

Marijan Lukač  
HEP – ODS d.o.o., Elektra Zagreb  
[Marijan.lukac@hep.hr](mailto:Marijan.lukac@hep.hr)

## POBOLJŠANJE SELEKTIVNOSTI RELEJNE ZAŠTITE 30 kV MREŽE ELEKTRE ZAGREB UGRADNJOM NUMERIČKIH RELEJA U 110/30 kV POSTROJENJA

### SAŽETAK

Relejna zaštita u 110/30 kV postrojenjima bila je uglavnom elektromehanička distantna i nadstrujna zaštita, a pogonsko iskustvo je pokazalo da je nedovoljno osjetljiva i selektivna za kratke spojeve i zemljospojeve na relativno kratkoj kabelskoj 30 kV SN mreži uzemljenoj preko maloomskog otpora. Također je u nekim postrojenjima ugrađena nadstrujna i zemljospojna statička zaštita, kojoj je nedostatak premali broj stupnjeva zaštite za postizanje dovoljne selektivnosti. Zbog starosti postrojenja i mreže kvarovi na 30 kV mreži su sve učestaliji.

Ugradnjom numeričke zaštite u neka 110/30 kV postrojenja pokušalo se postići ubrzanje djelovanja zaštite, posebno za bliske kratke spojeve, kako bi stara oprema što kraće bila izložena dinamičkim naprezanjima. Novom numeričkom zaštitom pokušava se također riješiti i problem neselektivnih isključenja transformatora zaštitom otpornika koje se u praksi događaju. Na 30 kV strani transformatori imaju zajedničke otpornike te postoji opasnost nastanka dvopolnog kvara sa zemljom, koji se zatvara preko oba transformatora.

**Ključne riječi:** 30 kV mreža, kratki spoj, selektivnost, numerička zaštita

## IMPROVED PROTECTION SELECTIVITY IN 30 kV NETWORK OF ELEKTRA ZAGREB BY INSTALLATION OF NUMERIC RELAYS IN 110/30 kV SUBSTATIONS

### SUMMARY

In 110/30 kV substations relay protection devices were mostly electromechanical distant and overcurrent. Experience has shown that this protection is insufficiently selective in case of short circuits and especially earth faults in relatively short 30 kV cables network that is grounded over low impedance. In some substations are implemented overcurrent and earthfault static protection devices that don't have enough protection stages to achieve proper selectivity. Old substations and equipment can also cause increased number of short circuits.

Implementation of numerical protection devices is expected to lead to faster operation of protection in cases of larger short circuit current in order to decrease consequence of dynamical stress to old equipment. With numerical protection devices we expect to solve some unselective tripping of transformers back up earthfault protection. In some 110/30 kV substations are both transformers on the 30 kV side grounded over same resistance. In this case two single phase earthfaults on different phases on each transformer can be considered as two phase fault with earth due to common connection of neutral points of transformers.

**Key words:** 30 kV network, short circuit, selectivity, numerical protection

2

[illegible]

### 3. RELEJNA ZAŠTITA POSTOJEĆE SN 30 KV MREŽE

Prva relejna zaštita 30 kV dijela SN mreže u postrojenjima iz kojih se mreža napajala bila je elektromehanička nadstrujna zaštita, koja s postepenim širenjem mreže nije bila dovoljno selektivna te je krajem 70-tih godina bila djelomično zamijenjena elektromehaničkom distantnom zaštitom za distribucijske mreže. Zatim je početkom 80-tih godina dio releja zamijenjen statičkim nadstrujnim relejima, a u 4TS 19 Jarun je nakon havarije u postrojenju ugrađena elektromehanička nadstrujna zaštita. U 30 kV dijelu ostalih distribucijskih postrojenja 30/10 kV uglavnom je ostala elektromehanička nadstrujna i zemljospojna zaštita, koja je samo djelomično bila usmjerena, pri čemu također releji zaštite u nekim poljima nisu imali vremensko zatezanje.

3

pouzdanosti i raspoloživosti došlo na kraju do kompletne rekonstrukcije 30 kV postrojenja u 4TS 30 Resnik, te zamjena djela relejne zaštite u 4TS 9 EL-TO, te kompletne zaštite u 4TS 19 Jarun. U posljednjih deset godina također je ugrađena numerička relejna zaštita u šest važnijih gradskih 30/10 kV transformatorskih postrojenja. Tijekom tih rekonstrukcija dodatno su usuglašena podešenja između relejnih zaštita na prijenosnom i distribucijskom dijelu postrojenja. Nova relejna zaštita je tako koncipirana da se može upotrijebiti u slučaju prijelaza na 20 kV napon.

