



Dragan Mučić, dipl. ing.
HEP – DP Elektrodalmacija Split, tehnička služba
Mr. sc. Ranko Goić, dipl. ing.
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje – Split

34-04

PRORAČUN I EKSPERIMENTALNA PROVJERA STRUJA KVARA U SREDNJENAPONSKOJ DISTRIBUTIVNOJ MREŽI OMIŠA KAO PODLOGA ZA UDEŠENJE NUMERIČKE ZAŠTITE

SAŽETAK

U ovom članku opisan je proračun trolejnog kratkog spoja, te struja zemljospoja 30 i 10 kV-tne distributivne mreže vezane za TS Omiš 30/10 kV. Proračun je napravljen programskim paketom TOKSwin, dok su rezultati proračuna eksperimentalno potvrđeni izmjerenim vrijednostima. Vrijednost struje trolejnog kratkog spoja provjerena je usporedbom s vrijednošću registriranom na numeričkom releju prilikom stvarnog kratkog spoja u trafostanici, dok su vrijednosti struja zemljospoja uspoređene s vrijednostima izmjerenim pri pokusu zemljospoja izvršenom radi provjere usmjerenosti zemljospojne zaštite na 10 kV-tnim izvodima. Rezultati proračuna i mjerene vrijednosti poslužile su za udešenje numeričke zaštite u trafostanici.

Ključne riječi: proračun struja kvara, distributivna mreža, numerička zaštita

CALCULATION AND EXPERIMENTAL CHECKING OF FAULT CURRENTS IN THE MEDIUM-VOLTAGE DISTRIBUTION NETWORK OF OMIŠ AS THE BASIS FOR TUNING OF NUMERICAL PROTECTION

ABSTRACT

This paper describes the calculation of three phase short circuit currents and single-phase earth fault currents for 30 and 10 kV distribution network connected to 30/10 kV TS Omiš. Calculations are performed by TOKSwin software and results are checked with measured values. Three phase short circuit currents are checked comparing with values registered on the numerical relay during the real short circuit in TS Omiš, and values of the earth fault currents are compared with experimental measurements performed for checking of direction validation of earth fault protection for 10 kV bays. The results of the calculations and measured values are used for tuning of numerical protection in substation.

Key words: calculation of the fault currents, distribution network, numerical protection

1. UVOD

Danas se pri rekonstrukcijama i izgradnji novih energetskih postrojenja redovito ugrađuje numerička zaštita. Da bi se maksimalno iskoristile brojne prednosti numeričke zaštite neophodno je poznavati vrijednosti kratkospojnih i dozemnih struja, te uvjete u mreži kao što je način napajanja štice objekta i način uzemljenja neutralne točke transformatora. Novi programski paketi na osobnim računalima za proračun kratkih i dozemnih spojeva sa kvalitetnom grafičkom podrškom i pripadajućom bazom podataka pomažu pri rješavanju ovog problema, tj. služe za proračun struja kvara, koji se u kombinaciji s mjenim veličinama mogu iskoristiti kao podloga za definiranje parametara zaštite.

Za potrebe rekonstrukcije TS 30/10 kV Omiš, u koju je ugrađena nova numerička zaštita, pomoću programskog paketa TOKSwin napravljen je proračun očekivanih struja zemljospoja, struja jednopolnih i trolnih kratkih spojeva. Ovaj proračun je poslužio kao podloga za udešenje numeričke zaštite. Nakon puštanja u pogon napravljena su pogonska mjera u cilju provjere točnosti rezultata proračuna odnosno udešenja zaštite.

2. NUMERIČKA ZAŠTITA

Koncepcija zaštite je prikazana u blok shemi zaštite na slici 1, a opisana je u daljnjem tekstu.

