



ICES
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija
Program: Elektroenergetika

**ZAŠČITA 20kV OMREŽJA IN VGRADNJA
PETERSENOVE RESONANČNE DUŠILKE
NA TR2 V RTP GORICA**

Mentor: mag. Jože Kragelj, univ. dipl. inž. el.
Lektorica: Polona Hadalin Baša, univ. dipl. slov.

Kandidat: Valentin Beltram

Nova Gorica, junij 2018

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju mag. Jožetu Kraglju, univ. dipl. inž. el., somentorjema Antonu Majcnu, univ. dipl. inž. e, in Francu Prepeluhu, univ. dipl. inž. el., za izjemno pomoč, nasvete in usmerjanje pri izdelavi diplomskega dela.

Zahvala gre tudi sodelavcem za pomoč in potrpežljivost. Velika zahvala gre g. Viku Bobku, univ. dipl. inž. el., in g. Andreju Černetu, univ. dipl. inž. el., za pomoč pri testiranjih in obdelavi podatkov, prav tako se zahvaljujem podjetju Elektro Primorska d.d., ki mi je omogočilo šolanje.

Zahvaljujem se tudi lektorici Poloni Hadalin Baša, ki je mojo diplomsko nalogo jezikovno pregledala.

IZJAVA

»Študent Valentin Beltram izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom mag. Jožeta Kraglja, univ. dipl. inž. el.«

»Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.«

Dne _____

Podpis: _____

POVZETEK

Predmet diplomskega dela je uvedba sodobnega načina ozemljitve nevtralne točke 20-kV omrežja na sekundarni strani transformatorja 110/20 kV. V delu je obravnavano SN-omrežje podjetja Elektro Primorska d.d. v RTP Gorica, kjer en transformator moči 20 MVA napaja pretežno podeželsko omrežje. Zvezdišče transformatorja je ozemljeno na sekundarni strani preko nizkoohmskega upora z omejitvijo toka na 150 A.

Distribucija spremlja kratkotrajne prekinitve napajanja porabnikov (kazalnik povprečne frekvence kratkotrajnih prekinitev napajanja *MAIFI*). Za izboljšanje statistike kratkotrajnih izpadov je ena izmed rešitev resonančna ozemljitev nevtralne točke s Petersenovo resonančno dušilko. Če bo izvedena resonančna ozemljitev nevtralne točke transformatorja, bodo rezultati merljivi.

Podan je izračun kapacitivnega toka za obravnavano omrežje pri enofaznem zemeljskem stiku.

Meritve pri enofaznem zemeljskem stiku so bile izvedene v dveh preizkusih: z ozemljeno nevtralno točko z vključenim uporom in izolirano nevtralno točko z izključenim uporom. Meritve so izvedene z numeričnimi terminali FPC 520 in REF 615. Rezultati preizkusov so registrirani tudi z instrumentom OMICRON.

Primerjava izmerjenih vrednosti z zaščitnimi terminali in instrumentom OMICRON ne kaže bistvenih odstopanj. Izmerjene vrednosti so skladne z izračunanimi vrednostmi kapacitivnega toka obravnavanega omrežja.

Podani so glavni parametri za dimenzioniranje velikosti – moči Petersenove resonančne dušilke.

KLJUČNE BESEDE

- Petersenova resonančna dušilka
- Enofazni zemeljski stik
- Kapacitivni tok
- Zaščitne naprave
- Ozemljitev nevtralne točke SN
- RONT

ABSTRACT

The subject of the thesis is the introduction of modern methods of grounding the neutral point of the 20 kV network on the secondary side of the 110/20 kV transformer. The diploma deals with the MV network of Elektro Primorska d.d. in RTP Gorica, where a predominantly rural network is powered by a power transformer of 20 MVA. The transformer's neutral point is grounded on the secondary side with a low-ohm resistor with a current limitation of 150 A.

The distribution company is monitoring short-term power supply interruptions (Momentary Average Interruption Frequency Index *MAIFI*). Possible solution to improve short-term failure statistics is a resonant grounding of the neutral transformer point with the Petersen coil. If the resonant grounding is performed, the results will be measurable.

The calculation of the capacitive current for the considered network in the case of single phase to ground fault is given.

Measurements for single phase to ground fault were performed in two tests: with a grounded neutral point with low-ohm resistor turned on and with an isolated neutral point with the resistor turned off. The measurements are implemented with the numerical terminals FPC 520 and REF 615. The results of the tests are also registered with the OMICRON instrument.