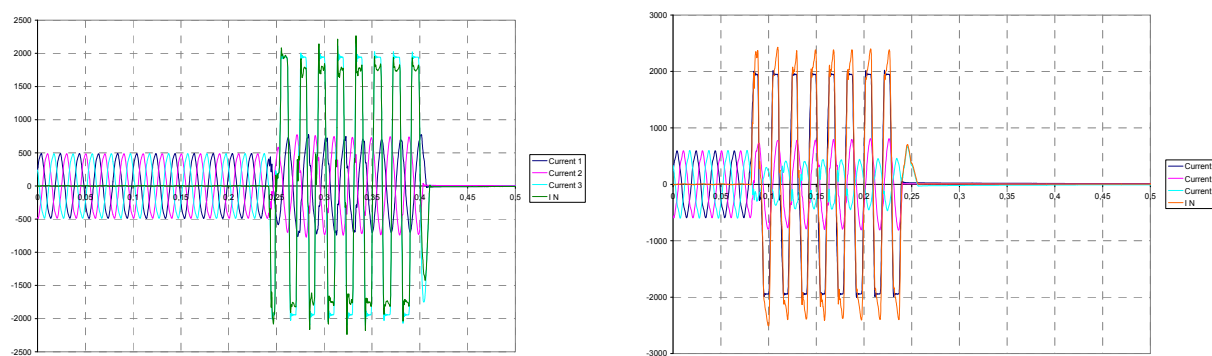
### 3.2. Osnovni problemi stare zaštite

U uvodnom dijelu već je spomenuto da su pojedina vodna polja opremljena starom elektromehaničkom nadstrujnom zaštitom koja ima samo jedan nadstrujni član, a također neki releji imaju usko ograničenu mogućnost vremenskog podešavanja ili uopće nemaju vrijeme za drugi nadstrujni član. Neka polja nemaju mogućnost usmjerenja nadstrujne zaštite, pa nije moguće postići selektivnost zaštite za neka izvanredna stanja mreže u slučajevima kvarova na nekom od kabela ili u slučaju održavanja pojedinih dijelova mreže.

U 4TS 9 EL-TO ugrađeni su distantni releji LI41 bez zasebnih usmjerenje zemljospojnih releja, a oni nisu bili dovoljno osjetljivi za jednopolne kvarove, jer su struje jednopolnih kvarova u paralelnim vodovima često bile premale, a posebno kada se kvar napajao od strane izvora u EL-TO-u čiji su transformatori na 30 kV uzemljeni otpornikom za ograničenje struje na 300A.

Transformatori koji napajaju 30 kV mrežu su stari pa je kratkospojna zaštita na njima vremenski nisko podešena kako bi se smanjile posljedice kratkih spojeva koji prelaze struju  $6 \times I_n$ . Nije se mogla postići selektivnost za bliske kratke spojeve, jer ti transformatori u dijelovima 30 kV mreže radijalno napajaju dvije do tri 30/10 kV trafostanice, pa bi bilo potrebno preveliko vrijeme kratkospojne zaštite u napojnoj trafostanici radi postizanja selektivnosti.

U slučaju transformatora sa zajedničkim otpornikom za uzemljenje neutralne točke, jednopolni kvar na mreži jednog transformatora može uzrokovati proboj druge faze na mreži drugog transformatora te će se zatvoriti dvopolni kvar preko zemlje i zajedničke neutralne točke. U praksi smo imali slučaj ispada oba transformatora u 4TS 30 Resnik, kada je prilikom građevinskih radova oštećen 30 kV kabel nakon čega je došlo do proboja na 30 kV kabelu koji se napajao preko drugog transformatora. Dogodio se dvopolni kvar preko zemlje, a transformatori su isključeni zaštitom od premoštenja otpornika. Struja kvara iznosila je oko 2.2 kA, a premoštenje otpornika bilo je podešeno na struju 1.5 kA uz vrijeme od 0.1 sek., (slika 3). U 4TS 19 Jarun i 4TS 28 TE-TO postoji treći transformator sa zasebnim otpornikom te se izbjegava istovremeni pogon transformatora sa zajedničkim uzemljenjem na 30 kV dijelu.