2.1. Zaštita 10 kV-tnih vodnih polja

Za zaštitu 10 kV-tnih vodova koriste se releji:

- KCEU 150 trofazni nadstrujni i osjetljivi usmjereni zemljospojni relej,
- KVTR 100 relej za automatski ponovni uklop (APU),

Za zemljospojnu zaštitu koristi se prvi stupanj ($t_{0>}$) i to usmjeren. Za nadstrujnu zaštitu koriste se sva tri stupnja ($t_{>}$, $t_{>>}$ i $t_{>>>}$). Prvi stupanj koristi se za zaštitu od preopterećenja voda. Strujno se udešava nešto iznad trajno dozvoljene struje voda, a može se koristiti vremenski ovisna (invers time) karakteristika. Drugi stupanj se može koristiti za zaštitu od kratkih spojeva na čitavoj dionici. Strujno se udešava na vrijednost veću od maksimalnih struja tereta, a djelovanje je zategnuto. Treći stupanj koristi se za zaštitu od bliskih kratkih spojeva. Strujno se udešava na vrijednost minimalne struje kvara na 10 kV-tnim sabirnicama, a djelovanje je trenutno.

2.2. Zaštita 10 kV-tne strane transformatora

Za zaštitu 10 kV-ne strane transformatora koristi se relej:

- KCEU 140 trofazni usmjereni nadstrujni i osjetljivi usmjereni zemljospojni relej,

Za zemljospojnu zaštitu koristi se prvi stupanj ($t_{0>}$) i to usmjeren prema transformatoru. Za nadstrujnu zaštitu koriste se dva stupnja ($t_{>}$, $t_{>>}$), i to neusmjeren. Prvi stupanj koristi se za zaštitu od preopterećenja transformatora. Strujno se udešava nešto iznad trajno dozvoljene struje transformatora. Drugi stupanj koristi se za zaštitu od kratkih spojeva na 10 kV-tnim sabirnicama, te kao rezervna zaštita od kvarova na 10 kV-tnim odvodima. Strujno se udešava na vrijednost veću od maksimalnih struja tereta, a djelovanje je usporeno za 200 ms.

Prorada isklopnog releja RL3 aktivira interni vremenski član t_{BF} koji nakon udešenog vremena (ako relej RL3 ne otpusti, što znači da prekidač nije isključio kvar) otpusti relej RL4 (startni član) i time dozvoli rad drugog stupnja nadstrujne zaštite 30 kV-tne strane transformatora.

2.3. Zaštita 30 kV-tne strane transformatora

Za zaštitu 30 kV-tne strane transformatora koriste se releji:

- KCGG 140 trofazni nadstrujni i zemljospojni relej
- KBCH 120 diferencijalni relej

Za zaštitu od jednopolnog kratkog spoja koristi se prvi stupanj ($t_{0>}$). Za nadstrujnu zaštitu koriste se sva tri stupnja ($t_{>}$, $t_{>>}$ i $t_{>>>}$). Prvi stupanj koristi se za zaštitu od preopterećenja transformatora. Strujno se udešava iznad trajno dozvoljene struje transformatora, a može se koristiti vremenski ovisna (invers time) karakteristika. Drugi stupanj se koristi za zaštitu od preopterećenja na transformatoru, te kao rezervna zaštita od kvarova na 10 kV-tnim sabirnicama i odvodima. Strujno se udešava na vrijednost veću od maksimalnih struja tereta, a djelovanje je usporeno za 200 ms. Treći stupanj koristi se za zaštitu od bliskih kratkih spojeva a djelovanje je trenutno.

Start prvog stupnja zemljospojne i nadstrujne zaštite aktivira relej RL4 kojim se blokira treći stupanj zemljospojne/nadstrujne zaštite 30 kV-tnog voda. Treći stupanj nadstrujne zaštite 30 kV-tnog voda je neusmjeren, a strujno je udešen tako da ne ugrožava rad voda, ali da vidi i minimalni kvar na 30 kV-tnim sabirnicama.

U slučaju kvara na trafo odvodu ili na 10 kV-tnom postrojenju ovaj će stupanj biti zablokiran startom prvog stupnja nadstrujne zaštite trafo odvoda, a za slučaj kvara na 30 kV-tnom postrojenju od višepolnih kvarova.

Relej diferencijalne zaštite transformatora koristi oba stupnja ($I_{d>}$, $I_{d>>}$). Prorade vlastitih zaštita transformatora (Bucholz i kontaktni termometar) dovode se na ulaze L0, L1, L2 i L3 kako bi se informacije o tim zaštitama mogle prenijeti u stanično računalo.

