrama opterećenja
Podešavanje primarnih podataka i parametara	Analiza knjige događaja sa brojila
Podešavanje pristupa računarskoj mreži	Analiza alarma i statusa
Administriranje mernih tačaka	Analiza mernih podataka
Administriranje korisnika	Kreiranje izveštaja

U cilju manipulisanja podacima kroz EDW3000, uvode se tzv. virtualna merna mesta, koja predstavljaju rezultat aritmetičkih operacija na izmerenim dijagramima opterećenja, npr. računanje potrošnje unutar neke oblasti sabiranjem svih preuzimanja i oduzimanjem svih davanja iz te oblasti. Virtualna merna mesta u kontekstu deregulisanog tržišta mogu sadržati ukupnu isporučenu energiju koju daje jedan učesnik na tržištu u nekom delu zemlje. Takođe se mogu vršiti i balansni proračuni u cilju obračuna planiranih i neplaniranih razmena.

Standardna mogućnost je računanje registara energije, na osnovu dijagrama opterećenja, pri čemu se uvažavaju važeći tarifni stavovi. Informacije dobijene iz ovog računanja se mogu automatski eksportovati u sistem za obračun. Moguće je dobiti fakture direktno u MS Excel formi, korišćenjem odgovarajućih matrica i makroa.

Svaki izmereni ili izračunati dijagram opterećenja se dalje može analizirati i porediti npr. sa pret-

hodnim podacima na istom mernom mestu ili sa podacima na drugom mernom mestu i sl.

Podešavanje brojila (osim datuma i vremena) zavisi od programa proizvođača brojila. Za lokalno čitanje brojila, kada daljinska komunikacija nije uspešna, koristi se ENZlocal na laptop računarima. ENZlocal čuva očitane podatke sa brojila u formatu direktno kompatibilnim sa ENZ2000. Za čitanje podataka sa ARES-a, koristi se konvertor koji menja ARES-ove podatke u format koji ENZ2000 prepoznaje.

4.3. Razmena podataka sa sistemom SCADA/EMS

Informaciju o stanju dalekovoda (uključen-isključen) iz SCADA sistema je moguće preko specijalnog konvertora pridružiti dijagramu opterećenja koji se nalazi u sistemu. Ovo omogućava pregled informacija zajedno sa izmerenim podacima i proveru nultih vrednosti, tamo gde je bilo problema, sa merenjima ili „ispadom” vodova. Prikupljanje podataka od SCADA sistema se vrši svakih 15 minuta preko XML fajla. Preneti podaci se mogu koristiti kao izmerene vrednosti, za računanje, poređenje ili zamenu nedostajućih podataka. Eksport podataka u SCADA sistem je potpuno programabilan i obično se vrši na dnevnom nivou. Podaci se eksportuju u XML fajl i automatski se pokreće konvertor koji prevodi podatke u format pogodan za SCADA sistem.

4.4. Aplikacija za proračun neželjenih odstupanja razmene

Sistem omogućava i unos podataka sa raznih estimatora stanja i sistema za prognozu opterećenja (Scheduling System). Uneti podaci se tretiraju na isti način kao i izmereni podaci, a postoje posebne funkcije za poređenje prognoziranih podataka sa stvarno izmerenim vrednostima i pravljenje odgovarajućih izveštaja. Ovo se može vršiti i automatski, a obavlja se u nekoliko koraka:

- Poseban konvertor prevodi prognozirane podatke u format pogodan za EDW3000 (npr. prognozirani podaci mogu biti u Excel IPP formatu ili u XML (ETSO V2R3 format))
- Podaci se mogu unositi i ručno ili preko copy+paste iz postojećih tabela.
- EDW3000 podržava proračun 1-satne vrednosti na osnovu 15 minutnih dijagrama opterećenja
- EDW3000 računa odstupanje kao 1-satni dijagram opterećenja i smešta ga u bazu podataka. Sa ovim dijagramima je moguće raditi baš kao i sa izmerenim, npr. tabelarni ili grafički prikaz, eksport i sl.

Sistem poseduje standardnu funkciju koja omogućava razmenu podataka sa neograničenim brojem partnera. Uobičajen način razmene podataka je e-mail ili FTP. Sadržaj podataka namenjenih razmeni kao i formati ispisa se mogu lako konfigurisati u sistemu.

4.5. WEB Server za pristup podacima preko interneta

Sistem SRAAMD poseduje centralni Internet server (EDW3000.Webdata Server) kome mogu pristupiti eksterni korisnici pomoću internet pretraživača koji se oslanjaju na HTTP ili HTTPS pristupe podacima. Pristup podacima može biti ostvaren putem Interneta ili Intraneta odgovarajućim Firewall-ovima. Glavne mogućnosti korišćenja pristupa podacima putem Interneta su:

- Obezbeđivanje pristupa mernim i obračunskim podacima za zaposlene u kompaniji, koji ne poseduju klijent aplikaciju
- Obezbeđivanje pristupa mernim i obračunskim podacima za partnere na tržištu
- Uvid potrošača u sopstvene dijagrame opterećenja, vrednosti registra po svakom mestu konekcije na prenosni sistem

Prava pristupa sistemu za svakog pojedinačnog korisnika utvrđuje sistem administrator. Operativni sistem internet procedure EDW3000 je Windows2000® server ili Windows XP®. Za funkcionisanje internet server procedure neophodno je instalirati EDW3000 server i konfigurisati Microsoft® Internet Information Server© (MS IIS) kao servisnu komponentu operativnog sistema. Internet servis koristi podatke iz baze podataka EDW3000.

Pristup pretraživača klijenata može biti izvršen preko Interneta, Intraneta ili VPN (Virtual Private Network). Za zaštitu prilikom pristupanja na ovaj način, mora biti instaliran Firewall između MS IIS i pretraživača. Potrebni portovi za pristup su 80 (HTTP) i 443 (HTTPS). Firewall softver može biti instaliran na istom računaru na kome je instaliran i EDW3000 Internet server ili na drugom hijerarhijski višem računaru (što se preporučuje).

Osnovni ciklus obrade pri pristupu pretraživača se sastoji od komunikacije između pretraživača i EDW3000. Ovo se ogleda u autorizaciji pretraživača na EDW3000 Internet serveru. Ako je odgovarajuća autorizacija izvršena, EDW3000 se odaziva na

MS IIS servera, koji preko sigurnog Business COM+ object interfejsa pristupa bazi podataka EDW3000 i upitnom pretraživaču se prenose tražene stranice.

Pretraživač korisnika sa internet funkcijama može pristupiti sledećim informacijama, u okviru ograničenih prava pristupa koje poseduje:

- Fizičke ili izračunate podatke merne tačke (dijagrami opterećenja i registri)
- Grafičko i tabelarno prikazivanje jednog ili više dijagrama opterećenja radi analize
- Preuzimanje obrađenih podataka
- Organizovanje redovnog slanja podataka elektronskom poštom

Na slici 5. se vidi izgled Web portala sistema SRAAMD.



Slika 5. Web portal sistema SRAAMD

Da bi ostvario pristup sistemu SRAAMD preko Interneta, novi potrošač/korisnik se mora prvo registrovati kod administratora sistema, koji mu potom dodeljuje odgovarajuća prava pristupa podacima.

5. ZAKLJUČAK

U radu je opisan novi SRAAMD sistem koji je krajem 2005. godine instaliran u sistemu EMS-a. Puštanje u rad ovog sistema omogućava potpuno automatsko očitavanje brojila kao i obračun i fakturisanje mernih podataka. U odnosu na ručno očitavanje brojila, sistem isključuje ljudsku grešku čime se dobija veća tačnost podataka. Svi izveštaji, obračuni i fakture se generišu odmah po prikupljanju svih relevantnih podataka, što znači da se već prvog dana u mesecu može imati tačan iznos potrošnje iz prethodnog meseca po svim potrošačima i distribucijama, kao i informacija o mesečnim razmenama sa susednim sistemima u interkonekciji. Izveštaji se ta-

kode mogu generisati na proizvoljnom vremenskom horizontu, što otvara čitavu lepezu novih analitičkih mogućnosti. Potpuni automatski rad sistema se očekuje uvođenjem direktnih komunikacionih kanala do svih objekata EMS-a. Redundantnost podataka se obezbeđuje preko veze sa SCADA sistemom ili sa sistemom za estimaciju stanja. Zbog svega navedenog se očekuje da će prikazani sistem poboljšati kvalitet i brzinu obračunskih usluga u skladu sa UCTE standardima.

6. LITERATURA

- [1] Gorlitz Schweiz AG: Application Software, Zug, Switzerland, 2005.
- [2] Gorlitz Schweiz AG: AMR System ENZ2000, Zug, Switzerland, 2004.
- [3] Gorlitz Schweiz AG: EDW3000 Product Manual, Zug, Switzerland, 2005.
- [4] UCTE Operation Handbook - Policy 2: Scheduling and Accounting, 2004, korisna adresa: www.ucte.org

Rad je primljen u uredništvo 09. 08. 2006. godine



Igor Jurišević je rođen 1966. godine u Beogradu. Diplomirao je 1992. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu i iste godine se zaposlio u JP Elektroprivreda Srbije u Službi za merenje i obračun. U proteklom periodu obavljao je brojne poslove iz oblasti merenja električne energije u prenosnoj mreži Srbije, i poslove u vezi sa obračunom i analizom potrošnje električne energije prema potrošačima na visokom i srednjem naponu. U periodu 2003-2005. godine vodio je projekte finansirane od strane Svetske Banke i švajcarske vlade (SECO) za nabavku visokopreciznih mernih uređaja za potrebe merenja energije i snage na visokom naponu i sistema za daljinsko prikupljanje podataka sa mernih uređaja u Srbiji. Trenutno obavlja funkciju Rukovodioca Službe za obračun prometa energije i usluga u Direkciji za upravljanje prenosnim sistemom JP Elektromreža Srbije. Član je nekoliko radnih grupa, a pored ostalih KSN13 - Oprema za merenje električne energije, i KSN57 - Upravljanje i komunikacije u EES u Zavodu za standardizaciju Srbije. Učestvovao je u radnoj grupi koja je pisala tehničke preporuke i standarde na temu Obračunskog merenja na mreži prenosa Srbije, a bio je i član radne grupe koja je uradila predlog srpskog Pravilnika prenosne mreže. Autor je više od 10 radova na domaćim i međunarodnim konferencijama.



Vladimir Stanojević (1970, Beograd), diplomirao 1998. godine i magistrirao 2006. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu. Od 1998-2005. godine radi kao dispečer u nacionalnom dispečerskom centru Elektroprivrede Srbije, a onda prelazi na mesto inženjera za daljinsko očitavanje brojila i akviziciju podataka u Elektromreži Srbije.



Aleksandra Ignjatović je rođena 1978. godine u Raški. Diplomirala 2004. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, smer elektroenergetski sistemi. Od septembra 2005. radi u Elektromreži Srbije i od novembra 2005. godine je upisana na magistarske studije na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, smer elektroenergetske mreže i sistemi.



Uvodna reč

Od 17 do 20 oktobra 2006. godine, održano je na Zlatiboru II Regionalno savetovanje o elektrodistributivnim mrežama - JUKO CIRED, odnosno V Savetovanje o elektrodistributivnim mrežama JUKO CIRED.

Ovom prilikom JUKO CIRED komitet Srbije i Crne Gore u saradnji sa CIRED komitetima Rumunije i Makedonije, kompanijama i ekspertima iz Bosne i Hercegovine i drugih zemalja regiona, organizovao je drugo Regionalno (peto po redu, od kada je konstituisan JUKO CIRED) savetovanje o elektrodistributivnim mrežama. Savetovanje je i ovaj put opravdalo epitet najznačajnijeg skupa iz oblasti distribucije električne energije, ne samo u Srbiji već i u regionu, što su potvrdili kvalitet i veliki broj prezentovanih radova, kao i veliki interes stručnjaka, poslovnih ljudi, sponzora i izlagača koji su učestvovali na konferenciji.

Samom savetovanju je prisustvovalo oko 700 učesnika, stručnjaka i poslovnih ljudi iz Srbije, Crne Gore, Rumunije, Bosne i Hercegovine, Makedonije, Hrvatske, Slovenije, Švedske i drugih zemalja. Stručni rad na savetovanju odvijao se kroz trodnevni rad šest stručnih komisija, na kojima je ukupno razmatrano 107 stručnih referata, ne računajući izlaganja na okruglim stolovima.

Na samom savetovanju, razmatrane su aktuelne teme svrstane u 6 stručnih komisija:

STK-1 ELEKTRODISTRIBUTIVNA POSTROJENJA I VODOVI

STK-2 KVALITET ELEKTRIČNE ENERGIJE U ELEKTRODISTRIBUTIVNIM SISTEMIMA

Introductory word

From October 17-20, 2006, the second Regional Conference on Electricity Distribution – JUKO CIRED, that is the fifth conference on Electricity Distribution JUKO CIRED, was organized on Zlatibor.

On that occasion JUKO CIRED committee of Serbia and Montenegro, in cooperation with CIRED Committees of Romania and Macedonia, as well as with companies and experts from Bosnia and Herzegovina and other countries in the region, organized the Second Regional Conference (the fifth one since JUKO CIRED has been established) on the Electricity Distribution. The Conference, this time, too, proved to be the most significant gathering in the field of Electricity Distribution, not only in Serbia but in the region as well, which has been confirmed by the quality and a large number of presented works, as well as by the great interest shown by experts, businessmen, sponsors and exhibitors that participated in the Conference.

The Conference itself was attended by 700 participants, experts and businessmen from Serbia, Montenegro, Romania, Bosnia and Herzegovina, Macedonia, Croatia, Slovenia, Sweden and other countries. The expert activities at the Conference were carried out in three days' work within six expert committees, where 107 papers were discussed, not including presentations at the round tables.

Relevant subjects split in six expert committees were discussed at the conference:

STK 1 - ELECTRICITY DISTRIBUTION UTILITIES AND TRANSMISSION LINES

STK-3 EKSPLOATACIJA ELEKTRODISTRIBUTIVNIH MREŽA

STK-4 UPRAVLJANJE I ZAŠTITA ELEKTRODISTRIBUTIVNIH SISTEMA

STK-5 DEREGULACIJA, TRŽIŠTE I EFIKASNO KORIŠĆENJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

STK-6 PLANIRANJE I RAZVOJ ELEKTRODISTRIBUTIVNIH MREŽA

Tokom rada održan je pred-seminar. Seminar je bio posvećen aktuelnim temama restrukturiranja i deregulacije elektroprivrede, uvođenju i funkcionisanju tržišta električne energije. Na seminaru su predstavljena iskustva zemalja iz regiona, a predavači na seminaru su bili ugledni stručnjaci iz zemalja regiona.

Takođe, tokom savetovanja su održana dva veoma posećena okrugla stola sa temama:

- Perspektive planiranja distributivnih mreža u uslovima privatizacije i restrukturiranog preduzeća, i*
- Aktuelni problemi obezbeđenja telekomunikacionih veza u elektrodistributivnim preduzećima.*

Oba okrugla stola su imala brojne učesnike i njihovim izlaganjima, interesovanjem i diskusijom pokazala su aktuelnost izabranih tema, kao između ostalog, i to da je donošenje zakonske regulative tokom početnih aktivnosti deregulisanja preduzeća shvaćeno kao prvi korak u dugotrajnom procesu restrukturiranja. Zaključeno je takođe da treba koristiti pozitivno iskustvo iz zemalja sa odmaklim stadijumom deregulacije ali i zemalja iz okruženja (Slovenija) kako se ne bi ponavljale uočene greške u procesu tranzicije.

U ovom broju Elektroprivreda se pruža čitaocima na uvid šest najzapaženijih radova iz šest stručnih komisija i tako samo delimično stvara sliku o radu na savetovanju.

*Pripremio:
dr Dragoslav JOVANOVIĆ,
predsednik JUKO CIRED*

STK 2 - QUALITY OF ELECTRICAL ENERGY IN ELECTRICITY DISTRIBUTION SYSTEMS

STK 3 - EXPLOITATION OF ELECTRICITY DISTRIBUTION NETWORKS

STK 4 - MANAGEMENT AND PROTECTION OF ELECTRICITY DISTRIBUTION SYSTEMS

STK 5 - DEREGULATION, MARKET AND EFFICIENT EXPLOITATION OF ELECTRICAL ENERGY

STK 6 - PLANNING AND DEVELOPMENT OF ELECTRICITY DISTRIBUTION NETWORKS

During the conference a seminar was held, consecrated to the issues related to deregulation and restructuring of power industry utilities, establishing and functioning of the electricity market. At the seminar experiences of the countries of the region were presented by renowned experts from these countries.

Also, during the conference two well-attended round tables were held with the following topics:

- Planning perspectives of distributive networks under conditions of privatization and restructured enterprise*
- Current problems in securing telecommunications connections in electrodistribution companies*

Both round tables with numerous participants that showed a great interest and delivered many presentations, have shown the actuality and essential importance of the selected subjects. They have also emphasized that, among the rest, establishing of the regulations in the course of the initial process of deregulation of electric power utilities was conceived as the first step in the long process of restructuring. It has also been concluded that positive experiences of the countries with already advanced stage of deregulation as well as those from the surrounding countries (Slovenia) should be used, in order not to repeat already noticed mistakes in the process of transition.

This edition of Elektroprivreda offers to the insight of readers six most remarkable papers from six expert committees, thus giving, only partly, an idea of work at the conference.

*Prepared by:
Dr. Dragoslav Jovanovic
President of JUKO CIRED*

Iznošenje potencijala iz TS VN/SN trofaznim vodom formiranim od tri jednožilna kabla

Stručni rad

UDK: 621.315.2; 621.316.91; 621.316.933.8; 629.7.085.23

Rezime:

U radu su analizirani uzemljivački efekti i iznošenje potencijala trofaznim vodom sastavljenim od tri jednožilna kabla. Razmatran je uticaj broja TS SN/NN koje vod napaja, kao i vrednost otpornosti uzemljivača ovih TS na veličinu iznešenog potencijala i na vrednost impedanse uzemljenja kojom se obuhvata uticaj kablovskog voda i TS SN/NN koje taj vod napaja kod proračuna uzemljenja napojne TS VN/SN.

Ključne reči: uzemljivač, kabl, električna zaštita, potencijal

Abstract:

TRANSFERRED POTENTIAL FROM SUBSTATION HV/MV
BY THREE-PHASE LINE COMPOSED OF THREE SINGLE-CORE CABLES

In this paper the grounding effects and transferred potential by three phase line composed of three single-core cables have been analyzed. The influence of the number of distribution substations which the cable line supplies, as well as the resistivity of the earth electrode of these substations on the intensity of the transferred potential and on the value of the grounding impedance that comprises the influence of the cable line and the relevant distribution substations in calculating the grounding of feeding substation, have been considered.

Key words: ground electrode, cable, electrical screen, potential

1. UVOD

U poslednje vreme sve veću primenu nalaze srednjenaponski jednožilni kablovi sa izolacijom od umreženog polietilena (npr. kablovi tipa XHE 48, XHE 49). Razlog za ovo leži u činjenici da se ovi kablovi mogu više strujno opteretiti u odnosu na kablove sa izolacijom od impregnisanog papira (npr. kablovi tipa IPO 13, NPO 13), naravno za istu vrednost poprečnog preseka provodnika. Pošto jednožilni kablovi imaju plašt od polietilena, to je sprečen kontakt

električne zaštite kabla i zemljišta u koje se kabl polaže. Ovo je potpuno različita situacija u poređenju sa kablovima tipa IPO 13 (NPO 13). Naime, kod kablova tipa IPO 13 olovni plašt i armatura dolaze u dodir sa zemljom i ponašaju se kao uzemljivači [1].

Zato se nameće potreba da se analiziraju uzemljivačka svojstva i trofaznih srednjenaponskih vodova formiranih od jednožilnih kablova. Jedan ovakav vod napaja više transformatorskih stanica srednji/niski napon (TS SN/NN) u kojima se električne zaštite kablova spajaju sa uzemljivačem transforma-

torske stanice. Na taj način povezuju se uzemljivači više TS SN/NN, te se može reći i da vod formiran od jednožilnih kablova ima određena uzemljivačka svojstva [1,2]. S obzirom da se električne zaštite kablova vezuju i za uzemljivač TS VN/SN to pri zemljospoju u ovoj transformatorskoj stanici dolazi do iznošenja potencijala u TS SN/NN. Ukoliko je u TS SN/NN spojeno radno i zaštitno uzemljenje, onda može doći i do iznošenja potencijala u instalacije potrošača.

Zbog toga se u ovom radu analiziraju uzemljivački efekti i iznošenje potencijala trofaznim vodom sastavljenim od tri jednožilna kabla. Razmatra se uticaj broja TS SN/NN koje vod napaja, kao i vrednost otpornosti uzemljivača ovih TS na veličinu iznešenog potencijala.

2. MATEMATIČKI MODEL

Matematički model za analizu uzemljivačkih efekata i iznošenja potencijala formiraće se pod sledećim pretpostavkama:

- rastojanja između susednih TS SN/NN su jednaka (računaće se sa prosečnom dužinom koja se dobija kada se ukupna dužina voda podeli sa brojem TS SN/NN koje taj vod napaja),
- impedanse uzemljenja TS SN/NN su jednake.

Imajući u vidu navedene pretpostavke može se formirati zamenska šema prikazana na slici 1. Na ovoj slici sa Z_1 je obeležena impedansa električne zaštite jednožilnih kablova između dve susedne TS SN/NN, a sa Z_2 impedansa uzemljivača TS SN/NN. Pošto se trofazni vod sastoji od tri jednožilna kabla pokazuje se [1,3,4] da se impedansa može odrediti pomoću relacije:

$$\underline{Z}_1 = \left(\frac{R_e}{3} + j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{D_{ek}}{\sqrt[3]{r_e a^2}} \right) l, \quad (1)$$

gde je:

R_e – podužna otpornost električne zaštite jednog kabla,

ω – kružna frekvencija naizmenične struje;

r_e – srednji poluprečnik električne zaštite;

a – rastojanje između osa kablova;

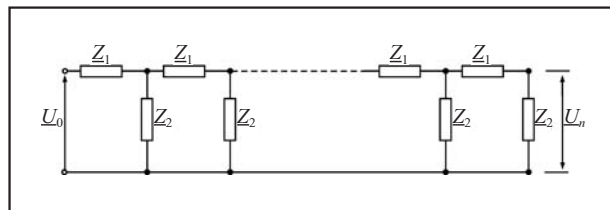
l – prosečno rastojanje između susednih TS SN/NN i D_{ek} – ekvivalentna dubina povratnog puta kroz zemlju.

Ekvivalentna dubina povratnog provodnika je funkcija specifične električne otpornosti zemlje ρ i frekvencije naizmenične struje f [1,3,4]:

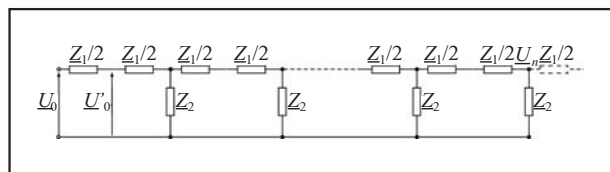
$$D_{ek} = 658 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad (2)$$

Šema na slici 1 predstavlja kaskadnu vezu n obrnutih T četvoropola. Radi jednostavnije matematičke analize pogodnije je šemu sa slike 1 transfor-

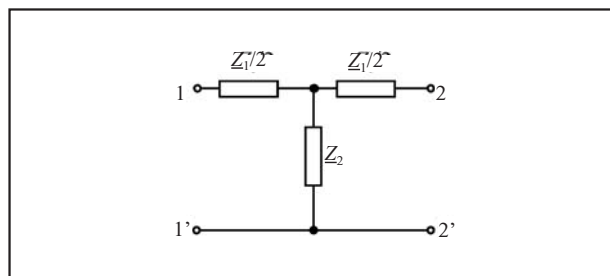
misati u šemu prikazanu na slici 2. Vidi se da ova šema predstavlja kaskadnu vezu simetričnih T četvoropola.



Slika 1. Zamenska šema za analizu uzemljivačkih efekata



Slika 2. Modifikovana zamenska šema sa slike 1



Slika 3. Šematski prikaz simetričnog T četvoropola

Za jedan T četvoropol, prikazan na slici 3, može se napisati sledeća matricna relacija [2,5]:

$$\begin{bmatrix} \underline{U}_1 \\ \underline{I}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{A} & \underline{B} \\ \underline{C} & \underline{D} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{U}_2 \\ \underline{I}_2 \end{bmatrix} = [\underline{a}] \begin{bmatrix} \underline{U}_2 \\ \underline{I}_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

gde je:

$$\underline{A} = \underline{D} = 1 + \frac{\underline{Z}_1}{2\underline{Z}_2}, \quad \underline{B} = \underline{Z}_1 \left(1 + \frac{\underline{Z}_1}{4\underline{Z}_2} \right), \quad \underline{C} = \frac{1}{\underline{Z}_2} \quad (4)$$

Pokazuje se da se veza između napona i struja na početku i kraju četvoropola može iskazati i sledećim relacijama:

$$\begin{aligned} \underline{U}_1 &= \underline{U}_2 \operatorname{ch} \underline{\gamma}_c + \underline{Z}_c \underline{I}_2 \operatorname{sh} \underline{\gamma}_c, \\ \underline{I}_1 &= \underline{U}_2 \frac{\operatorname{sh} \underline{\gamma}_c}{\underline{Z}_c} + \underline{I}_2 \operatorname{ch} \underline{\gamma}_c, \end{aligned} \quad (5)$$

pri čemu je:

$$\underline{A} = \underline{D} = ch\underline{\gamma}_c, \quad \underline{B} = \underline{Z}_c sh\underline{\gamma}_c, \quad \underline{C} = \frac{sh\underline{\gamma}_c}{\underline{Z}_c} \quad (6)$$

U napred navedenim relacijama sa \underline{Z}_c i $\underline{\gamma}_c$ obeležene su karakteristična impedansa i karakteristična konstanta prenosa, respektivno, i one iznose:

$$\underline{Z}_c = \sqrt{\frac{\underline{B}}{\underline{C}}}$$

$$\underline{\gamma}_c = \ln(\underline{A} + \sqrt{\underline{B}\underline{C}})$$

odnosno:

$$\underline{Z}_c = \sqrt{\underline{Z}_1 \underline{Z}_2 \left(1 + \frac{\underline{Z}_1}{4\underline{Z}_2} \right)},$$

$$\underline{\gamma}_c = \ln \left[1 + \frac{\underline{Z}_1}{2\underline{Z}_2} + \sqrt{\frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_2} + \left(\frac{\underline{Z}_1}{2\underline{Z}_2} \right)^2} \right] \quad (7)$$

Za n istih simetričnih četvoropola vezanih u kaskadu važi:

$$[\underline{a}] = [\underline{a}_1][\underline{a}_2][\underline{a}_3] \dots [\underline{a}_n] = \begin{bmatrix} ch(n\underline{\gamma}_c) & \underline{Z}_c sh(n\underline{\gamma}_c) \\ \frac{sh(n\underline{\gamma}_c)}{\underline{Z}_c} & ch(n\underline{\gamma}_c) \end{bmatrix} \quad (8)$$

Iz relacije (8) sledi da je karakteristična konstanta prenosa n istih simetričnih četvoropola vezanih u kaskadu n puta veća od karakteristične konstante prenosa jednog četvoropola, a karakteristična impedansa cele kaskade jednaka je karakterističnoj impedansi jednog četvoropola.

Imajući u vidu oznake na slici 2 i uvažavajući realnu činjenicu da je struja na kraju modifikovane zamenske šeme $I_n=0$, dobija se:

$$\underline{U}'_0 = \underline{U}_n ch(n\underline{\gamma}_c),$$

$$\underline{I}'_0 = \underline{U}_n \frac{sh(n\underline{\gamma}_c)}{\underline{Z}_c}, \quad (9)$$

odnosno:

$$\underline{U}_0 = \underline{U}'_0 + \frac{\underline{Z}_1}{2} \underline{I}_0 = \underline{U}_n ch(n\underline{\gamma}_c) + \frac{\underline{Z}_1}{2} \underline{I}_0, \quad (10)$$

$$\underline{I}_0 = \underline{I}'_0.$$

Konačno, pomoću prethodne relacije dolazi se do izraza koji daje vezu između napona na početku električne zaštite kablova, odnosno napona na uzemljivaču TS VN/SN i napona na kraju električne zaštite tj. na uzemljivaču poslednje n -te TS SN/NN:

$$\underline{U}_0 = \underline{U}_n \left(ch(n\underline{\gamma}_c) + \frac{\underline{Z}_1}{2\underline{Z}_c} sh(n\underline{\gamma}_c) \right) \quad (11)$$

Napon na uzemljivaču k -te TS SN/NN, gledano od napojnog kraja kabla, može se odrediti imajući u vidu jednačinu (9). S obzirom da se između k -te i poslednje n -te TS SN/NN nalazi ukupno $(n-k)$ TS SN/NN, to su napon i struja na izlaznim krajevima k -tog T -četvoropola:

$$\underline{U}'_k = \underline{U}_n ch((n-k)\underline{\gamma}_c),$$

$$\underline{I}'_k = \underline{U}_n \frac{sh((n-k)\underline{\gamma}_c)}{\underline{Z}_c}. \quad (12)$$

Sada se za napon na uzemljivaču k -te TS SN/NN dobija:

$$\underline{U}_k = \underline{U}'_k + \frac{\underline{Z}_1}{2} \underline{I}'_k \quad (13)$$

odnosno:

$$\underline{U}_k = \underline{U}_n \left(ch((n-k)\underline{\gamma}_c) + \frac{\underline{Z}_1}{2\underline{Z}_c} sh((n-k)\underline{\gamma}_c) \right) \quad (14)$$

Deljenjem napona \underline{U}_k sa naponom na početku voda \underline{U}_0 dobija se koeficijent iznešenog potencijala $\underline{K}_i(k)$ za posmatranu TS SN/NN:

$$\underline{K}_i(k) = \frac{\underline{U}_k}{\underline{U}_0}, \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (15)$$

Uvažavanjem relacija (11) i (14) za moduo koeficijenta iznešenog potencijala dobija se:

$$\underline{K}_i(k) = \left| \frac{ch((n-k)\underline{\gamma}_c) + \frac{\underline{Z}_1}{2\underline{Z}_c} sh((n-k)\underline{\gamma}_c)}{ch(n\underline{\gamma}_c) + \frac{\underline{Z}_1}{2\underline{Z}_c} sh(n\underline{\gamma}_c)} \right|, \quad (16)$$

$$k = 1, 2, \dots, n.$$

Pomoću relacija za napon i jačinu struje na početku kablovskog voda jednostavno se određuje impedansa uzemljenja, kojom se obuhvata uticaj kablovskog voda i TS SN/NN koje taj vod napaja, kod proračuna uzemljenja napojne TS VN/SN:

$$\underline{Z}_u = \frac{\underline{U}_0}{\underline{I}_0} = \underline{Z}_c \frac{ch(n\underline{\gamma}_c) + \frac{\underline{Z}_1}{2} \frac{sh(n\underline{\gamma}_c)}{\underline{Z}_c}}{sh(n\underline{\gamma}_c)} \quad (17)$$

Treba istaći da je pored T četvoropola mogao da se koristi i Π četvoropol. U tom slučaju se za moduo koeficijenta iznešenog potencijala dobija sledeća relacija:

$$\underline{K}_i(k) = \left| \frac{ch((n-k)\underline{\gamma}_c) + \frac{\underline{Z}_{c\Pi}}{2\underline{Z}_2} sh((n-k)\underline{\gamma}_c)}{\left(1 + \frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_2} \right) ch((n-1)\underline{\gamma}_c) + \left(\frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_{c\Pi}} + \frac{\underline{Z}_{c\Pi}}{2\underline{Z}_2} + \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_{c\Pi}}{2\underline{Z}_2^2} \right) sh((n-1)\underline{\gamma}_c)} \right|$$

$$k = 1, 2, \dots, n \quad (18)$$

gde je:

$$\underline{Z}_{c\Pi} = \sqrt{1 + \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_2}{4\underline{Z}_2}} \quad (19)$$

Korišćenjem Π četvoropola za impedansu \underline{Z}_u dobija se:

$$\underline{Z}_u = \underline{Z}_1 + \frac{2\underline{Z}_2 \underline{Z}'_u}{2\underline{Z}_2 + \underline{Z}_u} \quad (20)$$

gde je:

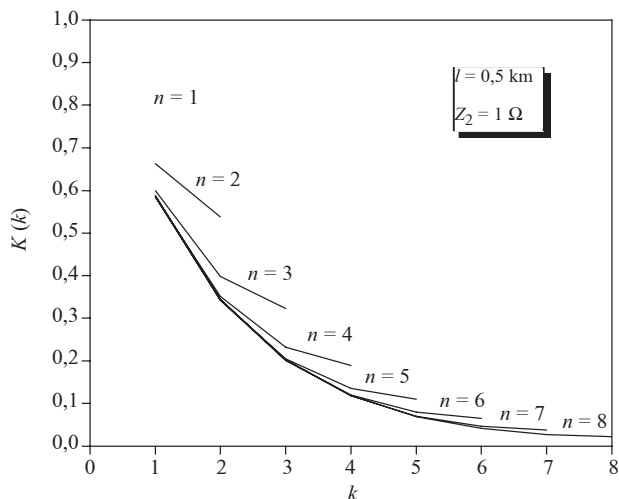
$$\underline{Z}'_u = \underline{Z}_{c\Pi} \frac{ch((n-1)\underline{\gamma}_c) + \frac{\underline{Z}_{c\Pi}}{2\underline{Z}_2} sh((n-1)\underline{\gamma}_c)}{sh((n-1)\underline{\gamma}_c) + \frac{\underline{Z}_{c\Pi}}{2\underline{Z}_2} ch((n-1)\underline{\gamma}_c)} \quad (21)$$

Analizom relacija (18) i (20) pokazuje se da su one ekvivalentne relacijama (16) i (17).

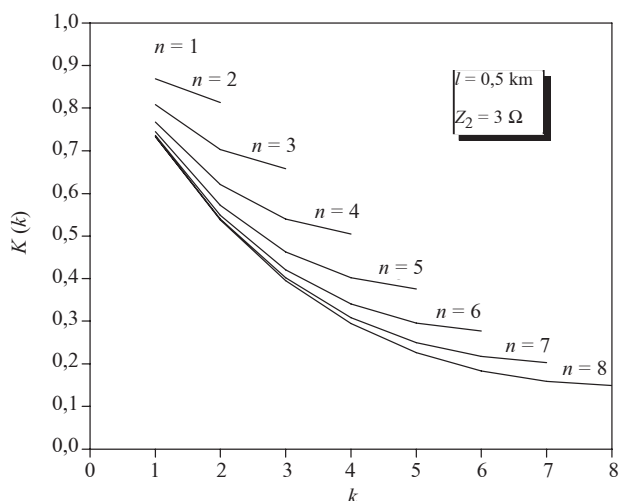
3. REZULTATI PRORAČUNA

Napred izloženim postupkom analizirano je iznošenje potencijala trofaznim vodom napona 10 kV formiranim od tri jednožilna kabla XHE 49 preseka provodnika 120 mm². Ovi kablovi prečnika 29 mm, imaju električnu zaštitu poprečnog preseka 16 mm². Kablovi su postavljeni u snopu. Usvajajući za specifičnu električnu otpornost zemlje $\rho=50 \Omega\text{m}$ za podužnu vrednost impedanse \underline{Z}_1 dobija se $\underline{z}_1 = 0,38 + j0,65 \Omega/\text{km}$. Pri proračunu su pretpostavljana različita rastojanja između susednih TS SN/NN kao i različite vrednosti impedanse, odnosno otpornosti uzemljivača TS SN/NN. Pri tome je broj TS SN/NN koje pomenuti vod napaja variran od 1 do 8.

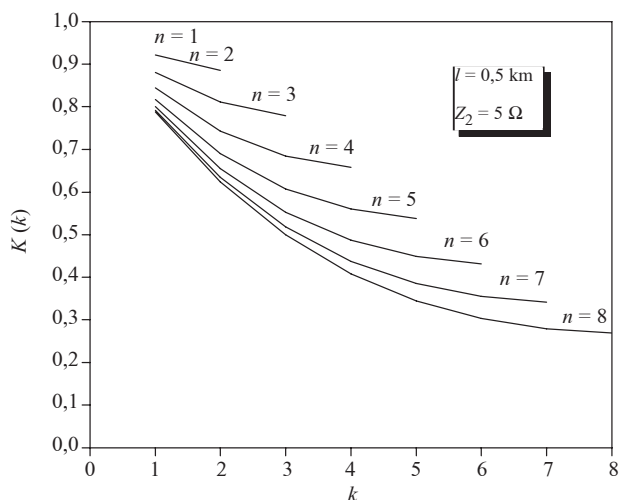
Na slikama 4, 5 i 6 prikazana je zavisnost modula koeficijenta iznešenog potencijala kada prosečno rastojanje između susednih TS SN/NN iznosi $l = 0,5 \text{ km}$, dok su za impedansu uzemljivača TS SN/NN \underline{Z}_2 uzete vrednosti od 1 Ω , 3 Ω i 5 Ω respektivno. Ove vrednosti otpornosti uzemljivača predlažu se u [6] i njima su obuhvaćeni uzemljivači kako u gradskim (manje vrednosti otpornosti) tako i u ruralnim (veće vrednosti otpornosti) sredinama. Na navedenim slikama parametar n predstavlja ukupan broj TS SN/NN koje kablovski vod napaja. Sa ovih slika se može konstatovati da je potencijal na uzemljivaču k -te TS SN/NN utoliko niži ukoliko je veći broj TS SN/NN koje vod napaja. Jasno je da je najviša vrednost iznešenog potencijala na uzemljivaču prve, odnosno TS SN/NN koja je najbliža napojnoj TS VN/SN. Najviša vrednost iznešenog potencijala na uzemljivaču prve TS SN/NN biće ukoliko je to i jedina TS SN/NN koju kablovski vod napaja. Sa ovih slika se vidi da pove-



Slika 4. Zavisnost modula koeficijenta iznešenog potencijala pri $l = 0,5 \text{ km}$ i $\underline{Z}_2 = 1 \Omega$

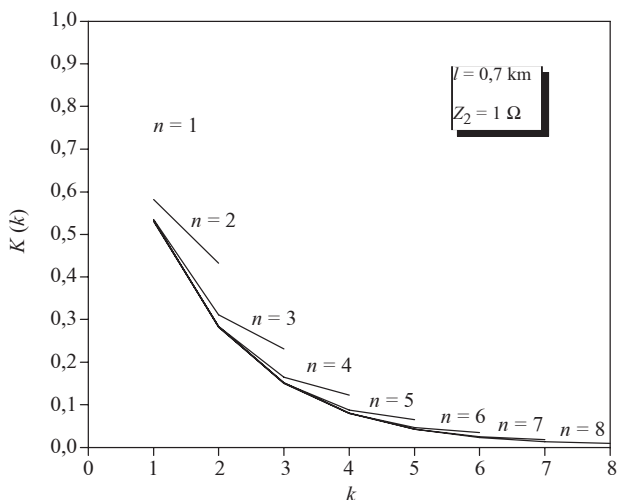


Slika 5. Zavisnost modula koeficijenta iznešenog potencijala pri $l = 0,5 \text{ km}$ i $\underline{Z}_2 = 3 \Omega$



Slika 6. Zavisnost modula koeficijenta iznešenog potencijala pri $l = 0,5 \text{ km}$ i $\underline{Z}_2 = 5 \Omega$

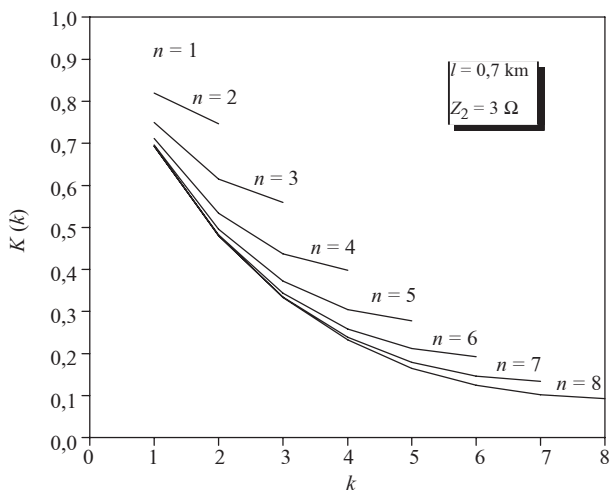
ćanjem broja TS SN/NN koje vod napaja dolazi do značajnog sniženja vrednosti iznešenog potencijala na uzemljivaču prve TS SN/NN. Pored navedenog, sa slika 4, 5, i 6 se može zaključiti da povećanjem otpornosti uzemljivača TS SN/NN dolazi i do povišenja iznešenog potencijala.



Slika 7. Zavisnost modula koeficijenta iznešenog potencijala pri $l = 0,7 \text{ km}$ i $Z_2 = 1 \Omega$

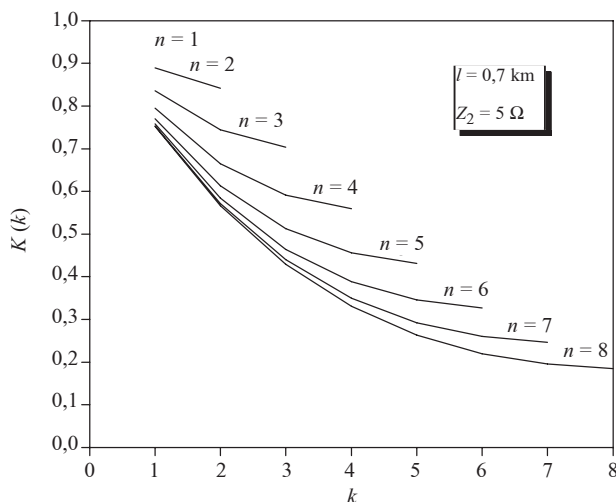
Da bi se sagledalo kako prosečno rastojanje utiče na vrednost iznešenog potencijala na slikama 7, 8 i 9 prikazana je zavisnost koeficijenta iznešenog potencijala za $l = 0,7 \text{ km}$ i vrednosti impedanse uzemljivača Z_2 od 1Ω , 3Ω i 5Ω respektivno. Poređenjem ovih slika sa slikama 4, 5 i 6 može se zaključiti da povećanje rastojanja između susednih TS SN/NN dovodi do smanjenja vrednosti koeficijenta K_i , odnosno do sniženja iznešenog potencijala.

Imajući u vidu da se u pojedinim gradovima mogu, zbog veće gustine opterećenja, sresti i dosta

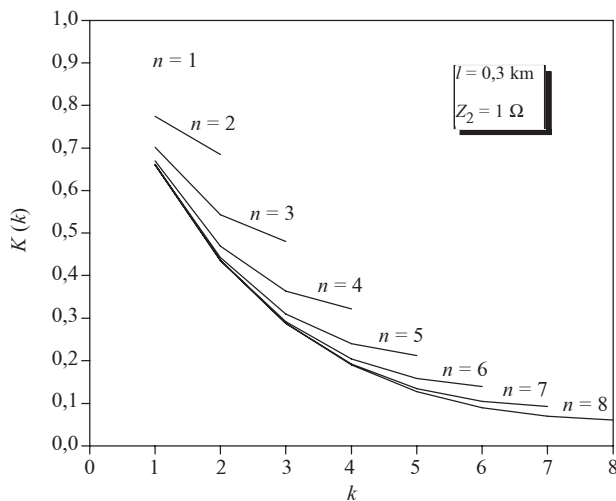


Slika 8. Zavisnost modula koeficijenta iznešenog potencijala pri $l = 0,7 \text{ km}$ i $Z_2 = 3 \Omega$

mala rastojanja između susednih TS SN/NN to su na slikama 10 i 11 prikazane zavisnosti koeficijenta iznešenog potencijala za $l = 0,3 \text{ km}$ i $l = 0,1 \text{ km}$, pri čemu je u oba slučaja uzeto da je $Z_2 = 1 \Omega$. Ove slike ukazuju da, u slučajevima kada je malo rastojanje između susednih TS SN/NN i mali broj TS koje kablovski vod napaja, vrednost iznešenog potencijala na uzemljivaču prve TS SN/NN može biti znatna.

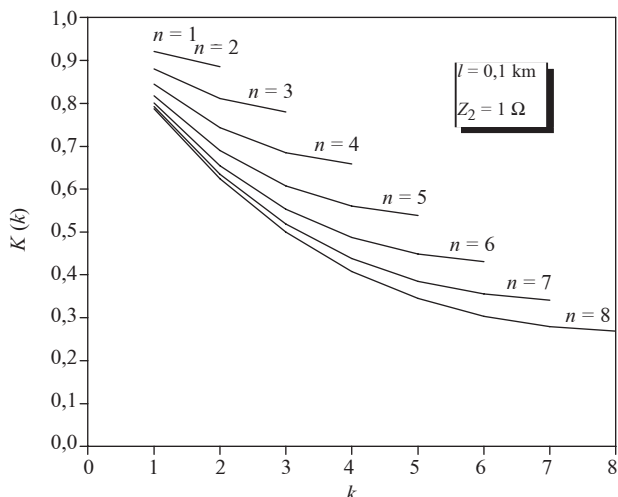


Slika 9. Zavisnost modula koeficijenta iznešenog potencijala pri $l = 0,7 \text{ km}$ i $Z_2 = 5 \Omega$



Slika 10. Zavisnost modula koeficijenta iznešenog potencijala pri $l = 0,3 \text{ km}$ i $Z_2 = 1 \Omega$

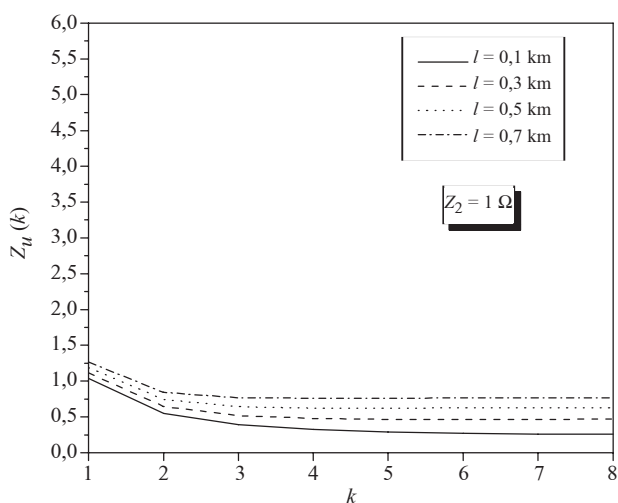
Analizom karakteristika prikazanih na prethodnim slikama može se zaključiti da vrednost iznešenog potencijala zavisi kako od broja TS SN/NN koje kablovski vod napaja tako i od modula količnika impedansi Z_1 i Z_2 . Ukoliko je vrednost $|Z_1 / Z_2|$ veća, utoliko je niža vrednost iznešenog potencijala. Ovo se može objasniti činjenicom da se pri većim



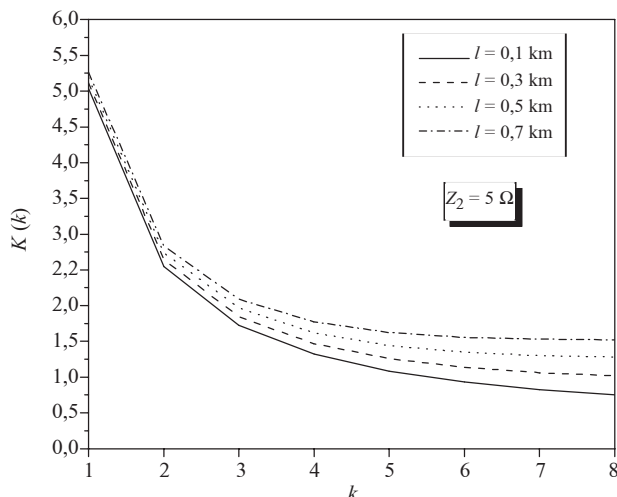
Slika 11. Zavisnost modula koeficijenta iznešenog potencijala pri $l = 0,1 \text{ km}$ i $Z_2 = 1 \Omega$

vrednostima impedanse Z_1 imaju i veći padovi napona na električnim zaštitama kablova, što uslovljava niže potencijale na uzemljivačima TS SN/NN.

Na slikama 12 i 13 prikazana je zavisnost modula impedanse uzemljenja kojom se obuhvata uticaj kablovskog voda kod proračuna uzemljenja napojnog postrojenja. Jasno je da povećanjem impedanse Z_1 , odnosno Z_2 raste i vrednost impedanse Z_u . Ipak sa slike 12 se vidi da vrednost impedanse Z_u dostiže ustaljenu (graničnu) vrednost, koja se teorijski dobija za $n \rightarrow \infty$, već kada se imaju dve ili tri TS SN/NN na vodu. U slučajevima kada je veća vrednost impedanse Z_2 potrebno je nekoliko TS SN/NN na vodu da bi se postigla ustaljena vrednost impedanse Z_u (slika 13). I ovde se može konstatovati da se ustaljena vrednost impedanse Z_u dostiže sa manjim brojem TS SN/NN na vodu ukoliko je vrednost $|Z_1 / Z_2|$ veća.



Slika 12. Zavisnost modula ulazne impedanse pri $Z_2 = 1 \Omega$



Slika 13. Zavisnost modula ulazne impedanse pri $Z_2 = 5 \Omega$

4. ZAKLJUČAK

Vrednost iznešenog potencijala najveća je na uzemljivaču prve, odnosno TS SN/NN koja je najbliža napojnoj TS VN/SN. Sa aspekta iznešenog potencijala najnepovoljniji slučaj je kada je to i jedina TS SN/NN koju napaja kablovski vod. Ova konstatacija ima više teorijski značaj, jer se u praksi takav slučaj skoro ne sreće. Povećanjem broja TS SN/NN koje vod napaja dolazi do značajnog sniženja vrednosti iznešenog potencijala na uzemljivaču prve TS SN/NN.

Vrednost iznešenog potencijala zavisi kako od broja TS SN/NN koje kablovski vod napaja tako i od modula količnika impedansi Z_1 i Z_2 . Ukoliko je vrednost $|Z_1 / Z_2|$ veća, utoliko je niža vrednost iznešenog potencijala.

U slučajevima kada je prva TS SN/NN dosta blizu TS VN/SN ili kada postoji velika razlika u rastojanjima između susednih TS SN/NN, treba izvršiti detaljan proračun, sa aspekta iznošenja potencijala, uvažavajući realnu situaciju.

Ustaljena vrednost impedanse uzemljenja Z_u kojom se obuhvata uticaj kablovskog voda kod proračuna uzemljenja napojnog postrojenja dostiže se sa manjim brojem TS SN/NN na vodu ukoliko je vrednost $|Z_1 / Z_2|$ veća.

5. LITERATURA

- [1] J. Nahman, UZEMLJENJE NEUTRALNE TAČKE DISTRIBUTIVNIH MREŽA, Naučna knjiga, Beograd, 1980.
- [2] V. Balkovoj, M. Tanasković, PRORAČUN UZEMLJIVAČKIH EFEKATA KABLOVA SA IZOLOVANIM METALNIM PLAŠTEVIMA PRIME-

- NOM ELEMENTARNE TEORIJE ČETVOROPO-
LA, Elektrodistribucija, br. 1-2, 1999., str.33-42.
- [3] D. Tasić, OSNOVI ELEKTROENERGETSKE
KABLOVSKE TEHNIKE, Elektronski fakultet,
Niš, 2001.
- [4] ***, PRENOS I DISTRIBUCIJA ELEKTRIČNE
ENERGIJE - PRIRUČNIK, Građevinska knjiga,
Beograd, 1964.
- [5] S. Milojković, TEORIJA ELEKTRIČNIH KOLA,
Svjetlost, Sarajevo, 1987.
- [6] ***, Tehnička preporuka br.7, ED Srbije, jun 1996.

Rad je primljen u uredništvo 07. 11. 2006. godine



Dragan Tasić (1961) je diplomirao (1986) i magistrirao (1991) na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, a doktorirao 1997 na Elektronskom fakultetu u Nišu. Zaposlen je na Elektronskom fakultetu u Nišu u zvanju vanredni profesor. Oblasti njegovog interesovanja su analiza prenosnih i distributivnih mreža i kablovska tehnika.



Miodrag Stojanović (1972) je diplomirao na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu 1996. godine, a magistrirao na Elektronskom fakultetu u Nišu januara 2003. godine. Zaposlen je na Elektronskom fakultetu u Nišu u zvanju asistent. Oblast njegovog interesovanja je analiza i zaštita prenosnih i distributivnih sistema.

Pristup održavanju elektroenergetske opreme, utemeljen na pokazateljima kvaliteta isporuke električne energije i na analizi uzroka kvarova

Stručni rad
UDK: 621.315; 658.56; 111.4

Rezime:

Analize pokazatelja su nametnule kao dugoročni zadatak unapređenje kvaliteta održavanja elemenata elektroenergetskih postrojenja, sa ciljem unapređenja kvaliteta isporuke električne energije. Uporedo sa obradom pokazatelja kvaliteta isporuke, rađene su i detaljne analize kvarova, koji su imali karakter havarija na visokonaponskoj opremi. Strpljivim, višegodišnjim praćenjem i analizom uzroka kvarova i havarija na elementima elektroenergetskih postrojenja, došlo se do lociranja opreme čija je pouzdanost najniža, i koju treba postaviti u centar planiranja održavanja. Sa teoretskog pristupa prešlo se na stvarno optimizovano održavanje, koje uz minimizaciju troškova omogućava povećanje pouzdanosti rada distributivnog sistema. Ovaj pristup održavanju, u svetu je poznat kao RCM Održavanje zasnovano na pouzdanosti (Reliability Centered Maintenance).

Pretpostavka primene ovakvog pristupa održavanju je lociranje manje pouzdanih elemenata u pogonu. To se postiže primenom savremenih, mikroprocesorskih uređaja za merenja i ispitivanja pokazatelja stanja opreme u pogonu. Tako se lociraju nepouzdana elementi i otkrivaju kvarovi na njima u ranoj fazi, kako bi se planom održavanja predvideli neophodni radovi na popravci ili zameni ovih elemenata.

Ključne reči: pouzdanost, pokazatelji kvaliteta, RCM

Abstract:

*AN APPROACH TO MAINTENANCE OF ELECTRICAL POWER EQUIPMENT,
BASED ON INDICES OF QUALITY OF SUPPLY AND FAULT CAUSE ANALYSIS*

Indices analyses have emphasized as a long term goal the improvement of quality of electrical switchgear maintenance, with the improvement of supply as the main goal. Parallel with processing of indices of quality of supply, detailed fault analyses have also been performed, in cases when these faults caused destruction of high voltage equipment. By patient, long time recording and analysis of switchgear faults and incidents causes, the equipment with lowest reliability was located and it was placed in focus of maintenance planning. The approach has switched from theoretical to really optimized maintenance which, along with expense minimization, enables increasing of operation reliability of the distribution system. Such approach to maintenance is worldwide known as RCM (Reliability Centered Maintenance).

A prerequisite for implementation of this approach to maintenance is locating of low reliability elements in operation. It is accomplished by using modern, microcomputer devices for measuring and testing

*Milanko Radić, dipl. ing. el., e-mail: milanko.radic@zev.co.yu
– JP „EPS” PD „ELEKTROVOJVODINA”, 21 000 Novi Sad, Bulevar Oslobođenja 100,
Dušan Radić, dipl. ing. el., dradic@znsable.net, – EM inženjering d.o.o, 21 000 Novi Sad, Turgenjeva 5*

of indices of on-line equipment status. This way, unreliable elements are located and faults are detected in an early phase, so that the maintenance plan could include the necessary operations on repairing and replacement of these elements.

Keywords: reliability, quality of supply indices, RCM

1. UVOD

Elektrovojvodina je preduzeće za distribuciju električne energije, čiji je osnovni zadatak da potrošačima isporučuje energiju sa što većim nivoom kvaliteta.

Da bi se taj cilj postigao, moraju se na stručan način pratiti pokazatelji kvaliteta električne energije. Ovi pokazatelji se mogu podeliti u dve grupe. Prvu grupu čine pokazatelji kvaliteta ili neprekidnosti isporuke, od kojih se u svetu najčešće koriste ENS (Energy Non Supplied), SAIFI (System Average Interruption Frequency Index), SAIDI (System Average Interruption Duration Index) i CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index). Ovi pokazatelji se kontinuirano prate u Elektrovojvodini već petu godinu, od 2002. [1]. Drugu grupu čine pokazatelji kvaliteta isporučene električne energije, a to su osnovne karakteristike napona - efektivna vrednost, učestanost, simetričnost i talasni oblik, kod potrošača.

U cilju dostizanja svih pomenutih pokazatelja prema zahtevima tehničkih standarda, moraju se preduzimati organizovane stručne aktivnosti. U tom smislu u Elektrovojvodini se analiziraju uzroci narušavanja pokazatelja kvaliteta električne energije. Od početka 2002. godine, analiziraju se uzroci prekida napajanja potrošača, a posebno detaljno uzroci velikih kvarova - havarija na visokonaponskoj opremi.

Na osnovu ovih analiza, pristupilo se nabavci savremenih dijagnostičkih uređaja, za svu opremu koja ima najniži nivo pouzdanosti. Merenjima i ispitivanjima karakteristika opreme, indikuju se manje pouzdani elementi i planira se selektivno održavanje upravo tih elemenata. Time se postiže veća pouzdanost elektrodistributivnog sistema, uz minimizaciju troškova održavanja.

2. POKAZATELJI KVALITETA ISPORUKE ELEKTRIČNE ENERGIJE

2.1. Neisporučena električna energija zbog prekida napajanja potrošača

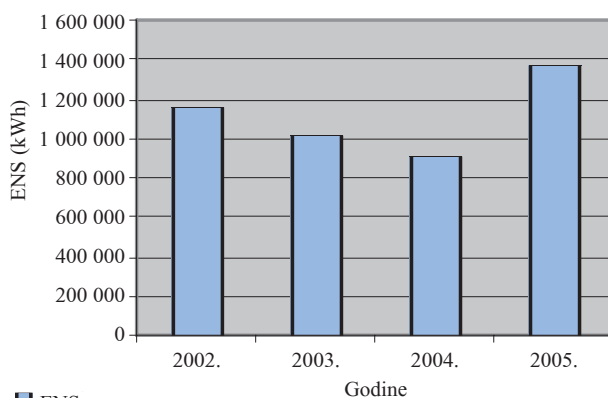
Kada se ocenjuje kvalitet isporuke električne energije, najvažniji pokazatelj je prekid isporuke. Zavisno od karakteristika potrošača, prekid isporuke može izazvati veće ili manje štete, ali uvek su posledice neprijatne po potrošača. Preko pokazatelja

ENS, prikazuje se ukupna neisporučena električna energija potrošačima u toku posmatrane godine.

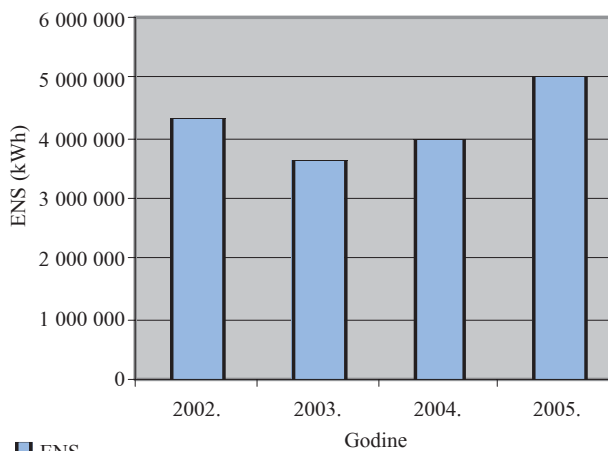
Zbog pravilne analize uticaja elemenata mreže i uzroka prekida napajanja, dat je prikaz pokazatelja posebno za energetske transformatore (ET) i zbirno za ET i srednjenaponsku (SN) mrežu. U protekle četiri godine (2002-2005. godine) prikaz pokazatelja ENS za Elektrovojvodinu izgleda ovako:

Tabela 1.

ENS		
Godina	ENS ET (kWh)	ENS ET+SN (kWh)
2002.	1 150 457	4 354 252
2003.	1 011 195	3 609 393
2004.	910 197	3 984 618
2005.	1 360 083	5 010 884



Slika 1. ENS za ET 110/x i ET 35/x kV/kV



Slika 2. ENS za ET 110/x, ET 35/x kV/kV i SN mrežu

U posmatranom periodu, tendencija smanjenja neisporučene energije u 2005. godini je prekinuta, čak šta više zabeleženo je ozbiljno povećanje.

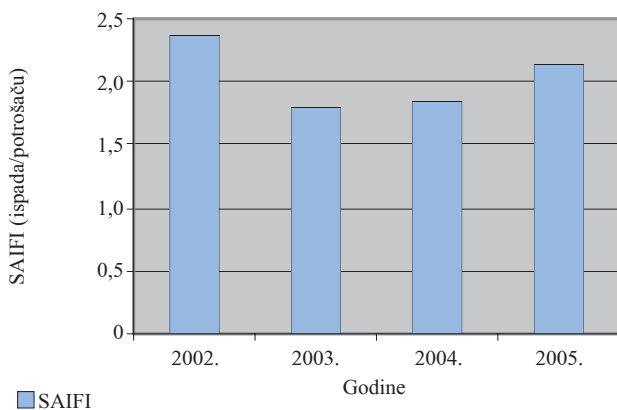
1.2. Prosečna učestanost prekida napajanja po aktivnom potrošaču

Pokazatelj koji najuverljivije pokazuje broj stanja u kojima potrošači ostaju bez napajanja, je SAIFI. Preko ovog pokazatelja prikazano je koliko puta je prosečno svaki priključeni potrošač ostao bez električne energije, zbog ispada samo transformatora, i zbirno transformatora i SN mreže. Za period od 2002. do 2005. godine, prikaz pokazatelja SAIFI za Elektrovojvodinu izgleda ovako:

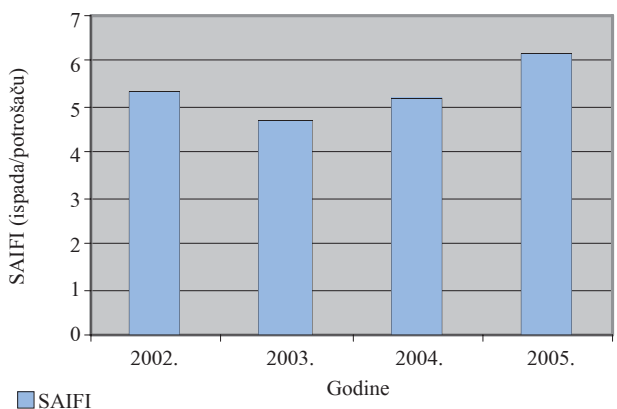
Tabela 2.