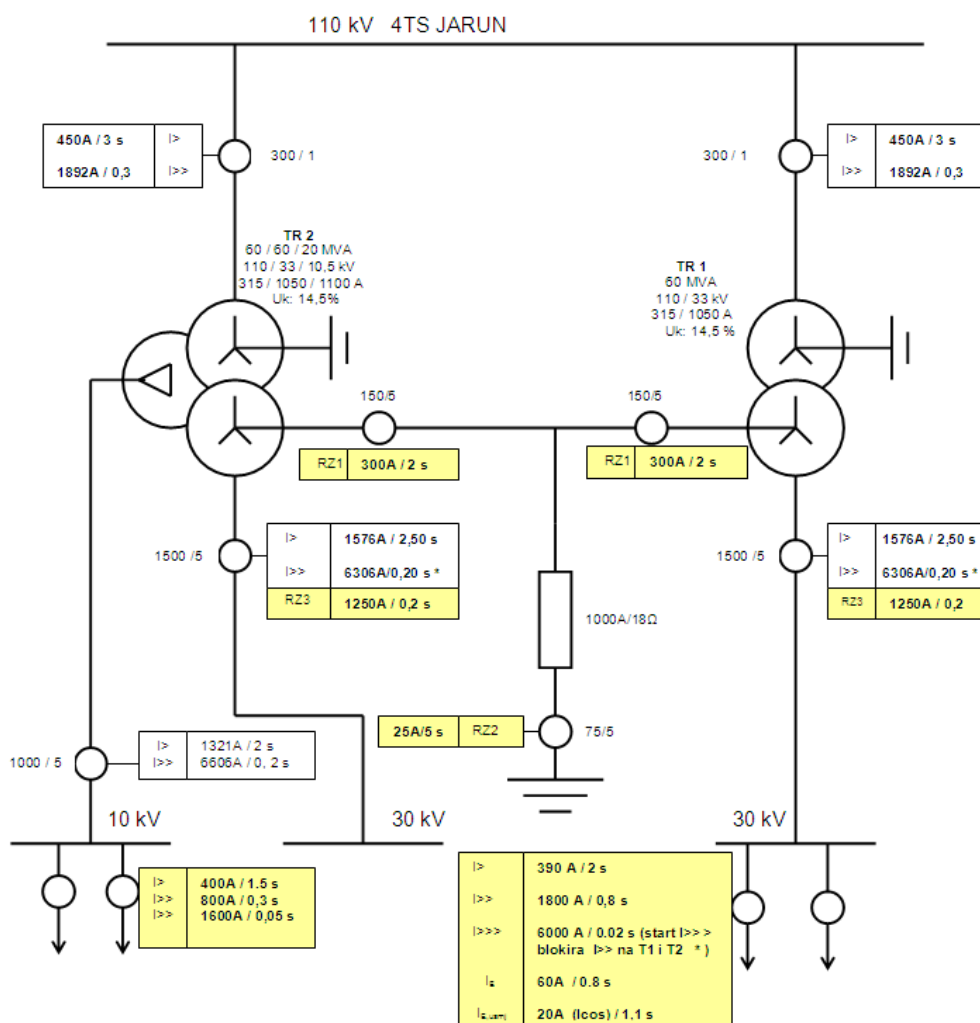
Slika 3. Primjer dvopolnog kvara sa zemljom preko dva transformatora sa zajedničkim uzemljenjem

Zbog paralelnog pogona kabela na 30 kV mreži događali su se neselektivni ispadi rezervnom zemljospojnom zaštitom na transformatoru u slučaju bliskog jednopolnog kvara. Ako je jednopolni kvar blizu napojnih sabirnica, skoro cijela struja kvara se zatvori kroz mjesto kvara i otpornik, a jako mali preostali dio prolazi kroz paralelni kabel prema mjestu kvara, pa oštećeni kabel selektivno može odvojiti samo strujno nisko podešena osjetljiva usmjerena zemljospojna zaštita. Tek nakon ispada oštećenog kabela sa strane napajanja, zatvara se puna struja kvara kroz paralelni kabel i zaštita ima dovoljno poticaja za start. Tako se vrijeme potpunog isklopa kvara produljuje i postoji opasnost od ispada transformatora s rezervnom zaštitom otpornika za uzemljenje.