2.4. Zaštita 30 kV-tnih vodnih polja

Za zaštitu 30 kV-tnih vodnih polja koristi se relej:

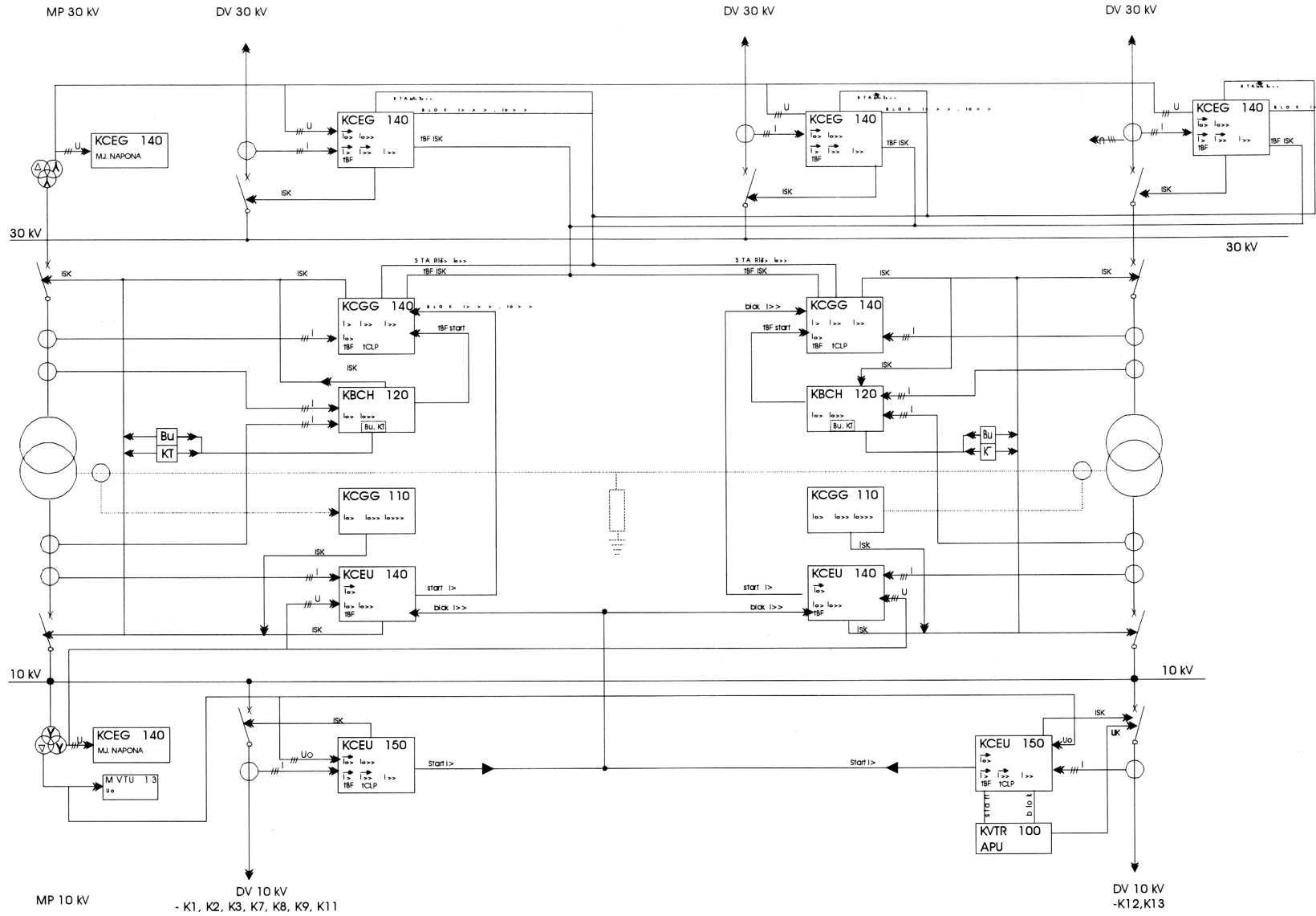
- KCEG 140 trofazni usmjereni nadstrujni i usmjereni zemljospojni relej