SAIFI

Godina	SAIFI ET (ispada/potrošaču)	SAIFI ET+SN (ispada/potrošaču)
2002.	2,371	5,340
2003.	1,784	4,720
2004.	1,848	5,189
2005.	2,143	6,139



Slika 3. SAIFI za ET 110/x i 35/x kV/kV



Slika 4. SAIFI za ET 110/x, ET 35/x kV/kV i SN mrežu

U posmatranom periodu nije došlo do uspostavljanja trenda smanjenja vrednosti pokazatelja SAIFI.

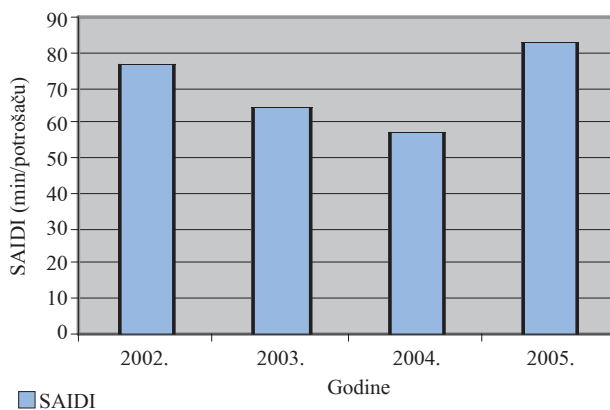
1.3. Prosečno trajanje prekida po aktivnom potrošaču

Pokazatelj koji najbolje prikazuje ukupno vreme koje potrošači ostaju bez električne energije je SAIDI. Preko ovog pokazatelja prikazano je koliko vremena je prosečno, svaki priključeni potrošač ostao bez električne energije, zbog ispada samo transformatora, i zbirno transformatora i SN mreže. Za period od 2002. do 2005. godine, prikaz pokazatelja SAIDI za Elektrovojvodinu izgleda ovako:

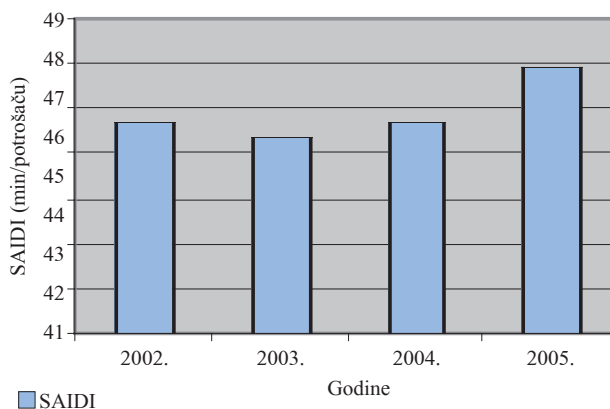
Tabela 3.

SAIDI

Godina	SAIDI ET (min/potrošaču)	SAIDI ET+SN (min/potrošaču)
2002.	77,07	234,58
2003.	64,81	219,04
2004.	56,88	232,71
2005.	82,73	298,39



Slika 5. SAIDI za ET 110/x i 35/x kV/kV



Slika 6. SAIDI za ET 110/x, ET 35/x kV/kV i SN mrežu

U posmatranom periodu nije došlo do uspostavljanja trenda smanjenja vrednosti pokazatelja SAIDI.

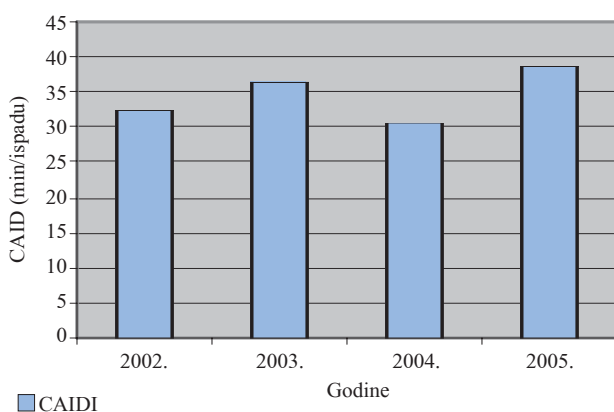
1.4. Prosečno trajanje prekida ispalog potrošača

Pokazatelj koji prikazuje vreme koje je potrebno da prosečan potrošač koji je ostao bez električne energije, ponovo dobije napajanje, je CAIDI. Prikazan je trend promene ovog pokazatelja, zbog ispada samo transformatora, i zbirno transformatora i SN mreže. Za period od 2002. do 2005. godine, prikaz pokazatelja CAIDI za Elektrovojvodinu izgleda ovako:

Tabela 4.

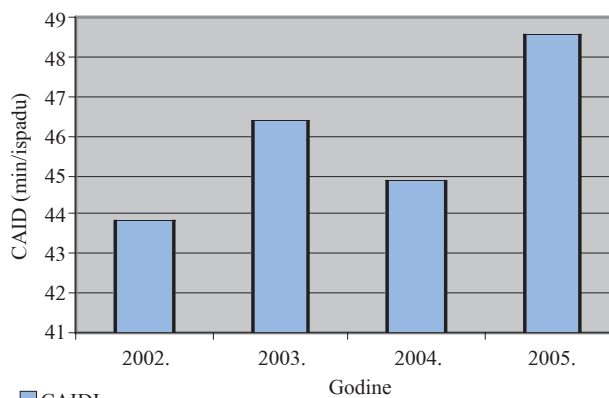
CAIDI

Godina	CAIDI ET (min/ispadu)	CAIDI ET+SN (min/ispadu)
2002.	32,5	43,87
2003.	36,32	46,37
2004.	30,78	44,84
2005.	38,60	48,60



Slika 7. CAIDI za ET 110/x i 35/x kV/kV

U posmatranom periodu nije došlo do uspostavljanja trenda smanjenja vrednosti pokazatelja CAIDI.



Slika 8. CAIDI za ET 110/x, ET 35/x kV/kV i SN mrežu

2. ANALIZA VELIKIH KVAROVA (HAVARIJA) ELEKTROENERGETSKE OPREME

Zbog starosti, loših konstruktivnih karakteristika i nepostojanja adekvatne dijagnostičke opreme za otkrivanje kvarova u ranoj fazi, dešava se veliki broj kvarova tipa havarija.

Prilikom takvih događaja, osim kvara direktno pogođene opreme, najčešće dolazi do sekundarnih oštećenja većeg broja elemenata postrojenja, u neposrednoj blizini. U takvim slučajevima pored prekida isporuke električne energije potrošačima, dolazi do materijalnih šteta većeg obima i otklanjanje kvara često traje više dana. U posmatranom periodu od 2002. do 2005. godine, na nekoliko elemenata postrojenja bile su posebno česte havarije.

2.1. Havarije mernih transformatora 110 kV

U svim slučajevima havarija mernih transformatora 110 kV, došlo je do proboja električnog luka, kroz papirno uljnu izolaciju u unutrašnjosti transformatora. Gasovi nastali gorenjem luka u ulju izazvali su eksplozije, čije posledice su veće ili manje rasprskavanje poklopca ili porcelanskog kućišta. U slučajevima rasprskavanja porcelanskog kućišta, dolazilo je do oštećenja susedne opreme, razletelim porcelanskim delovima.

Tabela 5.

Havarije na MT

Redni broj	Datum kvara	Tip MT	Godina proizvodnje	Uzrok kvara	Vrednost štete (din)	TS
1.	21. 07. 2003.	APU-123	1975.	Proboj izolacije	350 000	Sombor 2
2.	20. 09. 2003.	APU-123	1975.	Proboj izolacije	350 000	Odžaci
3.	24. 08. 2004.	4APU-123	1980.	Proboj izolacije	350 000	Novi Sad 2
4.	06. 04. 2005.	VPU-110	1964.	Proboj izolacije	3 500 000	Kikinda 1
5.	31. 07. 2005.	APU-123	1975.	Proboj izolacije	4 180 000	Pančevo 3
6.	26. 01. 2006.	VPU-123	1986.	Proboj izolacije	350 000	Kovin

2.2. Havarije odvodnika prenapona 110 kV

Odvodnici prenapona, stare konstrukcije, sa silicijum-karbidnim ulošcima i iskrištima, zbog prisutstva vlage u porcelanskom kućištu, nemaju potrebne izolacione karakteristike. Zbog toga dolazi do unutrašnjeg proboja, pojave električnog luka i eksplozije porcelanskog kućišta. U nekim slučajevima eksplozije su imale toliko razorno dejstvo da je dolazilo do ozbiljnih oštećenja okolne opreme.

U dva slučaja je došlo do rasprskavanja odvodnika prenapona sa ZnO (cink-oksidni) ulošcima. U oba slučaja se radilo o staroj konstrukciji sa porcelanskim kućištem i vazдушnim prostorom oko ZnO uložaka. Izolacija unutrašnjeg prostora kod ove konstrukcije postiže se obezbeđenjem podpritiska u tom prostoru. U oba slučaja je pretpostavka da je došlo do izjednačavanja spoljnog i unutrašnjeg pritiska i do prodora vlage u kućište odvodnika. Iako nije došlo do eksplozije odvodnika, samo njegovo rasprskavanje je dove-

lo do oslobađanja metalne kape na užetu, što je bilo dovoljno za izazivanje velike štete na okolnoj opremi.

Ova iskustva su uputila na zaključak da ubuduće treba kupovati samo odvodnike kod kojih su ZnO ulošci zaliveni u polimernom kućištu.

2.3. Havarije prolaznih izolatora 110 kV

Prolazni izolatori nisu bili uzrok velikog broja havarija, ali njihovi proboji su se u svim slučajevima desili u unutrašnjosti transformatora, te su štete bile ekstremno velike.

Posebnu pažnju su izazvali proboji dva relativno nova izolatora, istog tipa i starosti.

2.4. Unutrašnji kvar u energetskim transformatorima 110/x i 35/x kV/kV

Kvarovi unutar transformatora dovode do proboja izolacije u sudu, pa iako nisu česti, značajni su

Tabela 6.

Havarije na OP

Redni broj	Datum kvara	Tip OP	Godina proizvodnje	Uzrok kvara	Vrednost štete (din)	TS
1.	20. 07. 2002.	VOP 6e	1985.	Proboj u OP	120 000	Vršac 2
2.	15. 06. 2003.	VOP 6e	1979.	Proboj u OP	120 000	S. Mitrovica 3
3.	08. 08. 2003.	VOP 6e	1979.	Proboj u OP	120 000	S. Mitrovica 3
4.	24. 10. 2003.	VOP 6e	1977.	Proboj u OP	2 075 000	Kula
5.	10. 02. 2004.	VOP 6e	1978.	Proboj u OP	570 000	S. Mitrovica 1
6.	25. 02. 2004.	3EP2-108/86	2004.	Proboj u OP	1 550 000	Novi Sad 4
7.	25. 06. 2004.	VOP 6e	1978.	Proboj u OP	2.450 000	Novi Sad 5
8.	04. 08. 2005.	VOP 6ea	1990.	Proboj u OP	120 000	Bajmok
9.	06. 09. 2005.	3EP2-108/86	2003.	Proboj u OP	120 000	Novi Sad 4

Tabela 7.

Havarije na prolaznim izolatorima

Redni broj	Datum kvara	Tip PI	Godina proizvodnje	Uzrok kvara	Vrednost štete (din)	TS
1.	09. 10. 2002.	Kvp 123/630r	1974.	Proboj PI	500 000	Pančevo 3
2.	10. 08. 2004.	PNO 123/800	1999.	Proboj PI	1 000 000	S. Mitrovica 3
3.	01. 12. 2005.	PNO 123/800	1999.	Proboj PI	4 314 000	N. Pazova

Tabela 8.

Havarije na ET

Redni broj	Datum kvara	Tip ET	Godina proizvodnje	Uzrok kvara	Vrednost štete (din)	TS
1.	14. 09. 2002.	35/10; 8	1972.	Proboj u ET	nema podataka	NS Centar
2.	21. 11. 2002.	110/35; 31,5	1968.	Proboj u ET	3 000 000	Novi Sad 2
3.	14. 03. 2003.	35/10; 4	1957.	Proboj u ET	otpisan	PA Pristanište
4.	21. 07. 2003.	35/10; 4	1960.	Proboj u ET	200 000	SM Šid
5.	08. 10. 2005.	35/10; 4	1960.	Proboj u ET	200 000	NS Petrovaradin

zbog teških posledica. Ovi kvarovi ostavljaju veliki broj potrošača duže vremena bez električne energije, a vrednosti štete su velike i najčešće se otklanjaju u fabrici transformatora ili radionici.

3. ANALIZA UZROKA ISPADATA ELEMENTATA MREŽE

Sistematskim, višegodišnjim praćenjem i analizom uzroka prekida napajanja, otkrivena je oprema

čija je pouzdanost najniža i koju treba postaviti u centar planiranja održavanja. Sa teoretskog analiziranja, konačno se moglo preći na stvarno optimizovano održavanje koje, uz minimizaciju troškova omogućava povećanje pouzdanosti rada distributivnog sistema.

3.1. Uzroci ispada ET 110/x kV/kV

Tabela 9.

Uzroci ispada ET 110/x kV/kV

Redni broj	Uzrok ispada	2002. (%)	2003. (%)	2004. (%)	2005. (%)
1.	Prekidač 20 kV-nepouzdan rad	25,5	20	14,0	20
2.	Nepoznat uzrok	19,5	20	18,0	20
3.	Zaštita 20 kV-nepouzdan rad	9,0	13	14,0	18,4
4.	Životinja	3,0	2	5,6	7,5
5.	Kvar u ET	1,3	0	0,7	0,6
6.	Ostali uzroci	41,7	45	47,7	33,5

3.2. Uzroci ispada ET 35/x kV/kV

Tabela 10.

Uzroci ispada ET 35/x kV/kV

Redni broj	Uzrok ispada	2002. (%)	2003. (%)	2004. (%)	2005. (%)
1.	Nepoznat uzrok	34	29	19	29
2.	Nema zaštite izvoda 20 i 35 kV	10	29	22	13
3.	Zaštita 10 kV-nepouzdan rad	6	5	16	11,5
4.	Životinja	0,8	1	3	4
5.	Kvar u ET	0,8	1	2	1,5
6.	Ostali uzroci	48,4	35	38	41

3.3. Uzroci ispada vodova SN mreže 10, 20, 35 kV/kV

Tabela 11.

Uzroci ispada SN mreže

Redni broj	Uzrok ispada	2002. (%)	2003. (%)	2004. (%)	2005. (%)
1.	Nepoznat uzrok	nema pod.	36	14,5	22,5
2.	Proboj-kvar kabla	nema pod.	23,5	18	17
3.	Proboj izolatora	nema pod.	13,5	18	23,5
4.	Prekid provodnika	nema pod.	5	4	3
5.	Životinja (ptica)	nema pod.	4	3	2
6.	Prolazni zemljospoj-kvar na vodu	nema pod.	nema pod.	21	9
7.	Ostali uzroci	nema pod.	16,5	21,5	23

4. NOVI PRISTUP ODRŽAVANJU

Početak 2002. godine u Elektrovojvodini je započeta analiza pokazatelja kvaliteta isporuke električne energije. Nakon četvorogodišnje obrade, analize pokazatelja su nametnule kao dugoročni zadatak unapređenje kvaliteta održavanja elemenata elektroenergetskih postrojenja. Kako bi održavanje postalo optimalno sa ciljem minimizacije troškova, bilo je potrebno u centar pažnje postaviti najmanje pouzdane elemente postrojenja. Ovaj pristup održavanju u svetu je poznat kao RCM.

Pretpostavka primene ovakvog pristupa održavanju je lociranje manje pouzdanih elemenata u pogonu. Sistematskim, višegodišnjim praćenjem i analizom uzroka prekida napajanja, otkrivena je oprema čija je pouzdanost najniža i čije održavanje treba postaviti u centar pažnje. Ali zbog velikog broja opreme, koja je indikovana kao manje pouzdana, nije bilo moguće istovremeno sve njih zameniti niti remontovati.

Zbog toga se postavio novi zadatak, kako u okviru skupa indikovane opreme pronaći one elemente koji su najmanje pouzdani, kako bi redosledom pristupa postigli optimizaciju troškova održavanja. To je moguće postići primenom savremenih, mikroprocesorskih uređaja za merenja i ispitivanja pokazatelja stanja opreme u pogonu. Tako se lociraju nepouzdana elementa i otkrivaju kvarovi na njima u ranoj fazi, kako bi se planom održavanja predvideli neophodni radovi na popravci ili zameni ovih elemenata.

Sa ciljem realizacije ovakvog pristupa održavanju, u Elektrovojvodini je u 2005. i 2006. godini pokrenuta nabavka najsavremenije dijagnostičke opreme za ispitivanje, zaštitnih uređaja, energetskih i mernih transformatora, prekidača, odvodnika prenapona, kao i uređaja za registraciju kvarova i utvrđivanje kvaliteta isporučene električne energije. Sve ove aktivnosti moraju biti podržane sveobuhvatnim računarskim programom [7].

4.1. Održavanje prekidača srednjeg napona

Prekidači srednjeg napona 10, 20, 35 kV, prema podacima o uzrocima prekida napajanja, imaju visok stepen nepouzdanosti rada. Zbog starosti velikog broja sredjenaponskih prekidača u TS 110/x i 35/x kV/kV, njihovo održavanje je vezano za brojne probleme. Nedostatak rezervnih delova kao i uređaja za ispitivanje stanja prekidača, nedovoljna obučenost stručnih radnika za održavanje, su najčešći razlozi koji se navode kao opravdanje za nedovoljno kvalitetno održavanje i nepouzdan rad ovih prekida-

ča. Slično, samo nešto povoljnije stanje je i za prekidače 110 kV.

Svi prekidači u pogonu, ne mogu biti zamenjeni u dužem periodu. Zbog toga je veoma važno održavanju prekidača pristupiti prema programu RCM. Taj pristup podrazumeva primenu savremenih uređaja za testiranje prekidača, koji mogu uputiti na najugroženije delove prekidača. Primenom ovih uređaja vrši se kontrola svakog prekidača u pogonu, tako da se testiraju njegovi glavni delovi, pogonski mehanizam, kalem za isključenje, kalem za uključivanje, zapor za isključenje, zapor za uključivanje, baterija za jednosmerni napon, glavni kontakti, pomoćni kontakti i veze. Posebno je značajna provera „prvog isključenja”, koja karakteriše sposobnost prekidača nakon dugog mirovanja [6]. Proverom svakog prekidača, dolazi se do otkrivanja nepouzdanih prekidača i do lociranja uzroka njihovog pogrešnog rada. Tako locirani prekidači se podvrgavaju remontu na terenu ili u radionici. Tako se održavanje usmerava na kritične elemente i uz minimalno ulaganje podiže se stepen njihove pouzdanosti.

U Elektrovojvodini je u toku postupak nabavke uređaja za kontrolu stanja prekidača, kako bi način održavanja bio unapređen i pouzdanost rada prekidača bila zadovoljavajuća.

4.2. Održavanje mernih transformatora 110 kV

Prema podacima o uzrocima prekida napajanja i o havarijama, značajan broj kvarova sa velikim štetama izazvali su nepouzdana merna transformatori 110 kV. Svi transformatori koji su doživeli havariju bili su stari više od 20 godina. Zbog prisustva više od 1 000 ovih elemenata u pogonu, nije ih moguće zameniti sve u kratkom vremenskom periodu. RCM pristup održavanju zahteva kontrolu stanja svih mernih transformatora u pogonu, zbog otkrivanja nepouzdanih.

Ovo je moguće uraditi samo primenom savremene opreme za merenje otpora izolacije, ugla dielektričnih gubitaka $tg\delta$, kapaciteta izolacionog sistema C , kao i opreme za kontrolu parcijalnih pražnjenja metodom ultrazvuka i analizom gasova rastvorenih u ulju [3,4].

Elektrovojvodina je kupila, krajem 2005. godine, uređaj za merenje ugla dielektričnih gubitaka, kapaciteta izolacije i otpora izolacije. Takođe je kupljen i mobilni uređaj za kontrolu sadržaja rastvorenih gasova H_2 , CO_2 , CO , C_2H_4 , C_2H_6 , CH_4 , C_2H_2 i H_2O , u izolacionom ulju uzorkovanom iz mernih transformatora u pogonu. Uređaji su u upotrebi od početka 2006. godine i potvrdili su svoju važnu ulogu u održavanju, tako da je već locirano 58 nepouzdanih mernih transformatora, čija zamena je planirana u toku 2006. godine.

4.3. Održavanje transformatora 110/x kV/kV

Kod energetskih transformatora 110/x i 35/x kV/kV najčešći kvarovi koji dovode do prekida napajanja potrošača, dešavaju se zbog nepouzdanih prolaznih izolatora 110 kV, kvarova u regulacionim prekidačima i slabih mesta u sistemu izolacije namotaja.

U cilju otkrivanja uzroka kvarova transformatora u ranoj fazi, posebno specijalizovane ekipe moraju biti opremljene uređajima za merenje $tg\delta$ i C na prolaznim izolatorima, kao i na izolacionom sistemu među namotajima. Takođe su neophodni uređaji za kontrolu regulacionih prekidača merenjem kontaktnih otpora i dinamike zatvaranja i otvaranja kontakata. Eventualno postojanje parcijalnih pražnjenja u izolaciji, izaziva nastajanje zapaljivih gasova, a to se kontroliše uređajima za analizu gasova rastvorenih u ulju. Za sva ova ispitivanja, krajem 2005. godine, stručne ekipe u Elektrovojvodini su opremljene najsavremenijim uređajima. Primenom ovih uređaja, u 2006. godini će biti proveravani transformatori 110/x kV/kV u pogonu.

4.4. Održavanje odvodnika prenapona

Iz analize havarija odvodnika prenapona 110 kV je uočeno da veliki procenat ovih elemenata stare konstrukcije, sa silicijum-karbidnim ulošcima i iskrištima, nije dovoljno pouzdan. Kod njih se ne može vršiti pouzdana dijagnostika i tu je zaključak da ih sve u što skorijem vremenu treba zameniti. U Elektrovojvodini je već zamenjeno više od 100 ovih odvodnika.

Ono što je posebno interesantno, iz analize havarija se vidi da su kvarovi mogući i na cink-oksidnim (ZnO) odvodnicima prenapona, koji imaju staru konstrukciju. Ali za njihovu proveru se mogu koristiti savremeni uređaji, koji mere struju odvoda i tako indikuju nepouz dane elemente u pogonu [5].

Jedan takav uređaj u Elektrovojvodini je kupljen krajem 2005. godine i primenjivaće se za kontrolu odvodnika u 2006. godini.

4.5. Održavanje akumulatorskih (AKU) baterija

Akumulatorske baterije su najbolji primer kako se RCM pristup održavanju sprovodi u praksi. Nakon nekoliko velikih havarija na trafostanicama 110/x kV/kV, još pre više od 10 godina, od 1993. godine, održavanju akumulatorskih baterija kao izvora napona 110 V jss, pristupilo se na savremen način. U Elektrovojvodini je u primeni savremen uređaj koji meri kapacitet, unutrašnju otpornost i napon svake ćelije pojedinačno kao i cele baterije, kao i uređaj za proveru gustine elektrolita u svakoj ćeliji. Na osno-

vu toga se lociraju u ranoj fazi nepouz dane ćelije, koje se planski zamenjuju. Tako su smanjeni troškovi održavanja, a pouzdanost rada je podignuta na takav nivo da se niz godina akumulatorske baterije ne spominju kao uzrok prekida napajanja potrošača.

4.6. Održavanje uređaja relejne zaštite

Iz analize uzroka ispada vidi se da nepouzdan rad zaštitnih uređaja ima visoko učešće u prekidima isporuke električne energije. U cilju povećanja kvaliteta održavanja uređaja relejne zaštite, u Elektrovojvodini je nabavljen savremen uređaj za ispitivanje zaštita objekata visokog napona [2]. Urađena je tipizacija tehničkih karakteristika uređaja za ispitivanje zaštita objekata srednjeg napona, čija je nabavka planirana u 2006. godini.

4.7. Održavanje vodova SN mreže 10, 20 i 35 kV

Analiza prekida napajanja, zbog ispada vodova SN mreže, pokazuje da su podjednako nepouz dani, kako vazdušni tako i kablovski vodovi 20 kV. Kod vazdušnih vodova, najčešći uzroci ispada su, proboj izolatora, olujno vreme sa kišom i grmljavinom i ptice kao uzrok zemljospojeva. Na srednje-naponskim kablovskim vodovima, najčešći uzroci ispada su proboji izolacije kabla i završnica kabla, kao i kidanje kabla usled nedovoljne pažnje prilikom radova. U cilju smanjenja broja ispada, planiraju se sistematske zamene izolatora, provodnika i kablova.

Radi smanjenja trajanja ispada u SN mreži, planira se postavljanje daljinskog sistema za nadzor i upravljanje. Kao prvi korak u tom pravcu, instalisana su dva pilot-projekta [8].

4.8. Kontrola pregrevanja spojnih mesta u postrojenjima

Kontrola pregrevanja spojnih mesta u postrojenjima, takođe je dobar primer RCM pristupa održavanju. Takođe, više od 10 godina u Elektrovojvodini je u upotrebi savremena termovizijska kamera, koja se koristi za sistematsku kontrolu pregrevanja spojnih mesta u visokonaponskim postrojenjima. Kao rezultat tog rada, među uzrocima prekida napajanja potrošača veoma je redak kvar zbog pregrevanja elemenata postrojenja.

4.9. Otkrivanje nepoznatih uzroka ispada

Analize uzroka prekida napajanja potrošača pokazuju da isuviše često ne može da se utvrdi uzrok ispada u trafostanicama 110/x i 35/x kV/kV. Pošto na starim objektima nemamo ugrađen sistem daljin-

skog upravljanja i nadzora, a imamo zaštitne uređaje koji ne registruju električne veličine u toku pojave kvara, to je često nemoguće pronaći uzrok ispada. To je neophodno omogućiti, kako bi i u tom skupu kvarova otkrili koji su elementi uzročnici, u cilju njihovog održavanja prema proklamovanom RCM pristupu. Zbog toga je u Elektrovojvodini planirana nabavka većeg broja uređaja za registraciju karakterističnih veličina u toku trajanja kvara.

5. ZAKLJUČCI

Teoretsko obrazloženje novog pristupa održavanju polazi od sadašnje prakse održavanja i rezultata dobijenih analizom pokazatelja kvaliteta isporuke električne energije. Analizom uzroka ispada dolazi se do identifikacije manje pouzdanih elemenata postrojenja. Primenom uređaja za dijagnostiku stanja opreme u pogonu, lociraju se nepouzdana elementi i održavanje se usmerava na njih. RCM pristup održavanju je dobio podlogu za potpunu primenu u praksi.

Postavljeni ciljevi se sastoje u povećanju pouzdanosti elektroenergetske opreme i povećanju kvaliteta isporuke električne energije, a na ovakav način se istovremeno postiže i smanjenje troškova održavanja.

Postignuti rezultati se ne ukazuju na početku aktivnosti, i zahteva se sistematičnost pristupa i dugoročna orijentacija na primenu novog pristupa održavanju.

Praćenje događaja u distributivnoj mreži, obrada pokazatelja, planiranje i evidencija preduzetih aktivnosti, zbog velikog broja informacija mogu se efikasno obaviti samo uz podršku računarskog programa urađenog specijalno za ovu namenu.

6. LITERATURA

- [1] M. Radić., D. Radić, RELIABILITY INDICATORS ANALYSIS FOR DISTRIBUTION NETWORK IN ELEKTROVOJVODINA, 18th International Conference on Electricity Distribution (CIRED), Torino, 2005.
- [2] OMICRON, ISPITNI SISTEM ZA TESTIRANJE ZAŠTITNIH RELEJA CMC 256-6, Uputstvo za korišćenje, 2004.
- [3] OMICRON, PRIMARNI ISPITNI SISTEM ZA PUŠTANJE U POGON I ODRŽAVANJE OPREME NA TRAFOSTANICAMA CPC 100, Uputstvo za korišćenje, 2005.
- [4] KELMAN Ltd, PRENOSIVI ANALIZATOR RASTVORENIH GASOVA TRANSPORT X, Uputstvo za rukovanje, 2005.
- [5] ISA Srl, INSTRUMENT ZA ISPITIVANJE METAL-OKSIDNIH ODVODNIKA PRENAPONA SCAR-10, Uputstvo za rukovanje, 2006.
- [6] Strachan S., Mc Arthur S., Mc Donald J., Leggat W. and Campbell A., TRIP COIL SIGNATURE ANALYSIS AND INTERPRETATION FOR DISTRIBUTION CIRCUIT BREAKERS CONDITION ASSESSMENT AND DIAGNOSIS, 18th International Conference on Electricity Distribution (CIRED), Torino, 2005.
- [7] IPS-Intelligent Process Solutions GmbH, SOFTWARE FOR POWER SYSTEM SERVICE MANAGEMENT, 2005.
- [8] M. Radić, ANALIZA POKAZATELJA KVALITETA ISPORUKE ELEKTRIČNE ENERGIJE ZA DISTRIBUTIVNU MREŽU ELEKTROVOJVODINE, časopis Elektrodistribucija, br. 2-3, str. 40-46, avgust - decembar 2005.

Rad je primljen u uredništvo 08. 11. 2006. godine



Milanko Radić rođen 1952. godine. Diplomirao 1975. godine, na Elektroenergetskom odseku Elektrotehničkog fakulteta u Sarajevu. Radni vek počeo 1976. godine u Željezari Zenica na poslovima održavanja elektromotronih pogona. Od 1978. do 1980. godine radio na poslovima projektovanja električnih instalacija u GP NEIMAR, Novi Sad. Od 1980. do 1991. godine radio u Elektroprenosu, Novi Sad, na poslovima održavanja trafostanica i planiranja visokonaponske mreže. Od 1991. godine radi u Elektrovojvodini. Od 2002. godine bavi se problematikom kvaliteta isporuke električne energije u Elektrovojvodini. Na savetovanju JUKO CIRED 2002, regionalnom CIRED-u 2004. i 2006. i međunarodnom CIRED-u 2005. objavio je radove na temu kvaliteta isporuke električne energije.



Dušan Radić je rođen 1980. godine u Novom Sadu. Diplomirao 2005. na smeru Mikro-računarska elektronika na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Od 2004. godine radi u preduzeću EM inženjering d.o.o, Novi Sad na poslovima prodaje merne opreme i razvoja sistema za automatizaciju poslovanja. Objavio radove kao koautor na međunarodnom CIRED-u 2005., regionalnom CIRED-u 2006. i konferenciji za ETRAN 2006.

Saša Stojković

Primena folt rekordera za izračunavanje I²t kriterijuma u održavanju visokonaponskih prekidača

Stručni rad
UDK: 621.316.54

Rezime:

U održavanju rasklopne opreme u svetu postoji očigledan prelaz sa vremenski baziranog na održavanje određeno stanjem prekidača. Osnovni cilj je da se izbegne veoma skupo i često nepotrebno otvaranje prekidnog elementa i remont pogonskog mehanizma. Iskustvo većeg broja kompanija u svetu pokazalo je da otvaranje prekidnog elementa u nekim slučajevima može da smanji pouzdanost prekidača zbog loše obavljenih remontnih radova. Zbog tog razloga, primena dijagnostičkih ispitivanja i nadgledanja (monitoringa) za određivanje stanja prekidača sve je veća.

On-lajn sistemi za nadgledanje prekidača (stalno uključeni) često nisu ekonomski opravdani za distributivne prekidače. Iz tog razloga, u ovom radu analizirana je primena folt rekordera za izračunavanje I²t kriterijuma erozije kontakata. Folt rekorderi su namenjeni za više specifičnih analiza - kratkih spojeva, rada uređaja relejne zaštite, analize kvaliteta električne energije i sl. Ali, ukoliko su neki tehnički i organizacioni uslovi zadovoljeni, folt rekorderi mogu da posluže i kao podrška održavanju. U ovom radu prikazano je na koji način to može biti urađeno.

Ključne reči: održavanje, nadgledanje, prekidač, folt rekorder, erozija kontakata, remont

Abstract:

FAULT RECORDER APPLICATION IN CALCULATING OF I²t DISTRIBUTION CIRCUIT BREAKERS MAINTENANCE CRITERION

In the maintenance of switching equipment the transition from time-based to condition-based maintenance is evident. The main objective is to avoid a very expensive and often unnecessary dismantling of arc extinguishing chamber and overhaul of operating mechanism. The experience of many utilities in the world has shown that opening of arc extinguishing chamber in some cases can reduce the reliability of circuit breaker because of badly done work. Due to this reason the application of monitoring and diagnostic techniques in order to determine the breaker state is on the increase.

On-line monitoring systems most often are not economically justified for distribution breaker technologies. Due to that reason, in this paper the application of digital fault recorder in the determining of I²t contact wear criterion is analyzed. Fault recorders are intended for many specific analyses - short-circuits, relay protection operation, power quality analysis and so on. But, if some technical and organizational con-

Dr Saša Stojković, dipl. ing. el., e-mail: sasa@zvets.edu.yu – Tehnički fakultet, 32 000 Čačak, Svetog Save 65, Srbija

ditions are met, they can serve as a maintenance support tool. In this paper it is presented how it can be done.

Keywords: *maintenance, monitoring, circuit breaker, fault recorder, electric contact wear, overhaul*

1. POTREBA ZA NADGLEDANJEM EROZIJE KONTAKATA

Komponente visokonaponskih transformatorskih stanica podvrgnute su starenju i eroziji u toku njihovog životnog veka. Životni vek opreme teško je proceniti unapred zbog toga što zavisi od mnogih faktora, kao što su tehnologija proizvodnje, temperature, električni i ambijentni uslovi i mehanička naprezanja. Kontinualno nadgledanje rasklopne opreme smatra se sve vrednijim sredstvom u upravljanju održavanjem. Sistemi za upravljanje održavanjem treba da daju odgovore na sledeća pitanja [1]:

- Stvarno stanje prekidača;
- Njegov trend u budućnosti uz uvažavanje plana održavanja i
- Optimalni nivo održavanja.

Glavni ciljevi nadgledanja stanja rasklopne opreme su:

- Podrška u proceni životnog veka i održavanja;
- Obezbeđivanje informacija o stanju prekidača;
- Dobijanje signala upozorenja da bi se sprečio kvar;
- Ostvarenje optimalnog pogona rasklopne opreme, i
- Smanjenje vremena koje se troši na održavanje, kao i smanjenje troškova.

Osnovni cilj nadgledanja erozije kontakata je podrška u donošenju odluka pri održavanju. Kontinualno nadgledanje rasklopne opreme, naročito u slučaju prekidača, daje mogućnosti da se poslovi održavanja izvedu mnogo efikasnije. Dobro je poznato iz prakse da je prilikom izvođenja remonta utvrđeno da je bio nepotreban. U mnogim slučajevima posle otvaranja prekidnog elementa, sa ciljem utvrđivanja stanja kontakata i mlaznika ili demontaže pogonskog mehanizma, utvrđeno je da je opšte stanje prekidača još gore nego pre remonta, usled neadekvatno izvedenih radova.

Obezbeđujući podršku održavanju, sistemi za nadgledanje stanja prekidača mogu da izazovu smanjenje troškova održavanja, smanjujući programe održavanja, kao i povećavanje raspoloživosti. Primena nadgledanja stanja može pomoći da se smanji sistematska zamena komponenti koje nisu podvrgnute habanju i eroziji. Za takve komponente dobijene informacije pomažu da se oceni njihovo realno stanje i da se zamene upravo kada treba, a ne prerano. Optimizacija programa održavanja zahvaljujući

nadgledanju stanja može dovesti do smanjenja svih resursa potrebnih za održavanje, kao i odgovarajućih troškova. Takođe, nadgledanje stanja omogućava bolje upoznavanje realnog stanja prekidača. Održavanje može biti fokusirano na problematičnu opremu. U isto vreme, nepotrebni radovi na dobrim komponentama su izbegnuti.

Defekti se primećuju pregledima, dijagnostičkim ispitivanjima, nadgledanjem stanja i prilikom kvarova. Sistemi za arhiviranje podataka potrebni su da bi se utvrdilo koji su kvarovi sistematski. Sistem se sastoji od modernih, daljinski upravljanih računara, koji treba da uzmu u obzir informacije o specifičnim kvarovima i defektima. Naprezanja su arhivirana pomoću nekog monitoring sistema, sistema relejne zaštite, SCADA sistema ili sličnog registracionog sistema. U ovom radu preporučuje se upotreba folt rekordera za akumulaciju električnih i mehaničkih naprezanja u postupcima održavanja prekidača. U osnovi, ovi uređaji namenjeni su analizi kratkih spojeva, ali na sistematski način mogu biti upotrebljeni i u održavanju prekidača.

2. NAPREZANJA U POGONU

Prekidači su u pogonu stalno podvrgnuti različitim napreznjima [2]. Za određivanje kada treba obaviti remont, kao najskuplji deo održavanja prekidača, najvažnija su mehanička naprezanja usled uobičajenih operacija i električna naprezanja, kao posledica sklopnih operacija i prekidanja struja kvara. Treći kriterijum za remont obično je trajanje pogona, uglavnom zbog mogućnosti degradacije izolacije. Kriterijumi za remont obično su izraženi kao broj operacija, erozija kontakata i trajanje pogona. Naravno, ovo su kriterijumi koji se odnose na otvaranje prekidnog elementa i remont pogonskog mehanizma.

Broj operacija je veoma koristan parametar u dijagnostičke svrhe, naročito kada se kombinuje sa eksploatacionim iskustvom. Većina korisnika uzima ovaj parametar u obzir kada procenjuje koju vrstu ispitivanja treba izvesti i kada, kao i kada se planira invazivno održavanje. Habanje komponenti i erozija kontakata i mlaznika povećavaju se sa brojem operacija. Broj operacija rasklopnog uređaja može biti uzet kao generalna mera ukupnog stanja prekidača. To je jedan od osnovnih faktora koji određuju intervale održavanja.

Erozija kontakata je ekstremno važan kriterijum za planiranje otvaranja prekidnog elementa [1]. Svi radovi u oblasti održavanja prekidača mogu se podeliti na dve osnovne grupe. U prvoj su svi neinvazivni metodi (bez otvaranja prekidnog elementa i demontaže poluzja). Drugu grupu čine postupci vezani za otvaranje prekidnog elementa i remont pogonskog mehanizma. Veruje se da kod većine korisnika i za sve naponske nivoe troškovi za održavanje prekidača orijentaciono iznose 40 % svih troškova održavanja cele transformatorske stanice. Takođe se veruje da 60 % svih troškova održavanja prekidača može da se pripíše remontu, pri čemu je remont znatno ređa aktivnost od svih ostalih aktivnosti u održavanju prekidača. To je veoma važan razlog zbog čega se želi što duže odlaganje remonta.

Električni luk u malouljnim i SF6 prekidačima nalazi se u mlazniku između lučnih kontakata. U vakuumskim prekidačima luk je takođe između kontakata, ali ne postoji mlaznik. U toku prekidanja struje luk izaziva eroziju kontakata i ablaciju mlaznika, što posle određenog broja operacija izaziva otkaz prekidača. Gubitak kontaktne mase volframskih kontakata pre kvara predstavlja kritičnu veličinu koja određuje životni vek kontakata. Merenje gubitka mase kontakata bez demontaže prekidnog elementa praktično je nemoguće. Zbog toga je masa kontakata kao parametar praktično neupotrebljiva na terenu. Iz tog razloga, kritičan gubitak mase kontakata procenjuje se tzv. „merom termičkih naprezanja”, određenom adekvatnim ispitivanjem. Metod je detaljno prikazan u [3]. Metod je zasnovan na eksperimentalno verifikovanoj činjenici da je suma integrala kvadrata prekinute struje

$\int_{t_{arc}} i^2 \cdot t$ dobra mera erozije kontakata, gde je t_{arc} – trajanje luka. Velika većina proizvođača prekidača izvršila je intenzivna ispitivanja da bi se odredio dozvoljen broj prekidanja struja do remonta. Međutim, potrebno je da struja koja se prekida bude merena kao funkcija vremena.

Treći kriterijum za remont je (osim za vakuumске prekidače) trajanje pogona između dva remonta i isto dato je u uputstvu za održavanje. Dobro je poznato da su ovi intervali često predlagani sa velikom rezervom. Iskustvo mnogih korisnika pokazuje da ovi intervali znatno mogu biti produženi.

Postoji jedna veoma važna činjenica koja se odnosi na mehaničko i električno habanje (eroziju). U [2] su prikazani važni zaključci međunarodnog upitnika o naprezanju prekidača u pogonu (napona višeg od 63 kV). Međutim, može se verovati da su ti zaključci validni i za distributivne prekidače zbog iste prirode procesa. Najvažniji zaključci su:

– Većina prekinutih struja kratkih spojeva ima zaista male amplitude srednja vrednost je 20 %, 90 %

struja je manja od 35 % naznačene struje prekidanja prekidača;

- Srednja vrednost očekivane maksimalne struje kratkog spoja u transformatorskoj stanici je oko 50 % naznačene prekidne struje prekidača;
- Srednja vrednost broja kratkih spojeva na vodu u toku godine je 1,7;
- Više od 90 % kratkih spojeva u prenosnim mrežama dešava se na nadzemnim vodovima;
- Između 70 % i 90 % svih kvarova su jednofazni kvarovi;
- Oko 80 % kvarova nestaje posle prvog isključenja u toku operacije automatskog ponovnog uključanja (APU);
- Postoji smanjenje od 70 % broja kratkih spojeva koje treba da prekine prekidač u odnosu na trofazne spojeve i za pun ciklus APU i
- Srednji broj radnih ciklusa godišnje je oko 80 ciklusa za 90 % svih prekidača. To znači da će više od 90 % svih prekidača dostići samo 2 000 operacija u toku 25 godina.

Iz gore pomenutih razloga, očigledno je da postoji velika mogućnost da se smanji broj nepotrebnih remonata, pri čemu se uštedi mnogo novca.

3. KRITERIJUMI ZA REMONT TIPIČNOG DISTRIBUTIVNOG PREKIDAČA U MREŽI SRBIJE

Većina prekidača u distributivnim kompanijama u Srbiji su malouljni prekidači, ali postoje SF6 i vakuumski prekidači. Naprimera, u „Elektrodistribuciji Beograd” u 2003. godini bio je sledeći broj prekidača [4]:

Tabela 1.
Broj prekidača u „Elektrodistribuciji Beograd”,
2003. godina

	Malouljni	SF6	Vakuumski
110 kV	37	24	-
35 kV	373	-	-
10 kV	1 124	-	344

SF6 prekidači su samo na 110 kV-nom naponskom nivou. U ovom trenutku postoji 28 SF6 110 kV prekidača zbog toga što je u međuvremenu još jedna nova stanica puštena pod napon. Dvadeset od 24 prekidača u tabeli 1 su iste (starije) konstrukcije. U ovu tabelu (tabela 1) četiri SF6 prekidača nove stanice („TS Obilic”) nisu uključena jer je stanica puštena u pogon posle 2003. godine. Kriterijumi za održavanje 20 starijih prekidača su:

Tabela 2.
Kriterijumi za remont

Normalni period za održavanje	8-12 godina
Kumulativna struja kratkog spoja	500 kA
Prekidanje struja do naznačene	2 000 operacija
Mehaničke sklopne operacije	5 000 operacionih ciklusa

Interesantno je da su broj operacija i broj prekinutih struja kratkog spoja ovih prekidača tako mali da je glavni kriterijum za održavanje normalni period za održavanje (vreme provedeno u pogonu), u ovom slučaju oko 10 godina. Prvi od ovih prekidača otvoren je posle 24 godine i bio je „kao nov”, dakle, u odličnom stanju.

Mnogi proizvođači na osnovu eksploatacionog iskustva zaključili su da su kriterijumi za remont previše strogi zbog toga što se u tom periodu (pre dvadeset pet godina) nije znalo kako će se u budućnosti ponašati SF6 izolacija (produkti razlaganja SF6 gasa, vlažnost i sl.). Zbog toga su intervali za otvaranje prekidnog elementa znatno produženi za noviji tip prekidača (TS „Blok 20”):

Tabela 3.
Kriterijumi za održavanje novijih SF6 prekidača

Normalni period za održavanje	15-20 godina
Broj operacija	2 500 operacija
$\int I$ Kumulativna struja kratkog spoja	20 000 kA ²

Ove vrednosti su tipične. Usvojeno je da prekidanje struja do naznačene ne stvara značajniju eroziju kontakata.

Može se zaključiti da otvaranje prekidnog elementa može biti znatno odloženo, uz veliku uštedu nepotrebnih napora i novca. Realni podaci o broju operacija i prekinutih struja kvarova zbog toga su od suštinske važnosti, naročito zbog toga što je za održavanje ovih prekidača neophodno veoma obučeno osoblje. Folt rekorderi mogu da obezbede takve podatke.

Velika većina prekidača u našim distributivnim mrežama su 10 kV, 20 kV i 35 kV malouljni prekidači. Uputstvom za održavanje jednog od proizvođača [6] definisani su kriterijumi za održavanje. Ovi prekidači naznačenu struju kratkog spoja mogu prekinuti samo 6 puta:

Tabela 4.
Moć prekidanja malouljnih prekidača [14]:

Prekidna struja	I_P	$0,8 I_P$	$0,5 I_P$	$0,3 I_P$
Broj prekidanja	6	8	10	20

gde je I_P - naznačena struja prekidanja. Remont treba da bude izveden posle 10-12 godina ili 5 000 mehaničkih sklopnih operacija. Posle 1 000 prekidanja naznačene struje izolaciono ulje treba da bude zamenjeno.

Iz ovih podataka očigledno je da je broj prekidanja struja kratkih spojeva malouljnim prekidačem mnogo manji nego kod SF6 i vakuumskih prekidača. Zbog toga u toku životnog veka ima nekoliko otvaranja prekidnog elementa. To je razlog zbog čega je nadgledanje erozije kontakata od vrhunske važnosti jer se veliki trud i novac mogu uštedeti ukoliko je otvaranje prekidnog elementa opravdano odloženo.

4 PRIMENA FOLT REKORDERA ZA ODREĐIVANJE EROZIJE KONTAKATA I BROJA MEHANIČKIH OPERACIJA

Folt rekorder je višenamenski uređaj namenjen analizi kratkih spojeva i drugih događaja u transformatorskim stanicama i industrijskim postrojenjima. Moderni folt rekorderi obezbeđuju nekoliko funkcija [7]:

- Folt rekorderi za analogne i binarne kanale za zapisivanje krivih napona i struja u slučaju kratkog spoja. Istovremeno se beleže dodatne informacije, naprimer, položaj kontakta prekidača;
- Zapisivanje snage i frekvencije;
- Zapisivač srednjih vrednosti za praćenje dugotrajnih promena različitih merenih vrednosti;
- Zapisivač kvaliteta električne energije;
- Registrator događaja - sklopnih informacija i informacije o statusu uključenosti opreme i
- Zapisivač sporih procesa u industrijskim postrojenjima.

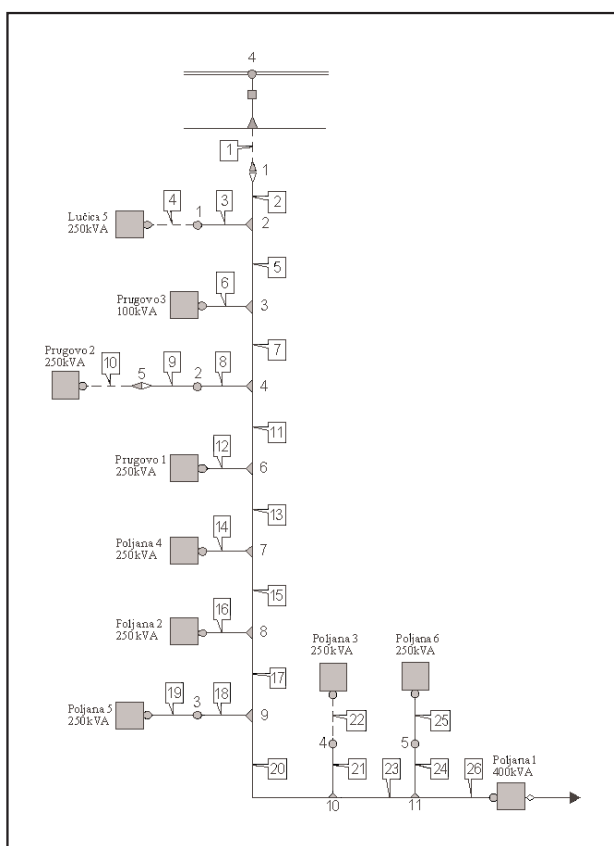
Očigledno je da folt rekorder može biti upotrebljen za analizu erozije kontakata i mlaznika, kao i broja mehaničkih operacija, radi izrade plana održavanja.

Ukoliko je upotrebljen ovaj uređaj, potrebno je obezbediti neke organizacione korake:

- Svi prekidači čija se erozija kontakata analizira treba da imaju jedinstvenu oznaku, određenu stanicom, poljem i brojem prekidača zbog toga što podaci o prekidačima moraju biti čuvani u posebnoj bazi podataka;
- Svaki prekidač treba da ima svoj list u bazi podataka zbog toga što podaci o broju operacija i akumulisanju struji kratkih spojeva moraju biti analizirani, a zatim uskladišteni i čuvani u toku više decenija;
- Inženjer održavanja treba da ima mogućnost da pristupi bazi podataka daljinski (iz kancelarije),

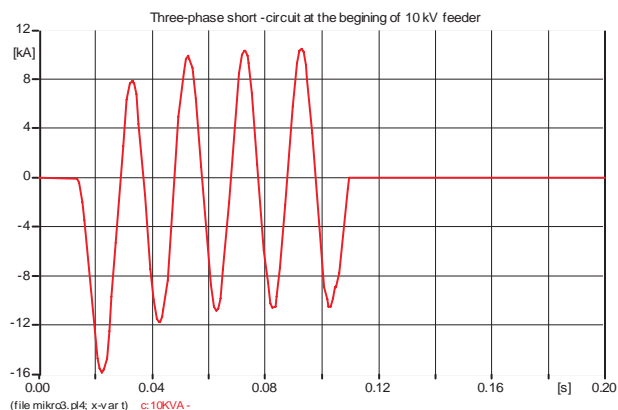
naprimer, jedanput nedeljno, da pokupi i klasifikuje podatke u odgovarajući list baze podataka;

- Podaci treba da budu uzeti redovno jer se bafer folt rekordera puni zbog većeg broja događaja, pa se stari podaci gube i zamenjuju novim;
- Najbolje je da se podaci o eroziji kontakata i broju operacija analiziraju što je pre moguće;
- Umesto ručnog uzimanja podataka moguće je da se podaci inženjeru za održavanje šalju automatski. Ali, treba obezbediti da postupak bude pouzdan. U našim uslovima, to može biti nejasno i neadekvatno, pa se preporučuje jednostavan postupak ručnog prikupljanja podataka i
- Postupak za izračunavanje integrala kvadrata struje treba da je što jednostavniji.

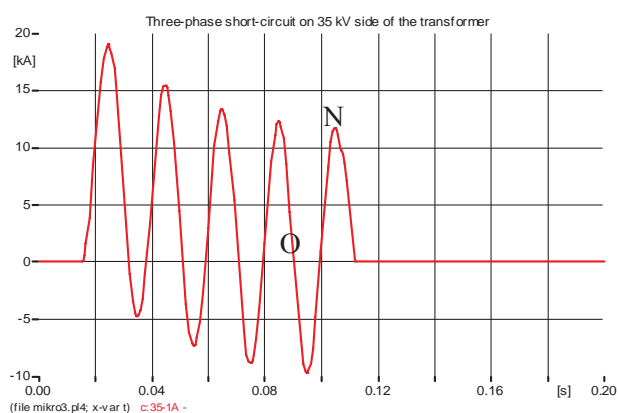


Slika 1. Izvod br. 3 u TS 35/10 kV/kV „Požarevac 4”

Na slici 1 prikazan je tipičan 10 kV izvod. Struje kratkih spojeva u dva slučaja izračunate su da bi se demonstrirala primena folt rekordera u svrhu održavanja. Jedan kvar je na početku 10 kV fidera, a drugi na 35 kV strani transformatora. Može se videti da je struja kvara u trenutku razdvajanja kontakata praktično simetrična (bez jednosmerne komponente) i može se izračunati jednostavno kao efektivna vrednost struje. Pretpostavljeno je da je vreme reagovanja kratkospojnog releja (za bliske kratke spo-



Slika 2. Trofazni kratak spoj na početku 10 kV voda



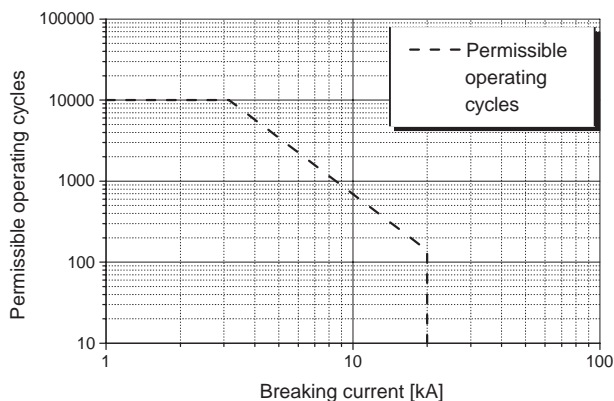
Slika 3. Trofazni kratak spoj na 35 kV strani transformatora

jeve) 30 ms, trajanje otvaranja prekidača 50 ms i trajanje luka 16,6 ms. Odsustvo jednosmerne komponente struje u trenutku razdvajanja kontakata (80 ms posle početka kvara u ovom slučaju) je prirodno za distributivne fidere zbog veoma male vremenske konstante. Ovo takođe važi za prekostrujnu zaštitu gde je reagovanje zaštite odloženo za oko 0,4-0,5 s zbog selektivnosti. Ali, ukoliko postoji jednosmerna komponenta struje kvara u trenutku razdvajanja kontakata, moguć je postupak prema IEC 62271-100 (High-voltage Switchgear and Controlgear-High voltage alternating current circuit breakers, 2001-05). Ovaj postupak omogućava da se izračuna asimetrična struja kvara. Procenat jednosmerne komponente i asimetrična struja su:

$$p = \frac{I_{DC}}{I_{AC}} = \frac{ON - OM}{MN} = 10,8 \%,$$

$$I_{AC \max} = \frac{MN}{2} = 10,883 \text{ kA},$$

$$I_{assym} = I_{aym} \sqrt{1 + 2p^2} = 7,79 \text{ kA}.$$



Slika 4.

Dozvoljeni broj prekidanja za jedan vakuumski prekidač

Na slici 4 prikazan je tipičan dozvoljeni broj prekidanja u uputstvu jednog proizvođača vakuumskih prekidača. Slika pokazuje da ovaj vakuumski prekidač može da prekine 10 000 operacija sa strujom do naznačene struje od 3,15 kA ili može da izvrši 140 prekidanja struje od 20 kA ili 3 000 prekidanja struje od 5 kA. To znači da ako prekidač prekine jedanput 20 kA, on je potrošio 0,72 % svoje sposobnosti u pogledu erozije kontakata. Prekinute struje kratkih spojeva veoma su različite zbog različitih mesta na kojima spoj nastaje, zatim zbog vrste kvara, otpornosti luka na mestu kvara i sl. Svaki put kada nastane kratak spoj potrebno je izračunati koliki je deo sposobnosti prekidača u pogledu erozije kontakata potrošen i dodati ga na do tada akumulisanu vrednost, sve do 100 %, kada je potreban remont.

5 ZAKLJUČCI

Moguće je izvesti nekoliko zaključaka:

- Osnovni cilj u održavanju prekidača je da se izbegne veoma skupo i često nepotrebno otvaranje prekidnog elementa prekidača i remont pogonskog mehanizma. Iz tog razloga, nadgledanje stanja i dijagnostička ispitivanja sa ciljem određivanja stanja prekidača primenjuju se sve više;
- Osnovni cilj nadgledanja stanja je da služi kao podrška održavanju. Kontinualno nadgledanje stanja, naročito u slučaju prekidača, može omogućiti da se radovi na održavanju izvode mnogo efikasnije;
- Sistemi za akviziciju podataka neophodni su da bi se otkrilo koji su kvarovi sistematski. Sistem može da se sastoji od naprednog računarskog, daljinski upravljaniog sistema i mora da uzme u obzir informacije o specifičnim i sistematskim kvarovima. Obično su naprezanja arhivirana od strane siste-

ma za nadgledanje, sistema relejne zaštite, SCADA sistema ili nekog drugog sistema za registraciju. U ovom radu predlaže se upotreba digitalnog folt rekordera za akumulaciju električnih i mehaničkih naprezanja sa ciljem održavanja rasklopne opreme. U osnovi, ovi uređaji namenjeni su prvenstveno za analizu kratkih spojeva, ali mogu na sistematski način biti upotrebljeni kao podrška održavanju;

- Naprezanja u pogonu mnogo su manja nego što je predviđeno prilikom konstrukcije i ispitivanja prekidača. Očigledno je da postoje velike mogućnosti da se smanji broj nepotrebnih remonata i da se tako uštede veliki rad i troškovi održavanja;
- Može se zaključiti da se otvaranje SF6 i maloulnih prekidača često može odložiti. Podaci o broju mehaničkih sklopnih operacija i o prekinutim strujama kvarova mogu biti od velike važnosti, naročito zbog toga što otvaranje prekidnog elementa ovih prekidača zahteva dobro obučeno osoblje. Folt rekorderi mogu obezbediti takve podatke;
- Sa organizacione tačke gledišta, primena folt rekordera za određivanje erozije kontakata i mlaznika zahteva adekvatne baze podataka jer podaci treba da budu uskladišteni, analizirani i sačuvani da bi bili dostupni više decenija;
- Postupak za određivanje erozije kontakata i mlaznika prikazan u ovom radu relativno je jednostavan i pogodan;
- Sa ekonomske tačke gledišta, primena folt rekordera u održavanju prekidača opravdana je za 110/10 kV/kV distributivne stanice. Za ostale stanice potrebno je uraditi detaljniju tehničku i ekonomsku analizu, i
- Odluka o remontu prekidnog elementa i pogonskog mehanizma treba da bude verifikovana dijagnostičkim ispitivanjima.

6. ZAHVALNOST

Autor je veoma zahvalan za finansijsku podršku Ministarstvu za nauku i životnu sredinu Republike Srbije. Ovaj rad je deo rezultata rada na projektu pod naslovom „Nadgledanje, dijagnostičke tehnike i održavanje elemenata transformatorskih stanica”, Projekat TR-6608A, 2005-2006.

7. LITERATURA

- [1] CIGRE WG 13-09: USER GUIDE FOR THE APPLICATION OF MONITORING AND DIAGNOSTIC TECHNIQUES FOR SWITCHING EQUIPMENT FOR RATED VOLTAGES OF 72,5 kV AND ABOVE, CIGRE Brochure 167, August 2000.
- [2] CIGRE WG 13-08: LIFE MANAGEMENT OF CIRCUIT-BREAKERS, CIGRE brochure (Jugoslovenski Komitet Cigre, broj 127/2001, 16. 07. 2001)

- [3] A. Muharemovic, M. Kapetanovic, A. Ahmethovic, A. Fetahagic: ARCING CONTACTS AND NOZZLE CONDITION DIAGNOSTICS BY MEANS OF MEASURE OF THERMAL STRESSES, Paper 23, Proceedings of international CIGRE colloquium „Asset management of Switching Equipment and New Trends in Switching Technologies” 15-16. September, 2003, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, Pages 124-132.
- [4] S. Stojković, M. Popović: UPRAVLJANJE ŽIVOTNIM VEKOM PREKIDAČA, Elektroprivreda, br. 2, 2003. god. Str. 20-26.
- [5] Instructions for Erection and Maintenance - SF6 Gas Circuit Breaker BS 312, Minel - Elektrooprema i postrojenja, Ripanj.
- [6] Uputstvo za rukovanje i održavanje maloulnjih srednjenaponskih prekidača tipa PU, PUB, PUC i PUD, Minel - Elektrooprema i postrojenja, Ripanj. (Instructions for Erection and Maintenance of low-oil Circuit-Breakers type PU, PUB, PUC, PUD),
- [7] SIMEAS R Digital Fault and Power Quality Recorder, SIEMENS, Catalog SR 10. 1. 1-2004.
- [8] P. Hoff, A. Holm, O. Karlen, U. Lager, U. Akesson: CONDITION MONITORING OF SF6 CIRCUIT-BREAKERS, Paper 13-104, CIGRE 1992 Session, 30. August - 5. September 1992,
- [9] A. Pons, A. Sabot, G. Babusci: ELECTRICAL ENDURANCE AND RELIABILITY OF CIRCUIT-BREAKERS - COMMON EXPERIENCE AND PRACTICE OF TWO UTILITIES, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 8, No. 1, January 1993, Pages 168-174.
- [10] S. Jones, A. Kingsmill: A UTILITY'S EXPERIENCE WITH ONLINE CONDITION MONITORING OF CIRCUIT BREAKERS, Paper 24, Proceedings of international CIGRE colloquium „Asset management of Switching Equipment and New Trends in Switching Technologies” 15-16 September, 2003, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, Pages 47-52.
- [11] A. Kocić, M. Uzelac, O. Gudžulić: METODE ZA ODREĐIVANJE INTERVALA ZA PREVENTIVNI REMONT PREKIDNIH ELEMENATA SF6 PREKIDAČA FAMILIJE HGF-100 PRI PREKIDANJU STRUJE KRATKOG SPOJA, 19. Savetovanje elektroenergetičara Jugoslavije (JUKO CIGRE), referat br. 13.02, Bled, 8-13 maj 1989,
- [12] Uputstvo za montažu i održavanje maloulnjih prekidača tipa VPS-F, br. 25. 204. 2s, Minel - Elektrooprema i postrojenja, Ripanj. (Instructions for Erection and Maintenance of low-oil Circuit-Breakers VPS-F, No. 25.204s).
- [13] Instruction Manual BA 352/07 E for VD4 Vacuum Circuit-Breaker, ABB
- [14] Operating instructions SW 8516e for Vacuum Circuit-Breaker 3AF, SIEMENS.