Svi gore navedeni problemi, a ponekad i neusklađenost između podešenja na prijenosnim i distribucijskim dijelovima postrojenja, uzrokovali su neselektivne ispade dijelova 30 kV mreže. Obzirom na novonastale tržišne okolnosti i spori prelazak na 20 kV napon nužna su bila ulaganja u najkritičnije točke 30 kV mreže.

### 3.3. Ugradnja numeričke zaštite

Najviše problema sa neselektivnom zaštitom imali smo u 4TS 9 EL-TO gdje je postojalo obostrano napajanje, iz 4TS 19 Jarun te proizvodne jedinice iz 30 kV sabirnica EL-TO. Prilikom jednopolnih kvarova na kabelima koji su održavali vezu između tih dviju točaka dolazilo je do neselektivnih ispada dijelova 30 kV mreže. Nužno je bilo ugraditi numeričku zaštitu na paralelnim 30 kV kabelskim vodovima u 4TS 9 EL-TO s osjetljivim zemljospojnim članom koja će prepoznati kvarni vod i isključiti ga prilikom jednopolnog kvara. Ugradnjom numeričkih releja K-serije riješili smo taj problem. Prilikom rekonstrukcije 30 kV dijela postrojenja 4TS 30 Resnik izvršena je zamjena kompletne statičke relejne zaštite modernom numeričkom. Također na važnijim gradskim postrojenjima 30/10 kV kao npr. 3TS 11 Žitnjak I, 3TS 12 Žitnjak II, 3TS 1 Kršnjavoga, 3TS 8 Selska, 3TS 10 Sesvete, 3TS 6 Držićeva izvršena je zamjena u numeričku zaštitu. U zadnjem koraku ugrađena je numerička relejna zaštita na 30 kV dio postrojenja 4TS 19 Jarun. Prilikom ugradnje numeričkih zaštita u 110/30 kV postrojenja uvijek su podešenja usuglašavana s podešenjima transformatora koji su u vlasništvu HEP-OPS-a kako ne bi došlo do ispada zbog neusklađenosti podešenja relejne zaštite, a napravljeno je također kompletno usuglašavanje podešenja relejne zaštite na točkama razdvajanja prijenosnog i distribucijskog dijela. Zaštita je unaprijeđena aktiviranjem brzog trećeg člana koji reagira na bliske kvarove. U 4TS 19 Jarun su ugrađene blokade brzih kratkospojnih zaštita na transformatoru od strane vodnih polja kako bi se ubrzala prorada relejne zaštite i postigla veća selektivnost.



Slika 4. Plan podešenja relejne zaštite T1 i T2 u 4TS 19 Jarun nakon ugradnje numeričke zaštite

Obzirom da 30 kV mreža polako izumire, prilikom zamjene releja koristili smo se kvalitetnim usmjerenim nadstrujnim relejima, a nije se išlo na skupa rješenja sa uzdužnom diferencijalnom zaštitom. Ugradnja numeričke zaštite u praksi je postigla dobre rezultate, a obzirom da je zamjena u 4TS 19 Jarun završena prije nekoliko mjeseci, trebali bi ubuduće biti još bolji.

#### 4. POBOLJŠANJA SELEKTIVNOSTI POSTIGNUTA UGRADNJOM NUMERIČKE ZAŠTITE

##### 4.1. Poboljšanja selektivnosti za višepolne kvarove

Osnovno poboljšanje ugradnjom numeričkih zaštitnih releja je veći broj stupnjeva zaštite te mogućnost uspostavljanja blokada. Numerički releji omogućuju selektivniji rad zaštite u slučaju bliskih višepolnih kvarova te sabirničkih kvarova koji uključuju i kvarove uzrokovane ljudskim faktorom, kada relejna zaštita mora djelovati što je moguće brže.