Za zaštitu od jednopolnog kratkog spoja koriste se prvi i treći stupanj ($t_{0>}$ i $t_{0>>>}$), prvi usmjeren prema vodu, a treći (u funkciji zaštite 30 kV-tnih sabirnica) neusmjeren. Za nadstrujnu zaštitu koriste se sva tri stupnja ($t_{>}$, $t_{>>}$ i $t_{>>>}$), prvi i drugi usmjereni prema vodu, a treći (u funkciji zaštite 30 kV-tnih sabirnica) neusmjeren. Prvi stupanj koristi se za zaštitu od preopterećenja voda. Strujno se udešava nešto iznad trajno dozvoljene struje voda, a može se koristiti vremenski ovisna (invers time) karakteristika. Drugi stupanj koristi se za zaštitu od kratkog spoja na čitavoj dionici. Strujno se udešava na vrijednost veću od maksimalnih struja tereta, a djelovanje je usporeno.

Treći stupanj zaštite od jednopolnog kratkog spoja i nadstrujne zaštite ima vremensku odgodu od 200 ms čime osigurava brzo čišćenje sabirničkog kvara (<300 ms s prekidačem). Ti treći stupnjevi blokiraju se startnim članovima "smjer naprijed" vlastitog releja (relejni izlaz RL4) i releja za zaštitu transformatora 30 kV-tne strane preko ulaza L4.

Na ulaz L5 dovodi se djelovanje zaštite od otkaza prekidača 30 kV-tne strane transformatora. Taj ulaz bez vremenskog zatezanja djeluje na izbacivanje prekidača. U slučaju kvara na vodu i zakazivanja prekidača relej će nakon vremena t_{BF} otpustiti startni relej i skinuti blokadu $I_{>>>}$ drugog vodnog polja. Tako će se lokalno spriječiti nastajanje kvara, ali kvar će ostati napajan s druge strane voda u kvaru, te ga mora očistiti zaštita na drugoj strani voda.

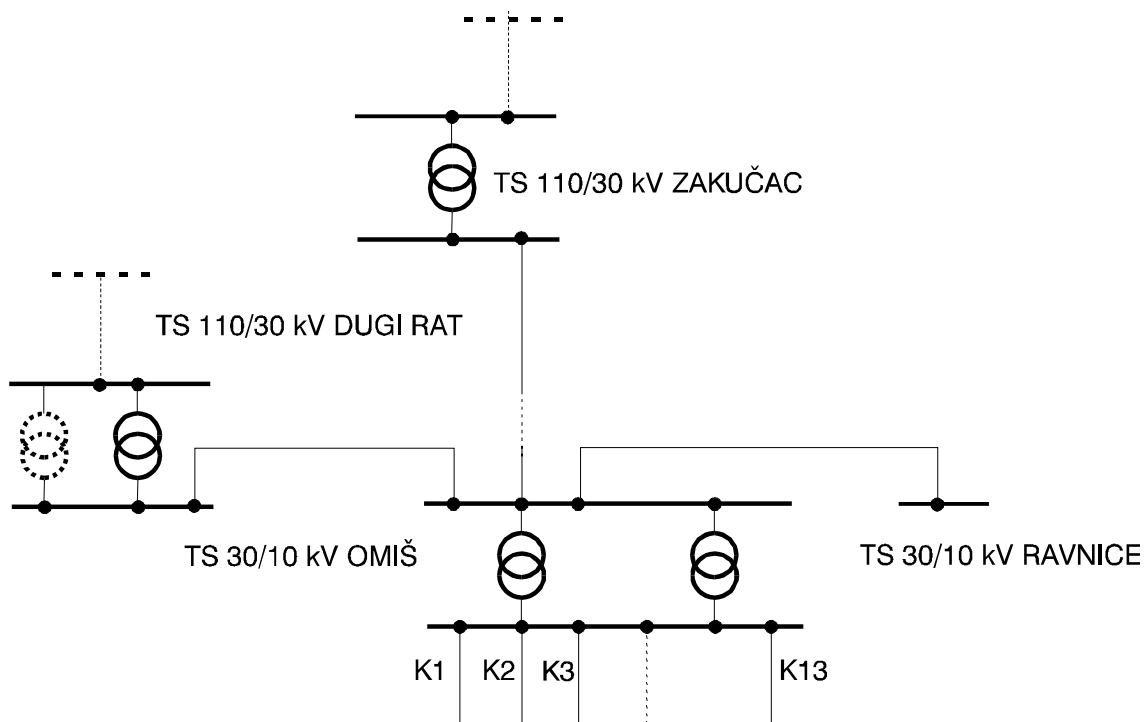
U slučaju ispada automata mjernog napona relej prelazi u drugu grupu udešenja, u kojoj radi neusmjereno a treći stupnjevi (zaštita sabirnica) su onemogućeni.