Rad je primljen u uredništvo 07. 11. 2006. godine



Saša Stojković je rođen 1958. godine u Prizrenu. Diplomirao je na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu 1982. godine, a magistrirao 1989. godine na istom fakultetu. Doktorirao je 1997. godine na Tehničkom fakultetu u Čačku.

Zaposlen je na Tehničkom fakultetu u Čačku, gde predaje Tehniku visokog napona i Relejnju zaštitu. Autor je dva pomoćna udžbenika, 10 radova u časopisima i 30 na konferencijama. Učestvovao je na dva projekta koje finansira Ministarstvo za nauku i tehnologiju i na jednom projektu Evropske unije.

Zoran J. Simendić,
Goran S. Švenda, Vladimir C. Strezoski i Vidoje R. Mijatović

Verifikacija funkcije estimacija stanja u ED Sombor

Stručni rad
UDK: 621.316

Rezime:

U radu su prikazani rezultati primene funkcije estimacija stanja u distributivnoj mreži Elektrodistribucije Sombor. Definisane su očekivane granice kvaliteta kako estimacije stanja na TS VN/SN i izvodima 20 kV, tako i estimacije opterećenja TS 20/0,4 kV/kV. Istovremeno ukazano je na mogućnosti poboljšanja kvaliteta rezultata estimacije stanja, pre svega sistematskom popravkom kvaliteta istorijskih podataka sa kojima je opisana potrošnja distributivne mreže. Konačno, u radu je pokazano da estimacija stanja u realnom vremenu ne samo da je moguća već je i dovoljno pouzdana i tačna za upravljanje distributivnim mrežama. Verifikacija rezultata funkcije estimacija stanja dobijenih u on-line modu izvršena je na osnovu istovremeno izmerenih vrednosti u sistemu.

Ključne reči: distributivne mreže, kalibracija opterećenja, estimacija stanja

Abstract:

VERIFICATION OF THE STATE ESTIMATION FUNCTION IN ED SOMBOR

This paper presents results of application of function of state estimation in the distribution network of Distribution utility Elektrovojvodina, Division ED Sombor. Expected limits of quality are defined, both estimation of state on supply transformer (ST 1) high/medium voltage (HV/MV) and MV feeder, and estimation of load supply substation (SS) 20/0,4 kV/kV. At the same time the paper points out a possibility of improvement of quality of results of estimation of state, by system improvement of quality of historical data and in description of consumption of distributive network. At the end of the paper, it is shown that state estimation in real time is not only possible but sufficiently reliable and accurate for operating distributive networks. Verification of results of the function of estimation of state obtained in on-line mode was done on basis of simultaneously measured values in the system.

Key words: distribution networks, load calibration, state estimation

Zoran J. Simendić, dipl. ing. el., e-mail: zoran.simendic@zso.ev.co.yu,
Vidoje R. Mijatović, dipl. ing. el., e-mail: vidoje.mijatovic@zso.ev.co.yu
– JP „EPS” PD Elektrovojvodina d.o.o. „Elektrodistribucija Sombor”, 25 000 Sombor, Apatinski put b.b.,
doc. dr Goran S. Švenda, dipl. ing. el. e-mail: svenda@zuns.ns.ac.yu,
Prof. dr Vladimir C. Strezovski, dipl. ing. el., e-mail: vstr@zuns.ns.ac.yu
– Fakultet tehničkih nauka – Institut za energetiku, elektroniku i telekomunikacije, 21 000 Novi Sad, Fruškogorska 11;

1. UVOD

Estimacija stanja predstavlja bazičnu analitičku funkciju na čijim se osnovama zasnivaju skoro sve ostale funkcije za analizu, upravljanje i planiranje pogona srednjenaponskih distributivnih mreža (SN DM): regulaciju napona, rekonfiguraciju pod opterećenjem, vođenje pogona, kvarovi mreže, optimalna konfiguracija mreže, restauracija napajanja, relejna zaštita, itd [1,2]. Samim tim od kvaliteta njenih rezultata zavisi i kvalitet poslovanja distributivnog preduzeća: kvalitet isporučene električne energije, upravljanje potrošnjom, smanjenje gubitaka, smanjenje broja kvarova, planiranje razvoja distributivne mreže, bolje iskorišćenje postojećih energetske objekata, odlaganje investicija, itd.

Obično skromno udaljeno nadgledana distributivna mreža u odnosu na prenosne mreže je ključna razlika u menadžmentu obe mreže. Distribucijski Sistem za daljinski nadzor i prikupljanje podataka (SCADA sistem) obično pokrivaju jedino snabdevajuću trafostanicu i mali broj srednjenaponskih (MV) tačaka. Prema tome, vrednost redundanse telemetrisanih podataka u distributivnim mrežama je značajno manja nego 1.0 (realno je oko 0,2-0,3 [1]). Ipak, ima veliki broj pokušaja za prenos i usvajanje algoritama estimacije stanja iz prenosne u distribucijsko okruženje [3-6]. Ovi pokušaji nemaju puno šanse za uspeh zbog toga što je mala redundanca zabeleženih distribucijskih podataka. Zato su novi specijalizovani algoritmi za estimaciju stanja distribucija razvijeni u poslednjih deset godina [2, 7 i 8]. Ipak, nema referenci koji ustanovljavaju standardnu proceduru estimacije stanja i dokazuju ih u praksi distribucijske mreže.

Jednostavan, brz i snažan realno vremenski distribucijski estimator stanja (DSE) je kratko opisan u drugom delu rada [9]. On predstavlja kompromis između kompleksnih metoda predloženih u literaturi i obično raspoloživih podataka u distribucijskom preduzeću. Razvijeni DSE se može primeniti u bilo kojem distributivnom preduzeću - sa ili bez instalisanog SCADA sistema, i u realnom vremenu i u van realnom vremenu. Pomenuti DSE model je ugrađen u softverski paket energetske aplikacija za operativno upravljanje DM [10], koji je 2001. godine instalisan u „ED Sombor”.

Rezultati primene DSE u realnoj DM prikazani su u trećem delu rada. Verifikacija kvaliteta rezultata izvršena je na osnovu primene poredjenja rezultata estimiranih i istovremeno izmerenih vrednosti. Presudan zaključak je izveden u četvrtom delu rada: estimacija stanja u DM nije samo moguća, već je takođe dovoljno pouzdana i tačna za menadžment DM

u realnom vremenu. Radovi upotrebljeni za pisanje ovog rada su dati u petom delu rada.

2. DISTRIBUTION STATE ESTIMATION

DSE algoritam se sastoji od sledećih pet koraka [11]:

1. preestimacija režima,
2. verifikacija topologije,
3. verifikacija merenja,
4. kalibracija potrošnje i
5. proračun tokova snaga.

2.1. Preestimacija režima

Istorijski podaci, sa kojima se može opisati potrošnja potrošača DM, mogu se podeliti na dve grupe:

- *normalizovani dnevni hronološki dijagrami (NDHD)* – modula struja i faktora snaga, slika 1, odnosno aktivnih i reaktivnih snaga, za svaki od karakterističnih dana (npr. radni dan, subota, nedelja i praznik) i svaki od karakterističnih perioda (npr. proleće, leto, jesen i zima) i
- *kvantitativni pokazatelji potrošnje* – mogu biti vrednosti: očitavanja maksimalnih struja (opterećenja) (u A, kW, kVar), očitavanja protoka električne energije (u kWh, kVarh) za svaki karakteristični period, odnosno instalisanih snaga transformatora (u kVA)¹⁾.

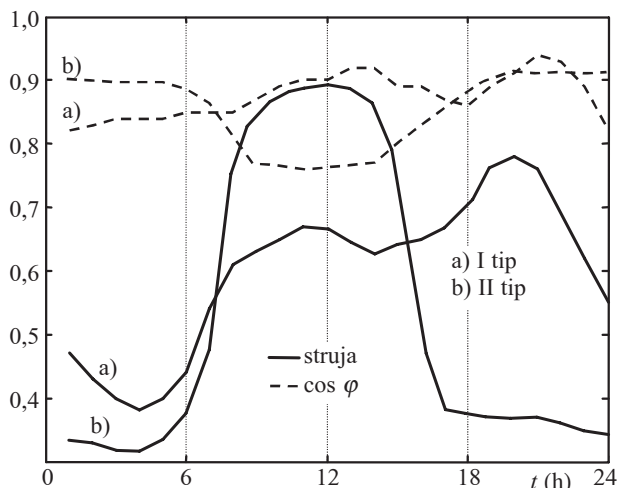
Proizvod NDHD struje (snage) i odgovarajuće vrednosti kvantitativnog pokazatelja potrošnje predstavlja dnevni hronološki dijagram (DHD) potrošnje razmatranog potrošača, u odgovarajućim jedinicama. Vrednosti potrošnje potrošača za razmatran trenutak preuzete sa DHD predstavljaju preestimirane vrednosti potrošnje.

Preestimiran režim se dobija na osnovu proračuna tokova snaga [12] za zadati napon korena, poznatu topologiju mreže i preestimirane vrednosti potrošnje. Ako se raspolože i sa telemetrisanim vrednostima merenja (prikupljene SCADA sistemom) prelazi se na sledeći koraka DSE algoritma, u suprotnom preestimacija režima predstavlja njen poslednji korak, a preestimiran režim njegovo konačno rešenje.

2.2 Verifikacija topološke strukture

Verifikacija topološke strukture predstavlja proveru aktuelne topološke strukture DM, odnosno utvrdjivanje i eliminaciju eventualno učinjenih grešaka nastalih prilikom ažuriranja promene statusa ras-

¹⁾ Dosadašnja iskustva sa estimacijom stanja pokazuju da se najlošiji rezultati dobijaju kada se kao kvantitativni pokazatelji koriste vrednosti instalisanih snaga transformatora.



Slika 1. Normalizovani dnevni hronološki dijagrami potrošnje za dva tipa potrošnje

klopne opreme DM, koje se izvode putem SCADA sistema i/ili ručno na terenu. Usled izuzetno male redundanse daljinski prenetih podataka mogućnosti ovog dela algoritma su veoma skromne, ali ne i beznačajne. Aktivnosti se svode na praćenje promena vrednosti merenja. Ova heuristička pravila zasnivaju se na činjenici da se vrednost potrošnje kontinualno menja. Ako se DSE neprestano vrši (npr. svakih 10 sekundi), svaka nagla promena telemetrisane vrednosti merenja, koja nije praćena i promenom statusa rasklopne opreme, odnosno velika razlika između „dobrih” istorijskih podataka i telemetrisanih vrednosti, posledica je netačne topologije mreže, odnosno predstavlja „lošu” telemetrisanu vrednost merenja.

2.3. Verifikacija telemetrisanih vrednosti merenja

Verifikacija merenja podrazumeva detekciju, korekciju ili eliminaciju loše telemetrisane vrednosti merenja. Zbog male redundanse podataka verifikacija merenja se zasniva na veštačkoj redundansi podataka, koja se postiže korišćenjem pseudo i virtualnih merenja, koja su rezultat Preestimacije režima. Verifikacija telemetrisanih veličina merenja se sastoji od sledećih pet pod-koraka (13).

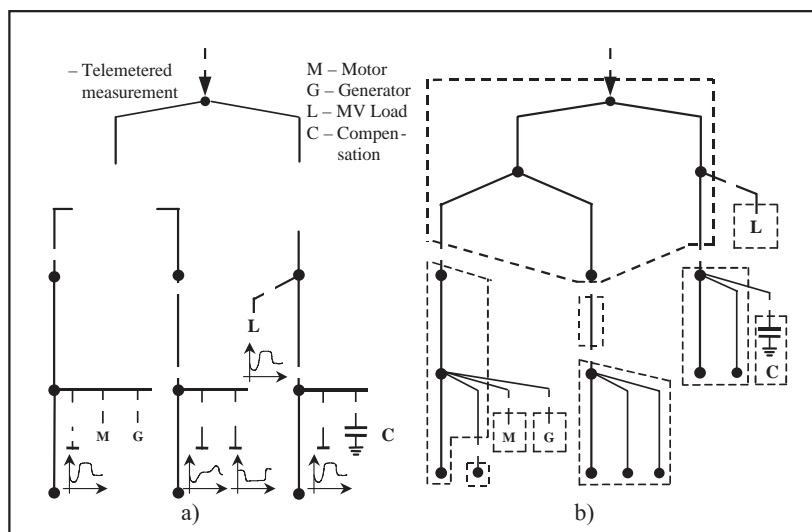
Priprema merenja: Transformacija svih merenja, različite prirode (snage, struje, faktori snage) u istovrsna merenja: 1) moduli struje i faktori snage ili 2) aktivne i reaktivne snage.

Eliminacija očigledno loših merenja: Očigledno loše merenje predstavlja merenje čija je vrednost: izvan granica određenih proradom releja zaštite; nula, a da ispod njega postoji potrošnja; premašuje zadatao odstupanje od preestimirane vrednosti, itd. Ova merenja se izbacuju iz sledećih koraka DSE algoritma.

Redukcija mreže: Mreža se redukuje ekvivalentiranjem svih neopservabilnih delova – oblasti. Oblast se sastoji od svih električno vezanih elemenata (deonica, transformatora, itd.) bez telemetrisanih vrednosti merenja struja (snaga). Oblast je spojena sa spoljnom mrežom isključivo preko grana sa telemetrisanim merenjima. Tako, ostrva nisu opservabilna u detaljima, ali njihova ukupna potrošnja jeste. Na ovaj način, nakon primene veoma jednostavne procedure ekvivalentiranja, predominantna neopservabilna mreža sa N čvorova (slika 2a) se redukuje na potpuno opservabilnu ekvivalentnu mrežu sa N_o čvorova (slika 2b, ostrva su naglašena isprekidanim linijama).

Procedura verifikacije: Optimizaciona procedura sa ograničenjima za verifikaciju merenja, primenjena na opservabilni ekvivalentni model mreže (sa redukovanim brojem čvorova), je radikalno brža od primene na model cele mreže. Ova procedura se sastoji od minimizacije objektivne funkcije – suma kvadrata odstupanja merene (m) i preestimirane (p) od estimirane (e) vrednosti N_m telemetrisanih merenja x_j i N_o ukupnih potrošnji ostrva x_n :

$$\begin{aligned} \ddot{O} = & \sum_{j=1}^{N_m} [w_j^m (x_j^m - x_j^e)^2 + w_j^p (x_j^p - x_j^e)^2] W_j + \\ & + \sum_{n=1}^{N_o} w_n^p (x_n^p - x_n^e)^2 W_n, \end{aligned} \quad (1)$$



Slika 2. Mreža (a) podeljena na neopservabilne oblasti (b)

sa N_o ograničenja, po jedno ograničenje za svaku oblast:

$$f_n = x_n^e + \Delta x_n^p - \sum_{j=1}^{N_m} k_{nj} x_j^e = 0, n = 1, \dots, N_o \quad (2)$$

Relativne težine telemetrisanih i preestimiranih vrednosti su označene sa w ; a relativne težine varijabli stanja i potrošnji ostrva sa W ; k_{nj} predstavlja znak merene veličine x_j (pozitivan ako ona ulazi u oblast); Δx_n predstavlja ukupne aktivne i reaktivne gubitke, kada su nepoznate varijable x_j u [1] aktivne i reaktivne snage, odnosno realni i imaginarni deo ukupnih otopnih struja ostrva kada su nepoznate varijable struje.

Jednačine tokova snaga su glavna ograničenja razmatrane optimizacione procedure. One su implicitno uključene u proceduru preko prvog i petog koraka: Preestimacija režima i Proračun tokova snaga.

Rezultat optimizacione procedure se sastoji od estimiranih vrednosti merenja i ukupnih potrošnji ostrva. Ove vrednosti se proveravaju u sledećem pod-koraku.

Detekcija i eliminacija loših merenja: Ako postoji, merenje čija estimirana vrednost najviše premašuje unapred definisan prag maksimalno dozvoljenog odstupanja estimirane i merene vrednosti, naziva se loše merenje i eliminiše se iz daljeg postupka DSE. Pod-koraci tri i četiri ponavljaju se sve do momenta kada su vrednosti grešaka izmerenih i estimiranih vrednosti za sva preostala merenja manja od zadatog praga. Preostala merenja predstavljaju skup pouzdanih merenja kojima se dodeljuju predhodno estimirane vrednosti. Na osnovu tih vrednosti vrši se kalibracija potrošnje.

2.4. Kalibracija potrošnje

Ukoliko postoje potrošači sa telemetrisanim vrednostima merenja, njihove vrednosti su estimirane u prethodnom koraku. Kalibracija (popravka) preestimiranih vrednosti potrošnje neobservabilnih potrošača (dobijenih u prvom koraku DSM) vrši se na osnovu, u predhodnom koraku estimiranih, telemetrisanih vrednosti merenja. Kalibracija opterećenja čvora i , u oblasti n sa N_n čvorova je:

$$x_{ni}^e = \frac{x_n^e}{x_n^p} x_{ni}^p, i = 1, \dots, N_n, n = 1, \dots, N_o. \quad (3)$$

2.5. Proračun tokova snaga

Na osnovu vrednosti modula fazora napona u korenu DM i kalibrisanih vrednosti potrošnje potrošača u vidu aktivnih i reaktivnih snaga, odnosno modula struja i faktora snaga, omogućen je proračun tokova snaga i naponskih prilika razmatrane DM [11].

Rezultat proračuna je stanje mreže (fazori napona u svim čvorovima) usaglašeno sa estimiranim (verifikovanim) vrednostima merenja.

3. VERIFIKACIJA FUNKCIJE ESTIMACIJE STANJA

Verifikacija prikazanog matematičkog modela za DSE izvršena je na delu DM „ED Sombor” koji se električnom energijom snabdeva preko transformatora 110/20 kV/kV (Tr 1) u TS „Sombor 2”. Tr 1 je snage 31,5 MVA i napaja DM, ukupne dužine 130 km, u kojoj se nalazi 127 TS 20/0,4 kV/kV ukupne instalisane snage 40,29 MVA. U razmatranom konzumu električnom energijom snabdeva se ukupno 8 975 potrošača sa dela područja grada Sombora i naselja Bezdan, Kolut, Bački Monoštor, Bački Breg i Kupusina. Jednopolna šema razmatranog dela mreže, sa rasporedom merne opreme, prikazana je na slici 3.

Eksperimentalni period od 64 dana je podeljen na tri karakteristična perioda: leto, jesen i zima. Za potrebe verifikacije, funkcija DSE se izvršavala automatski, a njeni rezultati zapisivali svakog punog sata. Istovremeno, u izabranim TS 20/0,4 kV/kV na naponskom nivou 0,4 kV, memorisane su petominutne, odnosno petnaestominutne srednje vrednosti merenja modula struja i napona. Kvantifikacija kvaliteta rezultata estimacije stanja zasniva se na poređenju estimiranih i istovremeno izmerenih vrednosti modula struja i napona, kako u TS 110/20 kV/kV, tako i u TS 20/0,4 kV/kV. U tu svrhu korišćeni su kvantitativni pokazatelji odstupanja (greške) preestimirane, izmerene i estimirane vrednosti modula struja, odnosno napona:

– srednje apsolutno i srednje procentualno odstupanje izmerene i preestimirane ($\alpha=P$), odnosno izmerene i estimirane ($\alpha=E$) vrednosti modula struje ($X=I$, ovi pokazatelji su u nastavku označeni sa B i D , respektivno), odnosno napona ($X=V, F$ i G , respektivno) za m trenutaka merenja:

$$\Delta X_{sr}^{M\alpha} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m |X_j^M - X_j^\alpha| \quad \alpha \in \{P, E\},$$

$$\Delta X_{sr}^{M\alpha \%} = \frac{100}{m} \sum_{j=1}^m \frac{|X_j^M - X_j^\alpha|}{X_j^\alpha} (\%) \quad (4)$$

– maksimalno apsolutno i maksimalno procentualno odstupanje izmerene i preestimirane ($\alpha=P$), odnosno izmerene i estimirane ($\alpha=E$) vrednosti modula struje ($X=I, C$ i E , respektivno), odnosno napona ($X=V, H$ i I , respektivno) za m trenutaka merenja:

$$\Delta X_{\max}^{M\alpha} = \max \sum_{j=1}^m |X_j^M - X_j^\alpha| \quad \alpha \in \{P, E\},$$

$$\Delta X_{\max \%}^{M\alpha} = \max 100 \sum_{j=1}^m \frac{|X_j^M - X_j^\alpha|}{X_j^\alpha} (\%) \quad (5)$$

Poverenje u kvalitet merenih i istorijskih podataka kvantifikovan je odnosom vrednosti njihovih težinskih faktora. Za primere koji slede, ukoliko nije posebno naglašeno, taj odnos je $T_{mer} : T_{ist} = 100:30$. Na slikama isprekidana linija predstavlja preestimiranu, tačkasta linija izmerenu, a puna linija estimiranu vrednost.

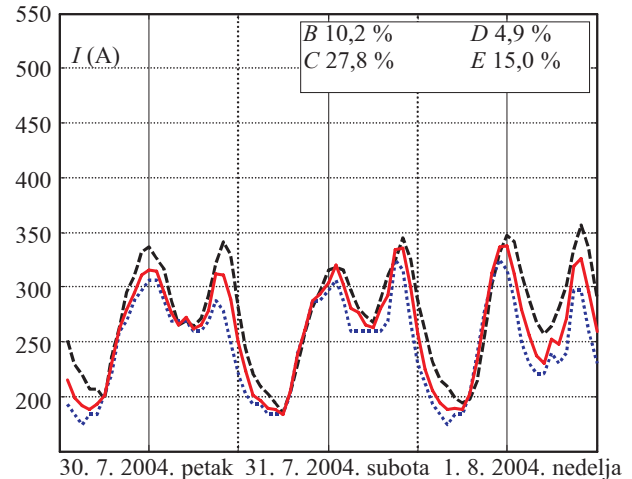
3.1. Verifikacija telemetrisanih vrednosti merenja modula 20 kV struja

Za Tr 1 i šest izvoda, u tabeli 1 su prikazane vrednosti kvantitativnih pokazatelja greške estimacije modula 20 kV struja, za tri razmatrana perioda (leto, jesen i zima) i za ceo eksperimentalni period (Prosek). Za svaki objekat naznačena je maksimalna struja perioda I_{max} .

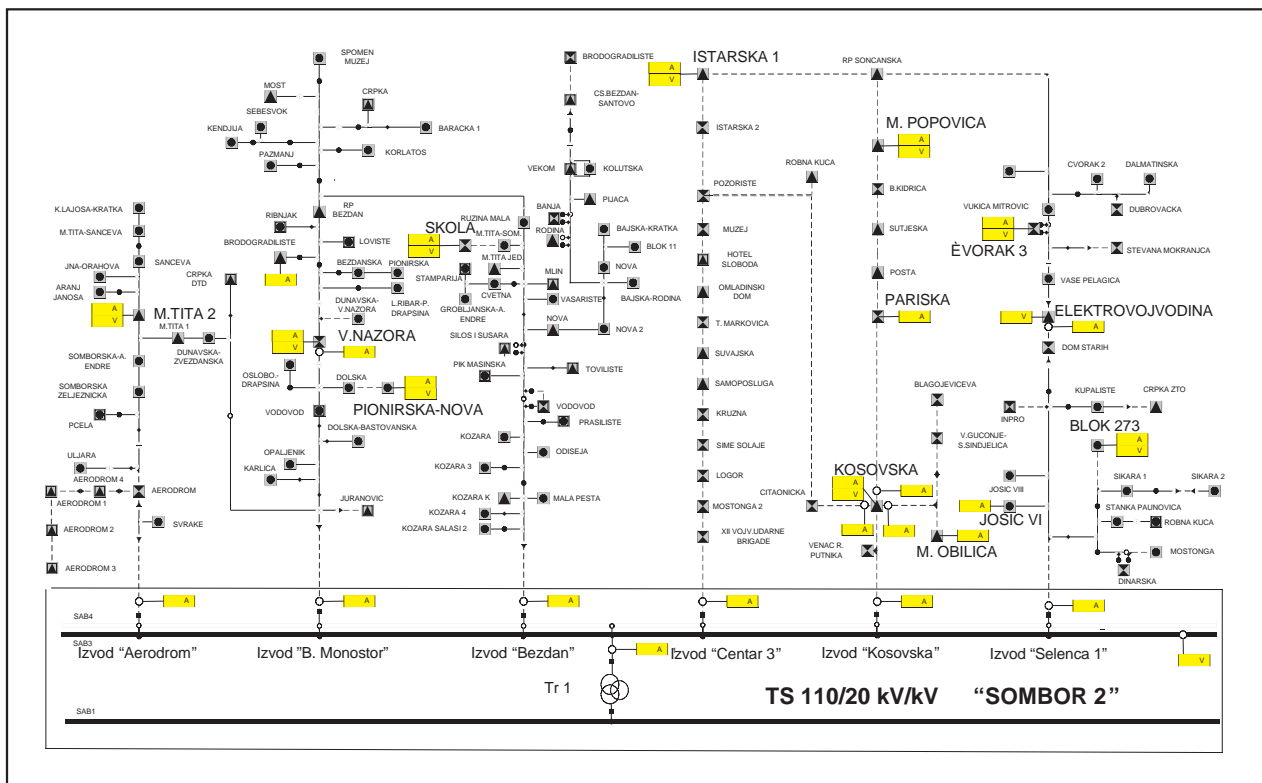
Na osnovu prikazanih rezultata može se uočiti da i pored loših istorijskih podataka (velikih vrednosti srednjih i posebno maksimalnih odstupanja istorijskih i izmerenih podataka – pokazatelji B i C do-

stižu vrednosti 30 i 60 %, respektivno) i neprimerno velikog poverenja u njih $T_{ist}=30$, srednja i maksimalna vrednost odstupanja estimiranih i izmerenih vrednosti (pokazatelji D i E) ne prelaze 10 i 20 %, respektivno. Treba naglasiti da bi se za smanjeno poverenje u istorijske podatke, npr. na $T_{ist}=5$, vrednosti kvantitativnih pokazatelja D i E bile do 3 i 10 %, respektivno. Obratiti pažnju na deo 3.4.

DHD preestimirane, izmerene i estimirane vrednosti modula 20 kV struja, za Tr 1 i izvod Centar III, za tri uzastopna dana (petak, subotu i nedelju), prika-



Slika 4. Struja Tr 1 – leto

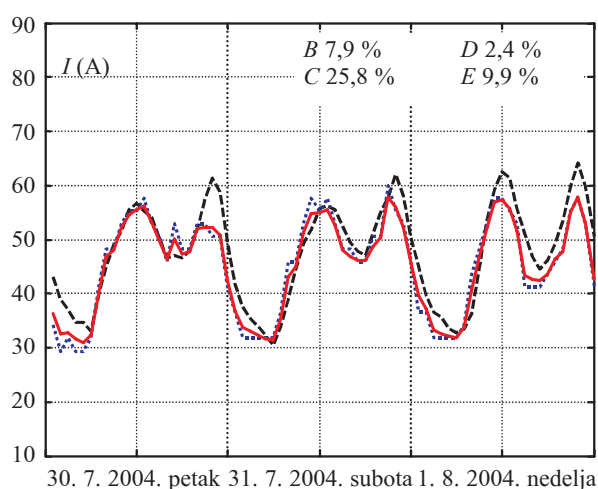


Slika 3. Raspored merne opreme

Kvantitativni pokazatelji greške estimacije modula 20 kV struja

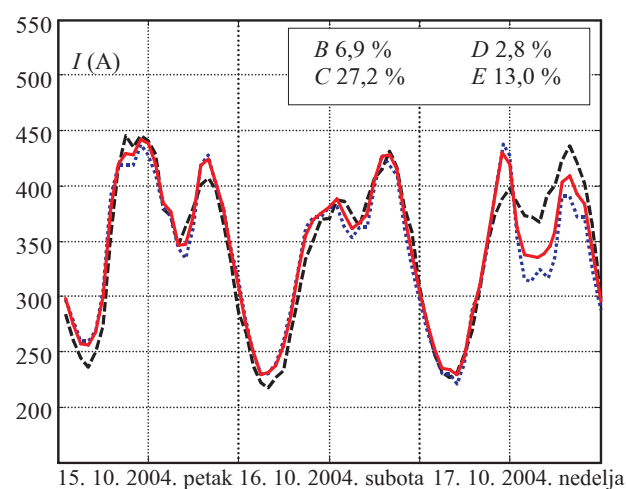
Objekat	Period	I_{max} (A)	B		C		D		E	
			(A)	(%)	(A)	(%)	(A)	(%)	(A)	(%)
Tr 1	Leto	334,1	29,7	10,2	96,1	27,8	13,4	4,9	44,1	15,0
	Jesen	484,7	24,6	6,9	103,9	27,2	9,5	2,8	42,5	13,0
	Zima	560,0	63,7	17,9	167,5	48,0	19,2	4,6	73,2	15,7
	Prosek	459,6	39,3	11,6	122,5	34,3	14,0	4,1	53,3	14,6
Izvod Aerodrom	Leto	34,1	3,0	12,2	9,1	42,8	1,0	4,1	4,2	16,5
	Jesen	45,9	3,3	11,5	21,8	35,5	1,3	4,3	7,8	16,9
	Zima	50,6	5,5	19,8	13,6	51,2	2,0	6,2	6,0	18,9
	Prosek	43,5	3,9	14,5	14,8	43,2	1,4	4,9	6,0	16,8
Izvod B. Monoštor	Leto	55,3	6,9	22,0	19,5	59,3	3,1	8,5	8,2	18,3
	Jesen	64,7	5,7	13,5	23,8	42,3	2,3	5,4	5,3	19,6
	Zima	64,7	4,3	17,6	18,9	54,8	2,4	6,1	8,3	20,0
	Prosek	61,5	5,6	17,7	20,7	52,1	2,6	7,6	7,3	20,3
Izvod Bezdan	Leto	83,5	4,7	7,6	17,1	33,2	1,7	2,7	6,7	9,4
	Jesen	97,6	5,0	7,9	20,0	25,8	1,9	2,8	6,2	9,1
	Zima	118,8	11,9	16,2	40,7	58,0	4,4	5,3	19,6	21,2
	Prosek	100,0	7,2	10,6	25,9	39,0	2,6	3,6	10,8	13,2
Izvod Kosovska	Leto	71,8	15,6	29,1	25,0	49,0	5,3	10,5	8,0	20,7
	Jesen	92,9	7,8	12,3	45,1	39,3	2,8	4,6	23,1	19,8
	Zima	128,2	13,9	19,3	41,9	49,6	5,1	6,3	21,0	21,4
	Prosek	97,6	12,4	19,5	37,3	46,0	4,4	7,2	17,3	21,3
Izvod Centar III	Leto	62,3	3,9	7,9	15,9	25,8	1,0	2,4	3,5	9,9
	Jesen	95,3	6,0	8,4	31,2	28,8	2,1	3,1	10,4	9,9
	Zima	130,6	20,3	26,5	39,9	57,1	7,7	8,5	15,0	15,8
	Prosek	96,0	10,0	14,3	29,0	37,2	3,6	4,6	9,6	11,9
Izvod Selenča 1	Leto	71,8	4,8	9,5	14,7	29,8	1,3	2,9	5,4	14,2
	Jesen	100,0	5,6	8,6	21,7	31,6	1,9	3,1	8,1	10,7
	Zima	123,5	16,2	22,3	37,5	49,9	6,0	7,1	17,9	19,9
	Prosek	98,4	8,9	13,5	24,6	37,1	3,1	4,4	10,5	14,9

zane su na slikama 4, 5, 6 i 7. Slike 4 i 5 se odnose na period leto, slika 6 na period jesen, a slika 7 na period zime. Na osnovu prikazanih rezultata, uočavaju se neskladna između procenjenih i izmerenih DHD

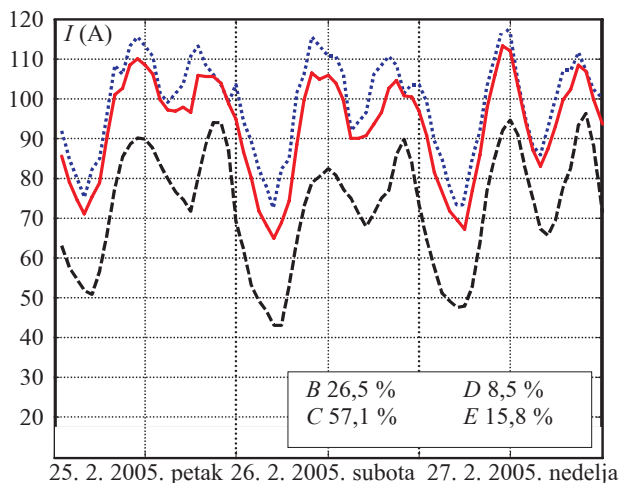


Slika 5. Struja izvoda Centar III – leto

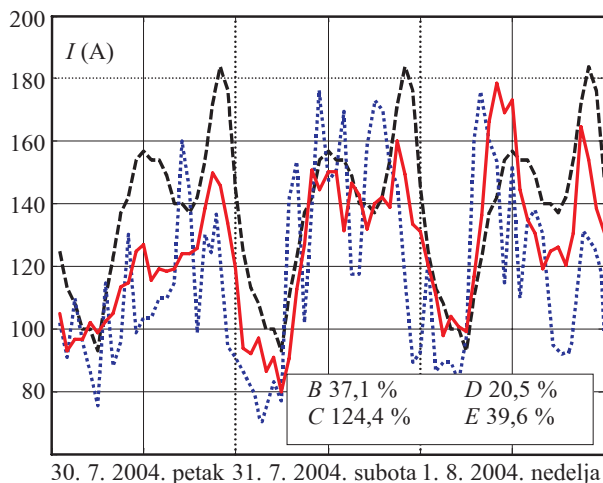
nužna je korekcija istorijskih podataka na osnovu kojih je procenjena 20 kV struja Tr 1 za leto radni dan i nedelju i jesen nedelju i izvod Centar III za leto radni dan i nedelju i za sve zimske dane.



Slika 6. Struja Tr 1 – jesen



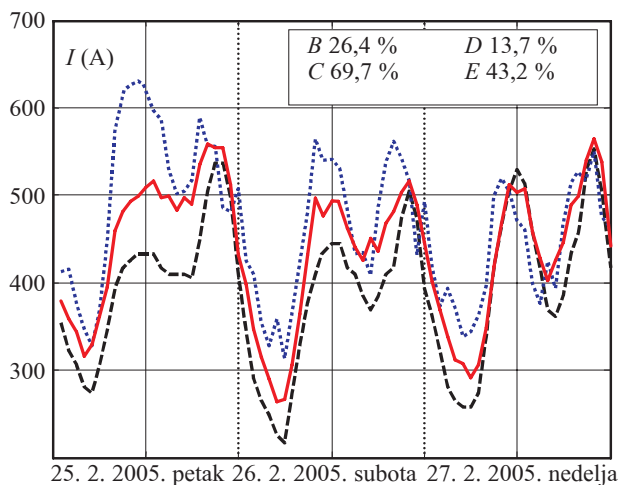
Slika 7. Struja izvoda Centar III – zima



Slika 8. 0,4 kV struja TS M.Tita 2 – leto

3.2. Verifikacija estimacije opterećenja 0,4 kV potrošača

Vrednosti kvantitativnih pokazatelja odstupanja modula 0,4 kV struja transformatora u TS 20/0,4 kV/kV sa merenjem, prikazane su u tabeli 2. Primeri estimacije DHD opterećenja dve TS 20/0,4 kV/kV, od 250 i 400 kVA, prikazani su na slikama 8 i 9. Relativno velike vrednosti kvantitativnog pokazatelja *D* (od 8,4 do 24,8) i posebno pokazatelja *E* (od 34,3 do 45,4) su posledica velikih variranja vrednosti opterećenja i izuzetno loših istorijskih podataka (pre svega oblika DHD). Dva posebno loša primera TS M.Tito 2 sa malim i nestabilnim opterećenjem za period leto i TS M.Popovića sa izuzetno visokim opterećenjem u periodu zime, istaknuti su



Slika 9. 0,4 kV struja TS M.Popovića – zima

Tabela 2.

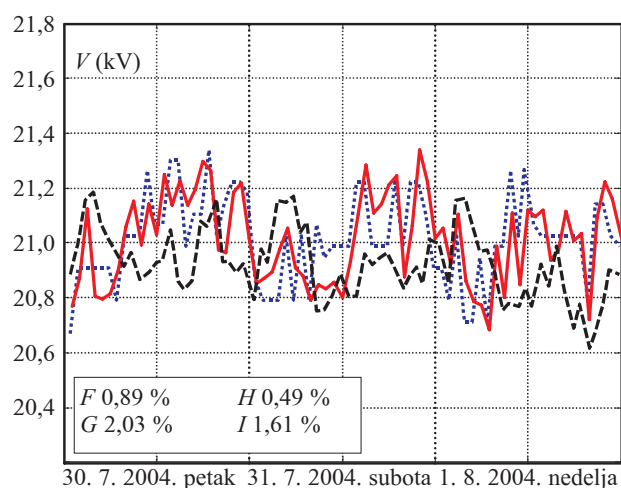
Rezultati verifikacije estimacije modula 0,4 kV struja

Naziv TS 20/0,4 kV/kV	S_n (kVA)	Period	$\frac{I_{max}}{I_{nom}}$	$\frac{I_{sr}}{I_{nom}}$	B		C		D		E	
					(A)	(%)	(A)	(%)	(A)	(%)	(A)	(%)
TS M. Tita 2	250	Leto	0,50	0,28	35,2	37,1	97,6	124,4	25,8	20,5	57,7	39,6
		Jesen	0,72	0,33	52,0	28,2	128,5	64,6	50,1	22,8	75,0	42,1
TS Škola	400	Leto	0,40	0,25	20,3	18,5	83,6	60,1	24,9	11,9	61,9	37,1
		Jesen	0,49	0,30	31,8	14,4	134,3	42,8	30,2	14,5	133,0	47,0
TS Josić VI	250	Leto	0,52	0,28	12,3	10,9	71,6	56,9	18,4	18,9	42,2	39,9
		Jesen	0,66	0,38	35,7	19,9	92,1	45,4	31,4	18,0	77,1	41,2
TS Istarska 1	630	Jesen	0,50	0,32	83,4	32,0	159,0	49,8	74,7	22,2	127,0	41,6
TS Kosovska	630	Zima	0,52	0,34	70,5	23,5	214,5	61,8	49,9	14,2	153,4	38,0
TS Pariska	630	Zima	0,86	0,40	131,4	31,5	273,8	68,4	96,3	21,1	171,1	42,5
TS M. Popovića	400	Zima	1,14	0,75	120,0	26,4	255,3	69,7	67,2	13,7	135,2	43,2
TS M. Obilića	630	Zima	0,63	0,41	80,6	24,6	190,2	63,2	49,2	13,4	161,9	45,4
TS Blok 273	250	Zima	0,89	0,56	45,9	28,6	123,6	77,4	24,2	12,9	91,2	42,1
TS Čvorak 3	630	Zima	0,62	0,39	72,1	21,7	253,7	79,0	32,5	8,4	128,0	34,3
TS V. Nazora	630	Zima	0,62	0,38	78,9	21,7	211,0	59,2	48,3	12,8	136,7	38,2
TS Pionir – Nova	250	Zima	0,59	0,36	23,9	21,3	59,8	53,2	16,9	14,3	40,2	37,8

na slikama 8 i 9. Zajednički problem je kvalitativna i kvantitativna procena njihovih DHD. Ipak treba uočiti da su i za ovako teške uslove greške estimacije stanja (parametri *D* i *E*) značajno manje od vrednosti grešaka procene opterećenja (pokazatelji *B* i *C*).

3.3. Verifikacija estimiranih vrednosti modula napona

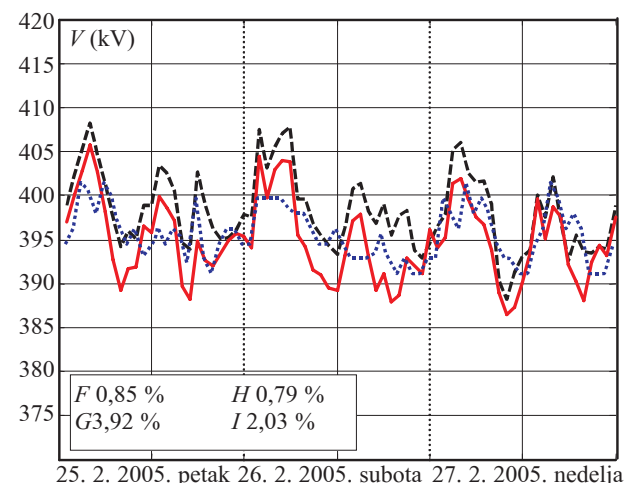
U tabeli 3 prikazane su vrednosti kvantitativni pokazatelji odstupanja preestimirane, izmerene i estimirane vrednosti 3 modula napona na 20 kV sabirnicama Tr 1 i 11 modula napona na 0,4 kV sabirnica u TS 20/0,4 kV/kV. Na osnovu prikazanih rezultata može se uočiti da i pored velikih srednjih i posebno maksimalnih odstupanja istorijskih i izmerenih podataka – pokazatelji *F* i *G*, estimacijom se



Slika 10. 20 kV napon Tr 1 – leto

dobija da srednja i maksimalna vrednost odstupanja estimiranih i izmerenih vrednosti (pokazatelji *H* i *I*) ne prelaze 1,20 i 2,84 %, respektivno.

DHD preestimirane, izmerene i estimirane vrednosti modula 20 kV napona za Tr 1 i 0,4 kV napona TS „Pionirska – Nova”, za tri uzastopna dana (petak, subotu i nedelju), prikazane su na slikama 10 i 11.



25. 2. 2005. petak 26. 2. 2005. subota 27. 2. 2005. nedelja

Slika 11. 0,4 kV napon TS Pionirska – Nova – zima

3.4. Uticaj težinskog faktora istorije

U tabeli 5 prikazane su vrednosti kvantitativnih pokazatelja odstupanja preestimiranih, izmerenih i estimiranih vrednosti struja transformatora u TS 20/0,4 kV/kV. Prikazane su vrednosti za radni dan petak 25.02.2006. godine, za konstantnu vrednost poverenja u telemetrisane podatke $T_{mer}=100$ i pet vred-

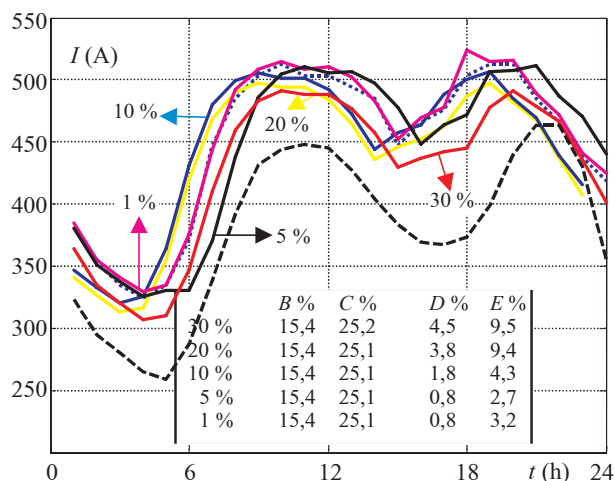
Rezultati verifikacije estimacije modula 20 kV i 0,4 kV napona

Tabela 3.

Naziv Energetskog objekta	Period	<i>F</i>		<i>G</i>		<i>H</i>		<i>I</i>	
		(V)	(%)	(V)	(%)	(V)	(%)	(V)	(%)
Tr 1	Leto	156,25	0,89	423,00	2,03	102,83	0,49	336,00	1,61
	Jesen	118,99	0,95	460,00	2,12	118,99	0,56	361,00	1,72
	Zima	250,36	1,19	490,00	2,25	140,87	0,62	402,00	1,99
TS M. Tita 2	Leto	3,63	0,88	12,00	2,97	2,52	0,61	9,01	2,17
TS Škola	Leto	5,11	1,21	14,52	3,55	4,23	1,03	11,66	2,84
	Jesen	2,79	0,67	9,18	2,16	2,92	0,71	8,25	1,94
TS Istarska 1	Jesen	4,93	1,21	12,99	3,29	3,54	0,87	11,02	2,27
TS Kosovska	Zima	5,59	1,42	14,38	3,74	4,92	1,20	9,33	2,41
TS M. Popovića	Zima	4,79	1,22	15,04	3,88	4,35	1,07	9,83	2,53
TS Blok 273	Zima	4,37	1,08	17,83	4,32	3,98	0,98	10,46	2,57
TS Čvorak 3	Zima	4,58	1,17	13,91	3,61	3,95	0,97	10,66	2,62
TS Elektrovojvodina	Zima	3,58	0,93	13,41	3,54	3,05	0,76	10,77	2,84
TS V. Nazora	Zima	2,81	0,72	11,10	2,93	2,85	0,70	11,06	2,69
TS Pionirska – Nova	Zima	3,37	0,85	15,27	3,92	3,13	0,79	8,92	2,03

nosti težinskog faktora istorije $T_{ist} = 30, 20, 10, 5$ i 1. Uticaj odnosa vrednosti težinskih faktora poverenja u istorijske i telemetrisane podatke, na kvalitet estimacije DHD modula 20 kV struje Tr 1 i 0,4 kV struje transformatora u TS Kosovska i TS Čvorak, prikazan je na slikama 12, 13 i 14, respektivno. Uticaj na kvalitet estimacije DHD modula 0,4 kV napona u TS V.Nazor, prikazan je na slici 15.

Na osnovu rezultata može se uočiti da za većinu primera smanjenjem poverenja u istorijske podatke raste kvalitet rezultata DSE, što je posledica već uočenog problema – izrazito loših istorijskih podataka. Svakako treba naglasiti da ovo nije generalno pravilo, jer npr. kvantitativni pokazatelj E za TS Čvorak i TS Pionir – Nova postiže najmanju vrednost za $T_{ist} = 30$ i $T_{ist} = 5$.

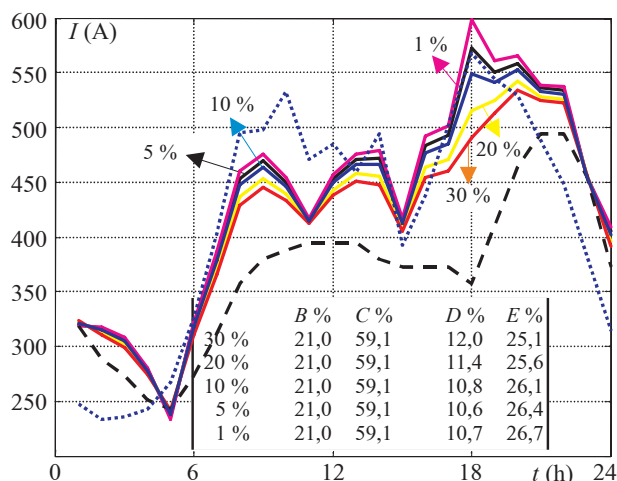


Slika 12. DHD 20 kV struje Tr 1 – zima

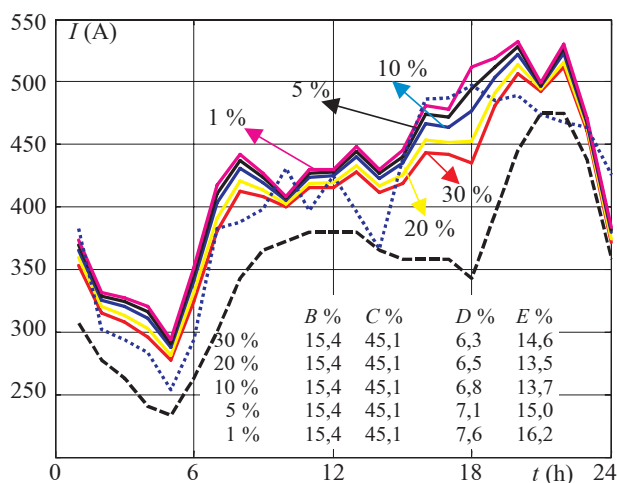
Tabela 5.

Kvantitativni pokazatelji odstupanja 0,4 kV struja za TS 20/0,4 kV/kV

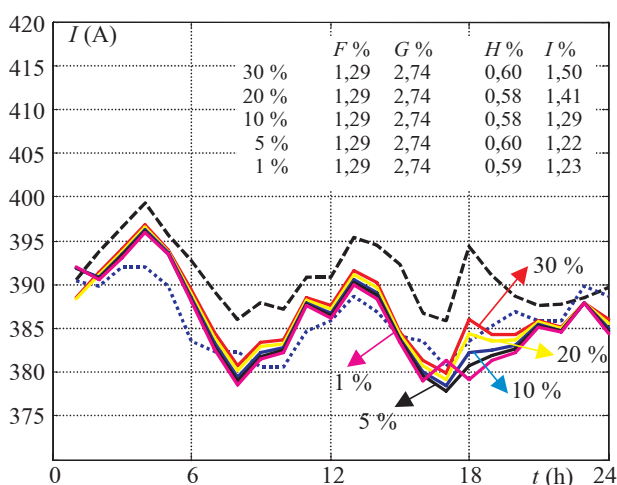
TS 20/0,4 kV/kV Mesto Izvod	T_{ist}	B		C		D		E	
		(A)	(%)	(A)	(%)	(A)	(%)	(A)	(%)
TS Kosovska Sombor „Kosovska”	30	64,9	22,5	138,9	49,3	33,7	10,1	89,4	27,0
	20					30,9	9,1	83,9	24,9
	10					27,5	8,1	77,0	22,4
	5					25,8	7,6	72,9	21,0
	1					24,5	7,2	69,2	19,7
TS M. Popovića Sombor Kosovska	30	114,9	30,2	254,3	63,6	63,0	14,0	190,8	41,2
	20					57,8	12,7	183,3	38,9
	10					52,8	11,4	173,9	36,2
	5					50,5	10,8	168,1	34,6
	1					49,3	10,4	162,9	33,1
TS M. Obilića Sombor Kosovska	30	68,4	21,7	158,0	51,5	35,6	9,6	98,0	30,9
	20					36,1	9,5	96,1	30,1
	10					37,1	9,4	93,8	29,2
	5					37,8	9,4	92,6	28,7
	1					39,0	9,5	91,6	28,3
TS Blok 273 Sombor Selenča 1	30	39,0	24,6	79,1	46,1	20,5	10,8	42,9	24,9
	20					18,9	9,8	41,0	23,3
	10					17,0	8,6	38,6	21,3
	5					16,5	8,2	37,2	20,1
	1					17,0	8,4	37,6	19,1
TS Čvorak 3 Sombor Selenča 1	30	52,5	15,4	154,7	45,1	25,2	6,3	62,4	14,6
	20					25,9	6,5	50,6	13,5
	10					27,5	6,8	57,0	13,7
	5					28,7	7,1	60,8	15,0
	1					31,3	7,6	64,2	16,2
TS V. Nazora B Monoštor B Monoštor	30	78,9	21,0	211,0	59,1	47,8	12,0	99,2	25,1
	20					45,4	11,4	93,9	25,6
	10					42,7	10,8	87,1	26,1
	5					41,9	10,6	90,4	26,4
	1					48,1	10,7	93,8	26,7
TS Pionir- Nova B Monoštor B Monoštor	30	23,4	20,5	59,1	51,3	16,5	13,8	37,9	34,2
	20					15,8	13,1	36,5	33,2
	10					14,9	12,4	35,6	32,2
	5					14,7	12,2	35,5	32,5
	1					16,6	13,9	37,8	34,8



Slika 13. DHD 0,4 kV struje TS V. Nabor – zima



Slika 14. Struja 0,4 kV TS Čvorak – zima



Slika 15. 0,4 kV napon TS V. Nabor – zima

4. ZAKLJUČAK

Funkcija DSE osnovna je i najvažnija analitička funkcija za proračun DM. Ona se koristi za procenu i analizu (prošlog, aktuelnog, ili budućeg) stanja DM. Ovaj rad ukratko opisuje ideju jednostavnog, brzog i robusnog praktično primenljivog DSE algoritma. Njegova brzina je rezultat pre svega redukcije svih delova mreže (u matematičkom modelu mreže) koji nisu daljinski nadgledati. Njegova snaga se ogleda u činjenici da se može prilagoditi svakoj distribivnoj mreži – od onih za koje su dostupni jedino istorijski podaci, do onih koje su potpuno daljinski nadgledane. Glavni aspekt ovog rada je potvrda njegove efikasnosti na terenu. Prezentirani rezultati su samo jedan mali, ali reprezentativni deo rezultata dobijenih poređenjem vrednosti dugotrajnih veoma kompleksnih merenja i primene DSE in real-time, izvršenih u poslednjih par godina. Rad naglašava glavne zaključke:

1. – Značaj istorijskih i telemetrisanih podataka ne samo da je naglašen, već je njihova relativna težina praktično konstatovana (DSE je projektovan na taj način da je njegova efikasnost u direktnoj proporciji sa veličinom posmatranog dela mreže i kvalitetom istorijskih podataka);
2. – Kvalitet rezultata DSE raste sa porastom broj potrošača koje napaja element čija se veličina estimira;
3. – Estimacija napona daje veoma dobre rezultate, što omogućava izvođenje centralizovane naponske kontrole. Konačno, rad dokazuje da real-time DSE ne samo da je moguća, već je takode dovoljno pouzdana i tačna, kako za analizu režima distribivnih mreža u on-line modu, tako i za njeno upravljanje u realnom vremenu.

5. LITERATURA

- [1] M. K. Celik, W. -H. E. Liu: A PRACTICAL DISTRIBUTION STATE CALCULATION ALGORITHM, Proceedings of IEEE Winter Meeting '99, 1999., pp. 442-447
- [2] M. E. Baran, A. W. Kelley: A BRANCH-CURRENT-BASED STATE ESTIMATION METHOD FOR DISTRIBUTION SYSTEMS, IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 10, No. 1, 1995., pp. 483-491
- [3] C. N. Lu, J. H. Teng, W. -H. E. Liu: DISTRIBUTION SYSTEM STATE ESTIMATION, IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 10, No. 1, 1996., pp. 229-240
- [4] K. Li: State ESTIMATION FOR POWER DISTRIBUTION SYSTEM AND MEASUREMENT IMPACTS, IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 11, No. 2, 1996., pp. 911-916
- [5] A. P. Meliopoulos, F. Zhang: MULTIPHASE POWER FLOW AND STATE ESTIMATION FOR

- POWER DISTRIBUTION SYSTEMS, IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 11, No. 2, 1996., pp. 939-946
- [6] I. Roytelman, S. M. Shahidepour: STATE ESTIMATION FOR ELECTRIC POWER DISTRIBUTION SYSTEMS IN QUASI REAL-TIME CONDITIONS, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 8, No. 4, 1993., pp. 2009-2015
- [7] D. S. Popović: POWER APPLICATION – A CHERRY ON THE TOP OF THE DMS CAKE, DA/DSM DistribuTECH Europe 2000, Specialist Track 3, Session 3, 2000., Paper 2.
- [8] A. K. Ghosh, D. L. Lubkeman, R. H. Jones: LOAD MODELING FOR DISTRIBUTION CIRCUIT STATE ESTIMATION, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 12, No. 2, 1997., pp. 999-1005
- [9] G. Švenda, V. Strezoski: ESTIMACIJA STANJA KAO OSNOVNA ENERGETSKA FUNKCIJA ZA ANALIZU, UPRAVLJANJE I PLANIRANJE POGONA DISTRIBUTIVNIH MREŽA, I Jugoslovensko savetovanje o elektrodistributivnim mrežama – JUKO CIRED, 1998., ref. R-4. 03, str. R-4. 03/1-8
- [10] ****: ENERGETSKE APLIKACIJE ZA OPERATIVNO UPRAVLJANJE DISTRIBUTIVNIM MREŽAMA, Institut za energetiku i telekomunikacije, Fakultet tehničkih nauka – Novi Sad, 1999-2006
- [11] Z. J. Simendić, V. C. Strezoski, G. S. Švenda: IN-FIELD VERIFICATION OF THE REAL-TIME DISTRIBUTION STATE ESTIMATION, 18-th International Conference on electricity Distribution, 2005., Session No. 3.
- [12] D. Sirmohammadi, H. W. Hong, A. Semlyen, G. X. Luo: A COMPENSATION-BASED POWER FLOW METHOD FOR WEAKLY MESHED DISTRIBUTION AND TRANSMISSION NETWORKS, IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 3, No. 2, 1988., pp. 753-762
- [13] G. Švenda, V. Strezoski: VERIFIKACIJA MERE-NJA U DISTRIBUTIVNIM MREŽAMA, 25. Save-tovanje JUKO-CIGRE, 2001., ref. R38-10, str. R38-10/1-6

Rad je primljen u uredništvo 15. 11. 2006. godine



Zoran J. Simendić rođen je 1957. godine u Somboru gde je završio osnovnu školu i Gimnaziju. Diplomirao je 1982. godine a magistrirao 2006. godine na Fakultetu Tehničkih nauka u Novom Sadu, elektotehnički odsek. Od 1983. godine radio je u Elektroizgradnji „Sombor” Sombor, a od 1991. godine zaposlen je u PD „Elektrovojvodina” d.o.o. „Elektrodistribucija Sombor” u Somboru. Sada radi na poslovima zamenika direktora ogranaka. Objavio je više radova. Oblast interesovanja je analiza i upravljanje distributivnim mrežama.



Goran S. Švenda rođen je 1962. godine u Somboru gde je završio osnovnu i srednju školu. Diplomirao je 1988. godine na Elektrotehničkom odseku na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Magistarirao je 1994. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, smer Elektroenergetski sistemi, gde je 2001. godine odbranio doktorsku tezu. Zaposlen je na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, gde je izabran u zvanje docenta. Od osnivanja član je DMS Grupe gde je angažovan na vođenju i izradi domaćih i međunarodnih projekata i energetske aplikacije za analizu, operativno upravljanje i planiranje pogona sredjenaponskih distributivnih mreža. Do sada autor je i koautor više od 40 naučnih radova u međunarodnim i domaćim časopisima i konferencijama.



Vladimir C. Strezoski rođen je u Bitolju, Makedonija, 1949. godine. Diplomirao je, magistrirao i doktorirao na Elektroenergetici Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu 1973., 1978. i 1985. godine, respektivno. Od 1978. godine radi na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Sada je redovni profesor na Fakultetu tehničkih nauka, na predmetima elektroenergetike. Član je svih domaćih stručnih organizacija relevantnih za razvoj elektroprivrede (CIGRE, CIRED, ETRAN, ...) i međunarodne asocijacije IEEE. Pored dve monografije i dva udžbenika iz oblasti elektroenergetike, napisao je preko 20 članaka u međunarodnim i domaćim časopisima i preko 50 članaka na međunarodnim i domaćim konferencijama. Prof. dr Vladimir Strezoski vodio je i radio na preko 40 domaćih i međunarodnih, naučnih i stručnih projekata na polju elektroenergetike.



Vidoje R. Mijatović rođen je 1972. godine u Somboru gde je završio srednju tehničku školu. Diplomirao je 2001. godine na Fakultetu Tehničkih nauka u Novom Sadu, elektotehnički odsek. Od 2002. godine zaposlen je u PD „Elektrovojvodina” d.o.o. „Elektrodistribucija Sombor” u Somboru gde radi na poslovima inženjera merenja i zaštite. Koautor je u više objavljenih radova iz oblasti merenja i zaštite što mu je i oblast interesovanja.

Korišćenje „fuzzy” logike za otkrivanje krađa kod kupaca električne energije sa jednotarifnim brojilima

Stručni rad
UDK: 621.31; 621.317; 177.9

Rezime:

Ovim referatom zaokružuje se metod otkrivanja krađe električne energije koristeći „FUZZY” logiku. Predmet razmatranja su kupci kategorisani kao domaćinstva sa jednotarifnim merenjem.

Ključne reči: *neovlašćena potrošnja, „FUZZY” skupovi, „FUZZY” logika i defazifikacija*

Abstract:

APPLICATION OF „FUZZY” LOGIC IN DETECTION OF UNAUTHORIZED ELECTRICITY CONSUMPTION BY CUSTOMERS WITH SINGLE-RATE TARIFF METERS

This report sums up the method of detection of unauthorized electricity consumption by applying „FUZZY” logic’. The subject matter is customers categorized as households with single-rate meters.

Key words: *unauthorized consumption, fuzzy groups, fuzzy logic, defuzzification*

1. UVOD

U [1] prikazan je metod otkrivanja krađa električne energije kod kupaca kategorisanih kao domaćinstva sa dvotarifnim merenjem.