Obzirom da se iz napojnih 30 kV postrojenja mogu napajati radialno po dubini više 30/10kV trafostanica, nemoguće je jednim vremenskim stupnjem kratkospojne nadstrujne zaštite vrijeme kratkog spoja u vodnom polju napojne 110/30 kV trafostanice svesti na vrijeme manje od 0.8 sekundi. Uvođenjem trećeg stupnja nadstrujne zaštite dodali smo stupanj koji će štititi vodno polje samo u slučaju bliskog kratkog spoja s vremenom manjim od vremena kratkog spoja na transformatoru (slika 4). Problem je bio kako ga točno podesiti jer on ne smije raditi za kvarove preko sabirnica prve napojene trafostanice u radialnom nizu. Za to smo koristili podatke iz studija o strujama kratkih spojeva 110/30 kV postrojenja, a zatim bi sami računali pomoću programa struje kratkih spojeva na 30 kV sabirnicama ostalih trafostanica 30/10 kV. Primjer izračuna za trafostanice napajane iz 4TS 30 Resnik dan je u tablici I. U praksi se pokazalo da su struje 3pks na sabirnicama 30 kV 10-15 % manje od izračunatih, što je povoljno za podešenja zaštite. Dodatno smo kod zamjene relejne zaštite u 4TS 19 Jarun izveli blokadu koja prilikom starta brzih kratkospojnih zaštita na vodnim poljima blokira vremenski član brze nadstrujne zaštite na 30 kV dijelu transformatora (vidi sliku 4), tako da se može ubrzati isklon transformatora u slučaju kvarova na sabirnicama 30 kV, dok je rezervna kratkospojna zaštita na 110 kV djelu. Općenito u kabelskoj mreži višepolni kvarovi su vrlo rijetki i uglavnom se radi o kvarovima na sabirnicama ili negdje u postrojenju. Višepolni kvar na samom kabelu moguć je samo u slučaju sporog rada ili zakazivanja zemljospojne zaštite. Dodatno se ugradnjom većeg broja usmjerenih releja povećala selektivnost i omogućeno je paralelno napajanje pojedinih 30/10 kV trafostanica, kao npr. 3TS 7 koja je povremeno zbog kabelskih kvarova između 4TS 9 EL-TO i 4TS 19 Jarun ispadala iz pogona.

Tablica I. Excel proračun struja 3pks na 30 kV sabirnicama napajanim iz 4TS30 Resnik

	Z voda	$1.1 \cdot U_n / \sqrt{3}$	3pks(kA)	2pks(kA)	pod(kA)/0.02s.
OKI	0,304	19,075	6,954364	6,002	7
Volovčica	1,216	19,075	5,275166	4,563	6
Dubrava	0,912	19,075	5,75936	4,982	6.5
Žitnjak	0,855	19,075	5,860215	5,069	6.5
Ružmarinka	1,558	19,075	4,819353	4,169	5.5
Sesvete	1,794	19,075	4,548164	3,934	5

##### 4.2. Poboljšanja prilikom jednopolnih kvarova

Uvođenjem numeričkih releja smanjuje se vjerojatnost ispada napojnih transformatora uslijed visokoomskih kvarova, jer se zemljospojne zaštite na vodnim poljima mogu podesiti na vrlo nisku watmetričku komponentu struje. Visokoomska zaštita vodnog polja poboljšava selektivnost posebno stoga jer je zaštita od visokoomskih kvarova u mreži zbog zajedničkog uzemljenja isključivala oba transformatora. Npr. u 4TS 30 Resnik je visokoomska zaštita vodnog polja podešena na 20 A watmetričke komponente struje, dok je visokoomska zaštita na transformatoru podešena na 20 A kroz otpornik koji ograničava struju jednopolnog kvara na 1000 A, tako da se onemogućava ispad transformatora zbog visokoomskih kvarova na mreži, a takvi kvarovi se ipak u praksi dešavaju. Ujedno će taj drugi, strujno nisko podešeni, stupanj usmjerene zemljospojne zaštite ubrzati isklon paralelnog kabela u slučaju bliskog zemljospoja, ako kabel u kvaru nema na drugom kraju ugrađenu zemljospojnu zaštitu koja će ga selektivno isključiti.