Slika 1: Blok shema zaštite TS Omiš

3. PRORAČUN I ANALIZA REZULTATA

30 kV-tni rasplet sastoji se od kablskih izvoda prema TS 110/30 kV Dugi Rat, HE Zakučac i TS 30/10 kV Ravnice, kao što je prikazano na slici 2. U normalnom uklopnom stanju TS 30/10 kV Omiš se napaja iz HE Zakučac i prosljeđuje energiju u TS 30/10 kV Ravnice. Rezervna varijanta je napajanje iz TS 110/30 kV Dugi Rat. 10 kV-tna mreža je radijalna i napaja se preko odgovarajućih 10 kV-tnih vodnih polja (K1, K2, ..., K13).



Slika 2: 30 kV-tna mreža

3.1. Proračun struja trofaznog kratkog spoja

Pri dimenzioniranju postrojenja u glavnom projektu za struju trofaznog kratkog spoja 30 kV-tnih sabirnica uzeta je vrijednost $I''_{K3}=12.5$ kA. Pomoću programskog paketa TOKSwin izračunata je maksimalna struja trofaznog kratkog spoja. Za ekvivalente 110 kV-tne mreže u Dugom Ratu i Zakučcu uzete su maksimalne vrijednosti, tj. vrijednosti dobivene proračunom trofaznog i jednofaznog kratkog spoja u prijenosnoj mreži pri maksimalnim snagama elektrana:

- TS Dugi Rat: $I_{K3}=13.49$ kA $I_{K1}=14.85$ kA
- HE Zakučac $I_{K3}=16.7$ kA $I_{K1}=20.15$ kA

Za najnepovoljniji slučaj odabrano je ukloпно stanje kada se TS 30/10 kV Omiš istovremeno napaja iz TS 110/30 Dugi Rat i iz HE Zakučac. Pri ovom uklopnom stanju proračunata maksimalna struja trofaznog kratkog spoja na 30 kV-tnim sabirnicama iznosi $I_{K3}=9.563$ kA, što je manje od glavnim projektom predviđene maksimalne struje, tj. ugrađena primarna oprema ispravno je dimenzionirana.

U glavnom projektu je za 10 kV-tne sabirnice određena maksimalna vrijednost struje trofaznog kratkog spoja $I''_{K3}=12.5$ kA. Proračunata vrijednost u najnepovoljnijem uklopnom stanju iznosi $I_{K3}=7.332$ kA tako da je i u ovom slučaju proračunata vrijednost manja od projektom predviđene vrijednosti, što potvrđuje da je ugrađena oprema ispravno dimenzionirana.

Struje minimalnog kratkog spoja za ekvivalente 110 kV mreže također su dobivene proračunom prijenosne mreže, u varijanti kad su sve bliske elektrane van pogona. Vrijednosti minimalnih struja kratkih spojeva na ekvivalentima iznose:

- TS Dugi Rat: $I_{K3}=9$ kA $I_{K1}=10.9$ kA
- HE Zakučac $I_{K3}=10.3$ kA $I_{K1}=13.4$ kA

Izračunate minimalne vrijednosti struja trolnih kratkih spojeva na krajevima pojedinih izvoda iznose:

- K2 Vodno polje Omiš $I_{K3}=3752.0$ A
- K3 Vodno polje Gata $I_{K3}= 314.3$ A
- K7 Vodno polje Galeb $I_{K3}=6789.0$ A
- K8 Vodno polje Duće $I_{K3}= 955.8$ A
- K9 Vodno polje Priko $I_{K3}= 5528.0$ A
- K11 Vodno polje Omial $I_{K3}=6359.0$ A
- K12 Vodno polje Tugare $I_{K3}= 282.0$ A

Poznavajući iznose minimalnih struja trolnog kratkog spoja, može se odrediti udešenje nadstrujne zaštite sa sigurnošću da će kvarovi na dugim dalekovodima biti selektivno otklonjeni. Pogonsko mjerenje struje trolnog kratkog spoja se u praksi ne provodi zbog velikih napreznja postrojenja. Međutim, numerička zaštita ima mogućnost da sačuva podatke o vrsti kvara, iznosima struja i napona, tako da su, umjesto mjerenja struja kratkog spoja, iskorišteni podaci s numeričkih releja koji su zabilježeni za vrijeme kvara.