U tarifnoj grupi „domaćinstva” kupci sa jednotarifnim merenjem učestvovali su na nivou ED Leskovac sa 33,92 % od preuzete električne energije. To je dovoljan razlog da se koncept metoda izloženog u [1] proširi i na ovu kategoriju kupaca električne energije.

Kontrole krađe električne energije zasnivaju se na indikatorima kao što su: veoma mala utrošena električna energija u nekom uočenom periodu, nelogična razlika potrošnje u okvirima prethodnih godi-

na, odstupanje potrošnje analiziranog kupca u odnosu na prosečnu potrošnju približne elektrificiranosti domaćinstava u urbanim naseljima ili u odnosu na prosečnu potrošnju uži lokaliteta u ruralnim oblastima.

Biranje na takav način ciljnih potrošača koje treba kontrolisati dovodi do „praznih hodova”, koji kao rezultat daju veliki broj kontrolisanih kupaca, a mali broj sa nađenom krađom.

Manja ili veća sklonost (ili motiv) za neovlašćenu potrošnju može se lingvistički izraziti pomoću odgovarajućih „FUZZY” skupova, a onda se primenom „FUZZY” logike može formirati ocena o mogućnosti krađe električne energije.

2. OCENA SUMNJE KRADE ELEKTRIČNE ENERGIJE

2. 1. Formiranje kriterijuma

Za evidentirane kupce sa jednotarifnim merenjem koji se uredno očitavaju, u bazi podataka postoje podaci o potrošnji na nivou jednog, nekoliko meseci, šest meseci i na nivou cele godine.

Veće razlike u elektrificiranosti domaćinstva prisutnije su u urbanim sredinama. Izražena je tendencija veće potrošnje u hladnijem periodu oktobar - mart. Ovo se pre svega odnosi na domaćinstva sa električnim grejanjem.

U ruralnim područjima veću pažnju treba obratiti na topliji period mart - oktobar.

Veoma je prihvatljiva hipoteza da jednotarifni kupci treba u proseku da imaju manju potrošnju od dvotarifnih, ali to nas ne oslobađa obaveza da ih treba analizirati, a zatim i prekontrolisati.

Usvojiće se dva kriterijuma:

Kriterijum A izražen preko koeficijenta K_5

$$K_5 = \frac{W_H}{\underline{W}_H} \cdot 100 (\%) \quad (1)$$

Gde je:

W_H – utrošena - evidentirana električna energija kupaca u hladnijem polugodištu oktobar - mart i

\underline{W}_H – prosečna evidentirana električna energija za određenu elektrificiranost domaćinstva u istom posmatranom periodu.

Zbog očuvanja specifičnosti područja u kome se potrošač nalazi, \underline{W}_H se vezuje i za određeni lokalitet, pri čemu je najbliže određenje trafo reon, a ide ka širem kao što je naselje, odnosno tip naselja, gde

se na primer ruralna područja mogu podeliti na ravničarska i brdsko-planinska.

Kriterijum B izražen je preko koeficijenta K_b

$$K_b = \frac{W_T}{\underline{W}_T} \cdot 100 (\%) \quad (2)$$

Gde je:

W_T – utrošena - evidentirana električna energija kupca u toplijem polugodištu mart - oktobar

\underline{W}_T – prosečna evidentirana električna energija za određenu elektrificiranost domaćinstva u istom posmatranom periodu.

Logika određivanja \underline{W}_T je ista kao i za \underline{W}_H .

2. 2. Formiranje funkcije pripadnosti fazi skupovima

U klasičnoj teoriji skupova pripadnost elemenata x skupa A opisuje se funkcijom pripadnosti $\mu_A(x)$ na sledeći način:

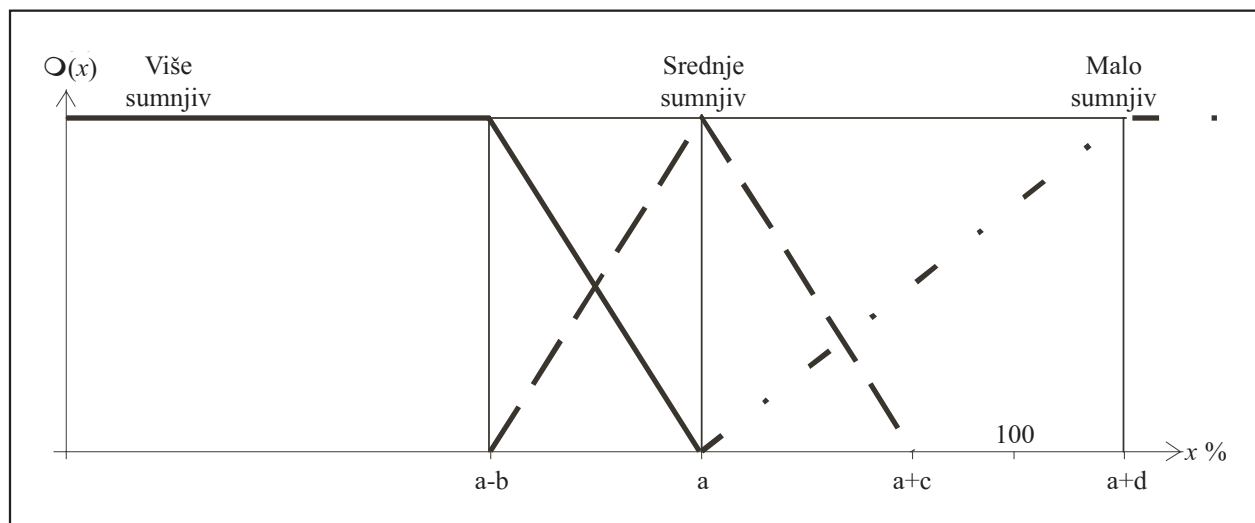
$$\begin{aligned} \mu_A(x) &= 1, \text{ kada } x \text{ pripada } A \\ \mu_A(x) &= 0, \text{ kada } x \text{ ne pripada } A \end{aligned} \quad (3)$$

Kod „FUZZY” (rasplnutih) skupova funkcija pripadnosti može uzeti bilo koju vrednost na segmentu $[0,1]$. FUZZY” skupa A definiše se skupom uređenih parova x i $\mu_A(x)$, pri čemu je $\mu_A(x)$ stepen pripadnosti elementa x skupu A .

Veličina $\mu_A(x)$ izražava meru istine u tvrdnji da element x pripada skupu A .

I za kriterijum A i za kriterijum B formirajmo „FUZZY” skupove za više sumnjive kupce, srednje sumnjive i malo sumnjive kupce.

Predstavimo u koordinatnom sistemu $\mu(x)$, 0, x sva tri „FUZZY” skupa po kriterijumu A .



Slika 1. Funkcije pripadnosti skupovima po kriterijumu A

Funkcije pripadnosti koje definišu gornje skupove:

Više sumnjiv određen punom linijom

$$O(x) = \begin{cases} 1, & x < a-b \\ \frac{a-x}{b}, & a \leq x \leq a-b \\ 0, & x > a \end{cases} \quad (4)$$

Srednje sumnjiv određen crtom - crtom

$$O(x) = \begin{cases} \frac{x-(a-b)}{b}, & (a-b) \leq x \leq a \\ \frac{(a+c)-x}{c}, & a \leq x \leq (a+c) \\ 0, & x < a-b \text{ i } x > a+c \end{cases} \quad (5)$$

Manje sumnjiv određen crtom - tačkom - crtom

$$O(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{d}, & a \leq x \leq a+d \\ 1, & x > a+d \end{cases} \quad (6)$$

Na istin način mogu se predstaviti „FUZZY” skupovi po kriterijumu B , ali su moguće različite vrednosti koeficijenta a , b , c , i d . Tako „FUZZY” skupovi po kriterijumu A mogu biti određeni sa a_A , b_A , c_A , i d_A , a „FUZZY” skupovi po kriterijumu B biće određeni sa a_B , b_B , c_B i d_B .

Važno je istaći da oblik dijagrama na slici 2. zavisi od elektrificiranosti domaćinstava.

2. 3. Korišćenje „FUZZY” logike za ocenu sumnje za krađu električne energije od strane kupaca

U razmatranim slučajevima ulazne promenljive su takozvane lingvističke promenljive - kao na primer za kriterijum A „sumnjivi” kupci, a za kriteri-

jum B „srednje sumnjivi” kupci. Izlazna promenljiva treba da bude ocena sumnje za krađu kupca (u daljem tekstu ocena sumnje).

„FUZZY” logika se uspešno koristi za određivanje izlazne promenljive, ako je teško odrediti međuzavisnost koja postoji između ulaznih promenljivih. Model zasnovan na „FUZZY” logici sastoji se iz pravila „ako” - „tada”.

Označimo ulazno promenljive: kriterijum A (više sumnjivi, srednje sumnjivi, malo sumnjivi) i kriterijum B (više sumnjiv, srednje sumnjiv, malo sumnjiv).

Označimo sa ip izlaznu promenljivu kojom se izražava ocena sumnje i koja uzima vrednost 0-100 %. Takođe, ovu ocenu možemo izraziti lingvistički, preko „FUZZY” skupova, kao: mala sumnja, malo veća sumnja, srednja sumnja, značajna i velika sumnja.

Kombinacijom ulazno promenljivih po kriterijumima A i B , može se postaviti devet pravila za ocenu sumnje:

Pravilo 1.

AKO je kupac po kriterijumu A više sumnjiv, a po kriterijumu B više sumnjiv, TADA je IP velika.

Pravilo 2.

AKO je kupac po kriterijumu A više sumnjiv, a po kriterijumu B srednje sumnjiv, TADA je IP značajna

Pravilo 3.

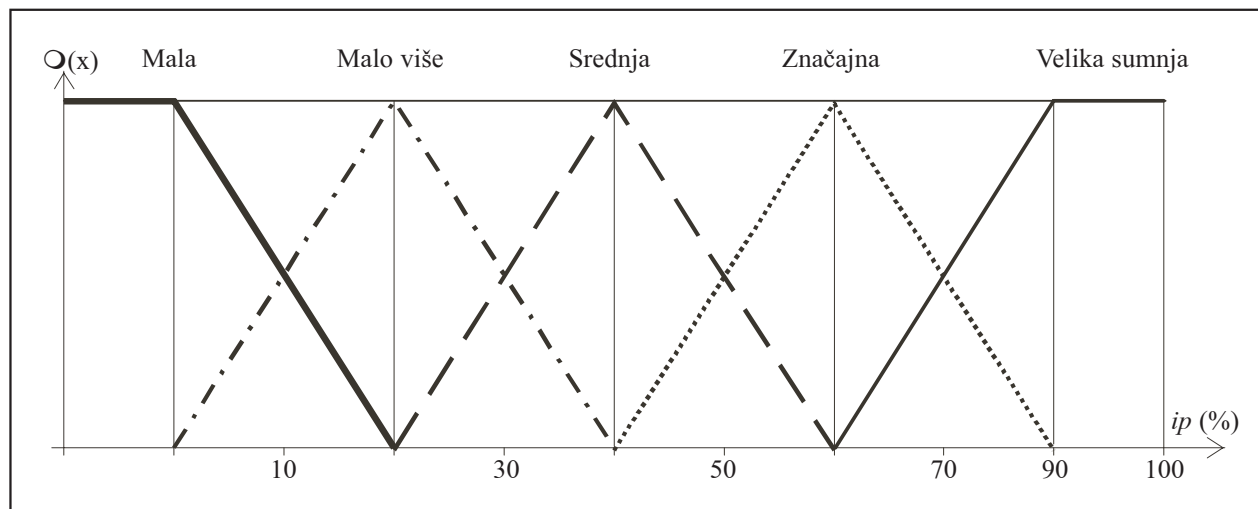
AKO je kupac po kriterijumu A više sumnjiv, a po kriterijumu B malo sumnjiv, TADA je IP značajna.

Pravilo 4.

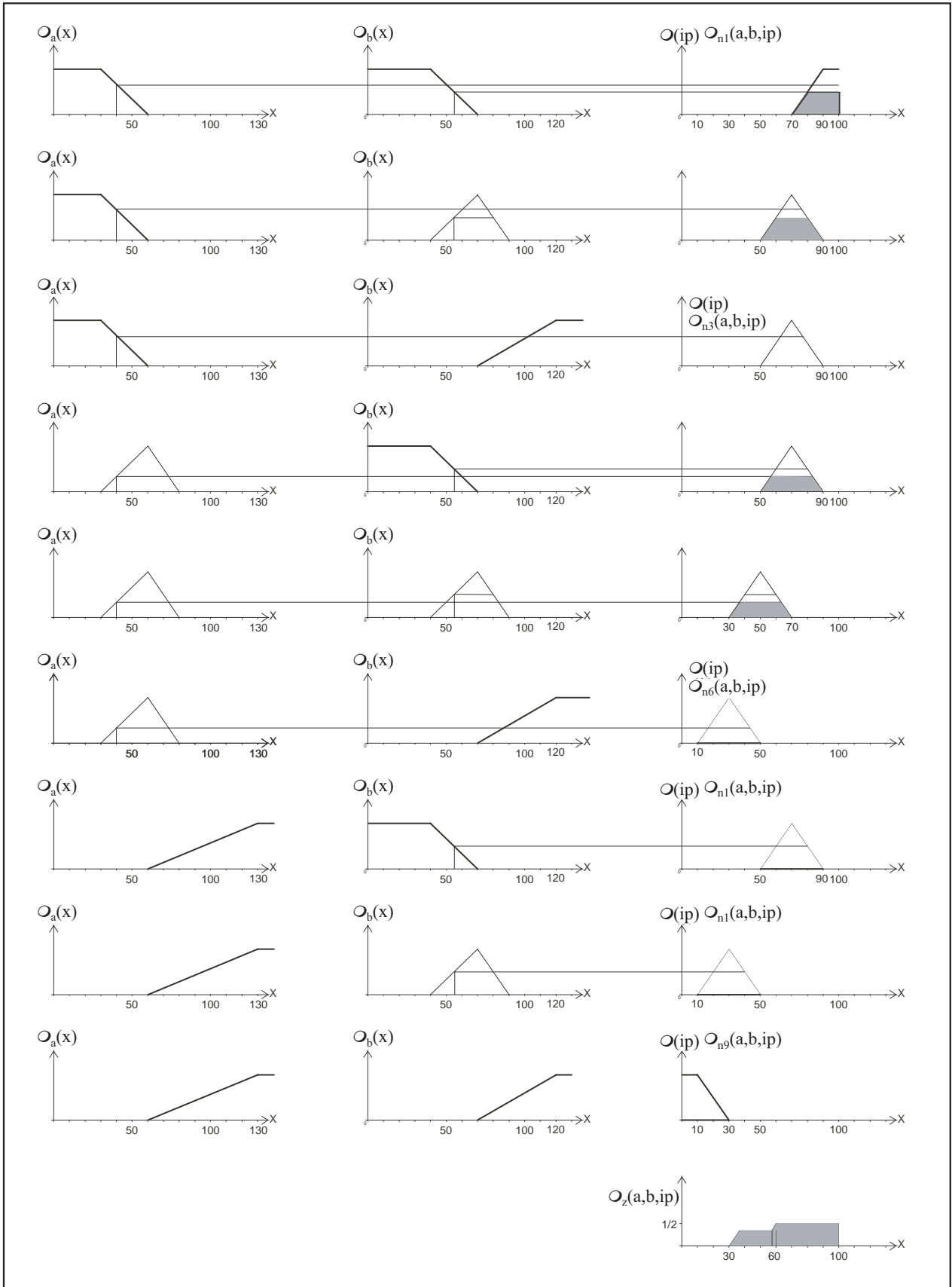
AKO je kupac po kriterijumu A srednje sumnjiv, a po kriterijumu B više sumnjiv, TADA je IP značajna.

Pravilo 5.

AKO je kupac po kriterijumu A srednje sumnjiv, a po kriterijumu B srednje sumnjiv, TADA je IP srednja.



Slika 2. Funkcije pripadnosti skupovima za ocenu sumnje



Slika 3. Grafičko određivanje ocene sumnje u krađu

Pravilo 6.

AKO je kupac po kriterijumu A srednje sumnjiv, a po kriterijumu B malo sumnjiv, TADA je IP malo veća.

Pravilo 7.

AKO je kupac po kriterijumu A malo sumnjiv, a po kriterijumu B više sumnjiv, TADA je IP značajna.

Pravilo 8.

AKO je kupac po kriterijumu A malo sumnjiv, a po kriterijumu B srednje sumnjiv, TADA je IP malo veća.

Pravilo 9.

AKO je kupac po kriterijumu A malo sumnjiv, a po kriterijumu B malo sumnjiv, TADA je IP mala.

Pošto pravila vezuju sve moguće odnose promenljivih, ona su međusobno povezana izrazom „ili”. Svako od ovih pravila predstavlja „FUZZY” relaciju između kriterijuma A , kriterijuma B i ocene IP . U svakom od ovih gornjih pravila „FUZZY” relacije opisuju neprecizne odnose između posmatranih veličina. U svakom pravilu, kombinacija promenljivih „ a ” iz skupa A i „ b ” iz skupa B predstavlja „FUZZY” frazu M definisanju na skup $A \times B$

Na primer, funkcije pripadnosti „FUZZY” fraze iz pravila 4 određena je sa

$$O_{M4}(a,b) = \min\{O_{\text{srednje sumnjiv}}(a), O_{\text{više sumnjiv}}(b)\} \quad (7)$$

Svako pravilo predstavlja i „FUZZY” implikaciju koja povezuje i „FUZZY” frazu M sa ocenom IP . Ona je istovremeno i „FUZZY” fraza definisana na skupu $A \times B \times IP$. Za pravilo 4 funkcija pripadnosti „FUZZY” fraza M jednaka je

$$O_{N4}(a,b,ip) = \min\{O_{M4}(a,b), O_{\text{značajna}}(ip)\} \quad (8)$$

Ova ili više „FUZZY” fraza, ako su povezane formom „ili” predstavljaju „FUZZY” rečenicu Z . Postavljena pravila 1,2,...,7,8,9 predstavljaju „FUZZY” fraze $N1, N2, \dots, N7, N8, N9$, a njima odgovaraju funkcije pripadnosti

$$O_{n1}(a,b,ip), O_{n2}(a,b,ip), \dots, O_{n9}(a,b,ip) \quad (9)$$

Funkcija pripadnosti „FUZZY” rečenice Z izračunava se kao

$$O_Z(a,b,ip) = \max\{O_{n1}(a,b,ip), O_{n2}(a,b,ip), \dots, O_{n9}(a,b,ip)\} \quad (10)$$

Odredimo ocenu sumnje za kupca kod koga je za kriterijum A : $a_A = 60\%$; $b_A = 30\%$; $c_A = 20\%$;

$d_A = 70\%$ i $x_A = 40\%$, a za kriterijum B : $a_B = 70\%$; $b_B = 30\%$; $c_B = 20\%$; $d_B = 50\%$ i $x_B = 55\%$.

Za ocenu sumnje već je postavljeno 9 pravila pa je potrebno za svako pravilo nacrtati jednu za drugom odgovarajuće funkcije pripadnosti $\mu_i(a)$, $\mu_i(b)$, $\mu_i(ip)$ gde je $i = 1, 2, \dots, 7, 8, 9$.

Svakom pravilu odgovara funkcija pripadnosti $\mu_{ni}(a, b, ip)$ izražena odsečenim dijagramom odgovarajućeg skupa usvojene ocene, a prema relaciji (8).

Rezultat postupka prema relaciji (9) je funkcija pripadnosti $\mu_z(a, b, ip)$ koja se dobija grafički uzimanjem najvećih vrednosti $\mu_i(ip)$ na celom rasponu opsega tj. od 0 do 100% (slika 3). Funkcija pripadnosti $\mu_z(a, b, ip)$ je reprezent „FUZZY” ocene sumnje u krađu analiziranog kupca.

Poslednja etapa u procesu „FUZZY” zaključivanja je defazifikacija. Defazifikacijom se „FUZZY” zaključak pretvara u jedan realan broj, čija jedinica je procenat. Ima više pristupa za način određivanja tog broja, u našem slučaju jedne vrednosti ocene Ip .

Smatramo za najpogodniji način onaj kojim se do „FUZZY” zaključka dolazi koristeći „težište” funkcije pripadnosti $\mu_z(a, b, ip)$.

$$\epsilon \tilde{n} * = \int_{x_1}^{x_2} \frac{\mu_z(a, b, ip) \cdot x dx}{S} \quad (11)$$

Gde je S - površina koju formira $\mu_z(a, b, ip)$ sa X osom i granicama X_1 i X_2 . U razmatranom primeru je: $ip^* = 69,6\%$. Kupci sa najvećom vrednošću indeksa preferencije ip (%) treba da budu na udaru kontrole.

3. ZAKLJUČAK

Funkcije pripadnosti skupovima prema kriterijumima A i B treba pažljivo definisati.

Što je više različitih tipova dijagrama sa slike 1, a zavisno od elektrificiranosti domaćinstva i njihove gustine naseljenosti, to će biti pravilnije zaključivanje odnosno tačniji rezultat o sumnji za krađu izraženu u procentima.

U formiranju dijagrama na slici 1. treba koristiti već nađene krađe.

Pravila postavljena u radu rezultat su viđenja autora, a zavisno od stečenih iskustava i preferencija, moguće je postaviti i druga pravila.

Do konačnih pravila se dolazi iterativnim putem zbog moguće pojave nekih nelogičnih ocena za bliske vrednosti ulazno promenljivih. Zato se vrši analiza izlaznih ocena i po potrebi vrši korekcija nekih pravila.

Formiranje „FUZZY” skupova za ulazne parametre i skupova za njihovu ocenu svakako da može biti različito, a zavisno od distributivnog preduzeća.

4. LITERATURA:

- [1] Teodorović D., S. Kikuchi UVOD U TEORIJU „FUZZY” SKUPOVA I PRIMENE U SAOBRAĆAJU Saobraćajni fakultet, Beograd, 1994.
- [2] Subašić P. „FUZZY” LOGIKA I NEURONSKE MREŽE Tehnička knjiga, Beograd, 1997.
- [3] Spirić J., Janjić A. RANGIRANJE STANJA FUNKCIONALNIH CELINA POSTROJENJA KORIŠĆENJEM „FUZZY” LOGIKE. II savetovanje JUKO CIRED, Herceg Novi 2000.
- [4] Spirić J., Janjić A. USING OF FUZZY LOGIC IN THE STRUGGLE WITH THE UNAUTHORIZED CONSUMPTION OF THE ELECTRICAL ENERGY. IV savetovanje JUKO CIRED, Herceg Novi 2004.

Rad je primljen u uredništvo 09. 11. 2006. godine



Josif V. Spirić rođen je u Leskovcu. Diplomirao je 1970. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, na energetskom odseku, gde je i magistrirao 1985. godine i doktorirao 1997. godine.

Od 1988. godine do 1997. godine aktivno je učestvovao u radu studijskih komiteta 39. i 31. JUKO CIGRE.

Od 1997. godine do 2005. godine bio je predsednik Stručne komisije za planiranje i razvoj distributivnih mreža JUKO CIRED.

Od septembra 1989. godine do kraja 2000. godine bio je član Tehničke komisije Elektrodistribucije Srbije.

Od 1971. godine do 1974. godine radio je u fabrici „Mačkatica” u Surdulici, a od 1974. godine do danas radi u „Elektrodistribuciji Leskovac”, gde je od 1989. godine do 2000. godine bio Tehnički direktor, a od 2000. godine radi kao direktor.

Bavi se eksploatacijom i planiranjem elektrodistributivnih mreža.



Aleksandar Janjić (1966), diplomirao je na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, energetski odsek, 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.

Vladimir M. Šiljkut,
Slobodan Maksimović, Miladin R. Tanasković i Goran Vulić

Ekonomska gustina struje i izbor optimalnog preseka Al/č provodnika nadzemnih vodova 10 kV

Stručni rad
UDK: 537.311.5; 621.315.5; 338.45.01

Rezime:

U ovom radu opisan je način utvrđivanja ekonomske gustine struje nadzemnih vodova, kao i parametara od kojih ona zavisi: investicionih troškova voda, ekvivalentnog vremena trajanja maksimalnih gubitaka i cene električne energije. Ekonomska gustina struje utvrđena je za slučajeve dva konkretna novoprojektovana nadzemna voda 10 kV, sa provodnicima od Al/č. Ova dva voda se međusobno razlikuju po broju stubova po jedinici dužine trase, kako bi se pokazalo u kojoj meri ekonomska gustina struje zavisi od ove karakteristike voda.

Da bi se utvrdili investicioni i specifični troškovi voda, urađeni su kompletni proračuni i predmeri sa predračunima za ta dva voda 10 kV, i to za sve tri moguće varijante poprečnog preseka provodnika Al/č: 50/8, 70/12 i 95/15 mm².

Vrednosti ekonomske gustine struje nadzemnog voda 10 kV određene su u zavisnosti od opsega ekvivalentnog vremena trajanja maksimalnih gubitaka ovog elementa mreže i opsega u kome se očekuje kretanje cene električne energije u narednom periodu. U cilju određivanja realnog opsega ekvivalentnog vremena trajanja maksimalnih gubitaka za nadzemne vodove, analizirana su registrovana strujna opterećenja za jedanaest nadzemnih vodova 10 kV. Cena gubitaka električne energije varirana je od 3 € cent/kWh (trenutna cena u 2004) do 5 □cent/kWh (minimalna ekonomska cena koja omogućava prostu reprodukciju i poslovanje elektroprivrede bez gubitaka).

Na osnovu dobijenog opsega ekonomske gustine struje i zavisnosti gustine struje od mogućih opterećenja nadzemnih vodova 10 kV, za tri standardna preseka provodnika od Al/č, izračunata su optimalna tj. ekonomska opterećenja, odnosno pokazano je koji su poprečni preseki optimalni za očekivana opterećenja vodova. Na osnovu dobijenih rezultata, u radu su izneti i odgovarajući zaključci, koji mogu biti od strateškog značaja za planiranje i projektovanje nadzemnih vodova.

Ključne reči: ekonomska gustina stanja, ekvivalentno vreme trajanja maksimalnih gubitaka, cena električne energije, investicioni troškovi, voda, optimalni presek voda

Abstract:

ECONOMIC CURRENT DENSITY AND SELECTION OF OPTIMAL AL-Fe CONDUCTOR CROSS-SECTION FOR OVERHEAD 10 kV LINES

This paper presents the manner of economic current density determination for overhead lines, as well as the determination of parameters on which it depends: line investments costs, maximal power losses equivalent duration time and electrical energy price. Economic current density value was calculated for real cases of two new projected overhead 10 kV lines, with Al-Fe conductors. These two lines were different in the number of poles per line length, to show in which scale economic current density depends on this line's characteristic.

Vladimir M. Šiljkut, dipl. ing. el., e-mail: vladash@zedb.eps.co.yu, mr Slobodan Maksimović, dipl. ing. el.,
Dr Miladin R. Tanasković, dipl. ing. el. – JP „EPS” PD „Elektrodistribucija Beograd”, 11000 Beograd, Masarikova 1-3
Goran Vulić, ing. el. – 26 000 Pančevo, Braće Jovanovi 66

For investment and specific line costs determination, complete technical calculations and equipment list with corresponding price estimation were done – for both 10 kV lines, in all three possible variations of Al-Fe conductor cross-section: 50/8, 70/12 and 95/15 mm².

The values of economic current density for overhead 10 kV line were determined depending on the range of maximal power losses equivalent duration time on this network element, and on the interval in which the electrical energy price is expected to increase in the next few years. In order to determine realistic range of maximal power losses equivalent duration time for overhead lines, registered current loads of eleven overhead 10 kV lines were analyzed. The price of electrical power losses was varied from 3 €cent/kWh (current electrical energy price in 2004) to 5 €cent/kWh (minimal economic price, which ensures simple reproduction and normal operation of Electrical Power Industry, without commercial losses).

Based on the range of economic current density, determined in the way described here, and also based on relation between current density and maximal possible loads of overhead 10 kV lines (for three standard Al-Fe conductor's cross-section), optimal i.e. economic loads were calculated. So, this paper shows which cross-sections are optimal for expected line loads. Based on these results, this paper suggests corresponding conclusions, which could be of strategic significance for overhead lines planning and projecting.

Key words: economic current density, maximal power losses equivalent duration time, electrical energy price, line investments costs, line's optimal cross-section

1. UVOD

Početak pedesetih godina u našoj zemlji javljaju se prva istraživanja na temu ekonomske gustine struje. Na osnovu tadašnjih rezultata videlo se da je ekonomski opravdano graditi nadzemne vodove sa što manjim poprečnim presekom. Sedamdesetih godina ponovljena istraživanja, lit. [1], obuhvatila su kako sve elemente mreže, tako i utvrđivanje ne samo optimalnog preseka (kad su u pitanju vodovi), već i optimalnog naponskog nivoa prenosne mreže. Tom prilikom, utvrđujući optimalne karakteristike elemenata mreža u zavisnosti od ekonomske gustine struje, došlo se do rezultata koji su suprotni onima iz pedesetih godina; pokazano je da je ekonomski opravdanije graditi nadzemne vodove sa većim poprečnim presekom. Za nadzemne vodove utvrđeno je da se ekonomska gustina struje kreće u opsegu od 1 do 1,2 A/mm². U sadašnjim okolnostima delovanja izmenjenog Tarifnog sistema, neophodno je ova istraživanja ponoviti, jer je došlo do promene vrednosti vremena trajanja maksimalnog opterećenja, a samim tim i ekvivalentnog vremena trajanja maksimalnih gubitaka, od koga zavisi i vrednost ekonomske gustine struje.

U praksi se i dalje, bez nužne provere, koriste približne empirijske formule za ekvivalentno vreme trajanja maksimalnih gubitaka, τ , od ranije poznate iz literature, npr. [2], ali se - zavisno od upotrebljenog obrasca - mogu dobiti značajno različiti rezultati. Pri određivanju tačne vrednosti τ , pak, javljaju se problemi sa podacima, opisani u literaturi [3], [4] i delimično rešeni metodologijom izloženom u [3].

Pored nedostatka literature u vezi ove problematike i nepostojanja praktično upotrebljivih rezultata, kao i neophodnosti provere vrednosti utvrđenih rani-

jim istraživanjima (s obzirom na promenu ekonomskih i ostalih opštih prilika, Tarifnog sistema i cene električne energije), razlog za ponovno bavljenje ovom temom je i provera tj. utvrđivanje kriterijuma koje planeri i projektanti koriste prilikom izbora preseka Al/č provodnika za nadzemne vodove 10 kV.

2. TEORIJSKE POSTAVKE PROBLEMA

2. 1. Ekonomska gustina struje nadzemnog voda

Optimalna struja nadzemnog voda dobija se kad se troškovi zavisni od preseka izjednače sa troškovima godišnjih gubitaka [1]. Odatle je ekonomska gustina struje nadzemnog voda (detaljno izvođenje dato je u Dodatku A):

$$\Delta_{ve} = \frac{I}{s} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U \cdot s} = \sqrt{\frac{c_v \cdot p_v}{3 \cdot \rho \cdot \tau \cdot c_{\Sigma e}}} \quad (1)$$

Analiza izraza za ekonomsku gustinu struje voda pokazuje ne samo nezavisnost od dužine voda, nego takođe i od uslova na krajevima, tj. od ekonomskih parametara vodnih polja. Potpuno isti izraz se dobija i ako se problem proširi još i brojem voda kao optimizacionom varijablom.

2. 2. Investicioni i troškovi po kilometru nadzemnog voda i jedinici preseka provodnika

U brojiocu izraza (1) za ekonomsku gustinu struje nadzemnog voda, figuriše c_v , troškovi po kilometru voda i jedinici preseka, u €/mm²·km. Da bi se oni proračunali, neophodno je izračunati investicione troškove gradnje za nadzemni vod 10 kV sa provodnicima od Al/č, i to varijantno - za tri tipična pre-

seka koja se koriste na ovom naponskom nivou (50/8, 70/12 i 95/15). Za dva nadzemna voda (NV) koji su izabrani kao primeri, izvršeni su proračuni stubova na svim stubnim mestima, odabrana ostala oprema i načinjeni predmeri i predračuni, i to za po tri varijante svakog voda - zavisno od korišćenog preseka provodnika. Za svaki od vodova, tada je bilo moguće izvršiti linearnu regresiju tri dobijene vrednosti investicionih troškova, T_{gv} , tj. utvrditi linearnu zavisnost $T_{gv}/L = c_v \cdot s + const$, gde je L dužina voda, a s – poprečni presek provodnika.

Pri proveru mehaničkih opterećenja stubova i opreme računato je sa:

– normalnim dodatnim opterećenjem od inja, leda i snega od:

$n_{do} = 1,6$ g; gde je:

$g = 196$ kg/km za Al/č 3x50/8,

284 kg/km za Al/č 3x70/12,

383 kg/km za Al/č 3x95/15;

– pritiskom vetra od: $p_v = 75$ daN/m² za vodove 10 kV izvedene golim Al/č užadima.

Usvojeno je i računato sa maksimalnim radnim naprežanjem provodnika od $\sigma_m = 7$ daN/mm². Za konkretne raspone oba voda urađene su tabele ugiba, i to za sva tri slučaja poprečnog preseka provodnika. Izbor sila pri mehaničkom proračunu stubova izvršen je na osnovu literature [5] i [6].

2. 3. Ekvivalentno vreme trajanja maksimalnih gubitaka

U imeniocu izraza (1) za ekonomsku gustinu struje figuriše ekvivalentno vreme trajanja maksimalnih gubitaka, τ , koje se može odrediti na različite načine, na osnovu realnih dijagrama opterećenja elementa mreže ili preko empirijskih formula. Zbog uvođenja pomenutog nedostatka empirijskih formula za τ , ovde smo pribegli preciznom određivanju ekvivalentnog vremena trajanja maksimalnih gubitaka, upravo koristeći raspoloživa merenja za odgovarajuće elemente elektrodistributivne mreže. S obzirom na to da se vodovi 10 kV, korišćeni kao primeri za izračunavanje ekonomske gustine struje, ne nalaze na sistemu daljinskog upravljanja (SDU) PD „Elektrodistribucija-Beograd” (EDB), nisu poznati njihovi dijagrami opterećenja. Stoga su za proračun τ odabrani drugi vodovi, prema kriterijumima obrazloženim u lit. [3]. To su pretežno ili isključivo nadzemni vodovi 10 kV, napojeni iz četiri izvoda 10 kV u TS 110/35/10 kV/kV/kV SREMČICA i sedam izvoda 10 kV u TS 110/35/10 kV/kV/kV RALJA. Za njih su izračunate vrednosti godišnjeg ekvivalentnog vremena trajanja maksimalnih gubitaka, na način detaljno objašnjen takođe u [3], u kojoj su - osim za nadzemnu - prika-

zani i rezultati istraživanja proširenog na podzemnu (kablovsku) i mešovitu mrežu. Minimalna, maksimalna i srednja vrednost τ za navedenih 11 izvoda 10 kV prikazane su u tabeli 1 (deo tabele 4 iz [3]).

Tabela 1.

Opsezi i srednje vrednosti T_{max} i τ za vangradsko područje Beograda na uzorku od 11 izvoda 10 kV

Zona grada / vrsta 10 kV mreže		T_{max} (h)	τ (h)
Vangradska zona / nadzemna mreža	minimalno	3 872,16	1 929,64
	maksimalno	5 404,03	3 465,87
	srednja vrednost	4 783,22	2 833,02

Na osnovu rezultata istraživanja opisanog u [3] i tabele 1, ekonomsku gustinu struje nadzemnih vodova 10 kV, prema jednačini (1), treba varirati zavisno od ekvivalentnog vremena trajanja maksimalnih gubitaka τ , koje će se kretati u opsegu od 1 900 do 3 500 h godišnje.

2. 4. Cena električne energije

Osim ekvivalentnog vremena trajanja maksimalnih gubitaka τ , kao promenljiva veličina u imeniocu izraza (1) javlja se i cena gubitaka električne energije, tj. prosečna cena isporučenog kWh. Prihod EDB od prodaje električne energije u 2004. godini iznosio je $Pr=15\ 904\ 936 \cdot 10^3$ din, a preuzeta električna energija iz prenosne mreže, bila je $P_e=6\ 973 \cdot 10^6$ kWh. Odatle se dobija da je cena prosečnog kWh u toj godini bila:

$$c_{\Sigma e} = Pr/P_e = 2,281 \text{ din/kWh} = 0,03 \text{ €/kWh},$$

gde je za prosečan kurs na nivou 2004. uzet odnos 75 din/€. Dakle, za proračun ekonomske gustine struje (1), kao donju granicu cene kWh možemo usvojiti 3 cent/kWh. S obzirom na to da je problematika koja se u ovom radu razmatra planerska, za gornju granicu $c_{\Sigma e}$ treba usvojiti cenu od 5 cent/kWh, koja se smatra minimalnom ekonomskom cenom električne energije koju je u Srbiji neophodno dostići u nekoliko narednih godina.

3. REZULTATI ANALIZE

3. 1. Vrednosti specifičnih investicionih troškova nadzemnih vodova Al/č 10 kV (po kilometru voda i jedinici preseka provodnika)

Odabrani su nadzemni 10 kV vodovi „Babe-Guberevac” (dva zatezna polja dužine 795 m, sa ve-

ćim rasponima) i „Glunčevo brdo” (jedno zatezno polje dužine 218 m, sa manjim rasponima tj. većim brojem stubova po dužini trase). Njihovi investicioni troškovi, sračunati su na prethodno opisani način i prikazani u vidu tačaka na slici 1, a i b.

C_v – investicioni troškovi NV 10 kV po kilometru, u €/km,

c_v – nagib prave, troškovi po kilometru voda i jedinici preseka, u €/mm²·km,

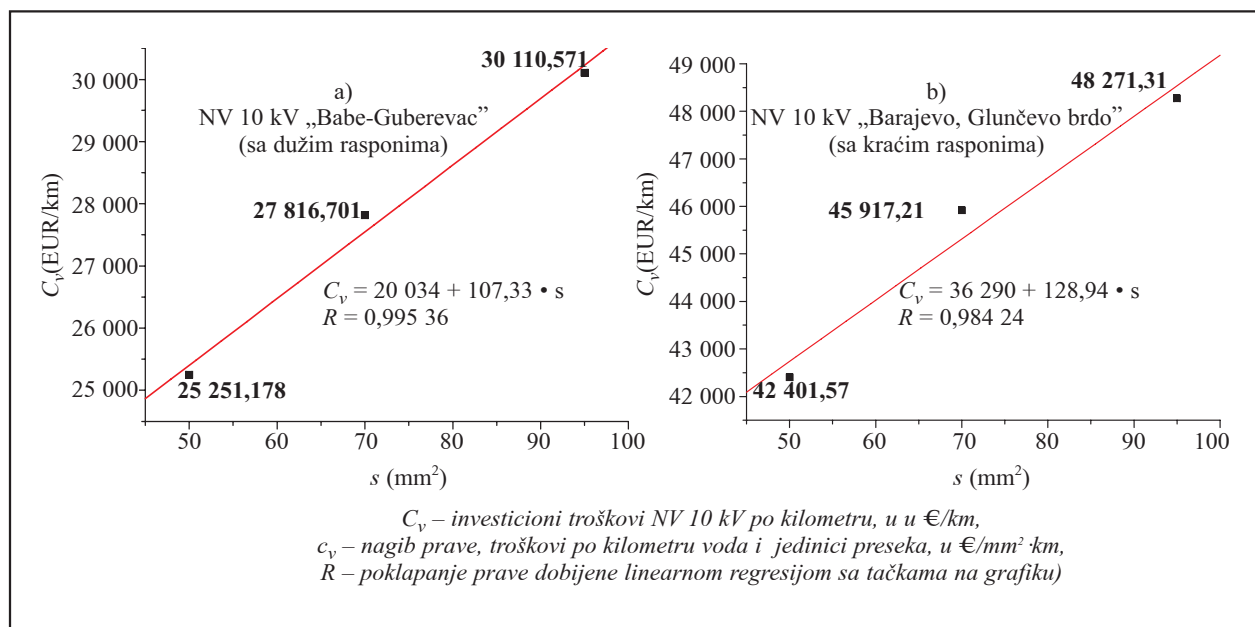
R – poklapanje prave dobijene linearnom regresijom sa tačkama na grafiku),

Na svakom od grafika respektivno, kroz dobijene tri tačke, linearnom regresijom se može povući prava. Svaka prava predstavlja približnu zavisnost troškova voda od poprečnog preseka provodnika. Vrednosti na slici 1 su date u evrima, a u vreme izrade analize (avgust 2005.), kurs je iznosio 83 din/€.

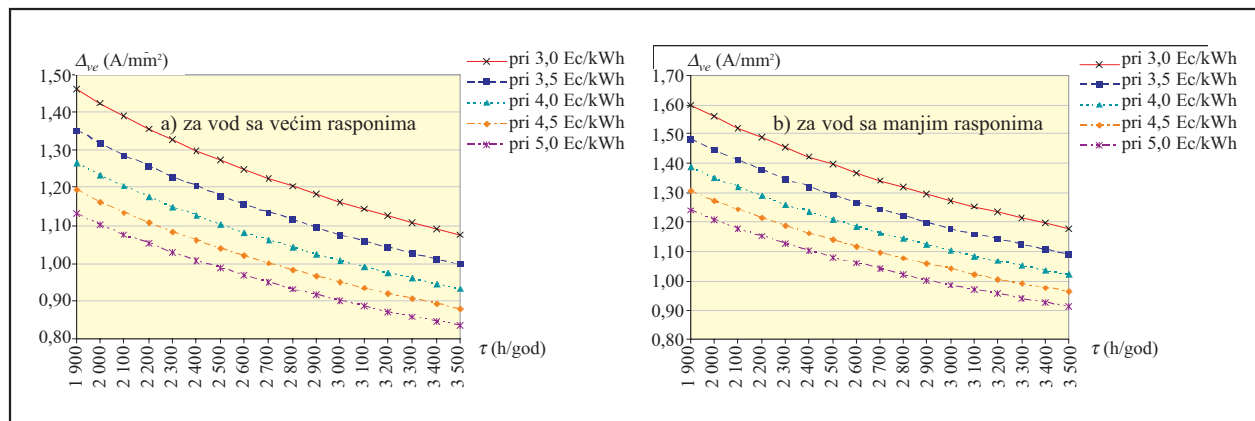
Grafik (b), desno, dobijen linearnom regresijom za nadzemni vod sa manjim rasponima, ima nešto veći nagib prave, tj. vod ima veće troškove po kilometru trase i jedinici preseka provodnika, c_v , (oko 129 €/mm²·km), u odnosu na vod sa većim rasponima (107,3 €/mm²·km). Samim tim, on će imati i nešto veće vrednosti ekonomske gustine struje.

3.2. Vrednosti ekonomske gustine struje za nadzemne vodove 10 kV od Al/č u zavisnosti od ekvivalentnog vremena trajanja maksimalnih gubitaka i dostignutog nivoa prosečne cene električne energije

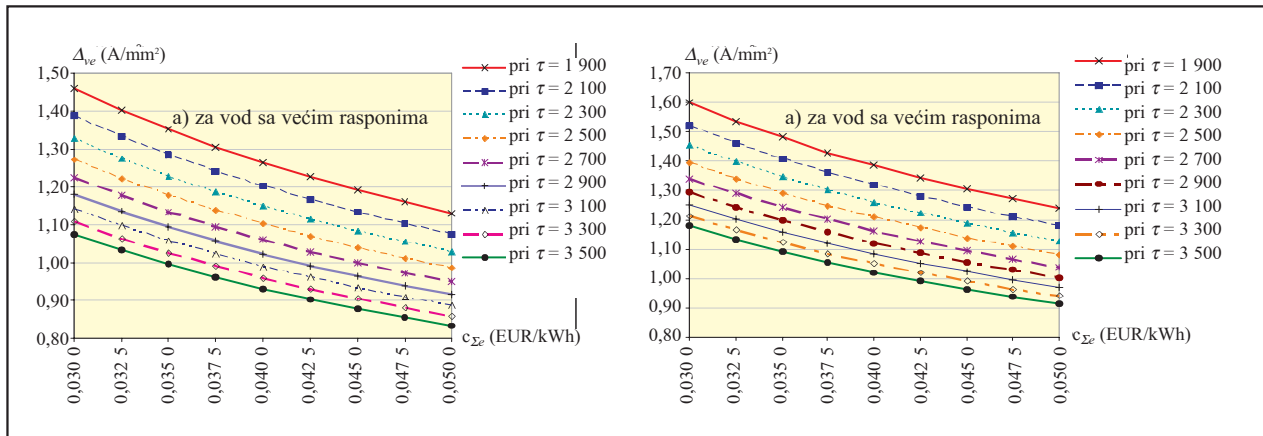
Kad se prethodno dobijene vrednosti c_v uvrste u jednačinu (1), a vrednosti za τ i $c_{\Sigma e}$ variraju u njoj u ranije obrazloženim opsezima, za oba razmatrana



Slika 1. Zavisnost investicionih troškova po kilometru nadzemnog voda od poprečnog preseka provodnika



Slika 2. Zavisnost ekonomske gustine struje od ekvivalentnog vremena trajanja maksimalnih gubitaka



Slika 3. Zavisnost ekonomske gustine struje od cene (gubitaka) električne energije

voda dobijaju se odgovarajuće familije krivih, prikazane na slikama 2 i 3.

Posmatrajući familije krivih $\Delta_{ve} = f(\tau)$ sa slike 2 uočava se pad vrednosti ekonomske gustine struje sa porastom $c_{\Sigma e}$. Znajući da će cena kWh u narednom periodu rasti, jer mora dostići minimalnu ekonomsku vrednost od 5 € cent/kWh, doći će do pada vrednosti ekonomske gustine struje i ispod vrednosti koje su bile utvrđene u ranijim istraživanjima (od 1 do 1,2 A/mm²), [1]. Sad se, pak, već za srednju vrednost τ od oko 2 800 h (tabela 1) i cenu električne energije dostignutu u 2004. (3 € cent/kWh), sa slike 2, za vod (a) može očitati upravo 1,2 A/mm², a za (b) oko 1,3 A/mm².

Takođe, povećanje cene kWh i primena odgovarajućeg tarifnog sistema uzrokuje ekonomičniju potrošnju električne energije, čime se ublažava odnos maksimalnih i minimalnih vrednosti na realnim dijagramima opterećenja elemenata elektrodistributivne mreže (tzv. „peglanje” dijagrama). Time se povećava vrednost ekvivalentnog vremena trajanja maksimalnog opterećenja i vremena trajanja maksimalnih gubitaka, dok se smanjuje vrednost ekonomske gustine struje, shodno relaciji (1). To se, naravno, uočava i posmatranjem familija krivih na graficima sa slika 2 i 3. Vidi se, naime, da i pri postojećoj ceni kWh, ekonomska gustina struje opada porastom ekvivalentnog vremena trajanja maksimalnih gubitaka, τ , sve do vrednosti koje su bile utvrđene i u ranijim istraživanjima.

Dobijene vrednosti ekonomske gustine struje (u zavisnosti od ekvivalentnog vremena trajanja maksimalnih gubitaka i cene gubitaka električne energije) nešto su manje kod voda (a) sa većim rasponima („Babe-Guberevac”) nego za vod (b) sa većim brojem stubnih mesta po jedinici dužine trase („Barajevo, Glunčevo brdo”).

3. 3. Određivanje optimalnog preseka Al/č provodnika nadzemnih vodova 10 kV na osnovu ekonomske gustine struje i očekivanog opterećenja

Kao što je ranije prikazano formulom (1), zavisnost gustine struje od strujnog opterećenja voda data je relacijom:

$$\Delta_v = \frac{I}{s} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U \cdot s} \quad (2)$$

Moguće je, dakle, predstaviti gustinu struje u zavisnosti od očekivanog opterećenja Al/č voda 10 kV, S (MVA), za tri karakteristična preseka provodnika, pomoću familije pravih linija. U daljoj analizi, opseg mogućeg opterećenja S kreće se od nule do opterećenja koje odgovara maksimalnim dozvoljenim strujnim opterećenjima nadzemnih vodova sa Al/č provodnicima. To su opterećenja u zimskom periodu: 323 A tj. 5,594 MVA za Al/č 50/8, 447 A (7,742 MVA) za Al/č 70/12 i 550 A (9,526 MVA) za Al/č 95/15. Sa druge strane, ekonomska gustina struje predstavljena je relacijom:

$$\Delta_{ve} = \sqrt{\frac{c_v \cdot P_v}{3 \cdot \rho \cdot \tau \cdot c_{\Sigma e}}} \quad (3)$$

Donje i gornje granice ekonomske gustine struje prethodno smo sračunali za primere dva konkretna voda 10 kV, uz usvojeno: $p = 0,0265 \text{ mm}^2/\text{m}$ i $p_v = 9 \%$. One se mogu, respektivno za slučajeve (a) i (b), prikazati dvema horizontalnim linijama, kao na slici 4.

Iz preseka pravih predstavljenih relacijama (2) i (3) mogu se odrediti donja i gornja granica ekonomski opravdanog (optimalnog) opterećenja voda 10 kV, za svaki od tri moguća preseka provodnika (videti sledeću tabelu i grafik na slici 4).

Tabela 2.

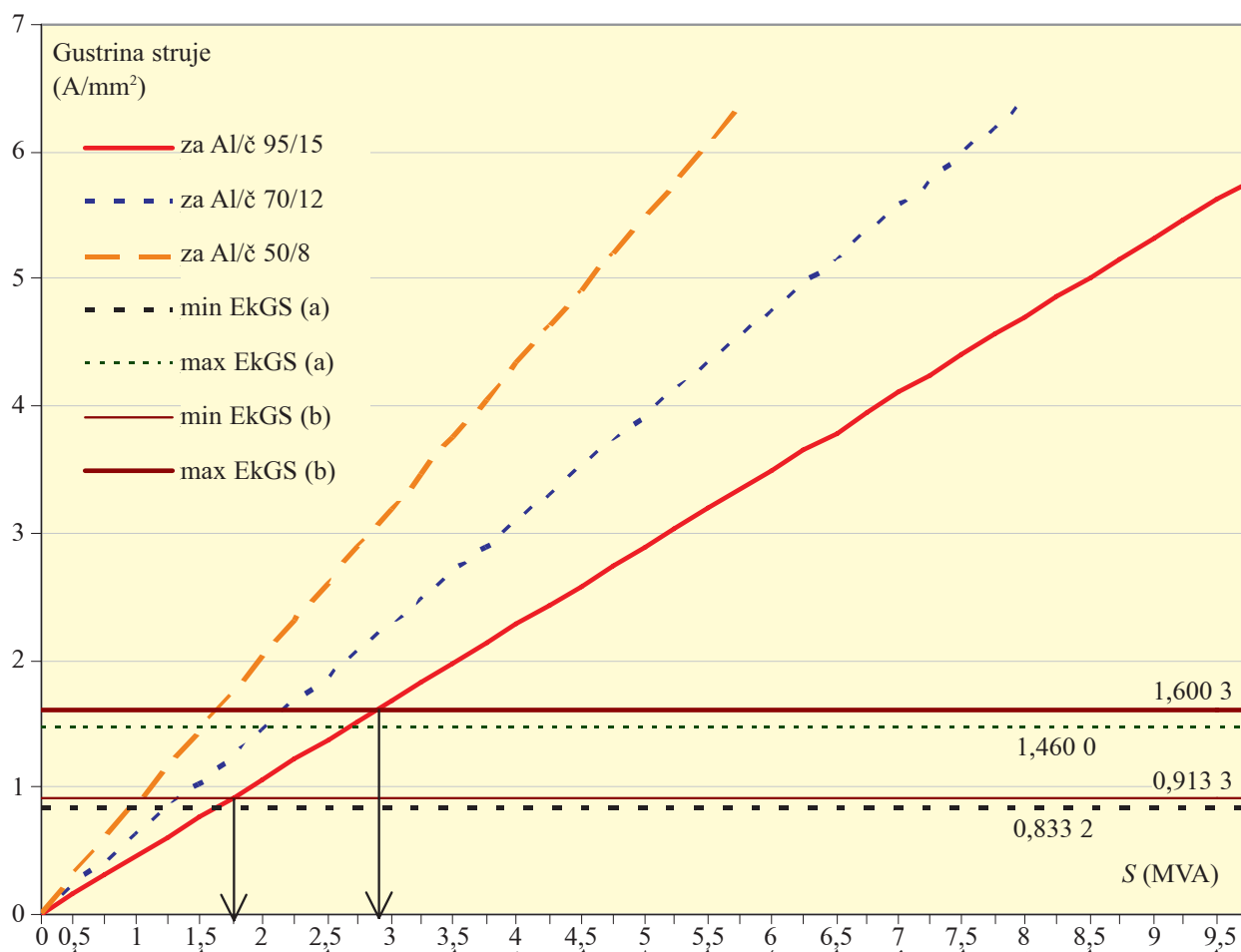
Odgovarajući poprečni presek u zavisnosti od opterećenja pri ekonomskoj gustini struje

S (mm ²)	Vod sa većim rasponima		Vod sa manjim rasponima	
	S (MVA)		S (MVA)	
	min	max	min	max
50	0,721 6	1,264 3	0,791 0	1,385 9
70	1,010 2	1,770 1	1,107 3	1,940 3
95	1,371 0	2,402 2	1,502 8	2,633 2

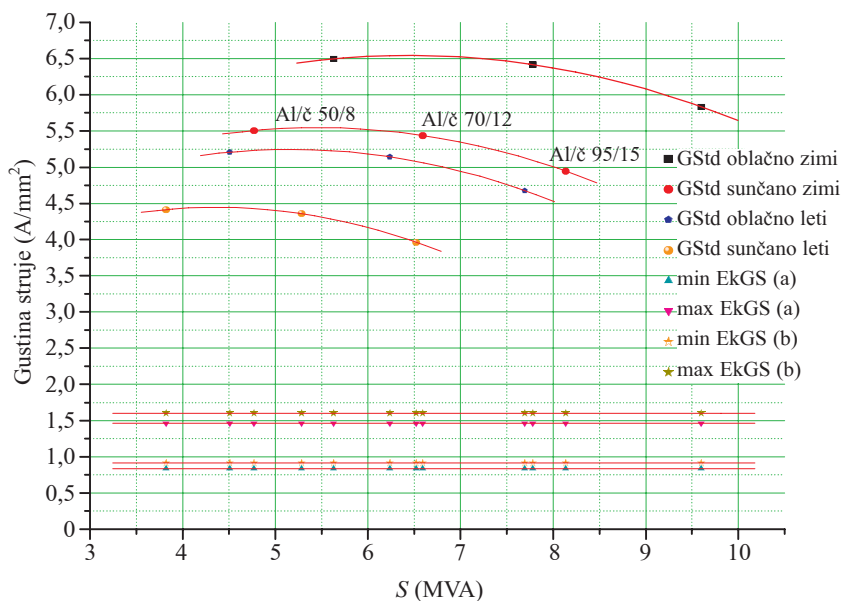
Opterećenja iz tabele 2 su ekonomski opravdana opterećenja za navedene preseke Al/č-provodnika. Vidi se da je njihova maksimalna vrednost za manji presek nešto veća od minimalne vrednosti ekonomskog opterećenja za prvi sledeći veći presek. To znači da se za delove konzuma za koje se ni u budućnosti ne očekuje veće opterećenje od, npr. 1,26 MVA, ne mora koristiti veći presek provodnika od Al/č 50/8 (npr. za neki zaselak u ruralnom predelu, napojen preko ogranka 10 kV voda). Nasuprot tome, magistralne Al/č vodove 10 kV treba graditi koristeći

presek od najmanje 70 mm². Takođe, ukoliko se očekuje porast opterećenja u nekom konkretnom području, najmanja vrednost očekivanog opterećenja pri kome treba koristiti presek 70/12 na vodu sa većim rasponima je 1,0 MVA, a za presek 95/15 1,37 MVA. Za nadzemni vod „Glunčevo brdo” koji ima manje raspone tj. gušće postavljene stubove, dobijaju se slični rezultati kao kod voda „Babe-Guberevac”, pa i za njega važe zaključci koji su dati kod prethodnog voda. Jedina razlika je u tome što ovakav nadzemni vod 10 kV sa manjim rasponima ima nešto veće minimalne i maksimalne vrednosti opterećenja pri ekonomskoj gustini struje za iste odgovarajuće poprečne preseke provodnika. Tako vidimo da već za $S \geq 1,1$ MVA (i očekivani porast opterećenja do oko 2 MVA), treba ići na presek 70/12, a za $S \geq 1,5$ MVA na 95/15.

Iz tabele 2 se takođe vidi da su opsezi optimalnog opterećenja za odgovarajuće poprečne preseke nešto veći kod nadzemnog voda 10 kV sa manjim rasponima nego za vod sa manjim brojem stubova po kilometru trase.



Slika 4. Gustina struje NV 10 kV u zavisnosti od očekivanog opterećenja, za $s=50, 70$ i 95 mm² i opseg ekonomske gustine struje za nadzemne vodove: a – sa većim i b – sa manjim rasponima



Slika 5. Poređenje vrednosti trajno dozvoljenih gustina struje sa dobijenim ekonomskim gustinama struje

Na kraju, izvršeno je poređenje dobijenih vrednosti ekonomskih gustina struje (EkGS sa slike 4) sa vrednostima gustine struje koje se za razmatrane tip-ske preseke s dobijaju iz trajno dozvoljenih (termičkih) struja, I_{td} , prema jednačini (4). Proračun I_{td} (tj. S_{td}) detaljno je obrazložen u Dodatku B.

$$\Delta_{td} = \frac{I_{td}}{s} = \frac{S_{td}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot s} \quad (4)$$

Analiza se može sprovesti za sve karakteristične vrednosti - npr. - brzine vetra, uslove osunčanosti i godišnja doba, ali su ovde prikazani samo rezultati za nekoliko karakterističnih slučajeva. Usvojena je najčešća brzina vetra od 0,6 m/s, a varirani su letnji i zimski ambijentalni uslovi, u dva podslučaja - sunčanog i oblaknog vremena. Tako su dobijena četiri krajnja slučaja, za koje trajno dozvoljene gustine struje, Δ_{td} , za sva tri razmatrana preseka obrazuju familiju četiri krive predstavljene kvadratnim funkcijama, na slici 5. Na istoj slici prikazani su i istraživanjem dobijeni opsezi ekonomskih gustina struja (horizontalne linije) za slučajeve (a) i (b) - vodova sa manjim i većim rasponima.

Sa slike 5 je, dakle, očigledno u kolikoj meri će se nadzemni vodovi 10 kV opteretiti iznad granice ekonomičnosti, ukoliko se u eksploataciji njima prenose snage čije vrednosti odgovaraju strujama koje su bliske granicama termički dozvoljenih struja, I_{td} . Ova analiza stoga može biti veoma upotrebljiva i slika 5 korisna kod donošenja planerskih odluka za rekonstrukciju postojećih vodova ili gradnju novih radi njihovog rasterećenja, ukoliko su na njima dostignuta opterećenja značajno veća od ekonomskih.

4. ZAKLJUČCI

Analiza rezultata za ekonomsku gustinu struje voda u zavisnosti od ekvivalentnog trajanja maksimalnih gubitaka i cene električne energije, na primeru dva posmatrana različita voda (sa većim i sa manjim rasponima) pokazuje da se dobijaju približno isti opsezi vrednosti ekonomske gustine struje. Nešto veće vrednosti se dobijaju za vod sa većim brojem stubnih mesta po kilometru, što je i razumljivo, jer su u tom slučaju investicioni troškovi ovih vodova veći, a i blago rastu sa povećanjem poprečnog preseka upotrebljenog provodnika.

Iz zavisnosti poprečnog preseka provodnika i optimalnog opterećenja voda (određenog prema dobijenoj ekonomskoj gustini struje), na obrađenim primerima dva različita voda, možemo konstatovati sledeće:

- opterećenja iz tabele 2 predstavljaju ekonomski opravdana opterećenja za navedene preseke Al/č provodnika;
- maksimalne vrednosti ekonomskog opterećenja za manje preseke su nešto veće od minimalnih vrednosti za prvi veći presek;
- samo na područjima na kojima se ni u budućnosti ne očekuje veliko opterećenje (u izolovanim, ruralnim predelima) opravdano je koristiti manji presek Al/č provodnika (50/8);
- nasuprot prethodnom, magistralne Al/č vodove 10 kV treba graditi koristeći presek od najmanje 70/12 mm² i
- ako se na nekom delu konzuma očekuje porast očekivanog opterećenja u narednim godinama, nadzemne 10 kV vodove sa Al/č provodnicima na tom području treba graditi sa većim poprečnim presekom nego što ga taj konzum trenutno zahteva, vodeći računa o ekonomskoj gustini struje.

Za do sada dostignuti nivo cene električne energije i opseg vrednosti ekvivalentnog vremena trajanja maksimalnih gubitaka (dobijenog na osnovu jednogodišnjih merenja na jedanaest izvodnih ćelija koje napajaju 10 kV nadzemne vodove), može se konstatovati da se vrednost ekonomske gustine struje nadzemnih vodova od Al/č povećala u odnosu na rezultate dobijene istraživanjima iz sedamdesetih godina XX veka (kreće se u opsegu od 1,07 do 1,6 A/mm²).

Posmatrajući kako se menja vrednost ekonomske gustine struje u zavisnosti od ekvivalentnog vre-

mena trajanja maksimalnih gubitaka i cene električne energije, možemo zaključiti sledeće:

Da bi ekonomska gustina struje nadzemnih vodova od Al/č dostigla vrednosti utvrđene ranijim istraživanjima (od 1 do 1,2 A/mm²) treba:

1. povećavati cenu kWh električne energije (što je i inače neminovno, jer se mora dostići minimum ekonomske cene od 5 € cent/kWh, koji omogućava prostu reprodukciju i poslovanje elektroprivrede bez gubitaka) i
2. povećavati ekvivalentno vreme trajanja maksimalnih gubitaka, odgovarajućim promenama tarifnog sistema.