Ispad uslijed dvopolnog kvara sa zemljom preko dva transformatora sa zajedničkim uzemljenjem (primjer sa slike 3) mogao bi se spriječiti ako bi se premoštenje postavilo u dva vremenska stupnja gdje bi se razlikovali takvi dvopolni kvarovi, koji su manjeg intenziteta struje od stvarnih premoštenja otpornika. Numerički releji imaju više stupnjeva zemljospojne zaštite pa se s njima mogu bolje kombinirati podešenja za takve nestandardne kvarove. Struja prilikom ispada u 4TS 30 Resnik bila je 2 kA dok bi za stvarno premoštenje iznosila preko 5 kA. Kada bi se ugradio dodatni zemljospojni relej za premoštenje na 30 kV dijelu transformatora, mogao bi se prvi stupanj premoštenja vremenski zategnuti, a drugi stupanj postaviti sa minimalnim vremenom. Istovremeno, ne bi bio problem dodati stupanj zemljospojne zaštite na numeričkom releju vodnog polja podešen strujno kao prvi stupanj premoštenja, koji bi vremenski proradivao prije nego prvi stupanj na transformatoru. U slučaju dvopolnog kvara preko mreže ispali bi tada samo vodovi u kvaru. Ujedno se kratkospojna zaštita po potrebi može podesiti da radi samo za dvofazne i trofazne kvarove, a premoštenje na vodu se može blokirati startom nadstrujne i kratkospojne zaštite.

#### **4.3. Općenite prednosti postignute modernom numeričkom zaštitom**

Prilikom rekonstrukcije kompletnog 30 kV postrojenja u 4TS 30 Resnik, upotrebom modernih numeričkih zaštita nisu se morali instalirati uređaji za lokalno upravljanje, signalizaciju i mjerenja jer su sve te funkcije izvedene preko lokalne ploče releja. Ujedno se u postrojenju nalazi stanično računalo preko kojeg se također mogu izvoditi iste funkcije. Preko zaštitnih releja izvedene su također funkcije blokada za upravljanje aparatima u polju, a za te funkcije korištena su stanja aparata u polju, stanje prekidača u spojnem polju te podnaponska zaštita u polju.

Bitne prednosti postignute numeričkom zaštitom su mogućnost samonadzora releja koji nastanak kvara preko SCADA sustava dojavljuje odmah u centar, a u slučaju totalnog otkazivanja releja dolazi do nestanka slike u daljinskom centru što automatski upućuje na kvar releja. Također se nadzire ispravnost strujnih i naponskih sekundarnih krugova i u slučaju neke neispravnosti dolazi do daljinske signalizacije. Releji će dojaviti ako se dogodi kvar prekidača jer prati stanje prekidača te isklapanje nakon komandi s releja.

### **5. ZAKLJUČAK**

Distribucijska SN 30 kV mreža Elektre Zagreb još uvijek je važan dio u opskrbi grada Zagreba električnom energijom, no činjenica je da će prelaskom na 20 kV napon ona polako biti stavljana van upotrebe. Starost 30 kV mreže je 40-60 godina, a prije završetka njene izgradnje već je u svijetu počeo razvoj 20 kV mreža. Uslijed prelaska na direktnu transformaciju postepeno se zanemarivalo investiranje u 30 kV postrojenja, pa je bilo dosta neselektivnih ispada relejne zaštite.

Ipak zbog starosti opreme povećao se broj kvarova, te su se izvršile zamjene relejne zaštite u nekim važnim 30 kV postrojenjima. Prilikom zamjene zaštitnih releja korištena je usmjerena nadstrujna zaštita s funkcijama upravljanja i mjerenja. Upotreba numeričke zaštite povećala je selektivnost relejne zaštite u 30 kV mreži bez prevelikih ulaganja. Povećanim brojem zaštitnih funkcija postignuta je bolja osjetljivost i selektivnost po dubini mreže, te je omogućena selektivnost za više izvanrednih pogona mreže za vrijeme održavanja i kvarova na dijelovima mreže.

### **LITERATURA**

- [1] AREVA, MiCOM P139 Time-Overcurrent Protection and Control Unit, Technical Manual
- [2] SIEMENS, Multi-Functional Protective Relay with Local Control 7SJ 62/63/64, Technical Manual
- [3] AREVA, MiCOM P631/632/634 Transformer Differential Protection, Technical Manual
- [4] SIEMENS, Numerical Line and Motor Protection with Control Function SIPROTEC 7SJ531, Instruction Manual
- [5] AREVA, MiCOM P125/126/127 Technical Guide E
- [6] ABB, Multifunction Protection and Switchbay Control Unit REF542plus, Technical Manual
- [7] Davor Nevečerel, "Proračun kratkog spoja u mreži Hrvatske 2005. i 2010. godine", Institut za elektroprivredu i energetiku d.d., ožujak 1999