Za vrijeme rekonstrukcije, zbog dinamike radova, uklopno stanje je bilo izmjenjeno u odnosu na normalno uklopno stanje. Umjesto energetskih transformatora 2x5.25 MVA korišten je jedan transformator nazivne snage 8 MVA. Pri tom uklopnom stanju dogodio se trolni kratki spoj na kućnom transformatoru. U pogonskom dnevniku je zabilježeno da je kućni transformator zbog radova na rekonstrukciji bio premješten iz svoje ćelije na plato u blizini zgrade trafostanice. Kućni trafo bio je provizorno spojen trožilnim kabelom XHP48A, dužine 30m. Numerički releji u ćelijama H2 i K4 koje predstavljaju nadstrujnu zaštitu u trafo polju 30 kV i trafo polju 10 kV selektivno su otklonili kvar i zabilježili slijedeće podatke o kvaru:

H2 TP TRAF0 1 (30 kV)

I> 12. Nov 1998

$I_a=1.566$ kA

$I_b=1.552$ kA

$I_c=1.539$ kA

$I_o=37.95$ A

K4 TP TRAF0 1 (10 kV)

I> 12. Nov 1998

$I_a=4.465$ kA

$I_b=4.428$ kA

$I_c=4.409$ kA

$I_o=22.96$ A

$V_{ab}=135$ V

$V_{bc}=176$ V

$V_{ac}=251$ V

$V_o=546$ V

Proračunom struja trolnog kratkog spoja na navedenom mjestu pomoću programskog paketa TOKSwin dobijeni su slijedeći rezultati:

Trafo polje br.1 30 kV H2 $I_a=I_b=I_c=1.552$ kA

Trafo polje br.1 10 kV K4 $I_a=I_b=I_c=4.435$ kA

$V_{ab}=V_{ac}=V_{bc}=141.3$ V

Dakle, može se zaključiti da se proračunate vrijednosti struja trolnog kratkog spoja gotovo u potpunosti slažu sa zabilježenim vrijednostima za vrijeme stvarnog kratkog spoja, pa se rezultati proračuna pri stvarnoj konfiguraciji mogu uzeti kao mjerodavni prilikom definiranja parametara numeričke zaštite.

3.2. Proračun struja jednopolnog kratkog spoja 30 kV-tne mreže

Zemljospojna zaštita tj. zaštita od jednopolnog kratkog spoja je određena uzemljenjem 30 kV-tne mreže pomoću malog otpora koji ograničava struju jednopolnog kratkog spoja na iznos manji od 300 A. Proračun jednopolnog kratkog spoja pomoću programskog paketa TOKSwin daje iznos struje jednopolnog kratkog spoja $I_{K1}=284.5A$, za slučaj da jednopolni kratki spoj nastane na 30 kV-tnim sabirnicama u TS 30/10 kV Omiš. Doprinosi kapacitivnih struja pojedinih 30 kV-tnih kabela su:

- KB Omiš - Ravnice - 13.86 A
- KB Omiš - Dugi Rat - 17.2 A
- KB Omiš - Zakučac - 5.9 A

S poznatim kapacitivnim strujama navedenih kabela može se odrediti udešenje zaštite od jednopolnog kratkog spoja. Struja prorade releja za zaštitu od jednopolnog kratkog spoja uzima se 20% veća od pripadajuće kapacitivne dozemne struje.

3.3. Proračun i mjerenje struja zemljospoja 10 kV-tne mreže

Nakon završene rekonstrukcije TS 30/10 kV Omiš i nakon proračuna s programskim paketom TOKSwin, napravljen je pokus zemnog spoja u samom postrojenju na 10 kV-nim sabirnicama, u svrhu mjerenja struje zemnog spoja i provjere usmjerenosti zemljospojne zaštite.