Na kraju, bilo bi potrebno proširiti ovo istraživanje na što veći broj nadzemnih vodova 10 kV, kao i na kablovske vodove. Time bi se proverili rezultati izloženi u ovom radu i dobile srednje vrednosti ekonomske gustine struje, za prosečan nadzemni i kablovski vod, respektivno. Da bi se to ostvarilo, stari predmeri i predračuni iz projektne dokumentacije EDB mogli bi biti inovirani, u cilju određivanja aktuelizovanih investicionih troškova. Sa druge strane, i utvrđivanje ekvivalentnog vremena maksimalnih gubitaka trebalo bi proširiti na što veći broj nadzemnih i kablovskih vodova, kako bi se za obe vrste dobile što tačnije, prosečne vrednosti.

5. DODATAK A

Prema [1] mogu se iskazati ukupni godišnji troškovi voda T_g sa vodnim poljima na oba kraja i troškovima Džulovih (Joule-ovih) gubitaka:

$$T_g = (a_v + b_v \cdot U + c_v \cdot s) \cdot L \cdot p_v + 2 \cdot \left(a_p + b_p \cdot U + c_p \cdot \frac{S}{U} \right) \cdot p_p + \frac{\rho \cdot L}{s} \cdot \left(\frac{S}{U} \right)^2 \cdot \tau \cdot c_{\Sigma e} \quad (\text{A.1})$$

gde su:

L – dužina voda,

s – poprečni presek provodnika u mm²,

S – prividna snaga u kVA,

U – napon, u kV,

a_v, b_v i c_v – konstante za određeni tip voda (a_v – obuhvata i troškove zemljišta odnosno eventualnog raskršćivanja trase),

c_v – troškovi po kilometru voda i jedinici preseka, u €/mm² · km,

p_v – ukupna godišnja stopa (amortizacije, dobiti, održavanja) za dalekovod (kod nas se realno kreće oko 9 %)

p_p – ukupna godišnja stopa (amortizacije, dobiti, održavanja) za vodno polje,

a_p, b_p i c_p – konstante koje se odnose na pretpostavljene snage (struje) kratkog spoja prema kojima se bira oprema za izabrani nominalni napon mreže,

ρ – specifična električna otpornost materijala provodnika (aluminijuma za Al-Fe) u $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$,
 τ – ekvivalentno vreme trajanja maksimalnih gubitaka snage, godišnje, u h,

$c_{\Sigma e}$ – sumarna cena (gubitaka) električne energije na distributivnom nivou, uključivši i onu za snagu, u €/kWh.

Prvi član sume sa desne strane jednačine (A.1) predstavlja investicione troškove samog voda, drugi vodnih polja u transformatorskim stanicama (TS), (na krajevima voda), a treći Džulovih gubitaka. Izborom višeg napona i većeg preseka povećavaju se stalni troškovi, a smanjuju promenljivi (troškovi gubitaka). Otuda se može očekivati da pri nekom naponu i preseku (gustini struje) ukupni godišnji troškovi imaju minimalnu vrednost.

Ekonomska gustina struje nadzemnog voda dobija se izjednačavanjem sa nulom parcijalnog izvoda godišnjih troškova, (A.1), po preseku:

$$\frac{\partial T}{\partial s} = c_v \cdot L \cdot p_v - \frac{\rho \cdot L}{s^2} \cdot \left(\frac{S}{U} \right)^2 \cdot \tau \cdot c_{\Sigma e} = 0 \quad (\text{A.2})$$

Sređivanjem ove jednačine dobija se:

$$c_v \cdot p_v \cdot L \cdot s = 3 \cdot \frac{\rho \cdot L}{s} \cdot I^2 \cdot \tau \cdot c_{\Sigma e} \quad (\text{A.3})$$

takozvano Kelvinovo pravilo, tj. Kelvinova ekonomija: optimalna struja nadzemnog voda dobija se kad se troškovi zavisni od preseka izjednače sa troškovima godišnjih gubitaka. Odatle je, konačno, ekonomska gustina struje nadzemnog voda:

$$\Delta_{Ve} = \frac{I}{s} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U \cdot s} = \sqrt{\frac{c_v \cdot p_v}{3 \cdot \rho \cdot \tau \cdot c_{\Sigma e}}} \quad (\text{A.4})$$

6. DODATAK B

U jednačini (4) je:

$$I_{td} = I_{doz} = K_{Op} \times K_q \times K_v \times K_s \times I_{nd} \quad (\text{A}) \quad (\text{B.1})$$

stvarno dozvoljena struja opterećenja u datim uslovima, za koje su koeficijenti:

K_{Op} – koeficijent opterećenja (za promenljivo, distributivno opterećenje je $K_{Op} = 1,0$),

K_{θ} – temperaturni koeficijent:

$$K_{\theta} = 1,0 + 0,009 (40 - \theta_a) \quad (\text{B.2})$$

(pri čemu se za zimske uslove uzima: $\theta_a = 0$ °C, a za letnje 30 °C)

K_v – za odgovarajuću brzinu vetra u m/s, odabran iz tabele 3,

K_s – za odgovarajuće vreme po pitanju osunčanosti, odabran iz tabele 3,

I_{nd} – naznačena dozvoljena struja opterećenja za dati tip i presek provodnika, prema tabeli 4.

Tada je trajno dozvoljena prividna snaga:

$$S_{td} = S_{doz} = \sqrt{3} U_n I_{doz} \quad (\text{B.3})$$

Tabela 3.

Koeficijenti uticaja vetra i sunčevog zračenja
na strujnu opteretljivost nadzemnih vodova sa Al/č provodnicima

v (m/s)		0	0,6	1	2	3	4	5	6
Al/č	k_v	1	1,191	1,295	1,459	1,567	1,648	1,713	1,799
	k_{sz}	1,291	1,180	1,146	1,109	1,092	1,083	1,076	1,068
$k_{sz}=1$ ako je vod izložen direktnom sunčevom zračenju									

Tabela 4.

Dozvoljena strujna opterećenja NV sa Al/č provodnicima

Naznačni presek Al/č provodnika (mm ²)	I_{nd} (A)	I_{dozz} (A)	I_{dozl} (A)
50/8	170	323	220
70/12	235	447	305
95/15	290	550	377
$\theta_p = 80 \text{ }^\circ\text{C}, k_{op} = 1$			
I_{nd} – naznačena vrednost dozvoljenog strujnog opterećenja za $\theta_v = 40 \text{ }^\circ\text{C}, v = 0 \text{ m/s}$			
I_{dozz} – dozvoljeno strujno opterećenje u zimskom periodu za $\theta_v = 0 \text{ }^\circ\text{C}, v = 0,6 \text{ m/s}$ bez direktnog sunčevog zračenja			
I_{dozl} – dozvoljeno strujno opterećenje u letnjem periodu za $\theta_v = 30 \text{ }^\circ\text{C}, v = 0,6 \text{ m/s}$ sa direktnim sunčevim zračenjem			

7. LITERATURA

- [1] Prof. dr Gojko Muždeka, 1977, OSNOVNE KONCEPCIJE PERSPEKTIVNOG NAPAJANJA BEOGRADA ELEKTRIČNOM ENERGIJOM DO 2000. GODINE, časopis „Elektrodistribucija” br. 3/77 i poglavlje „Ekonomska gustina struje vodova”, iz nepublikovanog šireg materijala za Studiju „Osnovne koncepcije elektroenergetske mreže Beograda do 2000. godine”, ETF Beograd.
- [2] Prof. dr Nikola Rajaković, prof. dr Dragan Tasić, prof. dr Gojko Savanović, 2004, DISTRIBUTIVNE I INDUSTRIJSKE MREŽE, ETF Beograd, Akademska misao.
- [3] Vladimir M. Šiljkut, mr Slobodan Maksimović, dr Miladin Tanasković, Goran Vulić, 2006, ODREĐI-
- VANJE EKVIVALENTNOG VREMENA TRAJANJA MAKSIMALNIH GUBITAKA NA OSNOVU RASPOLOŽIVIH MERENJA U ED BEOGRAD, časopis „Elektrodistribucija” br.1/2006.
- [4] Goran Vulić, 2005, IZBOR OPTIMALNOG PRESEKA Al/č PROVODNIKA NADZEMNIH VODOVA 10 kV S ASPEKTA EKONOMSKE GUSTINE STRUJE, diplomski rad, Viša Elektrotehnička Škola, Beograd.
- [5] Tehničke preporuke TP-8 i TP 10-a iz ZBIRKE TEHNIČKIH PREPORUKA ED SRBIJE, Beograd 2001.
- [6] INTERNI STANDARDI EDB IZ OBLASTI NADZEMNIH VODOVA, IS EDB S.B1.1.100/00 i IS EDB S.B1.2.100/00.

Rad je primljen u uredništvo 03. 11. 2006. godine



Vladimir M. Šiljkut je rođen 1966. godine u Beogradu, diplomirao 1994. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, odsek energetike, smer elektroprivreda. Od 1995. godine stalno je zaposlen u PD „Elektrodistribucija-Beograd” (EDB). Radio je na poslovima projektovanja, planiranja mreže, razvoja i istraživanja i rukovodio radom laboratorije za merne, uklopne i registrujuće uređaje, za koju je koncipirao i realizovao tehničko-tehnološko rešenje modernizacije (2002/2003). Od juna 2004. godine radi u Sektoru planske energetike EDB kao vodeći inženjer za objekte 110 i 35 kV, na izradi prognoza opterećenja, unapređenju metodologija za njihovo kreiranje, istraživanju tehno-ekonomskih parametara važnih za planiranje mreže, kao i na konkretnim planerskim poslovima.

Od 2003. do 2006. godine bio je honorarni saradnik na Višoj elektrotehničkoj školi u Beogradu.

Aktivan je učesnik stručnih savetovanja, konferencija i naučnih skupova JUKO CIGRE, JUKO CIRED, ENEKO, REGIONEM i ELEKTRA, na kojima je bio autor i koautor 14 stručnih radova, iz oblasti planira-

nja i projektovanja elektrodistributivnih mreža, gubitaka električne energije, metrologije u elektrotehnici i primene obnovljivih izvora energije. Autor je i koautor tri stručna rada objavljena u časopisu „Elektrodistribucija” (2/2000, 1/2005, 1/2006).

Koautor je knjige „Zbornik rešenih problema iz distribucije i prodaje električne energije” (2006). Izvan struke, objavio je istorijski roman „Alabasterni grad” (2002).



Slobodan Maksimović je rođen 1951. godine u Nišu. Diplomirao je 1976. godine na Energetskom odseku Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu. Od 1976. do 1978. radio je kao profesor srednje elektrotehničke škole i projektant električnih instalacija. Od 1978. do danas radi u „Elektrodistribuciji - Beograd” na internoj standardizaciji električnih instalacija, TS 10/0,4 kV, energetskih transformatora, i, danas, na perspektivnom razvoju elektrodistributivne mreže 110 i 35 kV. Godine 2001. magistrirao je na temi iz oblasti proračuna opteretljivosti distributivnih transformatora u zatvorenom, prirodno ventilisanom prostoru. Autor je ili koautor tridesetak radova objavljenih u domaćim časopisima i na domaćim savetovanjima i jednog objavljenog u Archiv-u für Elektrotechnik.



Miladin R. Tanasković je rođen 1956. godine u Beogradu. Diplomirao je 1981. godine, magistrirao 1993. godine i doktorirao 2003. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu. Od 1988. godine je zaposlen u „Elektrodistribuciji Beograd”, gde je radio na projektovanju visokonaponskih transformatorskih stanica, u Sektoru za tehnički razvoj i istraživanje, kao tehnički direktor i trenutno kao Savetnik za odnose sa naučno-istraživačkim ustanovama. Posebne oblasti njegovog stručnog interesovanja su rešavanje problema teorije polja metodom konačnih elemenata, planiranje elektrodistributivnih mreža i nesimetrični kratki spojevi u elektrodistributivnoj mreži.



Goran Vulić je rođen 1974. godine u Novom Sadu, 2005. godine završio Višu Elektrotehničku školu u Beogradu, smer energetika. Kao diplomac, za potrebe EDB uradio prva istraživanja na temu ekvivalentnog vremena trajanja maksimalnih gubitaka i ekonomske gustine struje nadzemnih vodova 10 kV. Koautor je jednog članka u stručnom časopisu „Elektrodistribucija”.



Uvodna reč

19. simpozijum o kablovima sa međunarodnim učešćem u organizaciji JUKO CIGRE održan je u hotelu „Omorika” na Tari u periodu od 18. do 21.septembra 2006. godine.

19. Simpozijum o kablovima nastavlja tradiciju održavanja stručnih savetovanja i simpozijuma o kablovima koje od 1967. godine održava studijski komitet B1 (STK 21) svake parne godine. Do sada je održano osamnaest skupova. Broj učesnika, referata i autora, kako se vidi iz priložene tabele, su potvrda kontinuiranog interesa stručnjaka i kompanija za problematiku kablovske tehnike.

Cilj okupljanja je razmena tehničkih znanja i informacija iz oblasti kablovske tehnike (energetskih i telekomunikacionih kablova i kablovskog pribora) počev od razvoja, preko proizvodnje do eksploatacije.

Kablovski simpozijum se po peti put održava kao simpozijum sa međunarodnim učešćem.

Prvi put ove godine veliki pokrovitelj simpozijuma je Elektroprivreda Srbije. Pokrovitelji simpozijuma su RB Kolubara-Lazarevac, PD Elektrosrbija Kraljevo i PD Elektrodistribucija Beograd.

Veliki sponzori simpozijuma su Fabrika kablova Zaječar i fabrika kablova Novkabel.

U okviru simpozijuma prezentovan je 21 referat raspoređen po sledećim preferencijalnim temama:

Introductory word

The 19th Cable Symposium, with international participants, organized by JUKO CIGRE, was held at hotel „Omorika” on Tara from September 18th to 21, 2006.

The 19th Symposium on cables continues the tradition of organizing expert conferences and symposiums on cables that have been held since 1967 by the study Committee B1 (STK 21), each even year. Until now eighteen gatherings were held. The number of participants, papers and authors, as shown in the table below, confirms a continuous interest of experts and companies in the issues related to cable techniques.

The goal of the gathering is the exchange of technical knowledge and information in the field of cable techniques (power and telecommunication cables and cable equipment), starting from development, through production and down to exploitation.

The Cable Symposium is for the fifth time held as a symposium with international participation.

Elektroprivreda of Serbia is this year, for the first time, a great sponsor of the Symposium. Other sponsors of the Symposium are RB Kolubara - Lazarevac, PD Elektrosrbija Kraljevo i PD Elektrodistribucija Beograd.

Great sponsors of the Symposium are the Cable Factory Zajecar and Cable Factory Novkabel.

At the Symposium 21 paper was presented, comprising the following preferential subjects:

Podaci o dosadašnjim simpozijumima
Data on Symposiums held so far

<i>Simpozijum</i> <i>Symposium</i>	<i>Mesto održavanja</i> <i>Venue</i>	<i>Godina</i> <i>Year</i>	<i>Broju česnika</i> <i>Number of participants</i>	<i>Broj referata</i> <i>Number of papers</i>
<i>I</i>	<i>Zagreb</i>	<i>1967.</i>	<i>300</i>	<i>22</i>
<i>II</i>	<i>Vrnjačka Banja</i>	<i>1969.</i>	<i>242</i>	<i>28</i>
<i>III</i>	<i>Novi Sad</i>	<i>1971.</i>	<i>358</i>	<i>23</i>
<i>IV</i>	<i>Split</i>	<i>1973.</i>	<i>350</i>	<i>24</i>
<i>V</i>	<i>Zadar</i>	<i>1976.</i>	<i>345</i>	<i>27</i>
<i>VI</i>	<i>Vrnjačka Banja</i>	<i>1978.</i>	<i>372</i>	<i>29</i>
<i>VII</i>	<i>Vrdnik</i>	<i>1980.</i>	<i>242</i>	<i>24</i>
<i>VIII</i>	<i>Donji Milanovac</i>	<i>1982.</i>	<i>370</i>	<i>26</i>
<i>IX</i>	<i>Negotino</i>	<i>1984.</i>	<i>180</i>	<i>24</i>
<i>X</i>	<i>Split</i>	<i>1986.</i>	<i>288</i>	<i>35</i>
<i>XI</i>	<i>Svetozarevo</i>	<i>1988.</i>	<i>380</i>	<i>43</i>
<i>XII</i>	<i>Vrdnik</i>	<i>1990.</i>	<i>276</i>	<i>28</i>
<i>XIII</i>	<i>Donji Milanovac</i>	<i>1994.</i>	<i>280</i>	<i>28</i>
<i>XIV</i>	<i>Jagodina</i>	<i>1996.</i>	<i>246</i>	<i>28</i>
<i>XV</i>	<i>Novi Sad</i>	<i>1998.</i>	<i>198</i>	<i>33</i>
<i>XVI</i>	<i>Soko Banja</i>	<i>2000.</i>	<i>232</i>	<i>38</i>
<i>XVII</i>	<i>Zlatibor</i>	<i>2002.</i>	<i>200</i>	<i>31</i>
<i>XVIII</i>	<i>Zlatibor</i>	<i>2004.</i>	<i>135</i>	<i>23</i>
<i>XIX</i>	<i>Tara</i>	<i>2006.</i>	<i>150</i>	<i>21</i>

- 1. Konstrukcija, izbor i primena optičkih kablova u industriji i distributivnim sistemima*
- 2. Kablovi i kablovski pribor nove generacije*
- 3. Uticaj uslova eksploatacije na karakteristike kablova i pojave u njima*
- 4. Način priključenja energetskih transformatora 110/X kV/kV*
- 5. Mogućnost primene kombinovanih provodnika nove generacije*
- 6. Kablovi za posebne namene rudarstvo, naftnu industriju i dr.*

U toku trajanja simpozijuma održano je nekoliko prezentacija i okrugli sto sa temom Visokonaponski kablovi u gradskim uslovima, kao i izbor najzapaženijih referata.

Zaključci okruglog stola, kao i preferencijalne teme za sledeći simpozijum biće objavljeni u Izveštaju o radu.

Zahvaljujemo se svim pokroviteljima, sponzorima i učesnicima i nadamo se još uspešnijem 20. jubilarnom simpozijumu.

Predsednik STK BI

Mr Aleksandra Popovac-Damljanović, dipl. ing. el.

- 1. Construction, selection and application of optical cables in the industry and distribution systems*
- 2. Cables and cable accessories of new generation*
- 3. Influence of exploitation conditions on cable characteristics and other phenomena in cables*
- 4. Way of connection of 110/X kV power transformers*
- 5. Application of combined conductors of new generation*
- 6. Cables for special purposes like mining, oil industry etc.*

*During the Symposium several presentations and a round table were held, dealing with the subject **HV cables in urban conditions**. Also, the most outstanding papers were selected.*

The conclusion of the round table and preferential subjects for the following Symposium will be presented in the Protocol on work.

We thank all the sponsors and participants for their contribution and hope for even more successful 20th jubilee Symposium.

President STK BI

Mr Aleksandra Popovac-Damljanovic, B. S. E. Eng

Aleksandra Popovac-Damljanović,
Milutin Sredojević, Žarko Janda i Stojan Nikolajević

Monitoring temperature visokonaponskih kablova

Stručni rad
UDK: 621.315.2; 621.1.016.4

Rezime:

Izvorna TS 220/110 kV/kV Beograd 17 napaja uže gradsko jezgro, na području Beograda, visokonaponskim 110 kV energetskim kablovima koji formiraju prsten povezujući četiri transformatorske stanice TS 110/10 kV/kV.

Rezultati višegodišnjih istraživanja na kablovskim trasama 110 kV na ovom području Beograda, [4,6] su pokazali da je pri eksploataciji podzemnih energetskih 110 kV kablovskih vodova potrebno uzeti u obzir pojavu obrazovanja lokalno isušene zone zemljišta oko kablova na trasi, [2]. Ovakva mesta su označena kao toplotno kritična mesta. Na tim mestima je predviđena ugradnja termo-sondi, kao i sanacija kablovske posteljice sa posteljom posebne mešavine sa dodatkom 2 % cementa. Na ovaj način je omogućeno diskretno merenje promene temperature u okolini kablovskog voda 110 kV na toplotno kritičnom mestu - I faza istraživanja.

Tokom eksploatacije 110 kV kablova, ukazala se potreba, zbog kvarova i povećanog opterećenja, za kratkotrajnim preopterećenjem. Ovo je moguće ako se imaju povoljni uslovi u blizini 110 kV kablovskih vodova. Zbog toga je važno da se imaju prave termografske slike kabla u realnom vremenu.

U tom cilju je u II fazi istraživanja osvojen i primenjen monitoring sistem na priključnim kablovskim vodovima 110 kV za TS 110/10 kV/kV Beograd 36. Monitoring sistem se sastoji iz grupe elemenata koje se ugrađuju na toplotno kritičnom mestu (mernom mestu) i u samoj transformatorskoj stanici. Prenosni put od mernog mesta do transformatorske stanice je optičkim kablovima.

Na ovaj način se korisniku omogućava da u svakom trenutku u TS ili u dispečerskom centru direktno daljinski pomoću PC računara posmatra i analizira termo sliku sa trase posmatranog 110 kV kabla i predvidi maksimalna dozvoljena preopterećenja korišćenjem standarda IEC 60287.

Ovo je značajno što se na taj način dispečeru omogućava da u eksploataciji obavlja pouzdano i bezbedno kratkotrajno preopterećenje kablova na račun povoljnih ambijentnih uslova u zemljištu, a s druge strane monitoring sistem omogućava i otkrivanje novih toplotno kritičnih mesta na trasi kao posledicu pogoršanja ambijentnih uslova u zemljištu tokom eksploatacije.

U radu je opisan način sanacije toplotno kritičnih mesta i monitoring sistem koji je nastao na bazi primenjenih rezultata istraživanja i primenjenih modela u svetu.

Ključne reči: visokonaponski kablovi, kablovska trasa, temperatura, toplotno kritična tačka, monitoring sistem, termoelement, optički kabl, rasklopivi strujni transformator, termografska slika u realnom vremenu

Mr Aleksandra Popovac-Damljanović, dipl. ing. el. – JP „EPS“ PD „Elektrodistribucija Beograd“,
11 000 Beograd, Gospodar Jevremova 28,

Milutin Sredojević, dipl. ing. el., dr Žarko Janda, dipl. ing. el.

– Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“, 11 000 Beograd, Koste Glavinića 8a

Prof dr Stojan Nikolajević, dipl. ing. el.

– Elektrotehnički fakultet univerziteta u Beogradu, 11 000 Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73

Abstract:

THERMAL MONITORING OF HIGH VOLTAGE CABLES

Source substation 220 kV/110 kV supplies downtown Belgrade via 110 kV cable feeders forming the ring of four substations 110 kV/10 kV.

The results of several years of researches on 110 kV cable feeders on Belgrade territory [4,6] have shown that appearance of local thin area of dry soil surrounding 110 kV underground power cables in exploitation must be taken into consideration [2]. These places are marked as critical hot spots. Subsequently, at those spots cable bedding improvement made of special mixture with 2 % of cement was done and thermal probes were installed. In this way the measurement of temperature changes in the vicinity of 110 kV cable feeders was enabled at hot spots locally. This was the first stage of research.

During the exploitation of 110 kV cables it was shown that, due to faults and increased loads, there is a need for short time overload. This is possible by having favourable conditions in the vicinity of 110 kV cable feeders. Therefore it is necessary to have real thermography pictures of cable in the real time.

To that end, in the second stage of researching, monitoring system was mastered and applied at 110 kV cable feeders for substation 110 kV/10 kV „Belgrade 36”. Monitoring system includes a set of elements, which are installed at hot spots of the power cable route (measuring spots), and an arrangement of elements installed in the substation. The communication between the measurement spot and substation was carried out by using optical cables.

In this way, users have the possibility for remote observing and analysing of real thermography pictures of the high voltage cable in real time by personal computer located in the substation or/and dispatchers centre and to predetermine maximum permitted overloads using standard IEC 60287.

This is important, because in this way the dispatcher has the possibility to allow a short time overload of power cables without endangering the reliability of supply, if the ambient conditions surrounding the cable are favourable. Also, the thermal monitoring system makes it possible to discover new hot spots along the cable route as a consequence of the worse conditions in the vicinity of the cable that aggravated during exploitation.

The thermal monitoring system described in this paper is based on the experience and experiments conducted in the Belgrade area by the authors during past several years.

Keywords: High-voltage cables, cable route, temperature, hot spots, monitoring system, thermoelement, optical cable, split-core current transformer, real thermography pictures.

1. UVOD

Intenzivan razvoj i izgradnja gradova stalno postavljaju nove zahteve za povećanjem obima stepena bezbednosti i pouzdanosti kod njihovog snabdevanja električnom energijom. Teška ekonomska situacija i stalno odlaganje izgradnje novih elektroenergetskih objekata (TS 220/110 kV/kV, 400/220 kV/kV) na području Beograda dovodi do nedozvoljenog smanjenja stepena pouzdanosti energetskog sistema u snabdevanju električnom energijom posebno u slučaju jednofaznog kvara na kablovskim vodovima 110 kV. U urbanim sredinama, gde su posebno prisutni problemi dobijanja lokacija za elektroenergetske objekte, rastojanja između podzemnih instalacija su minimalna i vrlo česte su pojave ukrštanja, paralelnih vođenja i drugih međusobnih približavanja. Ako se u toku projektovanja, a kasnije i tokom eksploatacije ne vodi računa o takvim mestima, dolazi do nedozvoljenih pregrevanja kablova što dalje

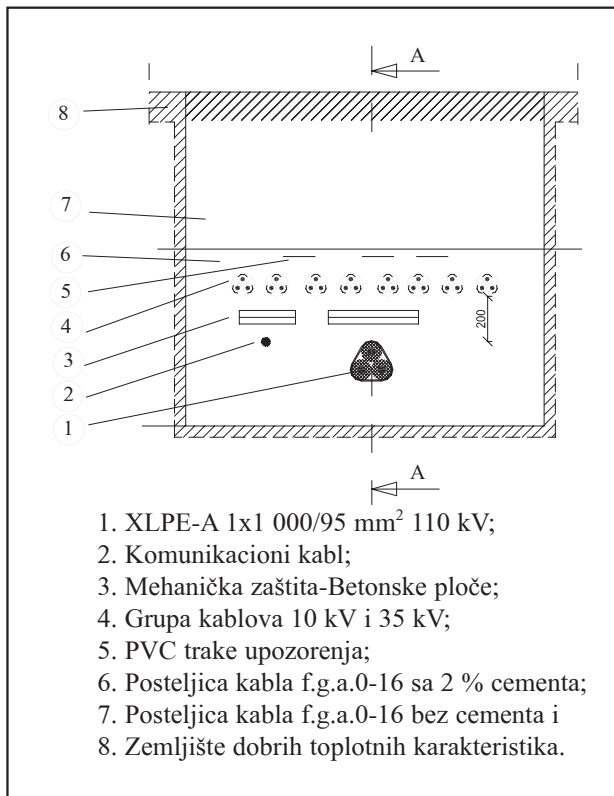
dovodi do ubrzanog starenja električne izolacije kablova, a kasnije i do njenog električnog proboja. Ova mesta se smatraju toplotno kritičnim mestima i moraju se pažljivo analizirati i pratiti u eksploataciji.

Značaj istraživanja procesa zagrevanja podzemnih energetskih kablova u toku eksploatacije je višestruk, a temperatura provodnika energetskih kablova je veoma važna fizička veličina koju je potrebno pratiti u realnom vremenu, a da bi se estimirala potrebno je znati temperaturu i istorijat prethodnog strujnog opterećenja kabla.

2. TOPLOTNO KRITIČNA MESTA NA TRASI

U toku izrade projektne dokumentacije kablovskog voda obavlja se proračun strujnog opterećenja prema očekivanim (na osnovu merenja na trasi), ambijentnim uslovima u kojima će se položeni kablovi nalaziti u eksploataciji. Tada je potrebno uočiti sva

kritična mesta na trasi kablovskog voda koja će nastati bilo usled isušivanja zemljišta oko kablova, prisustva drugih izvora toplote (slika 1), kao što su toplovodi, grupno položeni energetske kablovi i slično i nepovoljnog sastava zemljišta (visoke vrednosti specifičnog toplotnog otpora isušenog zemljišta).



1. XLPE-A 1x1 000/95 mm² 110 kV;
2. Komunikacioni kabl;
3. Mehanička zaštita-Betonske ploče;
4. Grupa kablova 10 kV i 35 kV;
5. PVC trake upozorenja;
6. Posteljica kablova f.g.a.0-16 sa 2 % cementa;
7. Posteljica kablova f.g.a.0-16 bez cementa i
8. Zemljište dobrih toplotnih karakteristika.

Slika 1. Ukrštanje 110 kV kabla sa grupom energetskih kablova [1]

S obzirom da u toku eksploatacije često dolazi do promene (pogoršanja) ambijentnih uslova, neophodno je stalno vršiti usklađivanje dozvoljene strujne opteretljivosti kabla sa novonastalom situacijom na trasi, u skladu sa propisima, [2].

U cilju kontrole ujednačenosti zagrevanja kablovskih vodova 110 kV koji napajaju centralno gradsko jezgro Beograda, duž kablovskih trasa, u distributivnom pogonu i u cilju kontrole ujednačenosti ambijentnih uslova u prostoru kablovske posteljice obavljena su višegodišnja merenja temperatura određenih toplotno kritičnih tačaka plašteva kablova i određenih tačaka kablovske posteljice na kablovskim trasama, (slika 2).

Višegodišnja merenja lokalnog zagrevanja na trasi 110 kV podzemnih energetskih vodova koji napajaju centralno gradsko jezgro predstavljaju prvu fazu istraživanja, [2].

Merenja zagrevanja su vršena pomoću termo sondi koje se sastoje od 12 termoelemenata. Termo

sonde su raspoređivane duž trase, na toplotno kritičnim mestima gde se očekuje da će se pojaviti lokalno pregrevanje kablova. Na pomenutim kablovskim vodovima 110 kV odabrano je 30 toplotno kritičnih mesta na kojima su vršena višegodišnja merenja pregrevanja kablova, [3].

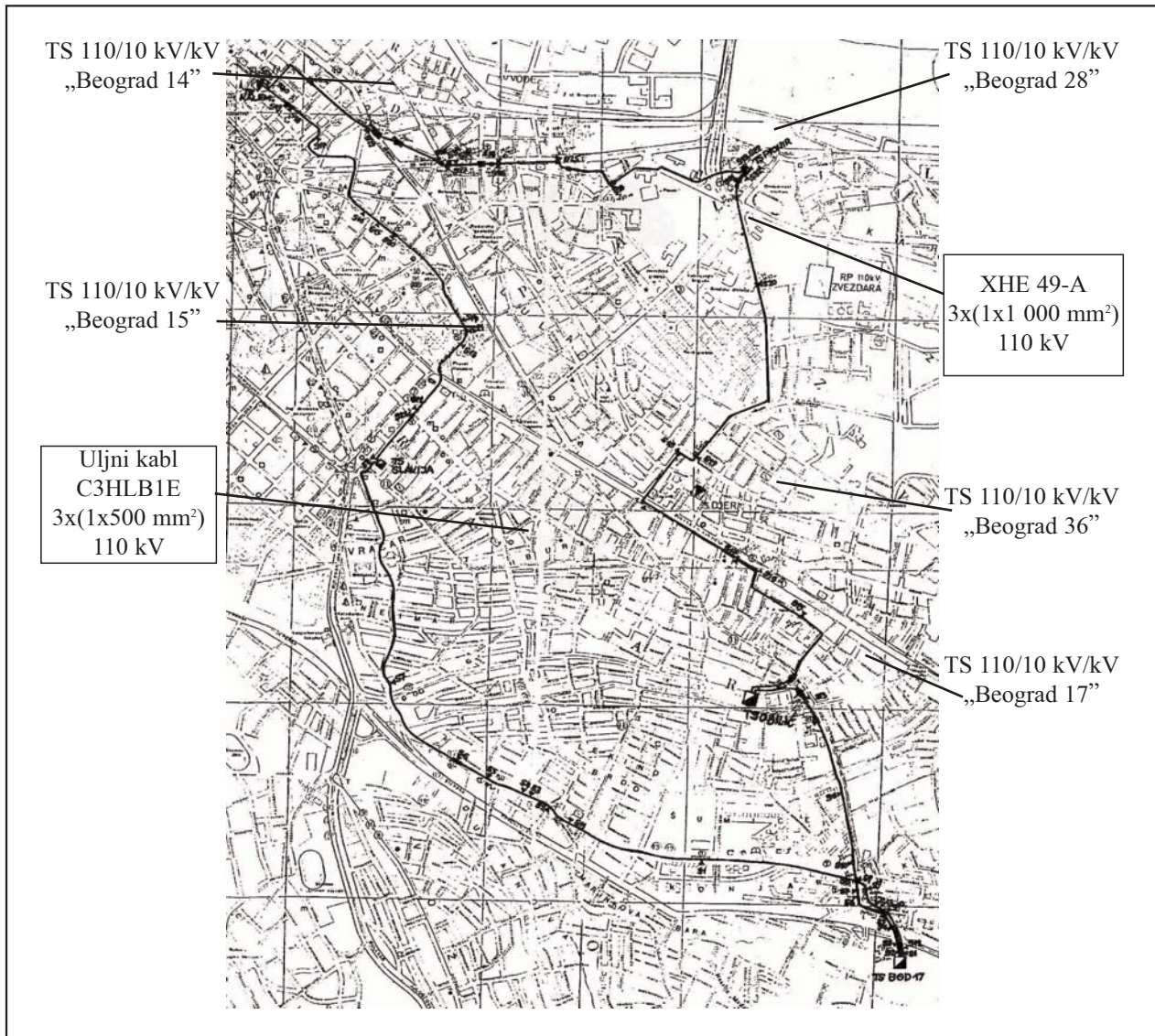
Na osnovu rezultata i analize merenja zagrevanja ispitivanih kablovskih vodova 110 kV zaključeno je da na trasi ispitivanih vodova postoje toplotno kritična mesta na kojima dolazi do povećanja temperature plašta 110 kV kabla u odnosu na referentni deo kablovske trase za oko 35 °C što za oko 20 % utiče na smanjenje strujne opteretljivosti kablova, [6].

Značaj kablovske mreže kao elementa elektroenergetskog sistema za snabdevanje grada energijom uzimajući u obzir veličinu investicija kod njene izgradnje i potrebe za velikim stepenom pouzdanosti njenog rada zahteva poseban pristup pri izboru materijala za kablovske posteljice i izboru režima rada u zavisnosti od ambijentnih uslova tokom eksploatacije. U tom cilju izvršena je sanacija toplotno kritičnih mesta primenom posebnih mešavina. U ovoj fazi istraživanja urađena je analiza primene različitih mešavina na eksperimentalnom poligonu i najbolje rezultate je pokazala specijalna mešavina f.g.a. 0-16 bez i sa dodatkom 2 % cementa, [7]. Na ovaj način je povećana sposobnost provođenja toplote zemljišta i učinjena znatno manje zavisnom od sadržaja vlage u prostoru kablovske posteljice u toj meri da se ima stalno smanjenje radne temperature provodnika kablova na toplotno kritičnim mestima. Pomoću ove specijalne posteljice izvršena je sanacija najkritičnijih mesta na trasi kablovskih vodova, (slika 3), [8].

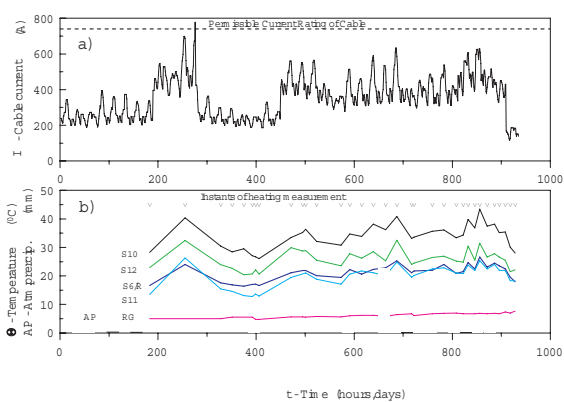
Kako je koncepcija 110 kV mreže takva da se jednim 110 kV vodom napajaju dve TS 110/10 kV/kV uklapanjem TS 110/10 kV/kV Obilić, koja bi bila treća TS na kablovskom vodu XLPE 1x1 000 mm² koji povezuje TS Beograd 17-TS Pionir-TS Kalemegdan ukazala se potreba da se izradi sistem za merenje i praćenje temperature kabla koji bi se koristio kao potrebno i dovoljno efikasno sredstvo za bezbedno prikupljanje i pouzdano vrednovanje rezultata istraživanja procesa zagrevanja na kablovskim trasama. TS 110/10 kV/kV Obilić priključuje se na mrežu 110 kV po principu ulaz-izlaz, XLPE 110 kV kablovima preseka 1x1 000/95 mm².

3. SISTEM ZA MERENJE I PRAĆENJE TEMPERATURE ENERGETSKIH KABLOVA

Merenje temperature plašta energetskih kablova može se obavljati na dva načina: diskretno (lokalno,



Slika 2. Toplotno kritična mesta na trasi podzemnih kablovskih vodova 110 kV koji napajaju centralno gradsko jezgro Beograda, [1,3]



Slika 3. Prikaz rezultata višemesečnog merenja temperature plašta 110 kV kablova
a) struja (A) b) temperatura na površini kabla (°C)

S10 - Toplotno kritično mesto (TKM);
RG (°C) - Temperatura referentne zemlje;
S11 - Referentna tačka;
S6/R - Rekonstruisano TKM;
S12 - TKM u blizini S6/R tačke i
AP (mm) - Atmosferske padavine.

u određenim tačkama na delu trase energetskog kabla) ili kontinualno (podužno, na čitavoj dužini trase energetskog kabla). Diskretno merenje temperature plašta visokonaponskih kablova vrši se lokalno u određenim tačkama pomoću termoelemenata i odgovarajućih mernih modula na uočenim toplotno kritičnim mestima. Kontinualno merenje temperature plašta visokonaponskih kablova vrši se postavljanjem senzor optičkog kabla na čitavoj dužini trase energetskog kabla (najpouzdanije u središte snopa) i na taj način se dobija termička slika čitave trase kabla.

Sistem za merenje i praćenje temperature plašta visokonaponskih kablova, tzv. monitoring sistem, postavljen je i funkcionalno ispitan na priključnim kablovskim vodovima 110 kV za TS Obilić, [9]. Monitoring sistem se sastoji iz dve glavne komponente:

- senzora koji generišu signal i
- periferne opreme koja prima i prenosi signal i transformiše ga u oblik koji je dostupan korisniku za korišćenje (obradu podataka i analizu).

Sistem za merenje i praćenje temperature energetskih kablova sastoji se iz dve grupe elemenata koje se ugrađuju:

- na mernom mestu (toplotno kritična mesta uočena na trasi kabla) i
- u transformatorskoj stanici (razvodni orman, stanični računar).

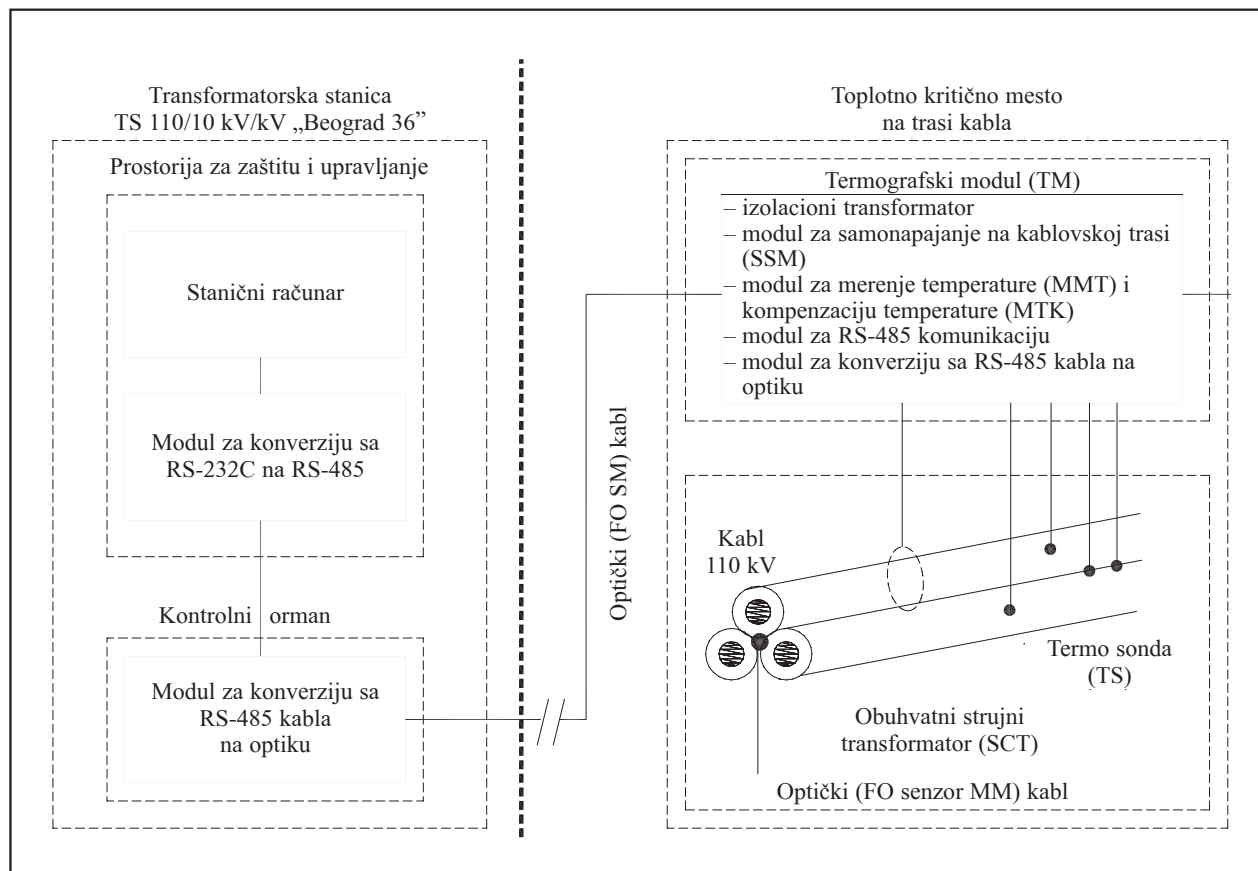
Za komunikaciju između PC računara u TS (stanični računar) i perifernih mernih jedinica na toplotno kritičnim mestima na trasi predviđen je optički kabl tipa T0SM 04 (6x2)xIIx0,4/3,5xCMAN. Optički kabl je postavljen i u središte snopa kablovskih vodova 110 kV.

Šematski prikaz sistema za merenje i praćenje temperature visokonaponskih kablova prikazan je na slici 4.

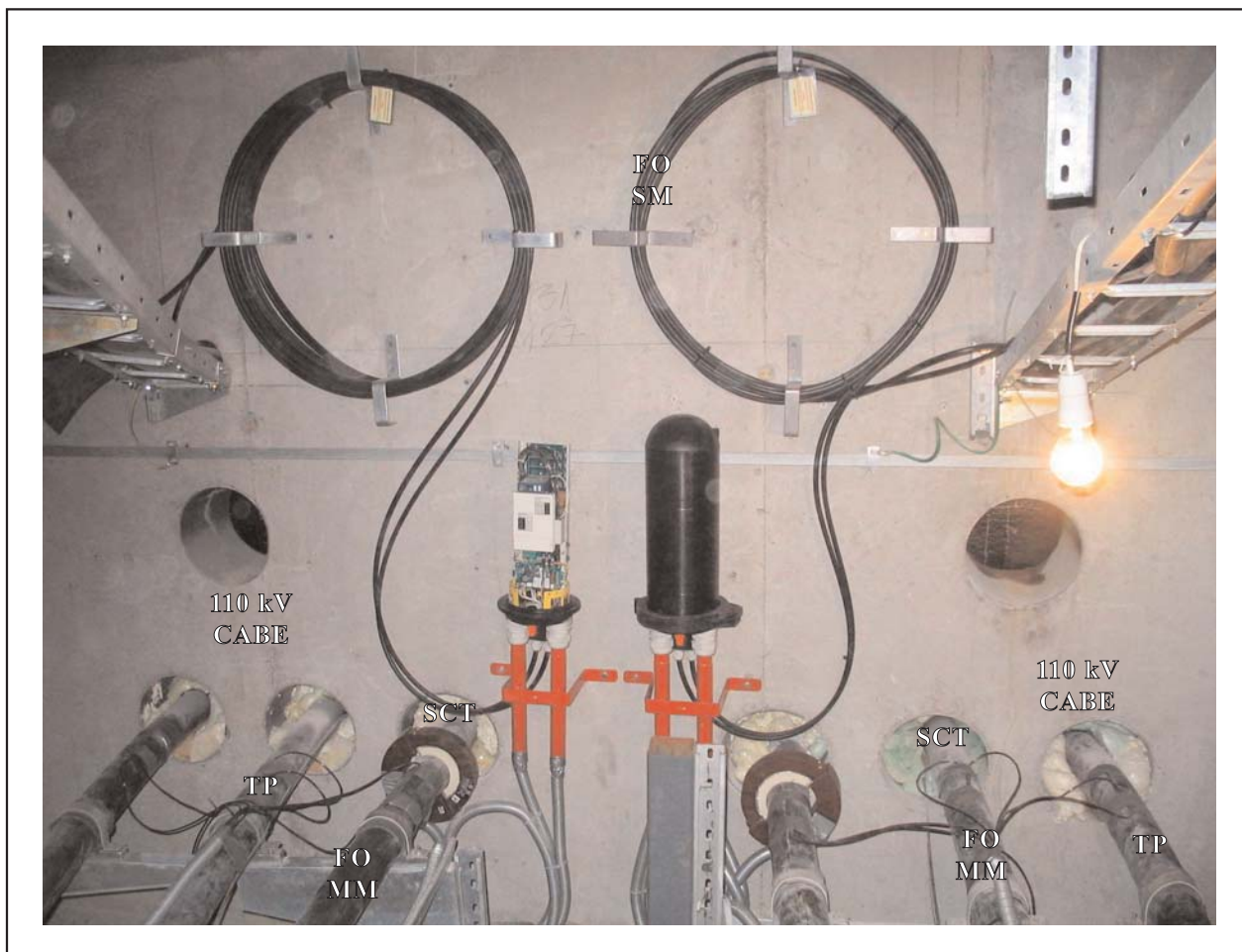
Na mernom mestu, odnosno toplotno kritičnom mestu predviđena je sledeća oprema, (slike 4,5,6,7), [9]:

- optički kablovi, (FO SM i FO MM);
- termosonde (TP) sa termoelementima tipa T;
- obuhvatni (rasklopivi) strujni transformator za samonapajanje na mernom mestu, SCT;
- moduli, TM, koji se sastoje od:
 - izolacionog transformatora (IT);
 - modul za samonapajanje na mernom mestu, SSM;
 - modul za prelaz RS-485 komunikacije sa žičane na optičku vezu, RS 485/FO;
 - modul za RS-485 komunikaciju i
 - modul za merenje temperature, MMT i temperaturnu kompenzaciju, MTK.

Termoelementi, odnosno termoparovi su temperaturni senzori koji imaju široku primenu. Vrlo su izdržljivi, pouzdani, nisu skupi i mogu raditi u širokom temperaturnom opsegu sa prihvatljivom tačnošću. Termoparovi nastaju kada se dve žice različitih metala spoje na jednom kraju. Tačka kontakta proizvodi napon koji je u funkciji temperature. Merenje temperature pomoću termoparova zahteva kompenzaciju temperature hladnog spoja. Temperatura hladnog spoja održava se na vrednost 0 °C. U praksi se najčešće koristi



Slika 4. Monitoring sistem - blok šema



Slika 5. Termoelementi, optički kabl (FO SM i FO MM), rasklopivi strujni transformator i moduli na toplotno kritičnim mestima na grupno položenim 110 kV kablovima u kablovskom prostoru TS 110/10 kV/kV „Beograd 36”

termopar bakar-konstantan i označava se slovom *T*. Termosonde se sastoje od termoelemenata tipa *T* i postavljaju se na plašt jednožilnih visokonaponskih kablova i u središtu snopa. Termosonde se postavljaju na uočenim toplotno kritičnim mestima na trasi.

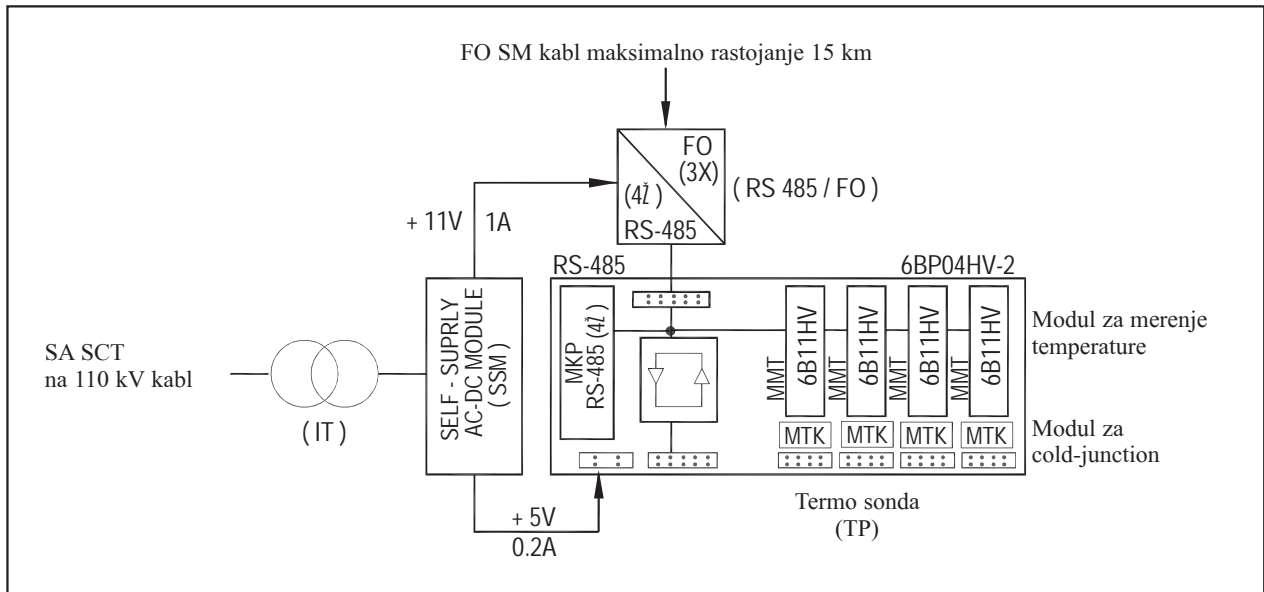
Napajanje mernog modula i modula za komunikaciju na svakom mernom mestu vrši se preko obuhvatnog strujnog transformatora i modula za samonapajanje. Obuhvatni strujni transformator se postavlja oko visokonaponskog kabla u blizini toplotno kritičnog mesta.

Modul za merenje temperature kabla je analogni izolacioni ulazno/izlazni modul koji omogućava priključenje termoelemenata na RS-485 komunikaciju. Ovaj modul ima funkciju kondicioniranja signala, izolovanja ulaza, podešenja mernog opsega, A/D ili D/A konverzije i podržavanja digitalne komunikacije.

Modul za merenje temperature ima izolovan signalni ulaz i napajanje u odnosu na RS-485 komunikaciju. Svi delovi u modulu su automatski asem-

blirani i povezani kao komponente za površinsku montažu. Modul za merenje temperature je deklarisan za upotrebu u potpunom industrijskom opsegu temperatura od $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$. Modul predstavlja kompletan mikro-kompjuterski akvizicioni sistem. Glavna prednost mikrokompjutera u modulu je mogućnost rekonfiguracije modula za razne tipove senzora i opsege merenja.

Modul za merenje temperature pokriva opseg ulaznih signala od $\pm 15\text{ mV}$ do $\pm 50\text{ V}$ i sve tipove termoelemenata i otporničkih senzora temperature. Ulazni signal je kondicioniran i skaliran pomoću pojačavača sa programiranim pojačanjem i digitalizovan pomoću 16 bitnog A/D konvertora pod kontrolom lokalnog mikroprocesora. Digitalizovana vrednost merene veličine se serijski prenosi kroz elektromagnetski izolovanu barijeru (izolacionog nivoa 2 500 V rms) i taktovana je pomoću specijalno urađenog integrisanog kola. Mikrokontroler na pločici modula konvertuje izmerene podatke u standardne merne jedinice, kao što je određeno parametrima



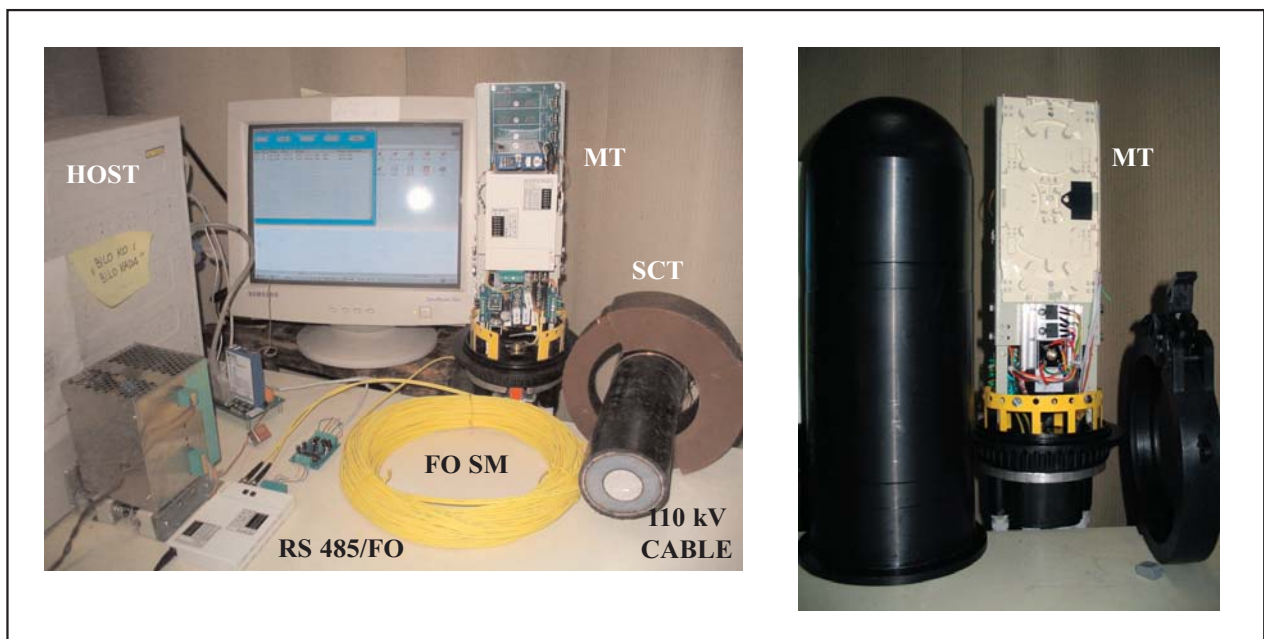
Slika 6. Šema ožičenja termografskih modula

mernog kanala, tj. da i merni signal dolazi sa termoelemenata. Između konverzija mikrokontroler vrši autopodešavanje nule merenja i podešava pojačanje osmatranjem temperature modula i referentnog napona. Na ovom stepenu obrade signala se takođe vrši kompenzacija hladnog spoja.

Merni modul se konfigurira pomoću softvera za veliki broj parametara, uključujući tip senzora, format izlaznog digitalnog signala, brzinu komunikacije preko RS-485 veze. Visokokvalitetno procesiranje signala, kombinovano sa preciznim A/D (ili

D/A) konvertorom, omogućava postizanje tačnosti od $\pm 0,05\%$ opsega merenja u celokupnom opsegu radne temperature.

Sam merni modul i modul za prelaz RS-485 komunikacije sa žičane na optičku vezu lokalno se napajaju, na izolovan način. Tako se sprečava prodiranje tranzijentnih napona u računarski merni sistem što je veoma važno u eksploataciji. Modul za merenje temperature je dizajniran da tačno procesira signale niskog nivoa u teškom industrijskom okruženju, obezbeđujući neprekidnu izolovanost signala i



Slika 7. Laboratorijsko ispitivanje mernih modula

napajanja, koja je ostvarena pomoću izolacionih transformatora. Na ovaj način se eliminišu zatvorene petlje signalnih puteva kroz uzemljenje, štite merni moduli i računarsko-upravljačka oprema od tranzijentnih prenapona.

Moduli se smeštaju u odgovarajuće kućište koje je zaštićeno od elektromagnetnog uticaja, prodora vlage i korozije, IP 68, (slika 7). Prenosni put od mernog mesta do transformatorske stanice je optički kabl. U transformatorskoj stanici se vrši priključenje optičkog kabla u odgovarajućem razvodnom ormanu i povezivanje sa staničnim računarom preko modula za prelaz komunikacije RS-485 na RS-232C komunikaciju.

4. ZAKLJUČAK

Prikazani monitoring sistem omogućava da se u eksploataciji meri i prati temperatura plašta visokonaponskih kablova na trasi. Na ovaj način omogućava se korisniku, da u svakom trenutku eksploatacije u transformatorskoj stanici i/ili u dispečerskom centru direktno daljinski pomoću PC računara posmatra i analizira „termo-sliku” sa trase posmatranog visokonaponskog kabla. Ovo je veoma značajno zbog toga što se na taj način proces zagrevanja posmatranih kablova drži pod kontrolom dispečera tako da je sada omogućeno da se u eksploataciji pouzdano i bezbedno obavlja dozvoljeno kratkotrajno preopterećenje kablova na račun povoljnih ambijentnih uslova u zemljištu. Sa druge strane, analiza „termo-slike” sa trase posmatranog visokonaponskog kabla omogućiće korisniku da otkrije eventualnu pojavu novih toplotno kritičnih mesta na trasi (pogoršanje ambijentnih uslova u zemljištu u eksploataciji kao posledicu nakandno obavljenih radova na trasi). Takođe, ovim načinom se omogućava i kontrola kvaliteta ugrađenih posebnih mešavina na toplotno kritičnim mestima na trasi.

5. LITERATURA

[1] Electrical Distribution Company, MAIN PROJECT OF 110 KV CABLE FOR SUPPLYING TS 110/10 kV/kV BELGRADE 36, 2001.

[2] IEC 60287-1-1, Electric cables-Calculation of the current rating - Part 1-1: CURRENT RATING EQUATIONS (100 % LOAD FACTOR) AND CALCULATION OF LOSSES - GENERAL, (2001-11, Ed.1.2 Consolidated Edition).

[3] Electrical Engineering Institute „Nikola Tesla”-Belgrade, TEMPERATURE MEASUREMENT OF 110 kV CABLE LINES TS BEOGRAD 17-TS

SLAVIJA-TS KALEMEGDAN and TS Beograd 17-TS Pionir-TS Kalemegdan”, (Report No. 359501, March 1995).

- [4] M. R. Sredojevic, R. M. Naumov, Dj. P. Popovic, M. D. Simic, LONG TERM INVESTIGATION OF THERMAL BEHAVIOUR OF 110 kV UNDERGROUND TRANSMISSION LINES IN BELGRADE AREA, (IEEE Conf.Pub. NO 438 pp 3.44.1-3.44.5, Jun 2-5, Birmingham, UK).
- [5] Electrical Engineering Institute „Nikola Tesla”-Belgrade, THERMAL CRITICAL SPOTS OF 110 kV CABLE LINES IN BELGRADE AREA, (Study No. 359703, May 1997).
- [6] M. R. Sredojevic, R. M. Naumov, Dj. P. Popovic, M. D. Simic, INFLUENCE OF THE SOIL KIND AND ITS DRYING OUT ON THE PERMISSIBLE CURRENT RATING OF THE INVESTIGATED 110 kV UNDERGROUND CABLE LINE, (paper BPT 99-226-35, IEEE Power Tech 99 Conference, Budapest, Hungary, Aug 29 Sept 2, 1999).
- [7] Electrical Engineering Institute „Nikola Tesla”-Belgrade, DEVELOPMENT AND APPLICATION OF SPECIAL MIXTURES FOR CABLE BEDDING ON TERRITORY OF SERBIA, (Study No. 3592215, March, 1993).
- [8] Electrical Engineering Institute „Nikola Tesla”-Belgrade, REPAIR OF CRITICAL HOT-SPOTS ON 110 kV CABLE ROUTE TS BEOGRAD 17-TS SLAVIJA, (Report No. 350111, December 2001).
- [9] Electrical Engineering Institute „Nikola Tesla”-Belgrade, MEASUREMENT AND MONITORING OF 110 kV CABLE SHEATH TS BEOGRAD 17-TS OBILIC, (Study No. 350421, February 2004).
- [10] CIGRE, Working Group B1.02, OPTIMISATION OF POWER TRANSMISSION CAPABILITY OF UNDERGROUND CABLE SYSTEMS USING THERMAL MONITORING.



Aleksandra Popovac-Damljanović je rođena 1968. godine u Beogradu. Diplomirala je 1991. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, energetska odseka, smer elektroenergetski sistemi. Magistrirala je 1998. godine na temi iz oblasti kvaliteta električne energije. Od 1993. godine radi u JP „Elektrodistribucija Beograd” Beograd u Sektoru za projektovanje objekata 110 i 35 kV, a od 2004. godine u Sektoru za tehnički razvoj i istraživanje, Služba za razvoj elemenata mreže, kao vodeći inženjer za objekte 110 i 35 kV. Autor je više radova na domaćim i stranim savetovanjima.



Milutin Sredojević rođen je 23. 05. 1947. godine u Ratkovu u Vojvodini, Srbija. Diplomirao je 1972. godine na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu. Radi od 1972. godine u Elektrotehničkom institutu „Nikola Tesla” u Beogradu, u grupi Kablovska tehnika na istraživačko-razvojnim projektima procesa zagrevanja podzemnih energetskih kablova u eksploataciji, posebno na trasi kablovskih vodova 110 kV na području Beograda.

Sa grupom saradnika iz Instituta i Elektroprivrede Srbije objavio je više članaka na Savetovanjima u zemlji i inostranstvu.



Žarko Janda (1960) osnovnu školu i gimnaziju završio u Čačku, Srbija. Diplomirao, magistrirao i doktorirao iz elektrotehnike na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu 1984, 1989 i 2004, respektivno. Od 1984 stalno zaposlen u Centru za Automatiku i Regulaciju u Elektrotehničkom institutu „Nikola Tesla” u Beogradu. Radi na razvoju, projektovanju, izradi i puštanju u pogon pretvarača velike snage, sistema za besprekidno napajanje, elektromotornih pogona, distribuiranih mernih sistema temperature, pobudnih sistema sinhronih motora i ispravljača sa visokim faktorom snage. Za naučni doprinos u oblasti ispravljača sa visokim faktorom snage dobio nagradu „Nikola Tesla” 1998. godine. Sekretar STK B4 JUKO CI-GRE, sekretar SCG podružnice IEEE PES.



Stojan Nikolajević je rođen 1944. godine u selu Vučadelci, Srbija. Elektrotehnički fakultet je završio 1968. godine u Beogradu, gde je 1974. godine magistrirao, a 1987. godine doktorirao. U Industriji kablova (FKS) Jagodina radio je od 1968. do 1994. godine. U periodu od 1994. godine do 2005. godine radio je JP EPS „Elektrodistribucija Beograd”. Od 2005. godine radi u Agenciji za razvoj i konsalting „Kosa” u Beogradu. Preko 20 godina uključen je u nastavu na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu najpre kao asistent, a potom i kao profesor. Takođe drži nastavu na Elektrotehničkom fakultetu u Banja Luci. Član je više asocijacija u zemlji i inostranstvu.

Milena Nikolić,
Đorđe Glišić i Biljana Stojanović

Termini i definicije za komponente kablovskog pribora

Stručni rad
UDK: 621.315.22; 621.315.29; 621.85.054

Rezime:

U ovom radu je dat sistematski pregled usvojenih termina i definicija za komponente kablovskog pribora koje se odnose na spajanje i završavanje provodnika energetskih kablova. Predstavljani su i predlozi novih termina i njihove definicije, koji su usaglašeni sa usvojenim međunarodnim terminima i definicijama. Svaki termin je jasno definisan, što je od velikog značaja za jednoznačnost i preciznost u teoriji i praksi.

U ovom radu je dato i poređenje sa terminima koji su obrađeni u međunarodnom standardu International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 461: Electric cables.

U poređenju sa međunarodnim standardom utvrđeno je da se ovim radom otišlo korak dalje u sagledavanju potrebe za definisanjem termina za komponente koje su potrebne za spajanje provodnika kabla i priključenje provodnika kablova na elektroenergetske objekte.

Ključne reči: kablovski pribor, termini, definicije

Abstract:

TERMS AND DEFINITIONS FOR COMPONENTS OF CABLE ACCESSORIES

This paper presents the systematic review of terms and definitions adopted for the components of cable accessories relating to splicing and terminating of power cable conductors. Presented are the proposals for new terms and their definitions that are harmonized with adopted international terms. Every term is clearly defined which is of great importance for preciseness in theory and practice.

This paper also gives the comparison with terms presented in The International Electro technical Vocabulary. Chapter 461: Electric cables.

It was found that, compared to the international standard, this work presents one step forward in the recognition of the need for defining the terms for components that are necessary for cable conductor splicing and connecting of cable conductors to the electrical power stations.

Keywords: cable accessories, terms, definitions

1. UVOD

Najčešći uzroci kvarova u elektrodistributivnoj mreži su upravo na spojevima [6], kako zbog kom-

pleksnosti i različitih faktora koji utiču na kvalitet spoja, tako i zbog loše montaže spoja, koja bi mogla da dovede do prekida normalnog režima rada i ugrozi prihod preduzeća. Upravo iz navedenih razloga,

Milena Nikolić, dipl. ing. el., Đorđe Glišić, dipl. ing. el., mr Biljana Stojanović, dipl. ing. el.
– JP „EPS”, PD „Elektrodistribucija Beograd”, 11 000 Beograd, Gospodar Jevremova 28

komponente kablovskog pribora predstavljaju pribor koji mora da bude stalno nabavljan, pri čemu mora da bude i precizno definisan. Uslov za efikasnost nabavke rezervnih delova je primena standardizovanih termina.

U dosadašnjoj praksi je usled nestandardizovanog korišćenja termina i definicija iz raznih oblasti elektroenergetike dolazilo do nerazumevanja i nesporazuma, a samim tim i do povećanih troškova. Radi veće efikasnosti i apsolutnog razumevanja na relaciji proizvodnja-nabavka-eksploatacija, gde su problemi bili najveći, potrebno je primenjivati standardizovane termine.

Komponente kablovskog pribora su područje koje je do sada teorijski nedovoljno obrađeno i u međunarodnim [1,2,3] i u nacionalnim standardima [4].

Prilikom pisanja tehničkih specifikacija za nabavku komponenata kablovskog pribora koji služe za spajanje, kao i za završavanje provodnika kablova i njihovo priključenje na druge elektroenergetske objekte, uočena je potreba da se neki novi termini uvedu, a postojeći da se preciznije odrede i definišu.

Uvođenje novih termina i definicija za postojeće elemente i delove elektroenergetskog sistema je zadatak stručnih komisija i nadležnih tela u okviru nacionalne institucije za standardizaciju.

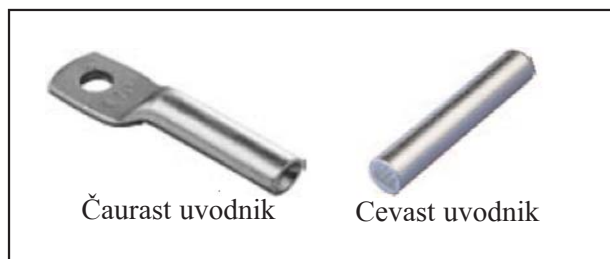
Uočena je potreba za terminološkim promenama i dopunama u oblasti kablovskog pribora, a vezano za spajanje provodnika kabla i priključenje kablova na elektroenergetske objekte. U analizi ovog problema se otišlo korak dalje od međunarodne standardizacije i prepoznata je potreba da se posebno definiše element koji služi za nastavljavanje provodnika glavnog voda i spajanje provodnika odvojnog voda – *nastavno-odvojna spojnica*. Isto tako je kod priključenja kabla na druge elektroenergetske objekte uočena potreba da se obuhvate i drugi tipovi priključnih (završnih) elemenata i da se da opšti termin - *završna spojnica*.

2. NOVI TERMINI I DEFINICIJE

Osnovni termin čije se definisanje nametnulo je spoj provodnika, a nije predviđen terminološkim rečnikom [1]. *Spoj provodnika* je kontakt između dva provodnika koji obezbeđuje električni kontinuitet provodnika. Spoj provodnika može da bude direktan (sučelice ili nasatice) ili posredan (spojnicom ili stezaljkom). Načini ostvarenja spoja provodnika sa spojnicom mogu da budu pritiskom ostvarenim gnječenjem (šestostrano i dubokim utiskivanjem) i pritiskom ostvarenim zavrtnjima (posredno i neposredno).

Uvodnik je termin koji do sada nije bio korišćen kod nas, a predviđen je terminološkim rečnikom [1].

Uvodnik je deo spojnice ili završne spojnice u koji se uvodi provodnik. Oblik uvodnika u zavisnosti od tipa kabla, uslova eksploatacije i naponskog nivoa, može da bude cevast ili čaurast.



Slika 1. Uvodnik priključne papučiće i nastavne spojnice

Termin kontaktna površina definiše bitne osobine svakog spoja, do sada nije bio korišćen kod nas, a nije ni definisan u terminološkom rečniku [1]. *Kontaktne površine* je površina uvodnika kojom se ostvaruje spoj provodnika sa spojnicom.



Slika 2. Primer nazubljene kontaktne površine uvodnika

Termin koji do sada nije bio definisan nacionalnim standardom, a predstavlja opšti pojam za sve tipove metalnih elemenata koji obezbeđuju spoj dva ili tri provodnika kabla je spojnica. *Spojnica* je metalni element koji služi za međusobno spajanje provodnika kabla. Obzirom na različite potrebe i situacije u kablovskoj tehnici, uočene su sledeće vrste spojnice:

- nastavne;
- odvojne i
- nastavno-odvojne.

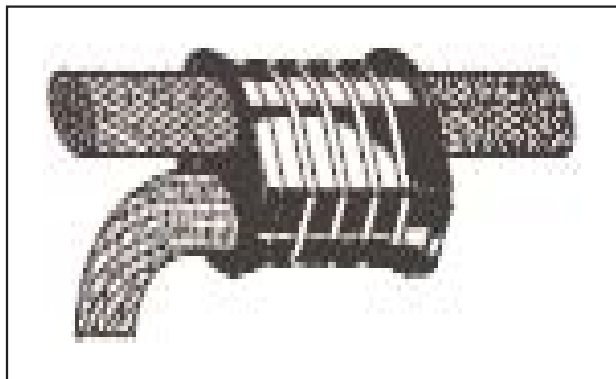
Nastavna spojnica je metalni element koji služi za nastavljavanje provodnika. U dosadašnjoj praksi je korišćen termin čaura koji samim svojim nazivom ukazuje samo na jedan tip nastavne spojnice, te je

stoga uočena potreba za novim terminom. Na slici 3 je prikazana nastavna spojnica koja služi za nastavljavanje provodnika različitih preseka.



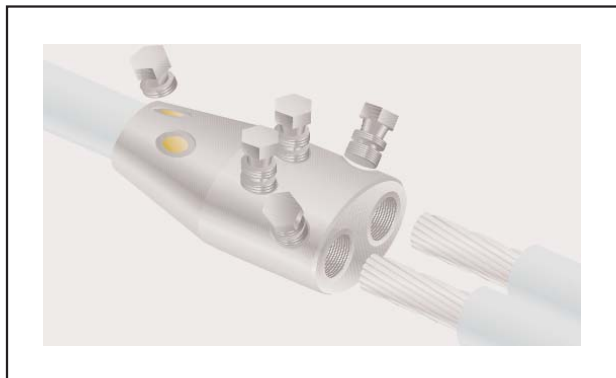
Slika 3. Nastavna spojnica

Odvojna spojnica je metalni element koji služi za spajanje provodnika odvojnog voda sa provodnikom glavnog voda. Ovaj termin nije predviđen postojećim nacionalnim standardom. Uvođenje ovog termina je u skladu sa [3].



Slika 4. Odvojna spojnica

Nastavno-odvojna spojnica je metalni element koji služi za nastavljavanje provodnika glavnog voda i spajanje provodnika odvojnog voda sa provodnikom



Slika 5. Nastavno-odvojna spojnica

glavnog voda. Ovaj termin nije predviđen ni nacionalnim ni međunarodnim standardima. Mada su ovi metalni elementi već duže vreme u upotrebi, za potrebe nabavke, projektovanja, izrade i eksploatacije nije definisan pogodan termin.

Bimetalna spojnica je element koji je napravljen od dva različita metala i služi da spoji provodne delove koji su napravljeni od tih istih metala. Napomena: Izraz bimetalan je i dalje ostao u upotrebi, te shodno prethodnim terminima proizilazi definicija bimetalne spojnice.



Slika 6. Bimetalna nastavna spojnica

Završna spojnica je metalni element koji služi za priključenje provodnika kabla na priključke aparata ili međusobno. Na završnoj spojnici razlikujemo telo završne spojnice i glavu završne spojnice. U zavisnosti od oblika glave, postoje različiti tipovi završnih spojnica.



Slika 7. Završna bimetalna spojnica

Priključna papučica je završna spojnica čija je glava oblika papučice.

Napomena 1: Do sada je u upotrebi bio termin papučica

Napomena 2: Ukoliko se priključna papučica koristi za priključenje kabla na rasklopne aparate, cela papučica mora da bude napravljena od bakra. Zabranjena je primena papučica sa bakarnim prstenom.



Slika 8. Priključna papučica sa cevastim uvodnikom

Bimetalna priključna papučica je napravljena od dva različita metala i služi da spoji provodne delove koji su napravljeni od tih istih metala.



Slika 9. Bimetalna priključna papučica

3. POREĐENJE PREDLOŽENIH POJMOVA SA MEĐUNARODNIM USVOJENIM POJMOVIMA

Međunarodna elektrotehnička komisija, u okviru tehničkog komiteta TC 1 za terminologiju, je

1984. godine donela standard [1] u kome nije definisan ni jedan termin koji se odnosi na spajanje provodnika kabla. Godine 1993. i 1999. su objavljene izmene i dopune ovog standarda, gde je terminološki obrađena ova oblast i dati su termini i definicije za neke komponente kablovskog pribora. To je uticalo da identifikovani termini u standardima [2, 3] kod nas budu prihvaćeni, mada ne i zvanično usvojeni kroz prevod navedenih standarda.

U međunarodnom standardu definisani su elementi koji se najviše koriste u kablovskoj tehnici za spajanje i priključenje provodnika kablova i u tabeli 1 su dati termini na engleskom jeziku, termini koji su kod nas u upotrebi i termini koji su predloženi u ovom radu.

Očigledno je da međunarodni rečnik [2,3] nije bio u potpunosti terminološki podržan, jer nije urađen prevod istog, te je potreba za radom na ovom problemu bila očigledna.

Svi termini koji su definisani u Poglavlju 1 su u skladu sa međunarodnim standardom [1,2,3]. Ovaj rad je pokazao da konkretni termini definisani u međunarodnom standardu [1,2,3] samo delimično zadovoljavaju potrebe razvoja, projektovanja, izrade, naručivanja i eksploatacije i da je potrebno izvršiti preciznije definisanje nekih elemenata za spajanje i priključenje provodnika kabla.

4. ZAKLJUČAK

Nedostatak termina i definicija iz oblasti kablovske tehnike se najbolje može prevazići prevodom međunarodnog terminološkog standarda IEC 60050-461 što će predstavljati veliki doprinos stručnjacima koji se bave kablovima i kablovskom tehnikom.

Ovaj rad može da predstavlja polaznu osnovu za prevod navedenog standarda.

Tabela 1.

Uporedni pregled termina za komponente kablovskog pribora

Oznaka u IEC rečniku	Termin na engleskom jeziku	Termin na srpskom jeziku	Napomena (termin u dosadašnjoj upotrebi)
IEV (461-17-06)	Barrel (of terminal lug, of connector, ...)	Uvodnik	/
IEV (461-17-03)	Connector (of cables)	Spojnica	/
IEV (461-17-04)	Joint ferrule; through connector (of cable)	Nastavna spojnica	Čaura
IEV (461-17-05)	Branch connector; branch ferrule	Odvojna spojnica	/
IEV (461-17-01)	(terminal) lug	Priključna papučica	Papučica
IEV (461-17-07)	Palm (of terminal lug)	Papučica	/
IEV (461-17-09)	Bimetallic connector	Bimetalna spojnica	Bimetalna čaura
IEV (461-17-08)	Bimetallic lug	Bimetalna priključna papučica	Bimetalna papučica

5. LITERATURA

- [1] IEC 60050-461: 1984, International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 461: ELECTRIC CABLES
- [2] IEC 60050-461-am1: 1993, Amendment 1 - International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 461: ELECTRIC CABLES
- [3] IEC 60050-461-am2: 1999, Amendment 2 - International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 461: ELECTRIC CABLES
- [4] JUS N.F4.101: 1986, Kablovski pribor. DELOVI ZA IZRADU PRESOVANIH SPOJEVA U ELEKTROENERGETSKIM KABLOVSKIM MREŽAMA. Tehnički uslovi
- [5] Borislav M. Lalević, PRIRUČNIK KABLOVI ELEKTROENERGETSKI, 1997
- [6] Dr Milenko Braunović, ALUMINIJUMSKI SPOJEVI: NASLEDSTVA PROŠLOSTI, Elektrodistribucija br.1, 1995

Rad je primljen u uredništvo 02. 11. 2006. godine



Milena Nikolić je rođena u Beogradu 1969. godine, gde je 1995. godine diplomirala na Elektrotehničkom fakultetu, profil elektroenergetski sistemi. Zaposlena je u PD Elektrodistribucija Beograd kao vodeći inženjer. Do sada je objavila 4 rada na nacionalnim savetovanjima.



Đorđe Glišić je rođen 1950. godine u Beogradu. 1973. godine je diplomirao na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu. Od 1974. do 1979. godine je radio u Elektronskoj Industiji – Fabrika Signalnih Uređaja u Beogradu, kao projektant automatskih uređaja putnih prelaza za železnicu. Od 1979. godine radi u Elektrodistribucija – Beograd Sektor za razvoj, kao vodeći inženjer za distributivne nadzemne vodove.



Biljana Stojanović je rođena 13. maja 1962. u Jagodini. 1987. godine diplomirala na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu. 2000. magistrirala na Queensland University of Technology, Brizbejn, Australija. Od 1995. godine radi u Elektrodistribuciji Beograd kao vodeći inženjer u Sektoru za tehnički razvoj i istraživanje.

Ispitivanje energetskih kablova atmosferskim udarnim naponom

Stručni rad
UDK: 621.315.2; 621.3.015.3

Rezime:

Energetski kablovi su pri udaru groma izloženi velikim prenaponima koji mogu izazvati njihov proboj, i zbog toga se moraju ispitati na izdržljivost prema atmosferskom udarnom naponu. U ovom referatu obrađićemo sledeće pojmove:

- 1. Uticaj groma na energetske kablove i značaj ispitivanja atmosferskim udarnim naponom;*
- 2. Oprema za ispitivanje;*
- 3. Metoda (postupak) ispitivanja*

Ključne reči: napon, grom, influencija, pražnjenje, prenapon, generator

Abstract:

LIGHTNING IMPULSE VOLTAGE TESTING OF POWER CABLES

Under the lightning impulse the power cables are exposed to the great overvoltages that can cause their breakdown, and due to that the lightning impulse voltage withstand tests must be carried out. This paper gives the following:

- 1. Effect of lightning on power cables and importance of lightning impulse voltage testing;*
- 2. Testing equipment;*
- 3. Method of testing.*

Keywords: voltage, lightning, influence, discharge, overvoltage, generator

1. UTICAJ GROMA NA ENERGETSKE KABLOVE I ZNAČAJ ISPITIVANJA ATMOSFERSKIM UDARNIM NAPONOM

Prenaponi atmosferskog porekla (gromovi) nastaju usled pražnjenja elektriciteta između naelektrisanog oblaka i zemlje. Zbog strujanja vazduha i na druge načine dolazi do razdvajanja pozitivnog i negativnog naelektrisanja unutar oblaka, zatim oblak električnom indukcijom izaziva suprotno naelektri-

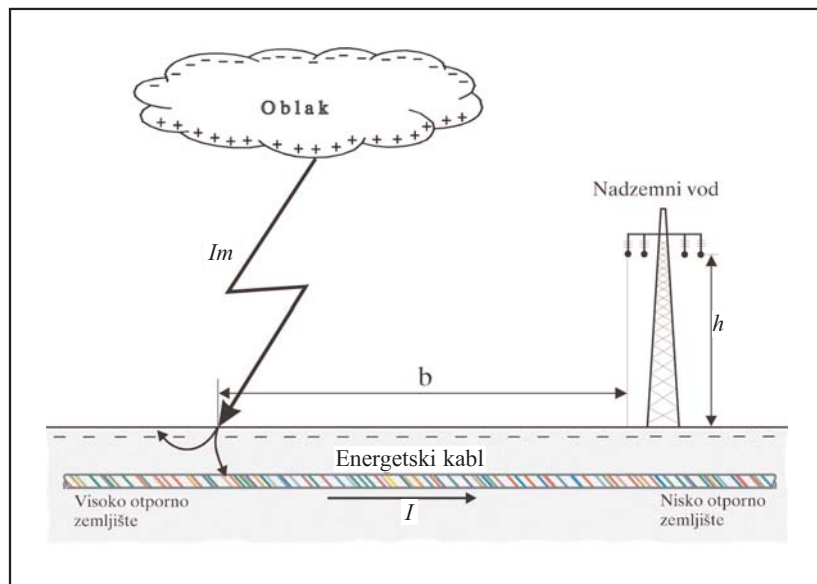
sanje u zemlji, i na kraju oblak i zemlja predstavljaju jedan ogroman kondenzator sa električnim poljem velike vrednosti (10 kV/m i više). Kada napon između oblaka i zemlje dostigne dovoljnu vrednost (više miliona volti) dolazi do električnog pražnjenja-udar groma. Prosečne karakteristične vrednosti groma su:

- 20 kA – amplituda struje groma;
- 200 Ω – otpor kanala groma i
- 20 C – količina elektriciteta koju grom odvede u zemlju.

Sad se postavlja pitanje šta se dešava sa energetske kablovima pri udaru groma? Pomenuta situacija predstavljena je na slici 1.

Tu imamo dva nezavisna, potpuno različita slučaja:

- a) Slučaj samonosivog kablovskog snopa (SKS) i
- b) Slučaj energetskog kabla položenog u zemlju



Slika 1. Šematski prikaz udara groma u energetski kabl

- a) U mrežama sa samo kablovskim vodovima (SKS) mogućnost pojave prenapona atmosferskog porekla malo je verovatna. Međutim u mrežama u kojima su prisutni kablovski i nadzemni vodovi, na izolaciji kablovskih vodova mogu se pojaviti znatni prenaponi, i to:
 - prenaponi izazvani gromom iz nadzemnih vodova direktno prelaze u kablovske vodove i
 - prenaponi izazvani gromom iz nadzemnih vodova preko sabirnic prelaze u kablovske vodove (kad su na sabirnicama trafo stanice prisutni kablovski i nadzemni vodovi).

Na osnovu iznetog vidi se da se uticaj groma na SKS svodi na uticaj groma na nadzemni vod, prikazano na slici 1. Vrednost indukovano prenapona u nadzemnom vodu data je izrazom:

$$U_{ind} = \frac{60kI_m h}{b}$$

gde su:

- I_m – očekivana struja groma u kA
- h – visina provodnika nad zemljom u m
- b – odstojanje mesta udara groma od provodnika u m i
- k – koeficijent, najčešće se uzima vrednost 0,5

Primer: Za $I_m=20$ kA, $h_{sr}=10$ m (SKS 35 kV), $b=60$ m i $k=0,5$ dobije se vrednost indukovano napona $U_{ind}=100$ kV!

- b) Za kablove ukopane u zemlju situacija je znatno složenija zbog mogućnosti prisustva metalnih ekrana telekomunikacijskih i drugih energetskih kablova. Posebno veliki uticaj na kabl ima udar groma ako se desi u neposrednoj blizini kabla i ako je okolno zemljište velike specifične otpornosti. U tom slučaju nastaju velike razlike potencijala u zemlji koje prouzrokuju jaka električna polja. Kako je probojna čvrstoća zemlje oko 2 kV/cm, nastaje lokalni proboj zemljišta. Pošto je ekran kabla na nultom potencijalu, pored probijanja zemljišta doći će i do proboja plašta kabla i prodiranja struje groma u ekran kabla (slika 1). Pri tome dolazi do indukovanja prenapona datog izrazom:

$$U_{ind} \approx R_p I \sqrt{\tilde{n}} \sqrt{T}$$

gde su:

U_{ind} – vrednost indukovano prenapona u ekranu kabla na mestu proboja plašta u V

- R_p – otpornost ekrana kabla u Ω/km
- ρ – specifična električna otpornost zemljišta u Ωm
- T – vreme trajanja udarnog talasa groma u s
- I – struja kroz ekran u A

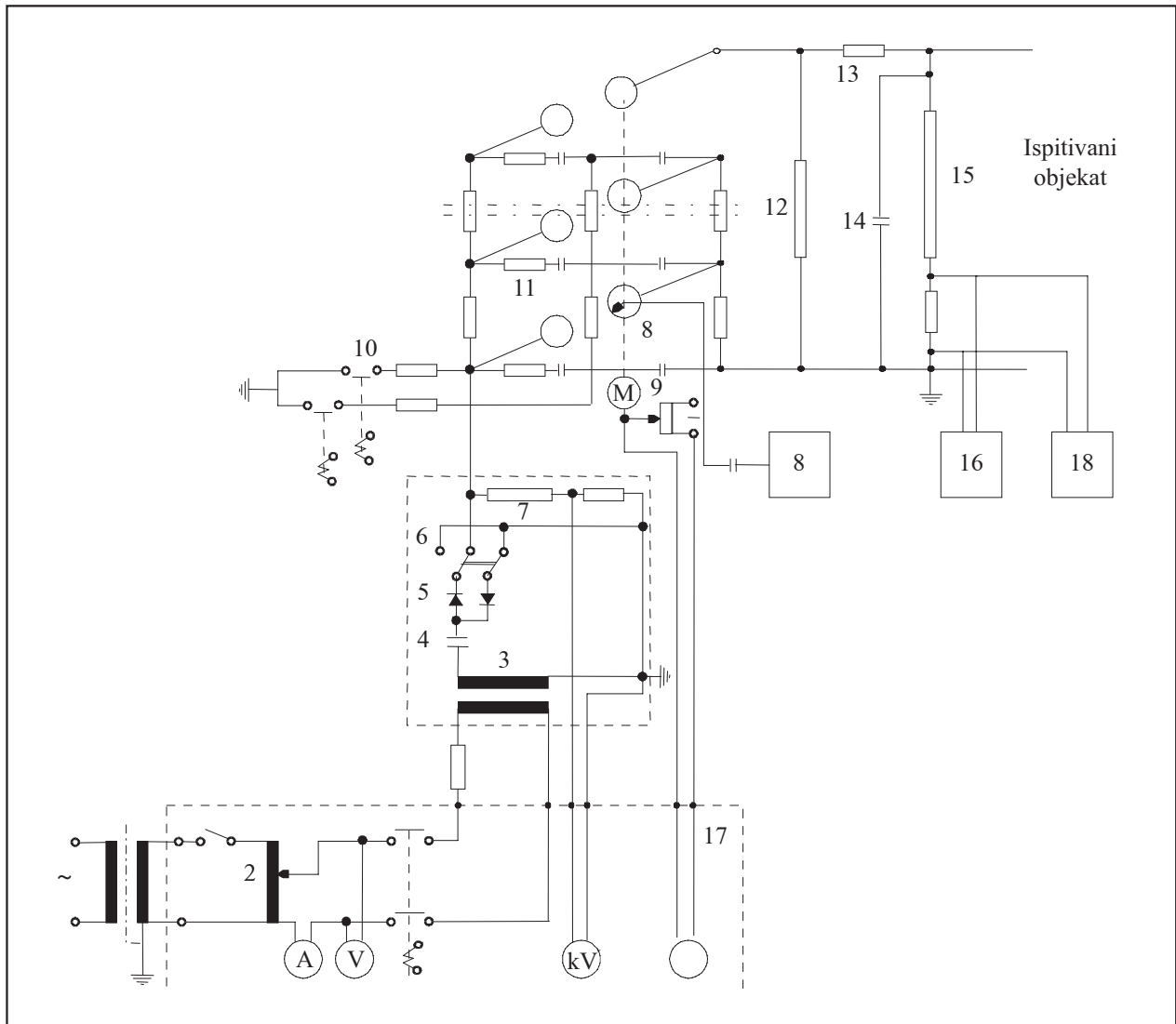
Primer: Za $I=50$ kA, $\rho=10\ 000$ Ωm , $T=100$ ms i $R_p=2$ Ω/km , indukovani prenapon u ekranu iznosiće $U_{ind}=100$ kV!

Ako je vrednost indukovano prenapona dovoljno velika doći će do proboja izolacije kabla i kabl će biti van funkcije.

Iz gore izloženog vidi se koliko je veliki uticaj atmosferskih prenapona na rad energetskih kablova, posebno na samonosive kablovske snopove (SKS). Zbog toga se energetski kablovi, koji su podložni uticaju gromova, moraju u okviru svojih tipskih ispitivanja obavezno ispitati i na izdržljivost prema atmosferskom udarnom naponu!

2. OPREMA ZA ISPITIVANJE

Oprema za ispitivanje udarnim naponom sastoji se od izvora jednosmernog napona, udarnog generatora po Marksu, komandnog pulta, katodnog osciloskopa za snimanje oblika napona, digitalnog vršnog kilovoltmetra za merenje amplitude napona i druge prateće opreme. Udarni generator po Marksu



Slika 2. Oprema za ispitivanje udarnim naponom

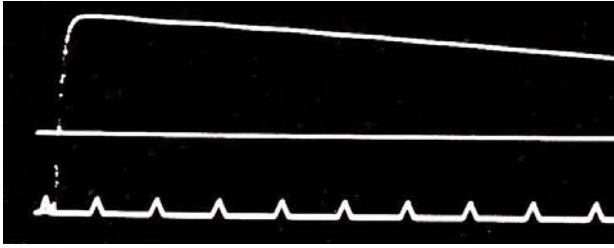
Gde su:

- | | |
|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Izolacioni transformator; 2. Regulacioni transformator; 3. Visokonaponski transformator; 4. Kondenzator za udvostručavanje napona; 5. Selenski ispravljač, 100 kV, 30 mA; 6. Preklopka za promenu polariteta jednosmernog napona nabijanja; 7. Potencimetar za merenje napona nabijanja; 8. Trigatron (pomoćna elektroda); | <ol style="list-style-type: none"> 9. Motor za pomeranje kugli ; 10. Uzemljivač; 11. Udarni generator 400 kV, 8,8 kW; 12. Paralelni otpornik; 13. Spoljni prigušni otpornik; 14. Dodatni kapacitet opterećenja, 1 000 pF, 400 kV; 15. Omski delitelj napona za 400 kV; 16. Katodni osciloskop; 17. Komandni pult i 18. Digitalni vršni kilovoltmetar. |
|--|---|

sadrži iskrišta i kondezatore koji se preko otpornika pune paralelno a prazne serijski. Izgled opreme za ispitivanje udarnim naponom dat je na slici 2.

Pomoću ručice na komandnom pultu postigne se potrebna vrednost napona nabijanja, zatim se približavanjem kugli udarnog generatora na određeno rastojanje podesi željena vrednost udarnog napona. Dovođenjem naponskog impulsa na trigatron pali se prvo iskrište, a zatim i ostala, što dovodi do pražnje-

nja udarnog generatora. Na katodnom osciloskopu može se pratiti i snimiti oblik udarnog napona. Na vršnom kilovoltmetru očitava se vrednost udarnog napona u kV-ima. Ovakva merno ispitna oprema daje na mestu ispitivanog objekta (energetski kabl) atmosferski udarni napon oblika **1,2/50** μ s (standardni oblik atmosferskog udarnog napona), gde je 1,2 μ s trajanje čela a 50 μ s trajanje začelja talasa, na slici 3.



Slika 3. Standardni oblik atmosferskog udarnog napona

3. METODA (POSTUPAK) ISPITIVANJA

SKS niskog napona 0,6/1 kV ispituje se udarnim naponom u vodi na temperaturi ambijenta (bez grejanja). Svi ostali kablovi ispituju se na suvom, posle grejanja na zadatu temperaturu.

3. 1. Grejanje kabla

Uzorak kabla koji se ispituje dužine 10 do 15 m mora da se zagreje na zadatu temperaturu:

- po JUS-u na **95 °C**;
- po IEC-u na **95 °C do 100 °C** i

– po VDE-u na **95 °C ± 2 °C**

Kabel se greje polako propuštanjem jednosmerne struje kroz provodnik, a da li je dostignuta potrebna temperatura proverava se indirektno merenjem električnog otpora provodnika po formuli:

$$R_{95^{\circ}\text{C}} = R_A [1 + \alpha (95^{\circ}\text{C} - t_A)]$$

gde su:

$R_{95^{\circ}\text{C}}$ – Očekivana računaska vrednost električnog otpora provodnika na 95 °C u Ω ;

R_A – Izmerena vrednost električnog otpora provodnika na temperaturi ambijenta u Ω ;

α – Temperaturni koeficijent:

za Cu iznosi 0,003 93 1/°C

za Al iznosi 0,004 03 1/°C i

t_A – Temperatura ambijenta – temperatura vazduha u ispitnoj stanici u °C

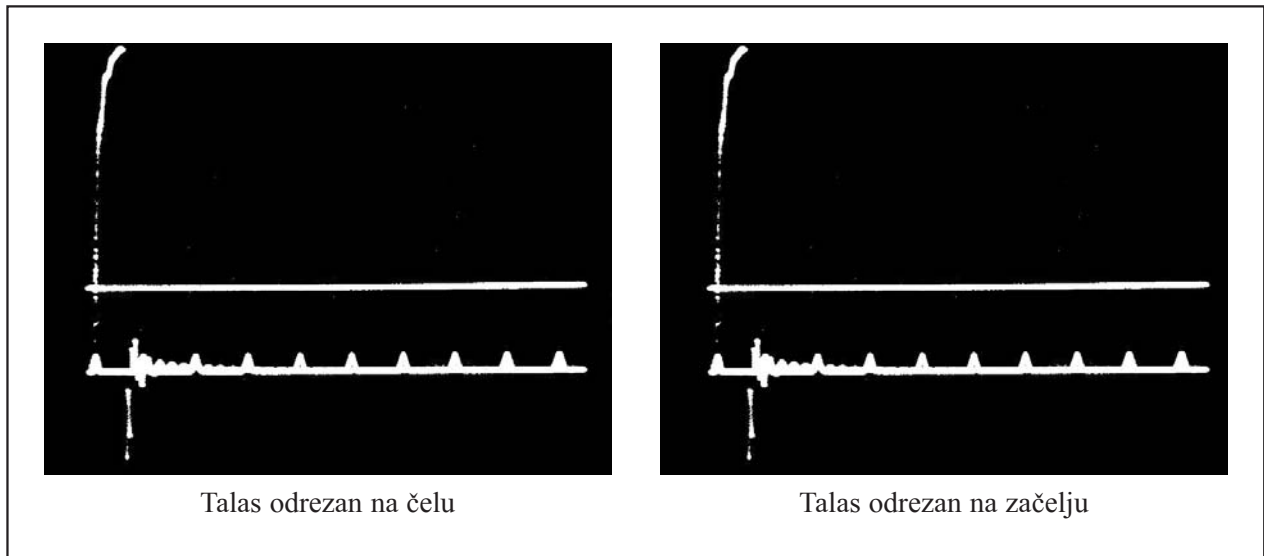
Primer: Za kabl XHE 49-A 1x150/25 mm², $t_A=18^{\circ}\text{C}$, $R_A=27,5 \cdot 10^{-4} \Omega$, $\alpha=0,004 03 1/^{\circ}\text{C}$ dobije se potrebna računaska vrednost električnog otpora $R_{95^{\circ}\text{C}}=36,03 \cdot 10^{-4} \Omega$.

Tabela 1.

Udarni naponi primenjeni u ispitivanju

Tip kabla	Nazivni napon (kV)	Udarni napon (kV)		
		JUS	IEC	VDE
Niskonaponski SKS: XOO-A XOO/O-A XOO/O(Ač) -A	0,6/1	20 kV 5 pozitivnih i 5 negativnih impulsa	Ne	Ne
Srednjenaponski SKS: XHP 48/O-A XHE 48/O-A	6/10 8,7/15 12/20 18/30 20/35	75 kV - 125 kV - 190 kV 10 pozitivnih i 10 negativnih impulsa	75 kV 95 kV 125 kV 170 kV - 10 pozitivnih i 10 negativnih impulsa	75 kV - 125 kV 170 kV - 10 pozitivnih i 10 negativnih impulsa
Energetski podzemni kablovi: PHP XHP XHE EpN EpHN	1,8/3 3,6/6 6/10 8,7/15 12/20 18/30 20/35	- 60 kV 75 kV - 125 kV - 190 kV 10 pozitivnih i 10 negativnih impulsa	40 kV 60 kV 75 kV 95 kV 125 kV 170 kV - 10 pozitivnih i 10 negativnih impulsa	- - 75 kV - 125 kV 170 kV - 10 pozitivnih i 10 negativnih impulsa

Napomena: Kablovi sa etilenpropilenskom i PVC izolacijom nazivnog napona 3,6/6 kV i nižeg po JUS-u ne podležu ispitivanju udarnim naponom!



Slika. 4

Kabl je zagrejan na potrebnu temperaturu od 95 °C kada izmereni el. otpor provodnika dostigne računsku vrednost od $R_{05\text{ }^{\circ}\text{C}}$.

3. 2. Ispitivanje kabla udarnim naponom

Između provodnika i ekrana kabla (za SN kablove) ili između provodnika i vode (kod NN SKS), na jedan kraj zagrejanog uzorka kabla, dovodi se udarni napon proizveden pomoću opreme i na način kako je to objašnjeno u predhodnom poglavlju. Radi se o standardnom udarnom naponu oblika 1,2/50 ms sa slike 3. Visina, broj i polaritet primenjenih udarnih napona za razne tipove kablova dati su u tabeli 1.

Na osciloskopu se posmatra oblik napona. Ako je on pun kao na slici 3, znači da nije došlo do proboja između provodnika i ekrana kabla/vode (izolacije), to jest kabl je izdržao test. Da bi eliminisali eventualni preskok između provodnika i ekrana kod SN kablova, na oba oblanirana kraja uzorka postavljaju se 3 do 4 izolaciona šešira koji to sprečavaju. Ako u toku ispitivanja dođe do proboja izolacije, dolazi do naglog pada napona na nulu, udarni talas na osciloskopu nije pun, već je odrezan na čelu ili začelju, dato na slici 4.

3. 3. Ispitivanje kabla naizmjeničnim naponom industrijske frekvencije

Da bi bili sigurni da je kabl izdržao test udarnog napona bez proboja izolacije, uzorak kabla izlaže se ispitivanju naizmjeničnim naponom industrijske frekvencijem, na temperaturi ambijenta u trajanju 15 min., vrednosti napona prema tabeli 2.

4. ZAKLJUČAK

Ako pri ispitivanju naizmjeničnim naponom industrijske frekvencije ne dođe do proboja znači da je ispitivani kabl izdržao test udarnog napona!

5. LITERATURA

- [1] Lj. Milanković: TEHNIKA VISOKOG NAPONA, Beograd 1981
- [2] G.W. Bowdler: MEASUREMENTS IN HIGH-VOLTAGE TEST CIRCUITS, Pergamon Press 1973
- [3] Lorenz – Hinze – Kuhn: HOCHSPANNUNG-STECHNIK, Berlin 1968
- [4] V. Bego: VISOKONAPONSKA ISPITNA OPREMA – UDARNI GENERATORI, Zagreb 1968

Tabela 2.

Vrednosti primenjenih napona

Nazivni napon kabla, U_0 u kV		0,6	1,8	3,6	6	8,7	12	18	20
Ispitni	JUS	3,5	-	11	15	-	30	-	50
naizmjenični	IEC	-	6,5	12,5	21	30,5	42	63	-
napon u kV	VDE	-	-	-	15	-	30	45	-

- [5] Juko Cigre – Novi Sad 1998 – Zbornik referata, referati: RI-10 i RIII-06
- [6] Standardi:
JUS N.C5.235/87
JUS N.C5.245/87
JUS N.C0.043/75

JUS N.A5.541/89
JUS N.A5.542/89
JUS N.A5.543/89
JUS N.A5.544/89
IEC 60502/97VDE 0276-620/94
JUS IEC 1180-1/95

Rad je primljen u uredništvo 02. 11. 2006. godine



***Aleksandar Krstin** je rođen 1958. godine u Novom Kneževcu. Pozle gimnazije završio je studije elektrotehnike – odsek energetika na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Otac je dvoje dece. Radi u Novkabelu a.d. Novi Sad, na mestu rukovodioca kontrole na poslovima ispitivanja kvaliteta kablova.*

Korišćenje energetskih kablova za vezu energetskih transformatora 110 kV/X(35,20,10) kV sa sabirnicama srednjeg napona

Stručni rad
UDK: 621.315.2

Rezime:

Stručnim radom se daju osnovna razmišljanja u vezi navedenih kriterijuma za optimalano rešenje problematike priključenja energetskih transformatora (ET) 110 kV/X kV na SN sabirnice TS 110 kV/X kV korišćenjem energetskih kablova.

U stručnom radu se pokazuje da je sa stanovišta najvažnijeg dela kriterijuma „minimalnih troškova”, sa stanovišta „investicionih troškova”, korišćenje energetskih kablova tipa XHE 49 - A za vezu „ET - SN sabirnice TS”, u investicionom smislu najbolje rešenje.

U cilju daljeg proširenja razmatranja datih u stručnom radu, autor poziva i ohrabruje dobre poznavaoce energetike, TS 110 kV/X kV, zaštite i kablovske tehnike, na harmonizovan nastup u okviru ove veoma zahtevne preferencijalne teme koja se ne može iscrpiti jednim Simpozijumom ili Savetovanjem. Ovakvim pristupom može se dati najbolji odgovor da li su predložena rešenja optimalna i da li se mogu i kao takva tipizirati za elektrodistributivni (ED) kompleks.

Ključne reči: energetski transformator, kablovi za povezivanje, SN sabirnice, TS 110 kV/X kV

Abstract:

*THE USE OF POWER CABLES FOR THE CONNECTION
OF 110 kV/X (35, 20, 10) kV POWER TRANSFORMERS TO MV BUSBARS*

This paper gives the basic starting thinking that is essential concerning given criteria for the optimal solution of the problem of connecting the power transformers with 110 kV/X kV transformer substation MV busbars using power cables.

It is shown in the paper that from the point of view of the most important part of the criteria „minimal expenses”, from the point of view of „investment expenses”, the use of power cables type XHE 49 - A for the connection of power transformer-MV busbars of TS is economically the best solution.

Aiming to further widening of the subject given in this paper, the author is inviting and encouraging experts in power engineering, TS 110 kV/X kV, protection and cable technique for the harmonized performance within this very demanding preferential subject that cannot be exhausted by one Symposium or Conference. This approach can give the best answer whether the proposed solutions are optimal and whether they can be standardized for ED complex.

Keywords: power transformer, connecting cables, MV busbars, TS 110 kV/X kV

1. UVOD

Osnovni kriterijumi za izbor šema priključenja energetskih transformatora 110 kV/X (35,20,10) kV na srednjenaponske (X kV) sabirnice distributivnih transformatorskih stanica (TS) 110 kV/X kV trebalo bi da budu:

1. Kriterijum minimalnih troškova;
2. Pokazatelji pouzdanosti, sigurnosti i bezbednosti pogona;
3. Mogućnosti pregleda i održavanja i
4. Pogonska elastičnost.

Ako se ima u vidu da u okviru svakog od pobrojanih kriterijuma postoji i po nekoliko komponenata koje ih karakterišu i o kojima mora da se vodi računa u pogledu kvantifikacije, ocene i verifikacije, onda je jasno da je problematika optimalnog izbora šeme priključenja energetskih transformatora (ET) 110 kV/X (35,20,10) kV na srednjenaponske (X kV) sabirnice distributivnih TS 110 kV/X kV, dosta složena i kompleksna.

Primeru radi: „Kriterijum minimalnih troškova”, podrazumeva minimum ukupnih godišnjih troškova posmatranog rešenja u kome učestvuju sledeće komponente:

- investicioni troškovi posmatranog rešenja, svedenih na jednu godinu;
- godišnji troškovi gubitaka i
- godišnji troškovi usled neisporučene električne energije.

Ako se ima u vidu da je od ove tri komponente troškova dominantno učešće investicione komponente, a da se u mnogim pristupima troškovi usled neisporučene električne energije nisu kvantifikovali posebno, već se njihov uticaj uvažavao indirektno, poštovanjem sigurnosnog kriterijuma jednostrukog kvara, ili u inženjerskoj praksi uobičajeno nazvanim kriterijum „ $n-1$ ”, onda je jasno koliko samo u ovoj delu kriterijuma ima još neistraženog prostora za analizu i razmatranje.

Takođe, i kriterijum preko koga se kvantifikuju pokazatelji pouzdanosti, sigurnosti i bezbednosti pogona, u dosadašnjoj praksi se poštovao kod izbora rešenja na indirektnan način.

Naime, pokazatelje pouzdanosti:

- verovatno neisporučena snaga i energija;
- očekivani broj prekida napajanja;
- prosečno trajanje prekida i
- intenzitet kvarova,

kao probabilističke veličine bilo je teško direktno unositi kao ograničenje ili kao element kriterijumske funkcije. Slično je bilo u dosadašnjoj praksi i sa pokazateljima sigurnosti za karakteristične, najnepovoljnije, unapred specificirane ispadne u izabranom rešenju, dok je poseban problem predstavljao

adekvatno direktno uvažavanje i kvantifikacija pokazatelja bezbednosti.

Kriterijum prema kome se zahtevaju najpovoljniji efekti u pogledu mogućnosti pregleda i održavanja opreme u izabranom rešenju takođe je veoma težak kriterijum za kvantitativno poređenje. U praksi se, do sada, i taj kriterijum svodio na „post festum” analize odabranih karakterističnih rešenja distributivnih TS 110 kV/X kV.

Na kraju, i poslednji kriterijum, kod koga je odlučujući faktor pogonska elastičnost, svodio se do sada samo na minimizaciju vremena potrebnog za izvršavanje manipulacija u okviru izabranog rešenja i to, kako u normalnim radnim stanjima (rekonfiguracija mreže), tako i u poremećenim stanjima, a takođe i u fazi obnavljanja pogona.

Misija ovog rada je da ukaže zainteresovanom stručnom auditorijumu ED kompleksa na svu širinu problematike postavljene preferencijalnom temom, da pokuša da postavi osnove za sagledavanje i razmatranje iste, da ohrabri i podstakne mlade stručnjake ED kompleksa da kroz stručne radove daju svoj doprinos za predlog optimalnog rešenja iste.

Ovim stručnim radom se daju osnovna razmatranja bitna u vezi dela navedenih kriterijuma za optimalno rešenje problematike priključenja ET 110 kV/X kV na SN sabirnice TS 110 kV/X kV korišćenjem energetskih kablova, kao i važna sugestija da se ova preferencijalna tema ne može iscrpiti u okviru samo jednog Simpozijuma ili Savetovanja.

2. PRAVCI U KOJIMA SE MOŽE RAZMATRATI POSTAVLJENA PROBLEMATIKA

2.1. Problematika kod transformatorskih stanica TS 110 kV / 35 kV

Dosadašnja dugogodišnja prva iskustva u praksi Elektroprivrede Srbije kod priključenja-povezivanja ET 110 kV/35 kV na 35 kV sabirnice u TS 110 kV/35 kV pokazuju da smo imali dva opšta prilaza:

1. Korišćenje okruglih bakarnih sabirnica (cevastih bakarnih sabirnica);
2. Korišćenje uljnih kablova tipa: najpre IPZO u dužem periodu, a potom i NPZO.

S obzirom da je većina TS 110 kV/35 kV u dužem periodu strateški tretirana kao veoma važni objekti za čitave gradove ili regione, lokacija energetskih transformatora u odnosu na „pogonsku zgradu” sa 35 kV sabirnicama i postrojenjem bila je takva (zaklonjena) da su prva rešenja, za najveći broj takvih transformatorskih stanica, bila praktično nezvodljiva u samom početku, pa se drugi prilaz nametnuo kao jedino moguće rešenje.

Početna „tipska” opredeljenja za sve takve TS 110 kV/35 kV bila su:

- Dva kablovska voda po ET koje su činili uljni kablovi tipa IPZO 13 ili NPZO 13 i
- Presek provodnika (bakar) u početku 95 mm², a potom 120 mm². U to vreme, praktično, to je bio najveći presek ovih tipova kablova za domaće proizvođače uljnih kablova.

Dvadesetak godina posle početne primene ovakvih rešenja u EPS, i na našem tržištu su se pojavili kablovi savremene tehnologije tipa XHE, kao veoma zahvalni za ovakva rešenja, ali je njihovo korišćenje u nas bilo zanemarljivo.

Prva primena kablova novije tehnologije počela je kod rekonstrukcija ovakvih TS kada se povećavao njihov kapacitet, odnosno kada su ugrađivane veće transformatorske jedinice, po pravilu, umesto 20 MVA postavljane su jedinice od 31,5 MVA.

Međutim, tada su, po pravilu, činjene ozbiljne dvostruke greške [5]:

- a. Korišćeni su kablovi „novije tehnologije” tipa XHP 48, a ne savremene tehnologije tipa XHE 49 i
- b. Zadržavanjem starih uljnih kablova tipa IPZO 13 (NPZO), pogrešno je biran presek provodnika kablovskog voda za kabl „novije tehnologije” koji se paralelno „sprezao” sa postojećim-starim kablovskim vodovima.

Pošto su ovakve transformatorske stanice od nedavno bile u vlasništvu „Elektroistoka” (EMS), a sada prelaze u vlasništvo ED kompleksa (privrednih društava za distribuciju), a njihova kompletna rekonstrukcija je neminovnost, onda je veoma bitno da se ne ponove napred navedene greške [5].

2.2. Problematika kod transformatorskih stanica TS 110 kV/X (10,20) kV

Pojavom transformatorskih stanica TS 110 kV / X (10,20) kV tzv. „direktna transformacija” u ED kompleksu Srbije sredinom sedamdesetih, sa tendencijom stalnog povećanja broja istih iz godine u godinu, nametnula se i problematika optimalnog izvođenja priključenja X(10,20) kV strane ET na X kV sabirnice SN postrojenja. U rešavanju ove problematike nije bilo sistemskog prilaza, već se išlo „od slučaja do slučaja”. Ovo je bilo i razumljivo za početne slučajeve, ali za današnje prilike nema nikakvog opravdanja.

Primeru radi:

U najvažnijem dokumentu EPS za elektrodistributivnu delatnost za ovu oblast, u TP-12 („Distributivne transformatorske stanice 110 kV/10 kV, 110 kV/20 kV, 110 kV/35,10 kV”), na veoma kvalitetan način sistemski su postavljeni i razrađeni svi ostali detalji vezani za transformatorske stanice, ali o ovoj problematici nema ni reči.

U dosadašnjoj praksi „direktna transformacije” za TS na otvorenom bilo je više prilaza:

1. Korišćenje pljosnatih bakarnih sabirnica sa „direktnim” uvođenjem u zgradu;
2. Korišćenje bakarnih sabirnica vođenih preko posebnih „mostnih” konstrukcija;
3. Korišćenje energetskih kablova tipa XHP 48 i
4. Korišćenje energetskih kablova tipa XHE 49.

Zastupljeniji su bili treći i drugi, nešto manje prvi, a veoma malo četvrti.

Ako se ovome doda da je kod korišćenja energetskih kablova bilo raznih rešenja, kao:

- a) sistem od više jednožilnih kablova po fazi (dva, tri, četiri) položenih u ravni na rastojanju od 0,07 m, sa ili bez „rezervnog” jednožilnog kabla po fazi;
- b) sistem od više jednožilnih kablova po fazi (dva, tri, četiri) položenih u ravni na rastojanju od 0,20 m, sa ili bez „rezervnog” jednožilnog kabla po fazi;
- c) više sistema kablovskih vodova sačinjenih od jednožilnih kablova položenih u ravni na rastojanju od 0,07 m i međusobnom rastojanju sistema od 0,07 m, sa ili bez „rezervnog” jednožilnog kabla;
- d) više sistema kablovskih vodova sačinjenih od jednožilnih kablova položenih u ravni na rastojanju od 0,07 m i međusobnom rastojanju sistema od 0,20 m, sa ili bez „rezervnog” jednožilnog kabla i
- e) više sistema kablovskih vodova sačinjenih od jednožilnih kablova položenih u „trouglu” na rastojanju od 0,20 m, sa ili bez „rezervnog” jednožilnog kabla,

i da je bilo i raznolikosti u pogledu međusobnog povezivanja i uzemljavanja „električnih zaštita”, onda je jasno koliko je bilo raznih prilaza i rešenja u ovom delu problematike.

Moramo naglasiti da je poseban problem za pravilnu ocenu bilo kog rešenja na širem nivou sadržan u nedostupnosti informacija o ponašanju istih u praksi.

Naime, skoro svako od korisnika nekog izabranog rešenja, prikupljao je tokom eksploatacije veoma korisne podatke, i kod ponovljenog izbora napuštao ili korigovao svoj prvobitni stav.

Međutim, obrazloženja su ostala zaklonjena od očiju šireg stručnog auditorijuma i obično završavala u fijokama rukovodilaca ogranka ili, u najboljem slučaju, rukovodilaca Privrednog Društva. Ukoliko je neko trebalo da se po prvi put sretne sa izborom prilaza, on nije mogao da koristi dobra ili loša iskustva drugih.

Tako se dogodilo da je poslednji pobrojani slučaj „slučaj pod d)” najmanje zastupljen u našoj ED praksi.

Ili, primera radi:

Jedna od naših veoma uredenih i naprednih ED kompanija, koja ima ponajbolje statističko praćenje događaja, i koja je imala jako loše iskustvo u pogle-

du korišćenja polietilenskih kablova, a veoma malo iskustva u pogledu korišćenja kablova savremene tehnologije, odlučila je pre desetak godina da izgradi modernu, pouzdanu, sigurnu i bezbednu TS 110 kV/20 kV, koja će biti i ugledna i ogledna u svojoj kategoriji.

Za vezu ET sa SN (20 kV) sabirnicama izabran je prilaz napred dat pod 2, uz dopunu: „metalnom zaštitom priključnih-poveznih sabirnica” u okviru mostne konstrukcije.

Posle nekoliko godina rada došlo je do ispada ET. Posle detaljnog pregleda transformatora, utvrđeno je da nema kvara i isti je vraćen na mrežu. Posle ponovnih ispada (nemaju se pravi podaci o svim događajima), i sveobuhvatnih kontrola, konstantovalo se da je kvar upravo na priključnom delu „ET-SN sabirnice”. Iako se smatralo da je ovakvo rešenje veoma pouzdano, pregledno i pogonski elastično, došlo je do najgoreg: poginuo je iskusni radnik rukovodilac radova na otklanjanju kvara.

Samo u slučaju ako se svi ovi podaci o kvarovima, ispadima, trajanjima prekida, a pre svega o (ne)bezbednosti, unesu u statističku bazu, ne samo na nivou tog Društva, već i cele EPS, mogu biti od koristi. Da su bili dostupni i uneti u bazu, onda bi se drastično promenila opšta slika o validnosti izabranog rešenja, o pouzdanosti i bezbednosti i slično.

Na kraju ovog poglavlja želim da istaknem da je energetska transformator „car” u TS 110 kV / X (10, 20, 35) kV i da se njemu sve podređuje. Imajući ovo u vidu, a posebno i zahteve zaštite životne sredine, sve više se i postrojenje 110 kV i sam ET sa „otvorenog”, „zaklanjaju” u objekte. Pojava kvalitetnih kablova savremene tehnologije tipa XHE i za 110 kV napon, daje nam izvanrednu mogućnost da govorimo i o optimalnom priključenju ET na 110 kV sabirnice, kao i o njegovoj optimalnoj lokaciji. Primera radi, ovakav prilaz drastično može promeniti dosadašnja ograničenja koja su postojala u ovom delu.

Međutim, tema ovog stručnog rada odnosi se na kablovsko priključenje ET na SN sabirnice.

3. IZBOR ENERGETSKOG KABLA ZA VEZU ET 110 kV / X kV NA SN SABIRNICE TS 110 kV / X kV NA BAZI DOZVOLJENOG STRUJNOG OPTEREĆENJA KABLOVSKOG VODA

3.1. Opšti deo

Posmatrajući samo prvi deo prvog kriterijuma, „optimizacija investicionih troškova izabranih rešenja”, dolazimo do činjenice da je neophodno najpre pristupiti sprovođenju optimizacije po osnovu zado-

voljenja relevantnih energetska-termičkih ograničenja i zahteva, kao što su:

1. Termičke sposobnosti prenosa traženih električnih snaga;
2. Termička naprežanja po osnovu kratkih spojeva i
3. Dozvoljena termička naprežanja u nužnom pogonu ET; odnosno, i zadovoljenja relevantnih ekološko-estetskih zahteva i ograničenja.

3.2. Energetski kablovski povezni vod u službi energetskog transformatora

Energetski kablovski vod koji služi za vezu energetskog transformatora 110 kV / X kV na SN sabirnice TS 110 kV / X kV mora biti sposoban da konstantno prenosi svu snagu energetskog transformatora koja se povlači sa SN sabirnice u svim normalnim uslovima napajanja ED konzuma koji pripada toj TS 110 kV / X kV (normalni pogon), kao i u slučaju korišćenja pogona u vanrednim uslovima pri ispadiu jednog od dva transformatora u postrojenju te TS.

Prema tome, kada se posmatra ovaj energetski kablovski vod, mora se imati u vidu važna činjenica da je on isključivo u službi energetskog transformatora i mora zadovoljavati sve zahtevane i moguće režime rada energetskog transformatora u ED pogonu.

S druge strane:

- a) Energetski transformator je konstruisan tako da konstantno daje naznačenu snagu S_n u predviđenom veku trajanja, ako je srednja temperatura ambijenta: $\theta_a = 20$ °C, pod uslovom da temperatura najtoplije tačke namotaja ne prelazi 98 °C (JUS N. H1. 016; IEC 354 i IEC 76-2);
- b) Energetski transformator je sposoban da daje trajno dozvoljenu snagu S_t koja može biti različita od naznačene S_n :

$$S_t = k \cdot S_n \quad (1)$$

gde je k koeficijent opterećenja i iznosi:

$k = 1,16$ za $\theta_a = 0$ °C;

$k = 1,08$ za $\theta_a = 10$ °C;

$k = 1,00$ za $\theta_a = 20$ °C;

$k = 0,91$ za $\theta_a = 30$ °C;

- c) Kod energetskih transformatora 110 kV / X kV sa hlađenjem ONAN/ONAF koji se isključivo koriste u ED Srbije, a prema standardu IEC 354, za „distributivno opterećenje” moraju biti ispunjena i sledeća ograničenja:

– struja namotaja ne sme da pređe 150 % naznačene struje ($I \leq 1,5 \cdot I_n$) I

– temperatura najtoplije tačke namotaja ne sme da pređe 140 °C, a temperatura najtoplije tačke ulja 115 °C; Dozvoljen je kratkotrajan rad ET u van-

rednim uslovima (prinudni pogon) kada su dozvoljena opterećenja i iznad $1,5 \cdot I_n$, ali ni u kom slučaju ne smeju da se prekorače dozvoljene temperature namotaja od $140 \text{ }^\circ\text{C}$ i ulja od $115 \text{ }^\circ\text{C}$;

- d)** Iz razloga sigurnosti se preporučuje da se i u vanrednim uslovima ne prekorače vrednosti struje od $1,7 \cdot I_n$;
- e)** Prema nalazima studija razvoja ED mreža Srbije, optimalan razvoj ED mreže i optimalan razvoj i rad TS 110 kV/X kV ima se, ako se ET opterećuju u normalnim pogonima do $0,8 \cdot S_n$, a pri ispadu jednog ET, drugi ET se tereti sa $1,2 \cdot S_n$, sve dok se ne izvrši popravka ili zamena ET u kvaru. Druga polovina nedostajuće snage konzuma ove TS pokriva se međupoveznim srednjenaponskim vodovima iz konzuma susednih TS.

3.3. Dozvoljeno strujno opterećenje SN energetskog kablovskog voda

Strujno opterećenje energetskog kablovskog voda treba da bude ograničeno tako da toplota proizvedena u kابلu koji čini kablovski vod bude odvedena u okolinu i da se ne prekorači maksimalno dozvoljena temperatura provodnika u normalnom pogonu i u kratkom spoju.

Dozvoljeno strujno opterećenje kablovskog voda računa se prema izrazu:

$$I_{doz} = k_{op} \cdot k_{qt} \cdot k_{rt} \cdot k_{bk} \cdot I_{nd} \quad (2)$$

gde je:

I_{doz} – dozvoljeno strujno opterećenje kablovskog voda u amperima (A);

k_{op} – sačinilac promene dozvoljenog strujnog opterećenja kablovskog voda od faktora opterećenja m ;

$k_{\theta t}$ – sačinilac promene dozvoljenog strujnog opterećenja kablovskog voda od temperature tla θ_t ;

$k_{\rho t}$ – sačinilac promene dozvoljenog strujnog opterećenja kablovskog voda od specifične toplotne otpornosti tla ρ_t ;

k_{bk} – sačinilac promene dozvoljenog strujnog opterećenja kablovskog voda od broja položenih vodova u rovu b_k i međusobnog udaljenja vodova „a“;

I_{nd} – naznačena vrednost dozvoljenog strujnog opterećenja energetskog kabla u A, koju daje proizvođač kablova.