Pokus zemljospoja je napravljen na 10 kV sabirnicama tj. u čeliji K1 VP 10 kV Zakučac, koja je privremeno u funkciji rezervnog vodnog polja. Zemljospoj je napravljen 17. 12. 1998. u 11³⁰ h, po suhom i hladnom vremenu. Sam zemljospoj je napravljen na način da je jedan pol izlaznog rastavljača direktno uzemljen, dok je prekidač bio isključen. Nakon obavljenih pripremnih radova prekidač je uključen, tako da je 10 kV-tna mreža kratko vrijeme bila u režimu zemljospoja, kojeg je selektivno "očistila" zemljospojna zaštita.

Usmjerenost zemljospojne zaštite je potvrđena. Osim usmjerenosti zemljospojne zaštite pokus zemnog spoja je iskorišten i za mjerenje odgovarajućih struja zemljospoja. Iznosi struja zabilježeni su na pripadajućim numeričkim relejima K-serije KCEU 150.

Vrijednosti struja zemljospoja proračunate su i pomoću programskog paketa TOKSwin za svaki izvod. Struja zemljospoja, odnosno kapacitivna struja doprinosa cijele mreže iznosi 35.87 A. U Tablici 1 prikazani su usporedno rezultati mjerenja i proračunate vrijednosti.

Tablica 1: Izmjerene i izračunate struje zemljospoja po izvodima

	Proračun TOKSwin	Numerička zaštita KCEU 150
K2 Vodno polje Omiš	3.08	3.17
K3 Vodno polje Gata	4.4	3.3
K8 Vodno polje Duće	19.38	16.62
K9 Vodno polje Priko	2.86	2.74
K11 Vodno polje Omial	1.43	1.45
K12 Vodno polje Tugare	4.72	4.84
Σ	35.87	32.12

Iz gornjih podataka vidljivo je vrlo dobro slaganje rezultata proračuna sa izmjerenim vrijednostima. Bitnije odstupanje (15-25%) zabilježeno je kod vodnih polja Duće odnosno Gata. Najvjerojatniji uzrok ovih neslaganja bi trebala biti netočnost ulaznih parametara odnosno konfiguracije mreže prilikom proračuna, ali su moguće i određene pogreške pri mjerenju.

Pomoću proračunatih i izmjerenih rezultata, te poznavanjem 10 kV-tne mreže određeno je odgovarajuće udešenje usmjerene zemljospojne zaštite.

4. ZAKLJUČAK

Ugradnjom sve složenijih i kvalitetnijih uređaja numeričke zaštite, jača potreba za što preciznijim i točnijim podacima koji bi poslužili kao kvalitetna podloga za udešenje zaštite, a time i boljeg iskorištenja svih mogućnosti koje ona nudi.

U ovom radu je prikazan proračun struja kvara pomoću programskog paketa TOKSwin i usporedba s odgovarajućim vrijednostima dobivenim mjerenjem, odnosno zabilježenim na numeričkom releju za vrijeme stvarnog kratkog spoja u mreži. Proračun struja kvara napravljeni su za potrebe rekonstrukcije TS 30/10 kV Omiš, tj. kao podloga za udešenje numeričke zaštite i analizu režima rada neutralne točke 30 kV-tne i 10 kV-tne mreže.

Visok stupanj podudarnosti proračunatih sa izmjerenim vrijednostima ukazuje na opravdanost korištenja ovog programskog paketa i njemu sličnih kao podloge za definiranje parametara zaštite, ali i šire.

LITERATURA

- [1] Zaštita od kvarova mreža i postrojenja 35, 20 i 10 kV; Institut za elektroprivredu Zagreb, 1979
- [2] TOKSwin - upute za rad; FRACTAL d.o.o., Split, 1998.
- [3] M. Jurković, dipl. ing. : Projekt ormara zaštite TS 30/10 kV Omiš
- [4] H. Požar: " Visokonaponska rasklopna postrojenja ", Zagreb 1988
- [5] Podaci DP Elektrodalmacija Split,

PITANJA ZA DISKUSIJU

- Mogućnost koncipiranja i realizacije tehničke baze podataka sa pripadajućim tipskim parametrima lemenata mreže na nivou HEP-a
- Utjecaj pripreme ulaznih parametara na učinkovitost sustava numeričke zaštite
- Pouzdanost mjernih i računatih veličina struja kvara u distributivnoj mreži