3.3.1. Uticaj sačinilaca promene dozvoljenog strujnog opterećenja kablovskog voda (k_{op} , $k_{\theta t}$, $k_{\rho t}$, k_{bk})

3.3.1.1. Zavisnost sačinilaca promene k_{op} od faktora opterećenja m

a) Faktor opterećenja m je odnos srednjeg i maksimalnog opterećenja i iznosi: $m=1$ za tzv stalno opterećenje, dok je za promenljivo tzv „distributivno opterećenje“ $m=0,7$, i to približno odgovara dnevnom dijagramu opterećenja sa cikličnim smenjivanjem maksimalnog opterećenja u trajanju od 9 sati, sa opterećenjem u visini 60 % maksimalnog opterećenja u narednih 15 sati.

b) U našem slučaju, za transformatorske stanice 110 kV/X kV u gradskim područjima, u zimskom periodu, ima se dnevni dijagram opterećenja sa cikličnim smenjivanjem maksimalnog opterećenja u trajanju znatno dužem od 9 sati, od 12,5 do 16,5 sati, u proseku reda 14,5 sati. Odnos srednjeg i maksimalnog opterećenja znatno je veći od 0,7 i kreće se u rasponu od $m = (0,85, 0,91)$, pa za faktor opterećenja m treba uzeti, sa stanovišta determinističkog prilaza, vrednost: $m = 1$.

c) Sačinilac promene dozvoljenog strujnog opterećenja (k_{op}), deterministički gledano, za $m = 1$, iznosi:

$$k_{op}=0,75 \quad (3)$$

d) Međutim, „probabilistički gledano“, a s obzirom na navedeno pod b), za sačinilac promene dozvoljenog strujnog opterećenja (k_{op}) trebalo bi uzeti nešto blaži faktor korekcije od 0,75, a za: $m = (0,85 \div 0,91)$. Predlažemo:

$$k_{op}=0,82 \quad (4)$$

3.3.1.2. Zavisnost sačinilaca promene $k_{\theta t}$ od temperature tla θ_t

a) Sačinilac promene dozvoljenog strujnog opterećenja kablovskog voda od temperature tla ($k_{\theta t}$) na dubini polaganja kabla i u opsegu temperature tla $\theta_t + 5 \text{ }^\circ\text{C} \leq \theta_t \leq +40 \text{ }^\circ\text{C}$ računa se prema izrazu:

$$k_{\theta t} = 1 + 0,007 \times (20 - \theta_t) \quad (5)$$

b) U našem slučaju imaće se u zimskom periodu $\theta_t = 5 \text{ }^\circ\text{C}$, pa za $k_{\theta t}$ dobijamo da je:

$$k_{\theta t} = 1,1 \quad (6)$$

3.3.1.3. Zavisnost sačinioca k_{ρ_t} od promene specifične toplotne otpornosti tla ρ_t

a) Specifična toplotna otpornost tla ρ_t zavisi od: vrste tla (šljunak, pesak, zemlja iz otkopa i sl.) i sadržaja vlage u toku godine. U vreme maksimalnog godišnjeg opterećenja distributivnog konzuma Srbije (zimski period) može se računati sa normalnom vlažnošću tla, kao i sa:

$$\rho_t = 1 \text{ K} \cdot \text{m/W} \quad (7)$$

b) Sačinilac promene dozvoljenog strujnog opterećenja kablovskog voda od specifične toplotne otpornosti tla (k_{ρ_t}) može se dobiti iz tabele 1. [1]. Za prosečne uslove eksploatacije kablovskih vodova u distributivnom konzumu Srbije (područje van Novog Beograda) date pod a), za sačinilac promene dozvoljenog strujnog opterećenja kablovskog voda od specifične toplotne otpornosti tla ρ_t može se uzeti vrednost:

$$k_{\rho_t} = 1 \quad (8)$$

3.3.1.4. Zavisnost sačinioca k_{b_k} od broja vodova u rovu b_k i međusobnog udaljenja „a”

Sačinilac promene dozvoljenog strujnog opterećenja kablovskog voda od broja položenih vodova (sistema) u rovu b_k i međusobnog udaljenja vodova (sistema) „a”, može se dobiti iz tabele 2. [1].

- Dva sistema kablova u trouglastom snopu:
 $a = 0,2 \text{ m}; k_{b_k} = 0,86$
- Tri sistema kablova u trouglastom snopu:
 $a = 0,2 \text{ m}; k_{b_k} = 0,77$
- Četiri sistema kablova u trouglastom snopu:
 $a = 0,2 \text{ m}; k_{b_k} = 0,73$
- Pet sistema kablova u trouglastom snopu:
 $a = 0,2 \text{ m}; k_{b_k} = 0,69$
- Šest sistema kablova u trouglastom snopu:
 $a = 0,2 \text{ m}; k_{b_k} = 0,67$
- Sedam sistema kablova u trouglastom snopu:
 $a = 0,2 \text{ m}; k_{b_k} = 0,65$

3.3.2. Finalni pristup za proračun dozvoljenog strujnog opterećenja kablovskog voda

a) Deterministički pristup

Dozvoljeno strujno opterećenje kablovskog voda, deterministički gledano (naši propisi uvažavaju ovakav prilaz), treba sada računati prema izrazu:

$$\begin{aligned} I_{doz} &= 0,75 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot k_{b_k} \cdot I_{nd} = \\ &= 0,825 \cdot k_{b_k} \cdot I_{nd} = k_{(d)} \cdot I_{nd} \end{aligned} \quad (9)$$

b) „Probabilistički pristup”

Dozvoljeno strujno opterećenje energetskog kablovskog voda, „probalistički gledano”, može se računati prema izrazu:

$$\begin{aligned} I_{doz} &= 0,82 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot k_{b_k} \cdot I_{nd} = \\ &= 0,9 \cdot k_{b_k} \cdot I_{nd} = k_{(p)} \cdot I_{nd} \end{aligned} \quad (10)$$

3.3.3. Ambijentalne povoljnosti ET nisu uvek i povoljnosti za energetski kabl

Već smo ranije naglasili da, teorijski posmatrano verovatno ima dosta rezervi u nekim sačinioćima (tačka 3.3.) i/ili u vrednostima koje za I_{nd} za savremene kablove tipa XHE daju proizvođači u nas, i da su ovo područja gde ima još dosta prostora za dalje analize i razmatranja stručnjaka.

Ovoga puta želimo da posebnim razmatranjem ukažemo na dva bitna ograničenja koja su prisutna u sprezi „ET-EK” („energetski transformator-energetski kabl”), a na koja se nije obraćala pažnja, ni u teorijskim, ni u praktičnim analizama stručnjaka.

Metereološki posmatrano, na području Srbije skoro svaki treći novembar je „leđeni” na najmanje trećini meseca, a skoro svaki četvrti je „leđeni” na više od polovine meseca.

Primeru radi, pre četiri godine ceo novembar je bio „leđeni”, a pre toga smo imali veoma topao i izuzetno suv jesenji period. Ovakav redosled klimatskih pojava je skoro zakonomerno-normalan na našem području.

Nagli prelazak iz „leta u zimu”, po pravilu, „iznenadi” gradske toplane i nastaje veliki udar na elektroenergetski sistem, pre svega na distributivnom nivou.

ET, sa stanovišta ambijentalnih uslova, veoma povoljno primaju ove energetske udare:

- temperatura ambijenta je ispod nule (tačka 3.2. b));
- povećano prirodno hlađenje ET strujanjem vazduha usled vetrova brzina $\geq 2 \text{ m/s}$.

Energetski kabl u tom periodu radi u izuzetno nepovoljnim uslovima:

1. S jedne strane on mora verno služiti ET i svu povećanu električnu snagu koju ED konzum povlači od istog, da prenosi do SN sabirnice postrojenja TS;
2. S druge strane ambijentalni uslovi za sam energetski kabl su veoma nepovoljni:
 - a) Temperatura tla u kojem se nalazi energetski kabl nije stigla da se spusti ispod $12 \text{ }^\circ\text{C}$, i obično je reda $12,5 \leftrightarrow 16 \text{ }^\circ\text{C}$ (tačka 3.3.1.2.);
 - b) Tlo je u pogledu vlage daleko od „normalno vlažnog” (tačka 3.3.1.3.), već je na nivou „relativno suvog”.

Prema tome, po pravilu, u ED konzumu Srbije, mesec novembar i prva dekada decembra je najnepovoljniji period rada energetskih kablova koji čine kablovske vodove, ne samo onih koji služe ET 110 kV/X kV u TS 110 kV/X(10, 20, 35) kV, već i energetskih kablova kablovskih vodova u SN mreži ED konzuma.

3.3.3.1. „Kvantifikacija” pomenutih ograničenja energetskih kablova u odnosu na povoljnosti energetskih transformatora

a) Ako uzmemo u obzir najblaža ambijentalna ograničenja koja se odnose na energetski kabl (tačka 3.3.1.2. i tačka 3.3.1.3.), proračunom za sačinioce $k_{\theta t}$ i $k_{\rho t}$ dobijamo:

$$k_{\theta t} = 1,0525 \quad (11)$$

$$k_{\rho t} = 0,950 \quad (12)$$

b) Imajući u vidu dato u (11) i (12), za sačinilac $k_{(\theta\rho)t}$, tzv „sačinilac ambijentalnih ograničenja za EK”, dobijamo:

$$k_{(\theta\rho)t} = k_{\theta t} \cdot k_{\rho t} = 1,0525 \cdot 0,950 = 1,00 \quad (13)$$

c) Ako se uvaži realna povoljnost za ET (tačka 3.2.b)), onda se isti u posmatranom periodu može „normalno” opterećivati snagom:

$$S_t = 1,16 \cdot S_n \quad (14)$$

d) Konačno, na bazi (13) i (14), dolazimo do stepena „nepovoljnosti” EK u odnosu na „povoljnost” ET, odnosno, nivoa povoljnosti ET u odnosu na EK:

$$K_{ap(ET-EK)} = k / k_{(\theta\rho)t} = 1,16 \quad (15)$$

e) Čak i za ambijentalne uslove za „normalnu vlažnost” tla, ambijentalna povoljnost ET u odnosu na EK je i dalje na visokom nivou:

$$K_{ap(ET-EK)} = 1,102 \quad (16)$$

Na osnovu svega napred datog u ovom potpoglavlju u pogledu ambijentalnih „povoljnosti” („nepovoljnosti”) za ET i EK, možemo zaključiti:

1. U periodu od nekih četrdesetak dana: novembar i prva dekada decembra, za 1,16 puta (za 16 %) ima se veća mogućnost trajnog opterećivanja ET u odnosu na „povezne” EK;
2. Gledano sa stanovišta energetskog kabla, nepovoljnost je praktično viša i od jedne „stepenice” između dva susedna standardizovana preseka provodnika kabla, a u povoljnijem slučaju, d), praktično je nivoa jedne „stepenice” između dva preseka;

3. Ukoliko se ne uvaži napred rečeno, onda se može ući u neupravljiv (ne menadžmentski) rizik zbog nesagledanog i neevidentiranog ubrzanijeg starenja izabranih poveznih kablova od normalnog za nužni pogon, kada se isti ima u ovom periodu, a što, konačno, može predstavljati opasnost i za ET, a ne samo za EK;

4. U dosadašnjoj praksi, naši stručnjaci vršili su proračune ponašanja energetskih kablova u nužnom pogonu bez uvažavanja navedenog i time davali optimističnije zaključke od realnih, a što je energetičare zadužene za monitoring starenja EK i ET dovodilo u zabludu kod planiranja zamena „kablovskih veza” između ET i sabirnica SN u postrojenjima TS 110 kV/X(10,20,35) kV.

Test primer (1):

Bez upuštanja u teorijska razmatranja koliko sve ima rezervi i u ostalim napred pobrojanim sačiniocima i faktorima, odnosno da li i koliko ima rezervi u podacima koje za I_{nd} za savremene kablove tipa XHE daju proizvođači u nas (ovo su sve područja gde ima dosta prostora za dalje analize i razmatranja stručnjaka), uradili smo proračune po napred usvojenim principima i podatke sredili u odgovarajuće tabele (tabele: 1, 2, 3, 4, 5 i 6).

Proračun je urađen za kablovske vodove od kablova tipa XHE sa presekom provodnika od aluminijuma i bakra.

Proračun je urađen i za deterministički pristup i za „probalistički pristup”, sa detaljnošću koja može biti veoma korisna inženjerskom stručnom auditorijumu.

Da bi se mogla dobro iskoristiti, proceniti i proširiti sva razmatranja data kroz ovaj rad, a koja su samo deo potrebnih smislenosti u okviru preferencijalne teme, naophodan je multidisciplinarni pristup problematici. Dragocen je samo harmonizovan nastup dobrih poznavalaca: energetike, transformatorskih stanica 110 kV/X(10,20,35) kV, zaštite i kablovske tehnike i kablovske problematike.

Ovde stalno govorimo o probalističkom pristupu pod znacima navoda, jer je ovde pomenut samo jedan deo, doduše veoma važan deo, iz problematike probalističkog pristupa.

Činjenica da se stanje na svetskoj berzi metala, kad je u pitanju bakar, nije stabilizovalo, a shodno razmatranjima iz [6], i dalje se zaoštava, tabela 7. Poseban deo „optimizacije investicionih troškova” morao bi da uvaži i ovu veoma važnu činjenicu.

Ovaj test primer nećemo prikazati, jer bi to preopteretilo ovaj stručni rad koji i bez toga već ulazi u kategoriju „Studijskih elaborata” po svojoj obimnosti.

Tabela 1.

Korišćenje SN kabla XHE 49 - A za vezu sa SN sabirnicom 10 kV

Broj sistema (trougao) a=0,2 m	Presek-provodnika S (mm ²)	I_{nd} (A)	k_{bk}	$k_{(d)}$ deter.	$k_{(p)}$ prob.	$I_{doz(d)}$ deter. (A)	$I_{doz(p)}$ prob. (A)	$S_{doz(d)}$ deter. (MVA)	$S_{doz(p)}$ prob. (MVA)
4	300	494	0,73	0,602	0,657	297	325	20,5	22,5
5	300	494	0,69	0,570	0,621	281	307	24,3	26,5
6	300	494	0,67	0,553	0,603	273	298	28,3	30,9
7	300	494	0,65	0,536	0,585	265	289	32,1	35,0
4	400	563	0,73	0,602	0,657	339	370	23,4	25,6
5	400	563	0,69	0,570	0,621	321	350	27,7	30,3
6	400	563	0,67	0,553	0,603	311	339	32,3	35,2
7	400	563	0,65	0,536	0,585	302	328	36,5	39,7
4	500	637	0,73	0,602	0,657	384	419	26,6	29,0
5	500	637	0,69	0,570	0,621	363	396	31,4	34,3
6	500	637	0,67	0,553	0,603	352	384	36,5	39,9
7	500	637	0,65	0,536	0,585	341	373	41,3	45,1

Tabela 2.

Korišćenje SN kabla XHE 49 za vezu sa SN sabirnicom 10 kV

Broj sistema (trougao) a=0,2 m	Presek-provodnika S (mm ²)	I_{nd} (A)	k_{bk}	$k_{(d)}$ deter.	$k_{(p)}$ prob.	$I_{doz(d)}$ deter. (A)	$I_{doz(p)}$ prob. (A)	$S_{doz(d)}$ deter. (MVA)	$S_{doz(p)}$ prob. (MVA)
4	300	604	0,73	0,602	0,657	364	397	25,2	27,5
5	300	604	0,69	0,570	0,621	344	375	29,7	32,4
6	300	604	0,67	0,553	0,603	334	364	34,7	37,8
7	300	604	0,65	0,536	0,585	324	353	39,2	42,7
4	400	703	0,73	0,602	0,657	423	462	29,3	32,0
5	400	703	0,69	0,570	0,621	401	436	34,7	37,7
6	400	703	0,67	0,553	0,603	389	424	40,4	44,0
7	400	703	0,65	0,536	0,585	377	411	45,6	49,8
4	500	786	0,73	0,602	0,657	473	516	32,7	35,7
5	500	786	0,69	0,570	0,621	448	488	38,7	42,2
6	500	786	0,67	0,553	0,603	435	474	45,1	49,2
7	500	786	0,65	0,536	0,585	421	460	50,9	54,5

Tabela 3.

Korišćenje SN kabla XHE 49 - A za vezu sa SN sabirnicom 20 kV

Broj sistema (trougao) a=0,2 m	Presek-provodnika S (mm ²)	I_{nd} (A)	k_{bk}	$k_{(d)}$ deter.	$k_{(p)}$ prob.	$I_{doz(d)}$ deter. (A)	$I_{doz(p)}$ prob. (A)	$S_{doz(d)}$ deter. (MVA)	$S_{doz(p)}$ prob. (MVA)
2	300	493	0,86	0,710	0,774	350	382	24,2	26,4
3	300	493	0,77	0,640	0,693	316	342	32,8	35,5
4	300	493	0,73	0,602	0,657	297	324	41,1	44,8
2	400	559	0,86	0,710	0,774	397	433	27,5	30,0
3	400	559	0,77	0,640	0,693	358	387	37,2	40,2
4	400	559	0,73	0,602	0,657	337	367	46,6	50,8
2	500	632	0,86	0,710	0,774	449	489	31,1	33,8
3	500	632	0,77	0,640	0,693	404	438	41,9	45,5
4	500	632	0,73	0,602	0,657	380	415	52,6	57,4

Tabela 4.

Korišćenje SN kabla XHE 49 za vezu sa SN sabirnicom 20 kV

Broj sistema (trougao) a=0,2 m	Presek-provodnika S (mm ²)	I_{nd} (A)	k_{bk}	$k_{(d)}$ deter.	$k_{(p)}$ prob.	$I_{doz(d)}$ deter. (A)	$I_{doz(p)}$ prob. (A)	$S_{doz(d)}$ deter. (MVA)	$S_{doz(p)}$ prob. (MVA)
2	240	534	0,86	0,710	0,774	379	413	26,2	28,6
3	240	534	0,77	0,640	0,693	342	370	35,5	38,4
2	300	597	0,86	0,710	0,774	424	462	29,3	32,0
3	300	597	0,77	0,640	0,693	382	414	39,7	43,0
2	400	670	0,86	0,710	0,774	476	518	33,1	35,8
3	400	670	0,77	0,640	0,693	429	464	44,5	48,2
2	500	749	0,86	0,710	0,774	532	580	36,8	40,0
3	500	749	0,77	0,640	0,693	479	519	49,7	53,9

Tabela 5.

Korišćenje SN kabla tipa XHE 49 - A za vezu sa SN sabirnicom 35 kV

Broj sistema (trougao) a=0,2 m	Presek-provodnika S (mm ²)	I_{nd} (A)	k_{bk}	$k_{(d)}$ deter.	$k_{(p)}$ prob.	$I_{doz(d)}$ deter. (A)	$I_{doz(p)}$ prob. (A)	$S_{doz(d)}$ deter. (MVA)	$S_{doz(p)}$ prob. (MVA)
2	240	419	0,86	0,71	0,774	297	324	36,0	39,2
2	300	471	0,86	0,71	0,774	334	365	40,4	44,2
2	400	536	0,86	0,71	0,774	380	415	46,0	50,2
2	500	606	0,86	0,71	0,774	430	469	52,0	56,8

Tabela 6.

Korišćenje SN kabla tipa XHE 49 za vezu sa SN sabirnicom 35 kV

Broj sistema (trougao) a=0,2 m	Presek-provodnika S (mm ²)	I_{nd} (A)	k_{bk}	$k_{(d)}$ deter.	$k_{(p)}$ prob.	$I_{doz(d)}$ deter. (A)	$I_{doz(p)}$ prob. (A)	$S_{doz(d)}$ deter. (MVA)	$S_{doz(p)}$ prob. (MVA)
2	185	463	0,86	0,71	0,774	329	358	39,8	43,3
2	240	534	0,86	0,71	0,774	379	413	46,0	50,0
2	300	597	0,86	0,71	0,774	424	462	51,3	56,0
1	240	534	1,00	0,825	0,900	440	481	26,6	29,1
1	300	597	1,00	0,825	0,900	493	537	30,0	32,5
1	400	670	1,00	0,825	0,900	553	603	33,5	36,5
1	500	749	1,00	0,825	0,900	618	674	37,4	40,8

Tabela 7.

Poređenje kretanja cena bakra na berzi tokom 2004. i 2006. godine

Redni broj	Posmatrani meseci u 2004. i 2006. godini	Cena bakra 2004. na berzi metala C _{Cu} u \$ USA	Cena bakra 2006. na berzi metala C _{Cu} u \$ USA	Odnos 3/2 C _{Cu} / C _{Cu} (%)
1.	Januar	2 424	4 734	195 %
2.	Februar	2 760	4 982	181 %
3.	Mart	3 009	5 103	170 %
4.	April	2 949	6 388	217 %

4. IZBOR ENERGETSKOG KABLA ZA VEZU „ET- SN SABIRNICE TS 110 kV/X kV” ZA POVEZNI SISTEM NA BAZI OČEKIVANOG OPTEREĆENJA ENERGETSKOG KABLA

4.1. Strujno opterećenje energetskog kabla kablovskog voda iz „sistema” vodova

Dosadašnja dugogodišnja pozitivna iskustva u praksi EPS kod „kablovskog” povezivanja ET 110 kV /35 kV, korišćenjem dva sistema kablovskih 35 kV vodova za vezu na 35 kV sabirnice u TS 110 kV/35 kV, opredeljuju nas da početnu analizu radimo uvažavanjem poveza uvek preko sistema energetskih kablova (dva ili više), kad je u pitanju prenošenje potrebne snage od ET do SN sabirnice u TS 110 kV/X(10,20,35) kV.

Da bismo zadržali dosadašnju analitičnost u proračunima na osnovu dozvoljenog strujnog opterećenja kablovskih vodova, daćemo poseban prilaz kad je u pitanju energetski kabl iz „sistema kablovskih vodova”, za koje se opredeljujemo kao dokazano dobro rešenje.

Ako sa I_k označimo struju koja će opteretiti energetski kabl kablovskog voda u jednom od sistema kod prenosa snage S_t energetskog transformatora, onda imamo:

$$I_k = \frac{S_t}{k \cdot \sqrt{3} \cdot U} \quad (17)$$

gde je: k - broj kablovskih vodova (sistema) kojima je ET povezan sa SN sabirnice.

Vrednost struje I_k treba da bude manja ili jednaka naznačenoj vrednosti dozvoljenog strujnog opterećenja kabla koju daje proizvođač kablova:

$$I_k \leq I_{nd} \quad (18)$$

Koristeći jednačine (9), (10), (17) i (18), za struju I_k koja će opteretiti energetski kabl u jednom od sistema kod prenosa snage S_t energetskog transformatora, možemo pisati:

a) Deterministički pristup:

$$I_k = \frac{S_t}{0,825 \cdot k \cdot k_{bk} \cdot \sqrt{3} \cdot U} \quad (19)$$

b) „Probabilistički pristup”:

$$I_k = \frac{S_t}{0,9 \cdot k \cdot k_{bk} \cdot \sqrt{3} \cdot U} \quad (20)$$

Test primer (2):

Izbor energetskog kabla „poveznog kablovskog voda” za sistem poveznih energetskih kablovskih vodova na bazi očekivanog strujnog opterećenja energetskog kabla

Na bazi izraza (19) i (20), možemo pisati:

a) Deterministički pristup:

$$I_{kd} = \frac{1,21 \cdot S_t}{k \cdot k_{bk} \cdot \sqrt{3} \cdot U} \quad (21)$$

b) „Probabilistički pristup”:

$$I_{kp} = \frac{1,11 \cdot S_t}{k \cdot k_{bk} \cdot \sqrt{3} \cdot U} \quad (22)$$

Napomena:

U tabeli 8 dati su rezultati „Test primera 2” samo za tzv. „probabilistički pristup” za ET od 31,5 MVA, kao i u tabeli 9, ali za slučaj „povezivanja” ET naznačene snage 40 MVA.

Tabela 8.

Izbor preseka kabla XHE 49(-a) sistema za vezu „ET-SN sabirnice”

Broj sistema (trougao) k	k_{bk}	Naznačena snaga ET S_{nt} (MVA)	Naznačen napon ET U (V)	Očekivana struja kabla I_{kp} (A)	Presek izabranog kabla S_{Cu} (mm ²)	Presek izabranog kabla S_{Al} (mm ²)	Naznačena struja izabranog kabla $I_{nd(S_{Cu})}$ (A)	Naznačena struja izabranog kabla $I_{nd(S_{Al})}$ (A)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	0,69	31,5	10	586	300	500	604	637
6	0,67	31,5	10	503	240	400	556	563
7	0,65	31,5	10	444	185	300	483	494
8	0,64	31,5	10	395	150	240	429	437
2	0,86	31,5	20	588	300	500	628	632
3	0,77	31,5	20	438	185	300	481	493
2	0,86	31,5	35	336	120	185	368	362

Izbor preseka kabla XHE 49(-A) sistema za vezu „ET-SN sabirnice”

Broj sistema (trougao) k	k_{bk}	Naznačena snaga ET S_{nt} (MVA)	Naznač. napon ET U (V)	Očekivana struja kabla I_{kp} (A)	Presek izabranog kabla S_{Cu} (mm ²)	Presek izabranog kabla S_{Al} (mm ²)	Naznačena struja izabranog kabla $I_{nd(S_{Cu})}$ (A)	Naznačena struja izabranog kabla $I_{nd(S_{Al})}$ (A)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	0,67	40	10	639	400	500	703	637
7	0,65	40	10	564	300	400	604	563
8 [#]	0,64	40	10	501	240	400 [#]	556	563 [#]
2	0,86	40	20	747	500	—	749	—
3	0,77	40	20	556	240	400	555	559
2	0,86	40	35	427	185	300	463	471

Test primer (3):

Proračun kojim su upoređivana rešenja poveznih sistema od kablova XHE 49 i kablova XHE 49-A, odnosno sa provodnicima od bakra i aluminijuma.

Prikazaćemo samo rezultate proračuna za tri karakteristična slučaja:

- Priključenje ET 110 kV/10 kV sa jedinicom naznačene snage 40 MVA.
- Priključenje ET 110 kV/20 kV sa jedinicom naznačene snage 40 MVA.
- Priključenje ET 110 kV/35 kV sa jedinicom naznačene snage 40 MVA.

a) Priključenje ET 110 kV/10 kV sa jedinicom naznačene snage 40 MVA:

Za slučaj sa šest (6) sistema poveznih kablovskih vodova kao neko optimalno rešenje za ove jedinice i kablove: $S_{Cu}=400 \text{ mm}^2$; $S_{Al}=500 \text{ mm}^2$, tabela 9, rešenje sa „bakarnim” kablovima skuplje je čak dva puta od rešenja sa „aluminijumskim” kablovima.

b) Priključenje ET 110 kV/20 kV sa jedinicom naznačene snage 40 MVA:

Za slučaj, kada imamo dva sistema „bakarnih” i tri sistema „aluminijumskih” kablova (500 mm²: 400 mm² iz tabele 9), rešenje sa bakarnim kablovima skuplje je za 41 %.

c) Priključenje ET 110 kV/35 kV sa jedinicom naznačene snage 40 MVA:

Za ovaj slučaj, kada se koriste po dva sistema (185 mm²: 300 mm² iz tabele 9), rešenje sa „bakarnim” kablovima skuplje je za 64 %.

Test primer (4):

Kad je u pitanju prvi deo kriterijuma „minimalnih troškova”, investicioni troškovi, da pomenemo

da je urađen i test primer za drugi i četvrti prilaz iz Uvoda (bakarne sabirnice vođene preko „mostnih konstrukcija”, u odnosu na korišćenje energetskih kablova XHE).

Rezultati pokazuju da je rešenje sa korišćenjem energetskih kablova XHE jeftinije za nekih 20 % kada su u pitanju „bakarni” kablovi, dok je kod korišćenja aluminijumskih energetskih kablova XHE 49-A znatno jeftinije, što je prikazano u „test primeru 3”.

Na osnovu svega što je dato u prethodnim poglavljima, generalno gledano, još uvek nema dovoljno elemenata za konačno i kompetentno zaključivanje po svim kriterijumima.

Međutim, sa stanovišta prvog i najvažnijeg dela kriterijuma „minimalnih troškova”, sa stanovišta „investicionih troškova” i rezultata do kojih se došlo proračunima, može se izvesti sledeći:

5. ZAKLJUČAK

1. Korišćenje energetskih kablova savremene tehnologije tipa XHE za vezu „ET-SN sabirnice” u TS 110 kV/(10,20,35)X kV u investicionom smislu je bolje rešenje od rešenja sa bakarnim sabirnicama vođenim preko „mostnih konstrukcija”.

2. Korišćenje energetskih kablova tipa XHE 49 - A za vezu „ET 110 kV/(10,20,35)X kV- SN sabirnice TS 110 kV/(10,20,35)X kV” u investicionom smislu je najbolje rešenje.

3. Predlaže se da se pristupi tipiziranju optimalnog rešenja, a imajući u vidu navode pod 1. i 2. u smislu korišćenja „sistema energetskih kablovskih vodova”. Primer:

a) dva sistema za ET 110 kV/35 kV, naznačene snage 40 MVA ;

b) tri sistema za ET 110 kV/20 kV, naznačene snage 40 MVA;

c) šest sistema (paran broj) za ET 110 kV/10 kV, naznačene snage 40 MVA.

4. Predlaže se tipizacija preseka energetskih kablova tipa XHE 49 - A u smislu:

a) 300 mm² za priključenje ET 110 kV/35 kV;

b) 400 mm² za priključenje ET 110 kV/20 kV;

c) 500 mm² za priključenje ET 110 kV/10 kV

6. LITERATURA

[1] Direkcija za distribuciju EPS: TEHNIČKA PREPORUKA BROJ 3 (TP-3)

[2] Direkcija za distribuciju EPS: TEHNIČKA PREPORUKA BROJ 4 (TP-4)

[3] Direkcija za distribuciju EPS: TEHNIČKA PREPORUKA BROJ 12 (TP-12)

[4] B. M. Lalević: ELEKTROENERGETSKI KABLOVI

[5] B. Stevanović: PROBLEMATIKA IZBORA KABLOVA 35 kV ZA PRIKLJUČAK ET KOD REKONSTRUKCIJA TS 110 kV/35 kV" - R21-08 (H. Novi 1997)

[6] B. Stevanović: IZBOR-TIPIZIRANJE MATERIJALA ZA IZRADU PROVODNIKA SN KABLOVA - R IV-3 (XVIII simpozijum o kablovima Zlatibor 2004)

[7] B. Stevanović: IZBOR-TIPIZACIJA SN KABLOVA U EPS-JP"ELEKTROSrbIJA KRALJEVO"- (Studijski projekat 1999. godina)

[8] Simpozijumi o kablovima: ZBORNICI RADOVA

[9] Savetovanja JUKO CIGRE: ZBORNICI RADOVA

[10] Proizvođači kablova: KATALOZI I PROSPEKTI

[11] Svetska berza metala: IZVEŠTAJI

Rad je primljen u uredništvo 02. 11. 2006. godine



Branislav Stevanović je rođen 1946. godine u Ravnoj Reci. Osnovnu školu završio je u Vladičinom Hanu, a Elektrotehničku školu u Nišu. Prvi stepen Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu završio je 1968. godine. Kao apsolvent Drugog stepena radio je dve godine u Elektrotehničkoj školi u Lazarevcu, a potom i u Tehničkoj školi u Jagodini. Diplomirao je na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu 1975. godine. Od 1976. godine radi u Elektroprivredi Srbije; do 1996. godine u ED Jagodina, kada prelazi u Upravu „Elektrosrbije“ Kraljevo, gde se isada nalazi. Radio je na poslovima: Energetike, Razvoja, Projektovanja i Tehničke Kontrole. Inicirao je, a tokom 2005. godine i veoma uspešno rukovodio realizacijom Projekta „Uspostavljanje sistema menadžmenta kvalitetom (QMS)“ u najvećoj ED kompaniji EPS, u „Elektrosrbiji“ Kraljevo. Trenutno radi na poslovima: „Predstavnik rukovodstva za sistem kvaliteta“. Radio je na izradi pet najznačajnijih tehničkih preporuka (granskih standarda) EPS, kao i na izradi bitnih internih standarda (tehničkih uslova, pravilnika, upustava) „Elektrosrbije“ Kraljevo. Kao samostalni autor, napisao je i objavio preko 25 stručnih radova, od čega 16 na savetovanjima i simpozijumima JUKO CIGRE, i to u okviru pet studijskih komiteta. Član je STK B.1 o kablovima i predsednik radne grupe „Razvoj kablovske mreže“. Autor je Studijskog rada: „Izbor i tipizacija sredjenaponskih (SN) kablova u „Elektrosrbiji“ Kraljevo“, kao prve, i za sada, jedine studije u ED kompleksu EPS na prostorima prethodne Jugoslavije o ovoj stručnoj problematici. Neposredno je rukovodio ili učestvovao u najužem menadžmentu na veoma uspešnoj organizaciji i realizaciji 17, 18. i 19. „Simpozijuma o kablovima sa međunarodnim učešćem“.

Dobitnik je i više značajnih nagrada i priznanja. Primera radi:

- 2005. godine postao je Slavodobitnik „Plakete JUKO CIGRE“, kao najviše nagrade CIGRE, koja se može dodeliti pojedincu za radni, stručni, organizacioni i afirmativni doprinos nauci i struci u okviru triju nacionalnih komiteta JUKO CIGRE (Srbije, Crne Gore, Republike Srpske);
- 2003. godine proglašen je za „Zasluznog člana SMEITS“ (Saveza mašinskih i elektro inženjera i tehničara Srbije), u znak priznanja i zahvalnost za dugogodišnje uspešno angažovanje na ostvarivanju ciljeva i zadataka SMEITS.

Stojan Nikolajević,
Kristina Vlajinac Deletić i Stana Nikolajević

Tendencija razvoja superprovodnih kablova

Stručni rad
UDK: 621.315.2

Rezime:

Superprovodnost kao pojava izaziva pažnju naučne i stručne javnosti od prvog eksperimenta koji je izveo holandski fizičar Onnes 1908. godine kada je došlo do otkrića da na temperaturi od 4,15 K električni otpor žive sasvim isčezava. U proteklom periodu superprovodnost je našla primenu u mnogim oblastima posebno u elektrotehnici, elektronici i energetici. Najveći pomaci u razvoju superprovodnosti napravljeni su eksperimentalnim istraživanjima a nakon dobijenih eksperimentalnih rezultata davana su teorijska objašnjenja. U ovom referatu data su osnovna teorijska objašnjenja superprovodnosti i nova tehničko tehnološka rešenja superprovodnih kablova. Takođe su dati osnovni pravci razvoja kriogenih kablova - kriogeno-rezistivnih i superprovodnih kablova. Od otkrića Muler-a i Bednordz-a 1986. godine do danas pravac razvoja je usmeren na visokotemperaturne superprovodne materijale.

Ključne reči: superprovodnost, kriogenorezistivni kabl, kritična temperatura, kritična jačina magnetnog polja, visokotemperaturni superprovodnik

Abstract:

TENDENCY OF THE DEVELOPMENT OF SUPER CONDUCTIVE CABLES

Superconductivity causes attention of scientific and professional public since the first experiment performed by Dutch physicist Onnes in 1908. He has discovered that electric resistance of mercury completely disappears at the temperature of 4.15 K. Thereafter superconductivity has been used in many spheres, especially in power engineering. The biggest moves in development of superconductivity were made by experimental researches and after experimental results, theoretical explanations were given. This paper gives theoretical explanations of superconductivity and also new technical and technological solutions for superconductive cables. Also basic directions of development of cryogenic cables are presented. Since the Mulers and Bednordzs discovery in 1986 until these days, direction of the development is towards high-temperature superconductive materials.

Keywords: superconductivity, cryogenic resistive cable, critical temperature, critical magnetic field, high temperature superconductor

*Prof. dr Stojan Nikolajević, dipl. ing. el. – Agencija za razvoj i konsalting, „KOSA”, 11 000 Beograd
Kristina Vlajinac Deletić, dipl. ing. el. – Elektrotehnički fakultet 11 000 Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73
Stana Nikolajević, dipl. ing. teh. – Laboratorija „Gama”, Institut Vinča, 11 000 Beograd*

1. UVOD

Dobro je poznato da prenosna moć kablovskog voda može da se poveća redukcijom njegovih gubitaka. Polazeći od činjenice da su najveći gubici u provodniku kabla, RI^2 , to smanjenjem otpora provodnika možemo povećati njegovo strujno opterećenje. Rešenje sa prinudnim hlađenjem kablovskih vodova, korišćenjem vode ili nekog drugog fluida kroz cevi smeštene na najtoplijim mestima pored kablovskog voda ili u samom sistemu daje dobre rezultate. S druge strane, primena forsiranog hlađenja kablovskog voda stvara dodatne troškove i ugrožava ekonomičnost primene kablova. Energetski kablovski prenosni sistemi koji su sada u upotrebi (za uljne kablove) uglavnom su kapaciteta ispod 1,5 GVA; čak i tamo gde je primenjeno prinudno hlađenje, rade na granici ekonomičnosti.

Imajući sve ovo u vidu, pažnja je usmerena na područje niskih temperatura u kom su Joulovi gubici daleko manji, a kod nekih metala i legura, pod određenim okolnostima, sasvim iščezavaju. Time se otvara mogućnost primene većih gustina struje, većih strujnih opterećenja kablova i prenosa većih snaga. Da bi se iskoristile ove prednosti, razvijen je kriogeni kablovski sistem koji se zasniva na dubokom hlađenju kablova što ima za cilj smanjenje gubitaka u vodu. Razvoj kriogenih kablova je usmeren u dva pravca:

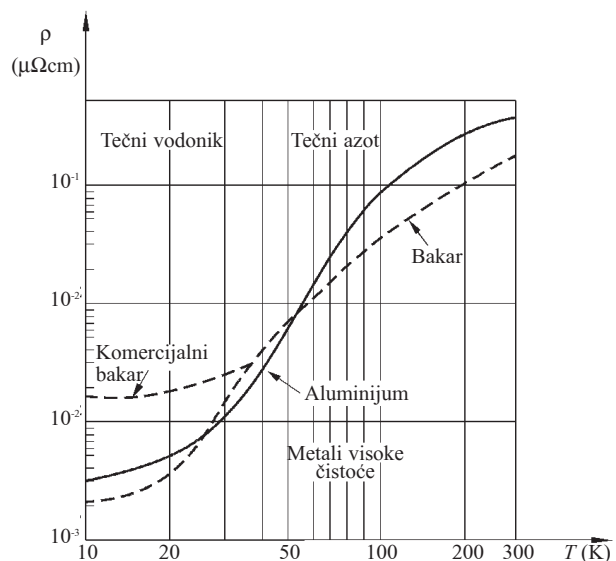
- Kriogenezistivni kablovi i
- Superprovodni kablovi

2. KRIOGENEZISTIVNA STANJA I KONSTRUKCIJA KRIOGENEZISTIVNIH KABLOVA

Materijali koji se koriste za izradu provodnika kablova su od bakra ili aluminijuma. Kao što je poznato, provodnici imaju nezauzete provodne energetske nivoe koji se nalaze neposredno iznad zauzetih valentnih nivoea. Usled dejstva napona, elektroni se premeštaju na više nezauzete valentne nivoe, ostvarujući električnu struju u kolu. Smanjenjem temperature, električni otpor metala opada a to je uslovljeno smanjenjem energije uzajamnog dejstva elektrona u atomskoj rešetki. Kod bakra i aluminijuma sa smanjenjem temperature dolazi do pada električnog otpora i vrednosti promena zavise od čistoće i primenjene tehnologije. Tako na primer, aluminijum čistoće 99,99 % na temperaturi tečnog vodoni-ka, 20,4 K, ima 270 puta manji otpor od provodnika na temperaturi od 293 K u slučaju hladno vučenog aluminijuma, dok u slučaju žarenog aluminijumskog provodnika iste čistoće na istoj temperaturi, 20,4 K, otpor je 690 puta manji od otpora provodnika na

temperaturi od 293 K. U slučaju čistoće aluminijuma od 99,5 % za iste napred navedene uslove smanjenje otpora provodnika u prvom slučaju je 41 a u drugom slučaju 57 puta. To znači, primenjena tehnologija i čistoća aluminijuma uveliko utiču na vrednost otpora. Na slici 1 date su promene električnog otpora bakra i aluminijuma visoke čistoće u zavisnosti od temperature. Promena otpora metala u slučaju ako je odsutan uticaj magnetskog polja pri niskim kriogenim temperaturama zavisi od mnogih faktora, kao što su sopstveni fenomeni samog materijala koji su određeni prirodom metala da se smanjenjem temperature smanjuje i otpor provodnika, $R(T)$, otpor koji je uslovljen postojanjem drugih atomskih primesa, R_{ap} , uticaj koji zavisi od koncentracije i dislokacije primesa, R_{kd} , promena otpora koja je definisana u graničnoj tački posmatranog metala, R_r i promena otpora koja je definisana ostalim uticajima, ΔR_{of} . Odavde, otpor provodnika pri niskim temperaturama možemo izraziti sledećom jednačinom:

$$R = R(T) + R_{ap} + R_{kd} + R_r + R_{of} \quad (1)$$



Slika 1. Promena otpora bakra i aluminijuma u zavisnosti od temperature

Konstrukcija kriogenezistivnog kabla sa impregnisanom izolacijom zasniva se na unutrašnjem i spoljnjem hlađenju tečnim azotom. U slučaju spoljnjeg hlađenja, pa i kad je hlađenje tečnim azotom, Joulovi gubici u provodniku nisu tako mali kao što se to očekuje od kriogenezistivnog kabla. Uzrok tome je velika specifična termička otpornost izolacije kabla. Prema eksperimentalnim rezultatima, specifični toplotni otpor papira impregnisanog uljem, je

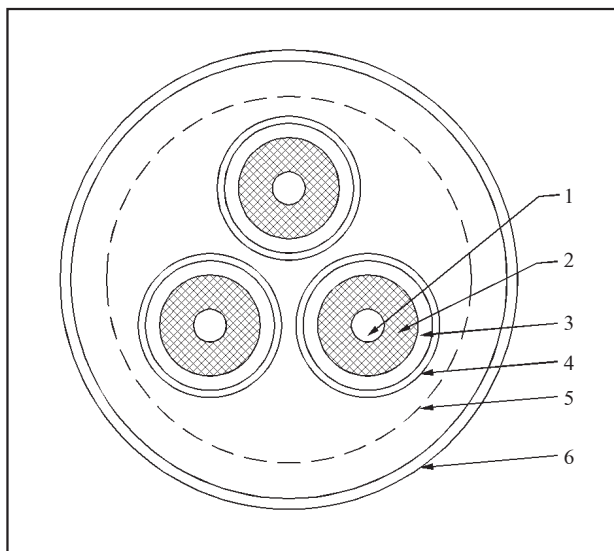
oko 30 % veći na temperaturi tečnog azota nego na sobnoj temperaturi.

Konstrukcija kriorezistivnog kabla sa unutrašnjim hlađenjem tečnim azotom sastoji se od izolacije uljem impregnisanog papira na određenoj niskoj temperaturi (viša od temperature mržnjenja ulja) i provodnika koji se direktno hladi tečnim azotom. Izolacija je potpuno odvojena od tečnog azota. Pretpostavljajući da je temperatura površine kabla i provodnika uglavnom konstantna, uspostaviće se optimalna raspodela temperature u radijalnom pravcu kabla, na osnovu odgovarajuće otpornosti.

Ovaj kabl ima sledeće kvalitete:

- održava se mala vrednost otpora provodnika,
- dok je temperatura viša od tačke mržnjenja ulja nema opasnosti od parcijalnih pražnjenja,
- kabl se može proizvoditi gotovo istim tehnološkim procesom kao i uljni kabl i
- kablovi manjih dimenzija mogu se transportovati na kalemovima pod uslovom da je rebrasta spoljašnja zaštitna metalna cev.

Na slici 2 data je konstrukcija kriogenorezistivnog kabla sa izolacijom od sintetičkih traka impregniranih tečnim azotom. Sintetičke trake su od polietilena visoke gustine natopljene tečnim azotom. Trake su namotane oko provodnika sa kanalom u centru kroz koji struji tečni azot. Formiranje izolacije je izvedeno po istom tehnološkom principu kao i izolacija klasičnih uljnih kablova. Konstrukcija kabla je najčešće u trožilnom obliku. Hladni fluid, tečni azot



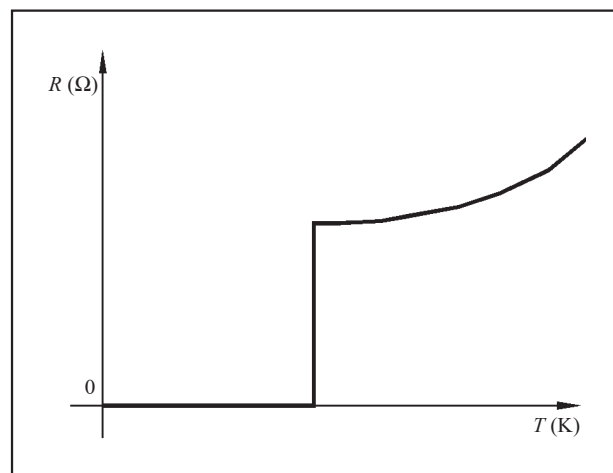
Slika 2. Visokonaponski kriogenorezistivni kabl,
 1. rashladni fluid,
 2. aluminijski provodnik
 3. izolacija,
 4. električni ekran,
 5. aluminijski kanal,
 6. korozivno zaštitna čelična cev

cirkuliše kroz centre provodnika i međuprostorima žila kabla. Kod ovog kabla preko jezgra formirana je aluminijska rebrasta cev kroz koju struji tečni azot. Preko ove cevi dolazi sloj toplotne izolacije i vakumski prostor koji štite jezgro kabla od toplotnog uticaja okoline.

Pored ovih konstrukcija postoji konstrukcija sa gasnom izolacijom i hlađenjem tečnim azotom. Konstrukcija ovog sistema je slična kao i u predhodnom slučaju datom na slici 2, samo što je gasna izolacija između provodnika i metalnog plašta formirana postavljanjem odstoynika (spacers). Ova mesta predstavljaju najslabije tačke u konstrukciji ove vrste kriogenorezistivnih kablova.

3. RAZVOJ SUPERPROVODNOSTI

Holandski fizičar Heike Kamerlingh Onnes, je najpre 1908. godine uspeo da prevede helijum u tečno stanje, 1911. godine došao je do otkrića da na 4,15 K električni otpor žive sasvim iščezava, i to stanje je nazvao superprovodnim. Provodnici koji ne poseduju ovu osobinu čine grupu normalno - rezistivnih materijala. Od otkrića Onnesa, interesovanje za pojavu superprovodnosti stalno raste. Međutim, jedini način da se dođe do te, ekstremno hladne, temperature, tačke na kojoj prestaje kretanje atoma, bilo je hlađenje tečnim helijumom. Temperatura pri kojoj je nemerljiv omski otpor nazvana je kritična temperatura. Na slici 3 data je uporedna promena specifičnog električnog otpora žive u zavisnosti od temperature u superprovodnom i normalno - rezistivnom stanju. U temperturnom opsegu od 0 K do 4,15 K otpor žive je nemerljiv, teži nuli i odražava superprovodno stanje. Na temperaturama višim od 4,15 K živa prelazi u normalno - rezistivno stanje i otpor provodnika je merljiv i sa porastom tempera-



Slika 3. Specifični električni otpor žive u zavisnosti od temperature

ture i njegova vrednost raste. Do danas je superprovodnost uočena kod preko 60 elemenata i preko 1 000 metalnih i superprovodnih legura. Među elementima najveću kritičnu temperaturu ima niobijum ($T=9$ K), a među legurama Nb₃Ge, tabela 1. Do početka 1986. godine to je bila najviša kritična temperatura koja je u nekom materijalu konstatovana. Svi ovi materijali pripadaju grupi niskotemperaturnih superprovodnika kod kojih je kritična temperatura $T_k \leq 23,2$ K.

Veliki prodor u oblasti visokotemperaturnih superprovodnih materijala načinili su 1986. godine švajcarski naučnici Karl Alex Muler i Iohannes Georg Bednordz. Oni su ispitivali supstance koje su vrlo siromašne elektronima, i u normalnom stanju nisu provodnici. Jedinjenja lantana, barijuma, bakra i kiseonika pokazala su pri niskim temperaturama karakteristiku superprovodnosti. Od stotine njihovih smesa jedna je pokazala otpor jednak nuli, Ba-La-Cu-O ($Ba_xLa_{5-x}Cu_{5(3-y)}O_x$) na temperaturi iznad 30 K. Ovim pronalaskom nastao je obrt u istraživanju superprovodnih materijala, uvedeni su elementi iz grupe Retkih zemalja i dobijen je superprovodnik od keramičkih mešavina.

Januara 1987. godine Ching Wu Chu sa saradnicima, sa Univerziteta u Hjustonu, objavio je rezultate svojih istraživanja na bazi La-Ba-Cu-O sa tačkom prelaza u superprovodno stanje iznad 40 K. Iste godine Chu je odlučio da u Muler-Bednordz-ovom oksidu umesto lantana stavi novi element itrijum, tako da je sintetizovao superprovodni materijal Y-Ba-Cu-O sa tačkom prelaza u superprovodno stanje od 98 K.

Uvođenjem elemenata iz grupe Retkih zemalja otvorena je ideja za uvođenje drugih sastava, tako da su u kratkom roku sinterovane keramike na bazi bizmuta-kalcijuma-stroncijuma-bakaroksida, talijuma-kalcijuma-barijuma-bakaroksida, žive-kalcijuma-barijuma-bakaroksida i drugih sastava sa kritičnim temperaturama koje su više od temperature tečnog azota, preko 130 K. Svi ovi materijali pripadaju grupi visokotemperaturnih superprovodnika. Ovakvim prilazom u proučavanju superprovodnosti otvoren je put u eventualnom dobijanju superprovodnika i na sobnoj temperaturi. Primena visokotemperaturnih superprovodnika u industrijske svrhe, za izradu opreme, je vezana za mnoge probleme tehničko - tehnološke prirode. Prva šira primena se očekuje u mernoj tehnici i elektronici, a potom u energetici za izradu magneta koji stvaraju jako magnetsko polje, kod generatora i druge prenosno distributivne opreme kao i izradu superprovodnih kablova. Prvi projekti kablovskih vodova sa visokotemperaturnim superprovodnicima u jednožilnoj i trožilnoj konstrukciji obećavaju dalji razvoj i primenu. Kod

visokotemperaturnih superprovodnika i ako se dobija magnetska indukcija preko 10 T, osnovni problem leži u povećanju kritične gustine struje koja je u ovom trenutku oko deset puta manja od gustine struje koja se postiže kod niskotemperaturnih superprovodnika koja iznosi oko 2 000 A/mm².

Osnovni zaključak je da su ova otkrića dovela do toga da je superprovodnost izašla iz oblasti superhladnog, kada je fenomen superprovodnosti ispitivan uz pomoć tečnog helijuma koji je redak, štetan pri rukovanju i skup. Mnogi novi superprovodnici koriste tečni azot koga ima u izobilju u vazduhu, koji je jeftin i zahteva manje hlađenja (prelazi u tečno stanje na 77 K) i bezopasan je pri upotrebi. Kritične temperature nekih elemenata date su u tabeli 1.

Svaki superprovodnik ima kao jedno od osnovnih obeležja kritičnu temperaturu T_k , oko koje u jednom vrlo uskom području električni otpor provodnika padne za više od 1 014, odnosno na vrednost koja se uobičajenim metodama ne može registrovati (pri $H=0$ i $f=0$). Ne može se tvrditi da je pri toj temperaturi striktno $R=0$, ali je merenjem utvrđeno da je manje od 10^{-23} Ω/cm , ili za preko 10^{17} puta manje od vrednosti otpora bakra na sobnoj temperaturi. Jednom uspostavljena struja u čistom superprovodniku godinama se održava u odsustvu spoljne elektromotorne sile bez merljivog smanjenja jačine. Daljim istraživanjem pojave superprovodnosti došlo se do zaključka da je postojanje niske temperature, oko apsolutne nule kod niskotemperaturnih superprovodnika ili kod kritične temperature visokotemperaturnih superprovodnika, tek potreban uslov za uspostavljanje superprovodnog stanja, i da temperatura pri kojoj će se ono realizovati bitno zavisi od jačine magnetskog polja u kome se superprovodni materijali nalaze. Pri jačinama polja većim od kritične vrednosti H_k superprovodno stanje nije više moguće ostvariti, materijal prelazi u normalno - rezistivno stanje. Granična kriva koja ograničava superprovodno područje definisana je uzajamnom vezom između magnetskog polja i temperature. Kritično magnetsko polje H_k u zavisnosti od temperature T određeno je relacijom

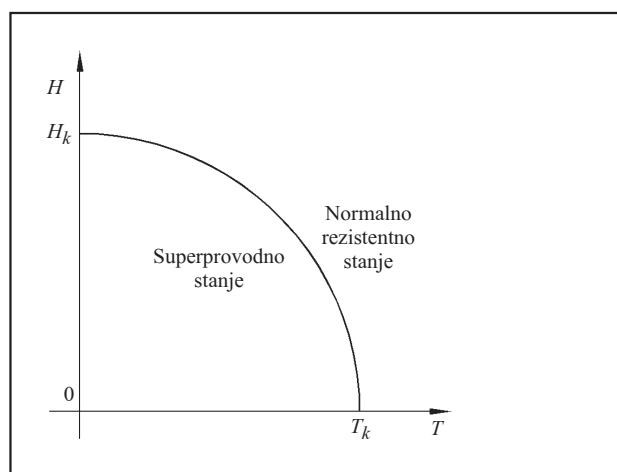
$$H_k = H_0 \left[1 - \left(\frac{T}{T_k} \right)^2 \right] \quad (2)$$

gde je H_0 – kritična vrednost magnetskog polja pri temperaturi od 0 K.

Za temperature više od T_k i polja iznad H_k ova jednačina ne važi. Treći parametar, koji ne utiče direktno na uspostavljanje superprovodnog stanja, ali bitno određuje neku konačnu veličinu otpora, je učestanost, što je uočio London 1940. godine. Utvrđeno je, naime, da otpor u potpunosti iščezava samo pri

Tabela 1.

Superprovodnik		Kritična temperatura T_k (K)	Kritična jačina magnetskog polja (T), pri 0 K
Superprovodnik prve vrste	Tantal - Ta	4,5	0,08
	Živa - Hg	4,15	0,04
	Kalaj - Sn	3,72	0,03
	Olovo - Pb	7,2	0,08
	Vanadin - V	5,1	0,13
Superprovodnik druge vrste	Niobijum - Nb	9,3	0,4
	Nb_3Ge	23,2	>35
	Nb_3Sn	18,4	>25
	$Nb_3 - 48\% Ti$	9,5	3,8-14,5
	$Nb_3 - 25\% Zr$	10,8	3,5-12,5
Visokotemperaturni superprovodnici	$Ba_xLa_{(5-x)}Cu_{5(3-y)}O_x$	>30 K	8-25
	YBaCu	>80 K	
	OHgCaBaCuO	>130 K	



Slika 4. Magnetsko polje u superprovodnom materijalu, $T < T_k$ - superprovodno stanje, $T > T_k$ - normalno - rezistivno stanje.

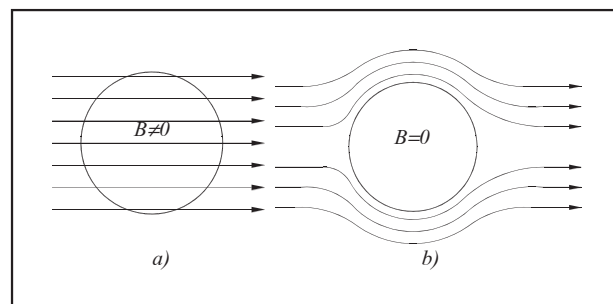
jednosmernoj struji ($f=0$), i da pri određenoj učestalosti električni otpor ima neku konačnu vrednost, čak i pri $T=0$ K. Međutim, u praksi se može smatrati da je $R=0$ za sve $f < 109$ Hz, ukoliko su ostvareni uslovi u pogledu H i T , u vezi sa uspostavljanjem superprovodnog stanja.

Na slici 4 data je zavisnost kritičnog magnetskog polja, odnosno kritične gustine struje koja stvara to polje, u funkciji od kritične temperature. Ako je pri temperaturi T_k magnetsko polje H veće od H_k , odnosno gustina struje J veća od kritične gustine struje J_k , onda superprovodnost materijala iščezava, ulazimo u normalno - rezistivno stanje. Krive zavisnosti kritičnog magnetskog polja u funkciji od kritične temperature za različite materijale su različite.

Superprovodni materijali na osnovu ponašanja u magnetskom polju dele se na:

- superprovodnike prve vrste,
- superprovodnike druge vrste.

Meissner i Ochsenfeld su 1933. godine otkrili da pri prelasku materijala u superprovodno stanje, magnetsko polje ističe iz njega tako što je magnetska indukcija unutar jednaka nuli, $B=\mu_0\mu_r H=0$. Zavisnost magnetske indukcije od jačine magnetskog polja u superprovodnim materijalima data je na slici 5. Odavde se vidi da za vrednosti $H < H_k$ iščezava magnetska indukcija. Ovo stanje istiskivanja magnetskog polja iz superprovodnog materijala nazvano je Meissner-ov efekat. Ponašanje superprovodnog materijala je slično idealnom dijamagnetiku. Eksperimenti koji su vršeni na kalaju i olovu pri temperaturi $T > T_k$ pokazali su da linije magnetskog polja prolaze kroz materijal, dok u zoni $T < T_k$ dolazi do istiskivanja magnetskog polja iz materijala, $H_k(T_k)=0$, slika 6.



Slika 5. Ponašanje magnetskog polja u superprovodniku kada je u normalnom - rezistivnom stanju a) i superprovodnom stanju b)

4. TEORIJSKE POSTAVKE SUPERPROVODNOSTI

Mada je, na osnovu Meissner-ovog efekta, postojanje magnetskog polja u superprovodniku isključeno, zaključak da superprovodne struje teku po površini, i da je gustina struje beskonačna, neodrživ je. Polazeći od činjenice da struja mora da teče po spolnjem sloju konačne debljine, da Amperov zakon o cirkulaciji magnetskog polja mora da važi, G. London i F. London izveli su dve relacije slične Maksvelovim za magnetsko i električno polje kojim se daje osnova za određivanje gustine struje i inteziteta magnetske indukcije po preseku superprovodnika. Da bi došli do fizičkog objašnjenja, posmatrajmo normalan rezistivni materijal sa specifičnom električnom otpornošću, $\rho \rightarrow 0$ (specifična električna provodnost, $\gamma \rightarrow \infty$). Gustina struje J i električno polje K su vezani relacijom

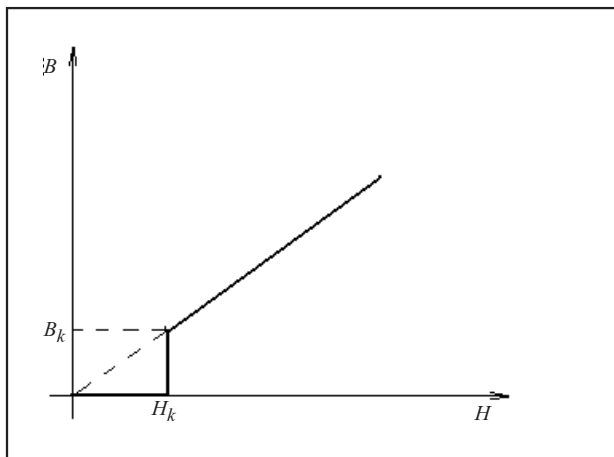
$$\vec{J} = \gamma \vec{K} \quad (3)$$

Kod superprovodnih materijala makroskopski posmatrano elektroni se kreću konstantom brzinom, slično materijalnim česticama koje se pod dejstvom konstantne sile kreću kroz viskoznu sredinu. Otpor trenja materijalnim česticama je srazmeran brzini, pa prema tome, i otpor trenja elektrona je srazmeran brzini njihovog kretanja. Kako je brzina elektrona direktno srazmerna jačini električnog polja, to je i gustina struje superprovodnika srazmerna proizvodu naelektrisanja elektrona, e , brzini kretanja elektrona v_e i broju elektrona n_e

$$\vec{J}_s = en_e \vec{v}_e \quad (4)$$

Za određivanje zavisnosti magnetskog polja od gustine struje u superprovodniku koristićemo prvu Maksvelovu jednačinu

$$\text{rot} \vec{B} = \mu_0 \left(\vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) \quad (5)$$



Slika 6. Zavisnost magnetne indukcije od intenziteta magnetnog polja u superprovodniku prve vrste

U slučaju superprovodnika, unošenjem vrednosti za gustinu struje datu izrazom 4 u jednačinu 5 i imajući u vidu da je električni pomeraj neznatan, $\partial D/\partial t$, jednačina (5) može se pisati

$$\text{rot} \vec{B} = \mu_0 \vec{J}_s = \mu_0 en_e \vec{v}_e \quad (6)$$

Kretanje elektrona je ravnomerno ubrzano i ubrzanje je srazmerno jačini električnog polja K , naelektrisanju elektrona e a obrnuto srazmerno masi elektrona m

$$\frac{d\vec{v}_e}{dt} = \frac{\vec{K}e}{m} \quad (7)$$

Koristeći drugu Maksvelovu jednačinu prema kojoj je svaka promena magnetskog polja obavezno praćena promenom električnog polja

$$\text{rot} \vec{K} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (8)$$

dolazimo do relacije

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{m}{e^2 n_e} \text{rot} \vec{J}_s + \vec{B} \right) = 0 \quad (9)$$

Iz gornje relacije, dobijamo

$$\text{rot} \vec{J}_s = -\frac{n_e e^2}{m} \vec{B} \quad (10)$$

Jednačine 6 i 9 često se u literaturi sreću kao Londonove jednačine koje određuju superprovodno stanje materijala.

Posmatrajmo sada superprovodnik u konstantnom magnetskom polju. Pođimo od rotora iskazanog jednačinom 6

$$\text{rot} \text{rot} \vec{B} = \mu_0 \text{rot} \vec{J}_s \quad (11)$$

Odavde koristeći jednačinu 10 možemo da pišemo

$$\text{grad} \text{div} \vec{B} - \Delta \vec{B} = -\mu_0 \frac{e^2 n_e}{m} \vec{B} \quad (12)$$

U poslednji izraz uvedimo smenu

$$\lambda^2 = \frac{m}{\mu_0 e^2 n_e} \quad (13)$$

gde su:

m – masa elektrona,

n_e – broj elektrona,

e – naelektrisanje elektrona,

μ_0 – permeabilnost vakuuma.

Veličina λ fizički predstavlja dubinu prodiranja magnetskog polja u superprovodniku, slika 7. Kod superprovodnika u sloju do dubine λ od površine indukuju se ekranirajuće superprovodne struje, koje svojim magnetskim poljem kompenzuju strano magnetsko polje. Kod superprovodnika malog prečnika, reda veličine dubine prodiranja, utvrđeno je da je kritično polje mnogo veće (preko 30 puta), što je veoma važno za praksu u vezi sa konstrukcijom provodnika. Ukoliko su dimenzije provodnika manje od dubine prodiranja, magnetsko polje prodire kroz celokupni presek, jer se ekranirajuće dejstvo superprovodnih struja mnogo slabije ispoljava.

Stavljanjem za $\text{div} B=0$ u izrazu 12, dobijamo

$$\Delta \vec{B} = \frac{\vec{B}}{\lambda^2} \quad (14)$$

Predhodna analiza pokazuje da jačina magnetnog polja u superprovodniku mora biti jednaka nu-

li jer bi u protivnom, gustina struje a samim tim i magnetsko polje bilo beskonačno veliko, što nije moguće. Iz Druge Maksimalne jednačine $\text{rot } K = -(\partial B/\partial t)$, vidimo da i B/t mora biti jednako nuli, odnosno da se magnetsko polje u materijalu sa specifičnim električnim otporom jednakim nuli, $\rho = 0$, ne može menjati. Svaka promena magnetskog polja izaziva vrtložne struje, koje teku po površini materijala i svojim poljem kompenzuju strano polje, a kako je specifična električna provodnost beskonačna, $\gamma = \infty$, to struje održavaju trajno isti intenzitet. Ponašanje superprovodnika nije u potpunosti opisano jednačinom $\partial B/\partial t = 0$ i uslovom $\gamma = \infty$, već se mora pridodati jednačina

$$\text{rot } B = 0 \quad (15)$$

Posmatrajmo sada konkretan slučaj, da su linije vektora magnetskog polja paralelne površini superprovodnog tela YOZ u XYZ sistemu, onda je jačina magnetskog polja u tom pravcu jednaka nuli. Jednačina 14 za konkretan slučaj u pravcu x -ose može se pisati

$$\frac{d^2 \vec{B}}{dx^2} = \frac{\vec{B}}{\lambda^2} \quad (14-1)$$

Rešenje ove jednačine daje jačinu magnetskog polja po x -osi

$$B(x) = B_s e^{-\frac{x}{\lambda}} \quad (16)$$

gde je B_s jačina magnetskog polja na površini YOZ .

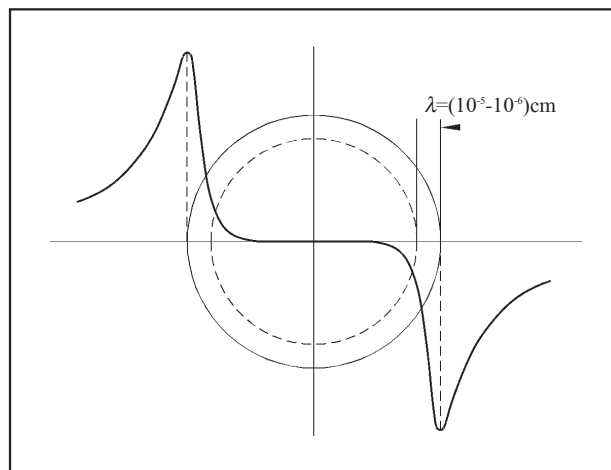
Imajući u vidu činjenicu, da magnetsko polje u superprovodnicima biva istiskivano na površinu, to i struja teče po površini ili blizu površine provodnika. Odavde dobijamo relaciju za gustinu struje (J) u funkciji rastojanja, tako da se gustina na rastojanju x od površine provodnika može iskazati sledećim izrazom:

$$J_s(x) = \frac{B_s}{\lambda \mu_0} e^{-\frac{x}{\lambda}} \quad (17)$$

Veličina λ zavisi od temperature i predstavlja rastojanje od površine provodnika za koje se gustina

struje smanji $e^{-\frac{x}{\lambda}}$ puta u odnosu na gustinu struje na površini provodnika. Može se dakle smatrati da magnetsko polje prodire u dubinu provodnika reda 10^{-5} do 10^{-6} cm.

Značajan doprinos u rasvetljavanju superprovodnosti predstavlja teorija J. Barden (Bardeen), L. Kuper (Cooper) i R. Šreifer (Schreiffner) 1957. godine. Po ovoj teoriji superprovodno stanje okarakterisano je formiranjem i uzajamnim delovanjem parova elektrona, Kuperovi parovi. U osnovi, sila između



Slika 7. Jačina magnetnog polja provodnika superprovodnog kabla

đu dva elektrona je tako modifikovana interakcijom koja se javlja u atomskoj rešetki da se dva elektrona efektivno privlače stvarajući Kuperov par elektrona. Poznato je da se čestice istih naelektrisanja odbijaju, što znači da i kod elektrona deluje sila odbijanja. Ipak, pri niskim temperaturama u zoni superprovodnosti materijala bitno se izmeni uzajamno dejstvo elektrona u atomskoj rešetki. Naime, osnovno dvoelektronsko stanje koje predstavlja najniže energetske stanje zauzeto je elektronskim parovima, ukupnog spina jednakog nuli. Kod jednoelektronskog stanja sa spinom $\pm 1/2$ razdvojeni od dvoelektronskog stanja energetske stanje koje je približno jednak proizvodu Bolzmanove konstante i kritične temperature, $k_c T_k$, sam proces sparivanja elektrona objašnjava se time što kada jedan elektron u svom kretanju kroz kristalnu rešetku pride blizu pozitivnog jona dolazi do privlačenja. Ako je ova sila dovoljna dolazi do oscilovanja jona oko svog osnovnog položaja. Ovo oscilovanje jona u centru kristalne rešetke dovodi do privlačenja drugih elektrona. Na ovaj način interakcijom početnog elektrona i oscilovanjem pozitivnog jona u kristalnoj rešetki dolazi do formiranja para elektrona. Energetska veza parova raste sa povećanjem broja parova elektrona tako da dobijamo „kondenzat“ parova elektrona, Kuperove parove, pri prelasku u superprovodno stanje. Povećanjem broja Kuperovih parova u materijalu raste i energetska veza parova tako da se u jednom trenutku dobija kritični broj koji predhodi prelazu materijala u superprovodno stanje. Rast parova elektrona vezan je sa smanjenjem temperature. U protivnom, sa porastom temperature deo elektrona se pobuđuje i dolazi do razaranja Kuperovih parova i kada temperatura pređe kritičnu temperaturu T_k , superprovodnost materijala iščezava. Za razaranje superprovodnosti nije od uticaja samo temperatura

već, kao što je napred rečeno, i intenzitet magnetskog polja. Rastom magnetske indukcije magnetsko polje prodire u dubinu provodnika što dovodi do razaranja superprovodnog stanja. Kako je magnetsko polje vezano sa strujom to može da se govori o kritičnoj struji, I_k , koja može da teče kroz provodnik a da ne bude narušena superprovodnost. Prema zakonu Silsbees-a, koji važi za sve provodnike osim provodnike malog prečnika gde su kritične struje mnogo veće nego pretpostavljene, kritično magnetsko polje nastaje proticanjem struje koja ga generiše. To znači, rezultatno kritično magnetsko polje, H_k , koje narušava superprovodnost, je nastalo delovanjem spoljnih izvora i struje koja protiče superprovodnikom. Ako ne postoji spoljni izvor, onda je kritično polje određeno samo strujom superprovodnika (kritičnom gustinom struje) i za odnos između kritične struje i kritičnog magnetskog polja može se pisati

$$I_k = \pi d H_k \quad (18)$$

Posmatrajmo prsten provodnika debljine dx na rastojanju x od površine provodnika, prečnika provodnika d i gustine $J(x)$. Struja dI koja teče kroz posmatrani prsten provodnika može se dati u obliku

$$dI = \pi(d-2x)J(x)dx \quad (19)$$

Ako u gornju relaciju stavimo iz formule 17 izraz za $J(x)$ i izvršimo integraljenje u granicama posmatranog prečnika superprovodnika, d , za slučaj da je $d \gg \lambda$, što je u praksi tačno, dobijamo približnu jednačinu za vrednost kritične struje:

$$I_k \approx \pi d \lambda J_s \quad (20)$$

Odakle dobijamo vezu između kritičnog magnetskog polja gustine struje J_s i dubine prodiranja struje u superprovodnik

$$H_k = J_s \lambda \quad (21)$$

Iz relacija 2 i 18 dobija se izraz koji definiše vezu između kritične struje i kritične temperature superprovodnika

$$I_k = I_0 \left[1 - \left(\frac{T}{T_k} \right)^2 \right] \quad (22)$$

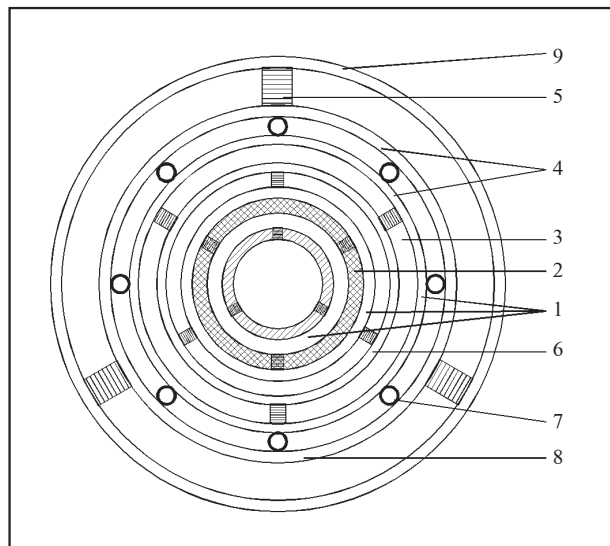
gde je I_0 struja pri temperaturi superprovodnika na 0 K.

5. KONSTRUKCIJA SUPERPROVODNIH KABLOVA

Konstrukcija superprovodnih kablova polazi od činjenice da je kod superprovodnih kablova temperatura u kablju znatno niža od temperature okoline za razliku od klasičnih kablova gde smo u kablju imali višu temperaturu nego u okolini. To znači da treba sprečiti dovoz toplote iz okoline u kablovski sistem, a sa druge strane i toplotu koja se oslobodi u kablju treba odvesti preko rashladnih sistema van kablovskog voda i superprovodni sistem sačuvati da ne dođe do izlaska iz superprovodnog stanja, da je $T < T_k$, $H < H_k$ i $I < I_k$. Ukupna toplota koja mora da se odvede iz superprovodnog kablovskog sistema je jednaka zbiru oslobođene toplote u provodniku (P_{pr}), gubitaka na trenju fluida (P_{tf}), gubitaka u dielektriku i ostalim delovima sistema (P_{ds}) i količine toplote koja spolja prodire u superprovodni sistem (P_{st}) i može se izraziti sledećom relacijom:

$$P = P_{pr} + P_{tf} + P_{ds} + P_{st} \quad (23)$$

Na slici 8 data je jedna od konvencijalnih konstrukcija niskotemperaturnog superprovodnog kabla sa superprovodnikom druge vrste čije hlađenje je u zoni tečnog helijuma ili vodonika. Kod kriogenore-



Slika 8. Konstrukcija superprovodnog kabla, poprečni presek,

1. Nb/Al fazni provodnici,
2. dovod helijuma u kabl,
3. odvod helijuma iz kabla,
4. termo izolacioni slojevi,
5. noseći držači,
6. Pb/Al provodnik,
7. polipropilenske cevi kroz koje se vraća azot,
8. cev kroz koje se dovodi azot u kabl sa super izolacijom,
9. zaštitna spoljašnja cev.

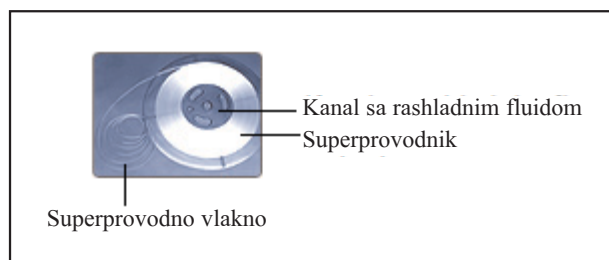
zistivnih kablova gubici u provodniku i gubici u dielektriku i ostalim elementima konstrukcije mogu da imaju značajnu vrednost, pogotovo gubici u provodniku. Gubici u superprovodnim kablovskim sistemima imaju veoma malu vrednost. No i u jednom i drugom sistemu značajnu vrednost ima toplota koja dolazi iz okoline i ona mora da se odvede i spreči njen prodor u kablovski sistem. U protivnom, dolazi do narušavanja modela kriogenosti, posebno kada se radi o superprovodnom sistemu gde porast temperature iznad kritične vrednosti razara superprovodnost što može da dovede do velikih oštećenja u kablovskom sistemu.

Istorijski posmatrano u razvoju superprovodnih kablova najperspektivniji su svakako bili superprovodnici druge vrste, idealni i neidealni - „mešanim” stanjem, niobijum i njegove legure: Nb_3Sn i Nb_3Ge . Niobijum je najbolji u pogledu tehnologije izrade provodnika, lako se izvlači, ima dobre mehaničke osobine ali je njegova kritična temperatura 9,3 K i hlađenje superprovodnika je moguće samo helijumom. Nb_3Sn i Nb_3Ge su krti materijali i teško se obrađuju. Primena Nb_3Ge za izradu superprovodnika je veoma interesantna jer je kritična temperatura 23,2 K i moguće je hlađenje tečnim vodonikom. U ovom slučaju bi se značajno redukovala cena održavanja superprovodnog kablovskog voda. Međutim, tehnološki problemi koji su čisto metalurške prirode, čine da ovaj materijal ne nalazi širu primenu u izradi superprovodnih kablova.

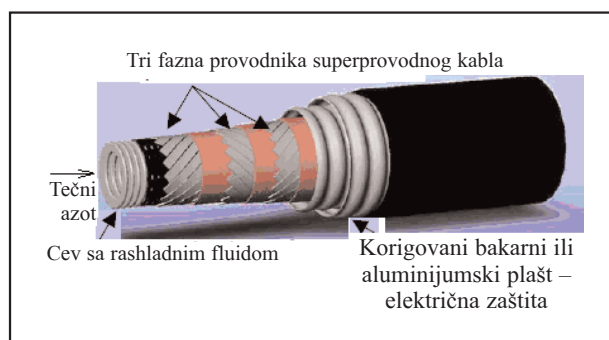
Bez obzira koji se superprovodni materijal koristi, superprovodnici niske ili visoke temperature, konstrukcija provodnika superprovodnih kablova je u vidu superprovodnih žica sastavljenih od superprovodnih vlakana prečnika od oko 10 do 100 mm unutar nesuperprovodne matrice, tako da se broj vlakana u jednoj superprovodnoj žici kreće do 1 000, slika 9. Na ovaj način se dobija velika površina superprovodnika. Nesuperprovodna matrica je od aluminijuma, bakra ili bronz. Izrada superprovodnika se dalje odvija nanošenjem u sloju žica oko šuplje bakarne ili aluminijumske cevi tako da se dobija kompaktna celina, slika 9. Tehnologija formiranja superprovodnika u vidu tankih niti nanetih na matricu je identična bez obzira da li se radi o nisko temperaturnim ili visokotemperaturnim provodnicima. Kroz cev cirkuliše rasladna tečnost, tečni helijum, vodonik ili azot, sve u zavisnosti o vrste superprovodnika.

Centralni problem u konstrukciji kabla je održavanje superprovodnog stanja tokom eksploatacije kabla i tokom preopterećenja ili, u slučaju kratkog spoja, da ne dođe do preteranog zagrevanja i pregorevanja superprovodnika. Zaštita superprovodnika od oštećenja u slučaju havarijskog režima ostvaruje

se laminiranim slojem koji je u vidu nosača na koji je nanesen superprovodnik. Ovaj tanak sloj od bakra ili aluminijuma velike čistoće ima ulogu alternativnog provodnika. Poznato je da se superprovodnik izlaskom iz superprovodnog stanja vraća u normalno - rezistivno stanje. Takođe, tokom eksplotacije u superprovodnom stanju dolazi do prodiranja magnetnog polja u provodnik do dubine reda 10^{-6} mm a promenom opterećenja stvara se histerezisna petlja čija površina određuje gubitke u superprovodniku.



Slika 9. Izrada superprovodnika u vidu superprovodnih vlakana



Slika 10. Trožilni koaksijalni visokotemperaturni superprovodni kabl

Nova istraživanja sa visokotoplotnim superprovodnim materijalima čija superprovodnost ulazi u oblast tečnog azota kao fluida hlađenja dala su nova rešenja u konstrukciji superprovodnih kablova. Na slici 10 data je konstrukcija trožilnog koaksijalnog visokotemperaturnog superprovodnog kabla. Danas u probnoj eksploataciji imamo kablove sa visokotemperaturnim superprovodnicima čije se hlađenje odvija korišćenjem azota. Konstrukcija superprovodnog kabla data na slici 10 je napona 13,2 kV, nazivnog strujnog opterećenja 3 000 A. U ovoj konstrukciji fazni provodnici su koaksijalno postavljeni, pri čemu kroz centralnu cev struji tečni azot kao fluid za hlađenje. Ovako koaksijalno u jednoj zajedničkoj konstrukciji postavljena sva tri fazna provodnika dovode do poništavanja električnog polja zbog dejstva faznog pomeranja za $2\pi/3$. Osnovne električne karakteristike, induktivnost i kapacitivnost mogu da se računaju koristeći izraze

$$L_{spk} = \frac{\mu_0}{6\pi} \ln \frac{r_{pr3f}}{r_{pr1f}} \quad (24)$$

$$C_{spk} = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r}{\ln \frac{r_{1fse}}{r_{1fue}}} + \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r}{\ln \frac{r_{2fse}}{r_{2fue}}} + \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r}{\ln \frac{r_{3fse}}{r_{3fue}}} \quad (25)$$

gde su r_{pr1f} i r_{pr3f} radijusi preko prvog odnosno trećeg provodnika, r_{1fse} spoljašnji radijus ekrana izolacije i -tog faznog provodnika, r_{1fue} radijus ekrana provodnika i -tog faznog provodnika, i uzima vrednosti od 1 do 3.

Ovakva konstrukcija superprovodnog kabla redukuje njegovu cenu, cenu ugrađenog materijala i sistema za hlađenje, a povećava efikasnost eksploatacije u energetskom sistemu. Zajednička bakarna električna zaštita ispod spoljašnje zaštite superprovodnog kabla obezbeđuje odvođenje struje zemljospoja. Ovakvom konstrukcijom obezbeđuje se prenos snage koja je reda GVA i struja više kA. Pored ove konstrukcije koja je data ovde, veoma česte su jednožilne konstrukcije superprovodnih kablova. Trožilne konstrukcije su tehnički teže izvodljive ali su ekonomičnije.

6. ZAKLJUČAK

Prvi rezultati praktične primene visokotemperaturnih superprovodnih kablova koji se poslednjih godina izvode u vidu eksperimenata u energetskim mrežama obećavaju veću primenu u energetici ne samo u kablovskoj tehnici već i primenu u izradi transformatora i druge energetske opreme. Sigurno je da će značajno uticati ne samo na gabarit opreme već i na cenu koštanja. Očekuje se da poput optike i superprovodni visokotemperaturni materijali naprave revoluciju u razvoju energetskih prenosnih i distributivnih sistema.

Rad je primljen u uredništvo 02. 11. 2006. godine



Stojan Nikolajević je rođen 1944. godine u selu Vučadelci, Srbija. Elektrotehnički fakultet je završio 1968. godine u Beogradu, gde je 1974. godine magistrirao, a 1987. godine doktorirao. U Industriji kablova (FKS) Jagodina rado je od 1968. do 1994. godine. U periodu od 1994. godine do 2005. godine radio je JP EPS „Elektrodistribucija Beograd“. Od 2005. godine radi u Agenciji za razvoj i konsalting „Kosa“ u Beogradu. Preko 20 godina uključen je u nastavu na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu najpre kao asistent, a potom i kao profesor. Takođe drži nastavu na Elektrotehničkom fakultetu u Banja Luci. Član je više asocijacija u zemlji i inostranstvu.

Glavni pravac razvoja je usmeren ka dobijanju superprovodnog materijala na sobnoj temperaturi koji je moguće tehnološki preraditi i primeniti na izradu provodnika i drugih elemenata koji čine provodnik energetske opreme.

7. LITERATURA

- [1] S. Y. King, N. A. Halfter: UNDERGROUND POWER CABLES, London and New York, 1982.
- [2] B. M. Weedy: UNDERGROUND TRANSMISSION OF ELECTRIC POWER, Chichester, New York, Toronto, 1980.
- [3] Ç. T. Larina, SILOVBE KABELI I VBSOKOVOLÝTNBE KABELÝNBE LINII, Çnergoatomizdat, Moskva, 1996.
- [4] D. Willen, etc.: THE APPLICATION OF TRIAXIAL HIGH - TEMPERATURE SUPERCONDUCTING POWER CABLES IN DISTRIBUTION NETWORKS, 18-th International Conference on Electricity distribution, Turin, 2005.
- [5] Y. Yanada, etc.: RECENT DEVELOPMENT OF HIGH-TEMPERATURE SUPERCONDUCTING (HTS) CABLE IN SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD., 18-th International Conference on Electricity distribution, Turin, 2005.
- [6] D. Lindsay, D. Willen: SUPERCONDUCTIVITY FOR POWER TRANSMISSION AND DISTRIBUTION CABLES, Ultera, 2003.
- [7] D. McAllister: ELECTRIC CABLES HANDBOOK, London, 1982.
- [8] L. D. Landau, E. M. Lifšic: TEORETI^KESKAÆ FIZIKA, Moskva 1982.
- [9] L. A. Bessanov: TEORETI^KIE OSNOVB ÇLEKTROTEHNIKI, Moskva 1986.
- [10] S. V. Nikolajević: Kablovska tehnika, Beograd 2006.



Kristina Vlajinac Deletić rođena je 24. 08. 1972. godine u Vranju. Završila prva tri razreda gimnazije u Vranju, a četvrtu godinu u SAD. Upisala Elektrotehnički fakultet u Beogradu 1991. godine, diplomirala 1999. godine. Od 2000. godine radila kao asistent-pripravnik na ETF-u u Beogradu. Držala vežbe na tabli iz predmeta: Elementi elektroenergetskih sistema, Kablovska tehnika i Tehnika visokog napona. Od juna 2006. godine radi u INEL-u.



Stana Nikolajević je rođena 1945. godine u selu Mlačišće, SO Crna Trava, Srbija. Tehnološko-metalurški fakultet je završila 1970. godine u Beogradu. Po završetku studija počela je da radi u HP „Kablovi” u Jagodini sve do 1992. godine kada prelazi u INN „Vinča” gde je i danas zaposlena. U Zavodu za intelektualnu svojinu je registrovana za patentnog zastupnika i bavi se poslovima zaštite intelektualne svojine. Član je više asocijacija u Srbiji.

Merenje vrednosti dozemnih i međufaznih kapacitivnosti kablova

Stručni rad
UDK: 621.315.2; 621.3.011.4

Rezime:

U izolovanoj mreži, od velikog značaja je određivanje vrednosti dozemnih kapacitivnosti kablova, radi proračuna zemljospoja. Poznavanje prilika u mreži je neophodno, ukoliko se želi pouzdana funkcija zemljospojne zaštite, što je od suštinskog značaja, s obzirom da postoji mogućnost proširenja kvara na mestu proboja i proširenje u višepolni kratak spoj.

Merenje dozemnih kapacitivnosti po fazama omogućava određivanje i stepena nesimetrije, a za proračun struja zemljospoja uzima se u obzir najkritičnija (najmanja) vrednost.

Ključna reč: dozemni kapacitet, međufazni kapacitet, zemljospoj, izolovana mreža

Abstract:

MEASUREMENT OF PHASE AND MUTUAL CABLE CAPACITANCES

In network with insulated neutral, determination of phase cable capacitances is of great importance, for the calculation of short circuit. Reliable function of earth-fault protection requires good knowledge of network conditions, which is of essential importance, since there is possibility of fault spreading from the place of breakdown into multiple short circuits.

Measurement of phase cable capacitances enables determination of a degree of unbalance, and for the calculation of short circuit current the most critical (the lowest) value is taken.

Keywords: phase capacitance, mutual capacitance, short circuit, network with insulated neutral

1. ELEKTRIČNE VELIČINE U IZOLOVANOJ MREŽI, PRI NASTANKU ZEMLJOSPOJA

Vrednosti struja zemljospoja u ovoj vrsti mreža su relativno niske i ograničene konfiguracijom kablovske mreže (takođe i dužinom nadzemnih vodova, ali u daleko manjem obimu).

Za razliku od mreža sa direktno uzemljenim zvezdištem, ili zvezdištem uzemljenim preko otpor-

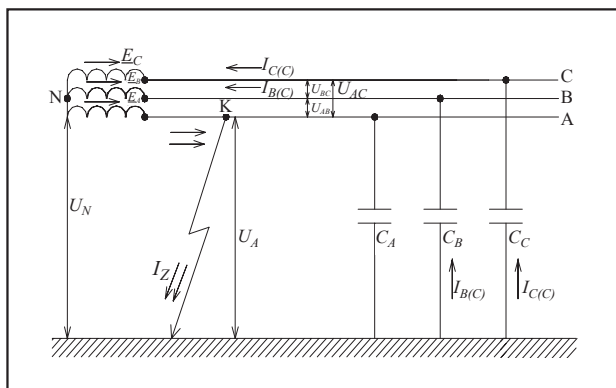
nosti, zemljospoj se ne smatra kratkim spojem i ne odlikuje se sniženjem vrednosti međufaznih napona i pojavom povišenih struja u mreži.

Razmotrimo karakter promena napona i struja u mreži i njihove vektorske dijagrame pri jednopolnom zemljospoju, uz pretpostavku da je mreža neopterećena.

U normalnim okolnostima, naponi između faza A, B, C i zemlje, jednaki su odgovarajućim faznim

Dragan Ristivojević, dipl. ing. el. Radovan Maksimović, dipl. ing. el.

– JP „EPS” PD Rudarski basen „Kolubara”, d.o.o. „Kolubara Površinski kopovi”, 11 350 Lazarevac, Svetog Save 1



Slika 1. Struje i naponi pri zemljospoju jedne faze u mrežama sa izolovanim zvezdištem

naponima $\underline{U}_A, \underline{U}_B, \underline{U}_C$, koji su, pak, jednaki elektromotornoj sili izvora $\underline{E}_A, \underline{E}_B$ i \underline{E}_C , pošto je mreža neopterećena. Vektori ovih faznih napona, obrazuju simetričnu zvezdu (slika 2.) a njihov zbir je jednak nuli, što znači da je napon neutralne tačke prema zemlji, praktično nula $-U_N = 0$. Pri faznim naponima, kroz kapacitivnosti faza prema zemlji C_A, C_B i C_C , protiču struje, koje imaju fazni pomak u odnosu na napon $\pi/2$, odnosno 90° i prednjače.

$$\underline{I}_A = \frac{\underline{U}_A}{-jX_A}; \underline{I}_B = \frac{\underline{U}_B}{-jX_B}; \underline{I}_C = \frac{\underline{U}_C}{-jX_C} \quad (1)$$

zbir kapacitivnih struja, koje protiču po fazama u normalnom režimu rada, jednak je nuli, pa zbog toga nema struje nulte komponente I_0 (slika 2).

$$I_0 = \frac{\underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C}{3} = 0 \quad (2)$$

1.1. Napon u mreži pri zemljospoju

Napon neutralne tačke u odnosu prema zemlji, jednak je naponu između tačaka K i N (slike 1 i 2), odnosno, negativnoj vrednosti elektromotorne sile faze u zemljospoju:

$$\underline{U} = \underline{U}_{KN} = -\underline{E}_A \quad (3)$$

Naponi zdravih faza B i C u odnosu na zemlju, dobijaju vrednost međufaznih napona.

Kao što se vidi sa slike 1. napon faze B prema zemlji, jednak je naponu između tačke B i K, $\underline{U}_C = \underline{U}_{CA}$.

Smatarajući da neutralna tačka ima prema zemlji napon \underline{U}_N , polazeći od prilika prikazanih na slici 1, može da se izrazi napon \underline{U}_B' , odnosno \underline{U}_C' , preko \underline{U}_N :

$$\underline{U}_B' = \underline{U}_N + \underline{E}_B; \underline{U}_C' = \underline{U}_N + \underline{E}_C \quad (4)$$

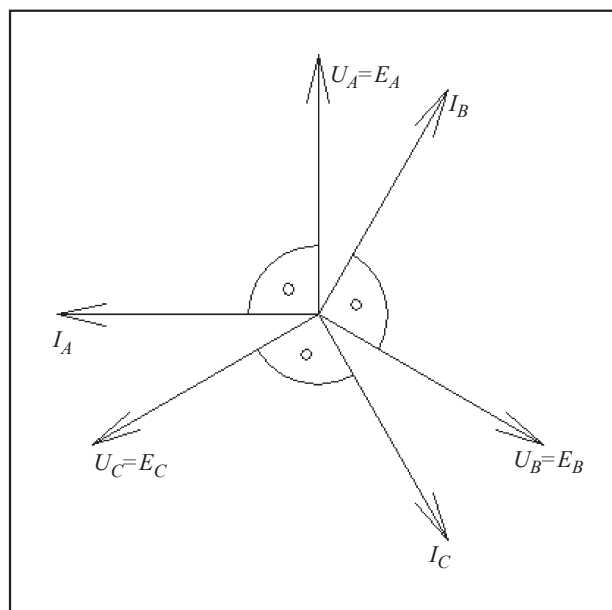
ili, uzimajući u obzir (3)

$$\underline{U}_B' = \underline{E}_A + \underline{E}_B = \underline{U}_{BA}; \underline{U}_C' = \underline{E}_A + \underline{E}_C = \underline{U}_{CA} \quad (5)$$

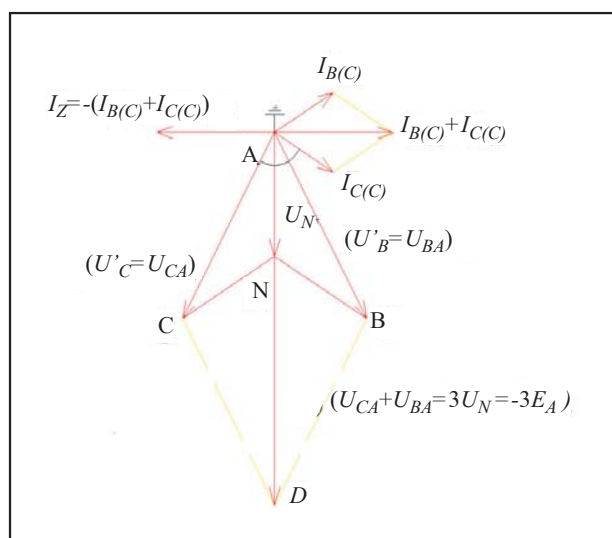
Međufazni naponi između faza, ostaju nepromenljivi što, takođe, sledi iz analize slika 1.

Na osnovu dobijenih izraza, nacrtan je vektorski dijagram, napona faza i neutralne tačke mreže u odnosu na zemlju ($\underline{U}_A', \underline{U}_B', \underline{U}_C'$ i \underline{U}_N' - slika 2.)

Na tom dijagramu, tačke A, B, i C predstavljaju faze, a tačka N neutralnu tačku izvora napajanja. Tačka A u spoju je sa zemljom i ima nulti potencijal.



Slika 2. Vektorski dijagram struja i napona u mreži sa izolovanim zvezdištem u normalnom režimu bez zemljospoju



Slika 3. Vektorski dijagram struja i napona u mreži sa izolovanim zvezdištem pri zemljospoju faze A

1.2. Zemljospojna zaštita

Kroz mesto zemljospoja k , protiču struje kapacitivnosti faza prema zemlji. Pošto je $\underline{U}_A = 0$, to je i $\underline{I}_{A(C)} = 0$. U dvema preostalim fazama, pri naponima \underline{U}_B i \underline{U}_C , nastaju struje, koje prednjače za 90° u odnosu na napone:

$$\underline{I}_{B(C)} = j \frac{U_{BA}}{x_C}; \underline{I}_{C(C)} = \frac{U_{CA}}{x_C} \quad (6)$$

Struja \underline{I}_Z kroz mesto kvara, jednaka je vektorskom zbiru kapacitivnih struja faza B i C, s tim što je suprotna po fazi, što se vidi sa slike 1:

$$\underline{I}_Z = -(\underline{I}_{B(C)} + \underline{I}_{C(C)}) \quad (7)$$

Uzimajući u obzir (6)

$$\underline{I}_Z = -j \left(\frac{U_{BA}}{x_C} + \frac{U_{CA}}{x_C} \right) \quad (8)$$

Iz dijagrama na slici 2, sledi da je $\underline{U}_{BA} + \underline{U}_{CA} = -3E_A$ tako da sledi:

$$\underline{I}_Z = \frac{j3E_A}{x_C} = j \frac{3U_f}{x_C} \quad (9)$$

Na taj način, struja \underline{I}_Z je jednaka poznatoj vrednosti normalne kapacitivne struje faze (utrostručenoj) $I_{cf} = \frac{U_f}{x_C}$

Sa slike 2, vidi se da struja \underline{I}_Z kasni u odnosu na napon U_n za 90° . Struja \underline{I}_Z zavisi od napona mreže i kapacitivnosti faza prema zemlji $\left(x_C = \frac{1}{\omega C} \right)$ i može se izraziti na sledeći način:

$$I_Z = 3I_{cf} = \frac{3U_f}{x_C} = 3U_f \omega \cdot C_l \cdot l \cdot 10^{-6}$$

gde je:

l -apsolutna dužina jedne fazne mreže;

C_l -kapacitivnost 1 km voda prema zemlji

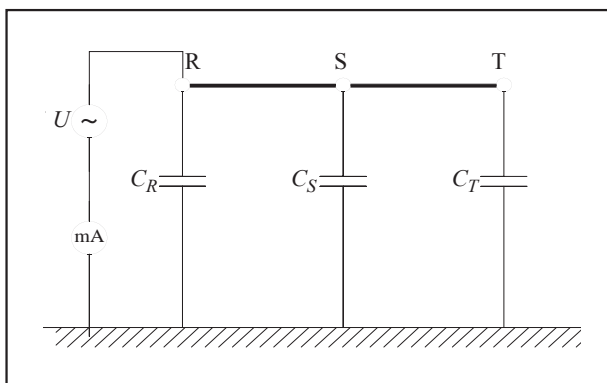
Inače kapacitivnost faza prema zemlji kod nadzemnih vodova, znatno je manja u odnosu na kablovsku mrežu, čak do pedesetak puta, u zavisnosti od preseka i konfiguracije.

Iz izloženog se jasno vidi od kolikog je značaja određivanje tačnih vrednosti dozemnih kapaciteta pojedinih faza kablova prema zemlji. Potrebna je potpuno precizna analiza celog konzuma, kako bi se na najcelishodniji način izbegao prelaz zemljospoja u višepolni kratki spoj, a takođe i eliminisale ekstremno visoke vrednosti prenaponskih talasa, koji su veoma karakteristični za izolovanu mrežu.

Smatra se da je npr. granična vrednost kapacitivnih struja za mrežu 6 kV oko 30 A, ali da ne bi smela biti ispod 10 A, zbog znatno povišenih vrednosti prenapona, čime se ugrožava kompletna izolacija sistema. U pojedinim prospektima, nedovoljno su razgraničeni pojmovi dozemnog i pogonskog kapaciteta, tako da je merenje na licu mesta i najpouzdaniji način provere, čime se eliminišu sve nedoumice.

Merenje dozemnih kapacitivnosti kablova može se ostvariti na dva načina.

Ukoliko nas ne interesuje stepen nesimetrije i različite vrednosti kapaciteta po fazama u odnosu na zemlju, već smatramo da procentualno odstupanje od srednje vrednosti nije toliko bitno merenje vršimo prema sledećoj šemi:



Slika 4. Šema merenja kapacitivnosti kablova

Struja zemljospoja može da se izračuna na sledeći način:

$I_Z = 3U_f \cdot \omega \cdot C_A$, gde je za npr. za mrežu 6 kV,

$$U_f = \frac{6000}{\sqrt{3}} V$$

Merenje predstavljeno na slici 4. je sasvim dovoljno izvršiti upotrebom autotransformatora, koji generiše napon od oko 200 V. Ukoliko je preko kablova priključeno određeno razvodno postrojenje, ili transformatorska stanica, u rezultat ulazi i kapacitivnost ovih objekata, a ne samo kablova.

Kapacitivnost primara TS 6/0,4 kV/kV je reda (2-3) nF po kilometru, u zavisnosti od preseka, tako da je uticaj samog objekta zanemarljiv. Često se dešava da postoji nesimetrija u pogledu vrednosti kapaciteta pojedinih faza prema zemlji, tako da je potrebno razdvojiti vrednosti i tačno ih poznavati.

Za proračun vrednosti struje zemljospoja uzeli smo najnepovoljniju i najkritičniju varijantu mada je u praksi odstupanje skoro nezatno.

U ovom slučaju merenje kapaciteta vršimo na sledeći način: Naponski izvor se preko miliampermetra priključuje između faze R i zemlje i omogućava merenje vrednosti kapaciteta C_R . Struja koja otiče preko međufaznih kapaciteta C_{RS} i C_{RT} se praktično ne meri, s obzirom da se ne zatvara preko miliampermetra, te tako ne utiče na rezultat.

Kapacitivnost C_S i C_T su paralelno vezane s miliampermetrom (čiji je unutrašnji otpor neznatan), te na taj način praktično premeštene i njihov uticaj sveden na minimum.

Faze S i T su premošćene da bi se izbegao trougao međufaznih kapacitivnosti, koji bi bilo jako teško razložiti. Ukoliko bi stavili još jedan most (između faza R i S) anulirali bi uticaj i merenog kapaciteta C_R , te bi nam na taj način eksperiment bio neuspešan.

$$\underline{Z}_R = \frac{U}{I}; \quad \frac{1}{\omega C_R} = \frac{U}{I}; \quad \underline{Z}_R = \frac{U}{I}; \quad \frac{1}{\omega C_R} = \frac{U}{I};$$

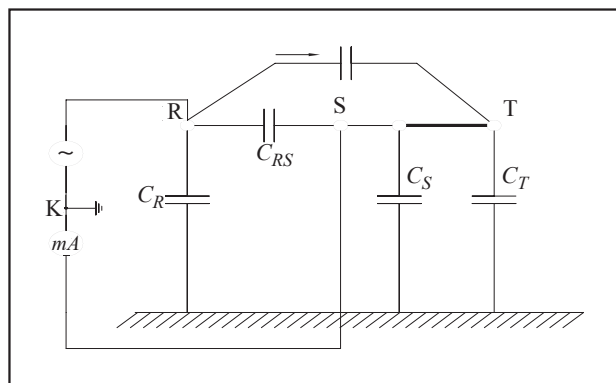
$$C_R = \frac{I}{2\pi U \cdot f}$$

Na isti način se merenje vrši na fazi S kao i na T, pa se rezultati uporede. obično postoji minimalno odstupanje u vrednostima kapaciteta, a za proračun struje I_z , upotrebljava se najkritičnija.

$$I_z = 3 \cdot Uf \cdot \omega \cdot C_R$$

Kao i na prvoj šemi, jasno je da je dovoljno ostvariti napon od 200 V na generatoru za uspešan eksperiment. Prilikom zadavanja napona, potrebni je obezbediti uslove sigurnosti duž cele trase kabla, kako se ne bi desilo, da bilo ko izgubi život.

Ukoliko u okviru merene deonice kabla figuriše i deo vazdušnog voda, mora da se vodi računa pri merenjima, ne samo da isti bude isključen, već i vazdušni vodovi koji su u blizini, kako bi se izbegla pojava indukovanih napona, što naravno, dovodi do pogrešnih rezultata u šta smo se kroz višegodišnju praksu potpuno uverili.



Slika 5. Šema merenja međusobne kapacitivnosti

Ukoliko je iz bilo kog razloga potrebno proveriti vrednost međufaznih kapaciteta, npr. kao proveru podataka o pogonskoj kapacitivnosti, koja je adekvatna zbiru faznog i trostruke vrednosti međufaznog kapaciteta, merenje se vrši na sledeći način.

Kapacitivnost faza S i T prema zemlji su ažurirane paralelnom vezom sa miliampermetrom, čija je unutrašnja otpornost zanemarljiva. Struje koje protiču kroz C_{RT} i C_{RS} sabiraju se u tački K i ne prolaze kroz merni instrument. Miliampermetar registruje struju koja protiče kroz kapacitivnost C_{RS} .

$$X_{CRS} = \frac{U}{I}; \quad \frac{1}{\omega C_{RS}} = \frac{U}{I}; \quad \omega C_{RS} = \frac{I}{U}; \quad C_{RS} = \frac{I}{\omega U}$$

$$C_{RS} = \frac{I}{2\pi f \cdot U}$$

Pogonski kapacitet je jednak:

$$C_{pog.} = C_{doz.} + 3C_{mf}$$

npr.

$$C_{pog.} = C_R + 3C_{RS}$$

Na isti način proveravamo vrednosti međufaznih kapacitivnosti C_{RT} i C_{ST} .

Za proces merenja na kablu, neophodno je izvršiti isključenje svih transformatora (npr. 6/0,4 kV/kV), da bi se izbeglo zatvaranje struje preko namotaja primara. Ovo nije bitno izvršiti pri merenju dozernih kapacitivnosti, ali je zato neophodno pri kontroli vrednosti međufaznih kapacitivnosti.

Podaci ove vrste, potrebni su radi sveobuhvatne analize prilika u električnoj mreži i izbegavanja mogućnosti nastanka tzv. ferorezonanse, kao posledice uzajamnog dejstva kapacitivnosti i nekontrolisanog porasta električnih veličina.

Kod kablova, vrednost međufaznog kapaciteta je dosta manja u odnosu na isti slučaj kod nadzemnih vodova, gde je $C_{med.}/C_{doz} \approx 2/3$. Poređenjem rezultata dobijenih električnim merenjem i kataloških vrednosti, utvrđuje se verodostojnost datih podataka i potvrđuje njihova tačnost.

Ipak, trebalo bi voditi računa o tome, da se kablovi na pojedinim izvodima međusobno ne prepliću, čime se izbegava eventualni induktivni uticaj i postižu adekvatni rezultati. Nekompenzovana struja zemljospoja I_z , iznosi za kablove s neradikalnim poljem C termoplastičima izolovani višezilni kablovi do 6 kV i pojasni kablovi do 20 kV):

$$I_z = \sqrt{3} \cdot 2\pi \cdot f \cdot C_{10} \cdot v \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,544 \cdot C_{10} \cdot U \cdot l(A)$$

za $f = 50$ Hz

Za kablove sa radijalnim poljem (električna zaštita oko svake žile posebno, olovni plašt oko svake žile posebno ili metalizirani sloj oko svake žile posebno) I_Z iznosi:

$$I_Z = \sqrt{3} \cdot 2\pi \cdot f \cdot C_p \cdot U \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,544 \cdot C_p \cdot U \cdot l (A)$$

za $f = 50$ Hz

gde je: f - frekvencija u Hz,

C_{10} - kapacitet jedne žile prema armaturi, ili olovnom plaštu $\mu F/km$;

C_p - pogonski kapacitet kabla u

U - nazivni napon (kV),

l - dužina kabla u km

Pogonski kapacitet simetričnih pojasnih kablova: $C_p = C_{10} + 3C_z$, gde je C_z - međusobni kapacitet dveju žila

Za kablove, koji imaju oko svake žile metalni plašt $C_p = C_{10}$

Kablovska mreža koja je priključena na simetrični trofazni sistem prima, nezavisno od opterećenja, kapacitivnu struju punjenja I_c .

$$I_c = \frac{2\pi f}{\sqrt{3}} \cdot C_p \cdot U \cdot l \cdot 10^{-3} = 0,181 C_p \cdot U \cdot l (A)$$

za $f = 50$ Hz

1.3. Kapacitet energetskih kablova

Tabela 1.

Kapacitet po fazi jednožilnih i trožilnih kablova s izolacijom od PVC, XPE, PE i etilen propilenom

Presek mm ²	PVC			XPE i PE			EP DM		
	6 kV 3-žilni	10 kV 6-žilni		10 kV 3-žilni	1-žilni 20 kV 35 kV		10 kV 3-žilni	1-žilni 20 kV 35 kV	
	C_{10}	C_p	C_p	C_p	C_p	C_p	C_p	C_p	C_p
16	μ/km po fazi pri $f=50$ Hz								
25	0,17	0,30	0,34	0,21			0,269		
35	0,18	0,32	0,38	0,23	0,16		0,297	0,21	
70	0,20	0,32	0,43	0,25	0,18	0,12	0,328	0,23	0,16
95	0,22	0,35	0,48	0,29	0,20	0,14	0,372	0,26	0,18
120	0,23	0,38	0,53	0,32	0,22	0,16	0,417	0,28	0,20
150	0,26	0,43	0,58	0,35	0,24	0,18	0,460	0,31	0,22
185	0,28	0,45	0,63	0,39	0,26	0,19	0,504	0,33	0,24
240	0,31	0,50	0,69	0,42	0,28	0,20	0,550	0,36	0,25
300	0,31	0,55	0,83	0,47	0,31	0,22	0,615	0,40	0,28
400				0,52	0,34	0,23	0,673	0,44	0,30
				0,57	0,36	0,25	0,744	0,47	0,32

Tabela 2.

Kapaciteti po fazi trožilnih pojasnih i N-kablova izolovanih impregniranim papirom

Presek mm ²	Kablovi s jednoslojnim plaštom						Trofazni i N kablovi $C_{10} = C_p$			
	6 kV		10 kV		20 kV		6 kV	10 kV	20 kV	35 kV
	C_{10}	C_p	C_{10}	C_p	C_{10}	C_p				
10	μ/km po fazi pri $f=50$ Hz									
	0,12	0,19	0,12	0,17			0,23	0,205		
16	0,14	0,22	0,13	0,20			0,27	0,240		
25	0,17	0,29	0,16	0,26	0,11	0,17	0,34	0,275	0,240	
35	0,19	0,33	0,17	0,29	0,12	0,18	0,38	0,315	0,265	0,210
50	0,22	0,385	0,20	0,35	0,13	0,20	0,44	0,375	0,300	0,240
70	0,25	0,44	0,22	0,38	0,15	0,24	0,50	0,430	0,335	0,265
95	0,26	0,47	0,25	0,43	0,17	0,26	0,57	0,580	0,370	0,295
120	0,31	0,55	0,26	0,46	0,18	0,29	0,63	0,530	0,405	0,320
150	0,33	0,58	0,31	0,54	0,19	0,31	0,69	0,590	0,445	0,345
185	0,36	0,66	0,32	0,56	0,21	0,33	0,76	0,635	0,480	0,370
240	0,40	0,71	0,37	0,67	0,23	0,37	0,86	0,715	0,530	0,410
300	0,41	0,74	0,39	0,69			0,95	0,790	0,580	0,450

2. ZAKLJUČAK

Merenjem dozemnih kapacitivnosti kablova stičemo kompletnu sliku o redu veličina, struje zemljospoja u mrežama sa izolovanim zvezdištem transformatora, što je od velikog značaja pri analizi pojava samogašenja električnog luka kao i prelaska zemljospoja u višepolni kvar.

Struju zemljospoja je moguće meriti i direktno preko strujnog transformatora mada se postavlja pitanje adekvatnog prenosa harmonijskih komponenti.

Postoji i rizik pojave višestrukih proboja na oslabljenim mestima pri simuliranju višestrukih zemljospoja (nastanak prenaponskih talasa usled intermitencije).

3. LITERATURA:

- [1] ZEMLJOSPOJI U MREŽAMA 35kV i 6kV, M. Fjodord
- [2] TEHNIČKI PRIRUČNIK „Rade Končar”

Rad je primljen u uredništvo 02. 11. 2006. godine



Dragan Ristivojević je rođen 22. 07. 1960. godine u Beogradu. Diplomirao na ETF-u u Beogradu septembra 1984. godine. Energetski odsek. Radi u RB „Kolubara” kao inženjer u Mernodijagnostičkoj grupi koja se bavi poslovima ispitivanja relejnih zaštita u TS 110/35 kV/kV, termovizijskim ispitivanjem sistema i merenjima u NN mreži kao i obradom podataka u cilju postavljanja dijagnostike na objektima.

Autor je više radova iz oblasti Energetike, Energetske elektronike, Kablova i Zaštita. Aktivno učestvuje na seminarima „JUKO-CIGRE”.



Radovan Maksimović je rođen 18. 06. 1959. godine u Ljigu. Diplomirao na ETF-u u Beogradu aprila 1983. godine Energetski odsek. Radi u RB „Kolubara” od 1983. godine kao: šef održavanja, vodeći projektant i glavni ing. el.

Autor je više prihvaćenih projekata iz oblasti Elektroenergetike u Rudnicima sa površinskom eksploatacijom.

Autor je više radova iz oblasti energetike i kablova .

Aktivno učestvuje na seminarima „JUKO-CIGRE” kao član studijskog komiteta B1.

Prikaz knjige

Zbornik rešenih problema iz distribucije i prodaje električne energije

autori:

Miladin Tanasković, Tomislav Bojković, Dragoslav Perić i Vladimir Šiljkut

Osnovna uloga elektrodistribucije je da električnu energiju, proizvedenu u elektranama ili preuzetu iz prenosne mreže, prenese do krajnjih korisnika (potrošača) vodovima nazivnog napona 1 kV, 10 kV, 20 kV, 35 kV i 110 kV, kao i pomoću transformatorskih stanica (TS) različitih prenosnih odnosa. Kako su na elektrodistributivnu mrežu direktno priključene i elektrane malih snaga, za elektrodistribuciju može da se kaže da je „elektroprivreda u malom”.

Najveće teškoće koje se javljaju pri rešavanju različitih problema vezanih za elektrodistributivnu mrežu proizlaze iz veoma velikog broja pojedinih elemenata te mreže. Na primer, elektrodistributivna mreža na konzumnom području Srbije se sastoji od preko 600 hiljada kilometara vodova pomenutih naponskih nivoa i preko 30 hiljada TS X/0,4 kV/kV. Zato racionalizacija tehničkih rešenja i tipizacija pojedinih elemenata mreže donosi značajne uštede elektroprivredi i društvu.

Ovaj Zbornik je prvenstveno namenjen studentima elektrotehnike, za rešavanje različitih problema iz oblasti distribucije i prodaje električne energije. Autori daju konkretne odgovore na stvarne probleme iz distributivne prakse, pa ovaj Zbornik može korisno da posluži i inženjerima koji se na različitim poslovima bave distribucijom električne energije (planiranje, projektovanje, gradnja, eksploatacija).

Autori su kroz šest poglavlja Zbornika pokušali da obuhvate celokupnu problematiku iz distribucije i prodaje električne energije. Zbornik je metodološki tako koncipiran da je na početku svakog poglavlja dat skraćeni teorijski pristup za rešavanje problema iz te oblasti. Kroz odgovor na postavljeni problem, preko rešenih primera i zadataka, čitalac se direktno upućuje na teorijske postavke koje su iskorišćene za rešavanje konkretnog problema.

Prvo poglavlje obuhvata teorijske postavke i rešene zadatke (primere) iz distribucije električne energije (proračun i prognoza vršne snage i aktivne električne energije, proračun dozvoljenih strujnih

opterećenja energetskih transformatora i elektrodistributivnih vodova).

Drugo poglavlje obuhvata teorijske postavke i rešene zadatke (primere) iz proračuna struje (snage) trolejnog kratkog spoja, proveru uslova za priključenje male elektrane na elektrodistributivnu mrežu, kao i za primenu relejne zaštite.

Treće poglavlje obuhvata teorijske postavke i rešene zadatke (primere) iz sistema uzemljenja transformatorskih stanica i nadzemnih vodova.

Četvrto poglavlje obuhvata teorijske postavke i rešene zadatke (primere) iz projektovanja elektrodistributivnih nadzemnih vodova (lančanica, ugibi, dozvoljeni razmaci provodnika, sile). Razvijen je i korisnički program za mehanički proračun nadzemnog voda, čije korišćenje je preduslov za rešavanje ovih zadataka.

Peto poglavlje obuhvata teorijske postavke i rešene zadatke iz pouzdanosti elektrodistributivnih mreža (pokazatelji pouzdanosti, prekidi napajanja).

Šesto poglavlje obuhvata teorijske postavke i rešene zadatke iz prodaje električne energije.

Podaci o knjizi:

„ZBORNİK REŠENIH PROBLEMA
IZ DISTRIBUCIJE I PRODAJE
ELEKTRIČNE ENERGIJE”

ISBN 86-86279-00-7

Autori: Miladin Tanasković, Tomislav Bojković, Dragoslav Perić i Vladimir Šiljkut

Recenzenti: Prof. dr. Jovan Nahman i Prof. dr. Dragan Tasić

Izdavač: Međunarodni akademski klub Beograd, Zmaj Jovina 13/1, Beograd

Tel.: 011/634-270; Fax: 011/26-222-65; GSM: 063/372-004, e-mail: office@Zakademsliklub.org.yu

Knjiga je obima 256 strana, tvrdo ukoričena.

Štampanje knjige omogućila je „Elektroprivreda Srbije” Beograd

Bezbednost i zdravlje pri radu na elektroenergetskim objektima sa osvrtom na evropske norme

autori: Ksenija Barac, dipl. ing. el. Luka Radića, dipl. ing. el.



Autori knjige (Ksenija Barac, danas u penziji i Luka Radić šef Službe u Sektoru za tehnički razvoj i istraživanje) su se više decenija bavili stručnim aktivnostima u oblasti bezbednosnih mera za zaštitu od električnog udara na elektroenergetskim objektima.

Recezentii knjige su:

Dr Zoran Radojević, dipl. ing. el. vanredni profesor na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu i Dr Josif Spirić, dipl. ing. el. direktor „Elektrodistribucije Leskovac”.

Autori su prišli izradi ove knjige na zahtev „Elektrodistribucije-Beograd”, sa ciljem da se uvažavanjem propisanih pravila pri radu na elektroenergetskim objektima smanji broj nezgoda i neželjenih posledica.

Poznato je da je oblast bezbednosti i zdravlja pri radu na elektroenergetskim objektima veoma postavljena u našoj stručnoj literaturi. Pravilnik o opštim merama zaštite na radu od opasnog dejstva električne struje u objektima namenjenim za rad, radnim prostorijama i na radilištima iz 1989. godine je zastareo i trebalo bi ga uskladiti sa evropskom normom EN 50110-1, iz 2004. godine. U knjizi su posebno prikazane neusaglašenosti ova dva dokumenta.

U knjizi su takođe prikazana nova tehnička rešenja postrojenja i opreme u elektroenergetskim objektima prvenstveno sa stanovišta bezbednosti i zdravlja ljudi. Tako su prikazane novine u upravljanju u TS 110/10 kV/kV primenom sistema mikroprocesorske integrisane zaštite i upravljanja, zatim srednjenaponski blok RMU (Ring Main Unit) sa najnovijim konstruktivnim rešenjem tropoložajne obrtne sklopke kao i konstrukcije rasklopnih aparata koji omogućavaju uvođenje automatizacije u srednjenaponsku nadzemnu mrežu, automatski prekidač (recloser) i odvajač (sectionalizer).

Posebna pažnja posvećena je zaštiti životne sredine, za koju svetska i domaća javnost pokazuju izuzetan interes. Rad elektroenergetskih objekata izvor je velikog broja štetnih dejstava i zagađenja životne sredine, od kojih su najizraženija elektromagnetna zračenja, vibracije, buka, požari, eksplozije ili emisije štetnih gasova. Sva ova neželjena dejstva po ljude i okolinu detaljno su obrađena u knjizi, date su dozvoljene granične vrednosti ovih uticaja i mere njihovog smanjenja. Ovakvim pristupom doprinosi se afirmaciji zahteva ekologije, odnosno zdravog životnog okruženja.

Primenjene su dalje odredbe novog Zakona o bezbednosti i zdravlju na radu, iz 2005. godine, kao npr. odredba kojom se uvodi periodična (pored ostalih) obuka radnika na radnim mestima sa povećanim rizikom od povreda.

Pojedine oblasti u knjizi date su sa širim osvrtom, počev od istorijata. Dati su potrebni proračuni

i tabelarni pregledi, kao i primeri iz prakse, zasnovani na iskustvu „Elektrodistribucije-Beograd”.

Materija u knjizi je razvrstana u pet delova. Knjiga ima 360 strana i ilustrovana je velikim brojem, tabela, dijagrama, fotografija i primera iz prakse, posebno EDB.

U prvom delu detaljno su obrađene oblasti koje se odnose na opasnosti od dejstva električne struje i zaštitu od njenih negativnih dejstava.

Dalji tekst (DEO II; III; IV i V) se odnosi na konkretne mere bezbednosti pri radu na elektroenergetskim objektima (postrojenjima, nadzemnim i podzemnim vodovima).

Radi jasnoće i jednostavnijeg pristupa, prikaz je u značajnoj meri dat analizom i komentarisanjem internih standarda EDB koji su u potpunosti usaglašeni sa Pravilnikom o opštim merama zaštite na radu od opasnog dejstva električne struje u objektima namenjenim za rad, radnim prostorijama i na radilištima iz 1989. godine, ali su i dodate one odredbe iz evropskih normi u meri u kojoj je dozvoljavao pomenuti Pravilnik.

Knjiga je namenjena elektroprivredi, a takođe i industriji, odnosno svima koji projektuju, grade, upravljaju i održavaju elektroenergetske objekte.

Pisana je lakim i razumljivim stilom, u osnovi jasna za nivo elektromontera, dok u pojedinim prikazima zahteva veće predznanje.

Posebno treba istaći da ova knjiga ima obrazovni karakter, a služi i kao priručnik za kompletno organizovanje i sprovođenje mera bezbednosti i zdravlja pri radu na elektroenergetskim objektima.

Autori žele da popularizacijom ove knjige među stručnim licima doprinesu smanjenju rizika od štetnog događaja, a samim tim i podizanju tehnološko i bezbednosno-sigurnosnog nivoa rada i većoj pouzdanosti elektroenergetskog sistema.

Knjiga košta 2700 dinara neto i može se naručiti na adresu: „Elektrodistribucija Beograd” Sektor za tehnički razvoj i istraživanje (za Luka Radića, dipl. inž. el.) 11 000 Beograd, Gospodar Jevremova 26-28, na faks: 011/2182-754 ili na elektronsku adresu: lukara@zedb.eps.co.yu.

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 ra-

da, 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.

Autor može dati predlog kategorizacije rada u skladu sa Uputstvom za uređivanje časopisa (originalni naučni rad, prethodno saopštenje, pregledni članak i stručni članak). Autor ne može istu ili sličnu verziju rada istovremeno ponuditi drugim časopisima radi objavljivanja.

Autor dostavlja rad u elektronskom obliku na disketi i na papiru, u tri primerka. Za elektronski oblik rada, preporučuje se autoru da koristi program za pisanje teksta Word i tip slova Times New Roman (font 12, a razmak 1,5).

Rad se šalje na adresu:

**ZAJEDNICA
JUGOSLOVENSKE
ELEKTROPRIVREDE**
Balkanska 13/II, 11000 Beograd



Elektroprivreda

Elektroprivreda

Ministarstvo elektroprivrede FNRJ

BILTEN

Biro-a za unapredjenje proizvodnje

God. I br. 1

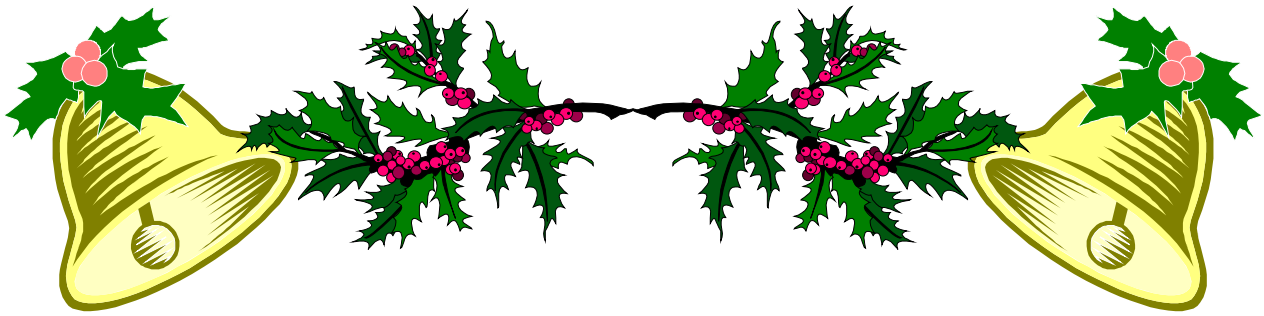
Izdavač: Ministarstvo elektroprivrede FNRJ – Biro za unapredjenje proizvodnje.

Uredjuje redakcioni odbor, odgovorni urednik: Ing. Herman Mates.

Uredništvo: Beograd, Bulevar Vojvode Misića 41, tel. 50-831, lok. 153.

Oktoibar 1948 god.

ELEKTROPRIVREDA



*Svim čitaocima i saradnicima
časopisa „Elektroprivreda”
Zajednica jugoslovenske elektroprivrede
želi srećnu i uspešnu 2007. godinu*