Comparison of measured values with terminals and the OMICRON instrument does not show any significant deviations. The measured values are consistent with the calculated values of the capacitive current of the network under consideration.

The main parameters for dimensioning the power of the Petersen resonant inductivity are given.

KEYWORDS

- Petersen resonant inductivity
- single phase ground fault
- capacitive current
- protective devices
- grounded neutral point MV
- RGNP

KAZALO

1	UVOD	1
1.1	PREDSTAVITEV PROBLEMA	1
1.2	NAMEN IN CILJI DELA	2
1.3	PREDSTAVITEV OKOLJA	2
1.4	PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE	3
1.5	METODE DELA	3
2	OSNOVE OBRATOVANJA 20-kV OMREŽJA	4
2.1	NAČINI OZEMLJEVANJA NEVTRALNE TOČKE	4
2.1.1	Vrste zemeljskih stikov	5
2.2	NAPETOST DOTIKA IN KORAKA	6
2.3	ZAŠČITNI RELE FPC 520	6
2.3.1	Funkcija zaščitnega releja	7
2.3.2	Sistem NEO 2000	7
2.4	STATISTIKA KRATKOTRAJNIH IZPADOV – MAIFI	8
3	IZRAČUN KAPACITIVNE KOMPONENTE ZEMELJSKOSTIČNEGA TOKA	9
3.1	IZRAČUN KAPACITIVNEGA ZEMELJSKOSTIČNEGA TOKA	9
3.1.1	Kapacitivnost faznega vodnika	10
3.2	JA 17 IZVOD ROŽNA DOLINA	12
3.2.1	Skupni kapacitivni tok izvoda JA 17	14
3.3	JA 18 IZVOD AJDOVŠČINA	14
3.3.1	Skupni kapacitivni tok izvoda JA18	16
3.4	JA 20 IZVOD GRGAR	17
3.4.1	Skupni kapacitivni tok izvoda JA 20	20
3.5	POVEZAVA MED TR2 IN 20-kV STIKALIŠČEM	20
3.6	SKUPNI KAPACITIVNI TOK ZA TR2	21
3.7	POPRAVEK IZRAČUNA	21
4	IZVEDBA PREIZKUSOV ENOFAZNEGA ZEMELJSKEGA STIKA	22
4.1	SHEMA OMREŽJA PRI IZVEDBI EZS	22
4.2	OPREMA CELICE JA 19 ZA ZAJEM PODATKOV	24
4.2.1	Zaščitni rele REF 615	24
4.2.2	Instrument OMICRON	24
4.3	PRIPRAVA 20-kV CELICE JA 19	27
4.4	PRIPRAVA 20-kV OMREŽJA	28
4.5	IZVEDBA MERITEV EZS NA TR2	28
5	OBDELAVA PODATKOV OSCIOGRAFIJE ENOFAZNEGA ZEMELJSKEGA STIKA	31
5.1	ZVEZDIŠČE 20 kV TR2, OZEMLJENO PREKO UPORA 80 Ω	31
5.1.1	Izvajanje kovinskega zemeljskega stika v fazi L3 na odvodu JA 19 rezerva 31	
5.1.2	Primerjava vrednosti med različnimi zaščitnimi releji	33
5.1.3	Izračun vrednosti kapacitivne komponente toka zemeljskega stika ...	34
5.2	ZVEZDIŠČE 20 kV TR2 IZOLIRANO	34
5.2.1	Izvajanje kovinskega zemeljskega stika na odvodu JA 19 (rezerva)..	35
5.3	PRIMERJAVA VREDNOSTI MED RAZLIČNIMI ZAŠČITNIMI TERMINALI IN INSTRUMENTOM OMICRON	38
5.3.1	Zvezdišče 20 kV, ozemljeno preko upora 80 Ω	38
5.3.2	Zvezdišče (izolirano)	39
6	PREDLOG IZVEDBE	41

7 ZAKLJUČEK	43
LITERATURA IN VIRI	45

KAZALO SLIK

Slika 1: RTP Gorica TR2	3
Slika 2: Potencialni lijak in prikaz napetosti dotika in koraka.....	6
Slika 3: Zaščitni rele FPC520 in LCD-prikazovalnik LDU 700	8
Slika 4: Geometrične razdalje.....	11
Slika 5: Shema omrežja pri izvedbi EZS	23
Slika 6: Zaščitni rele REF 615	24
Slika 7: Instrument OMICRON CMC 353.....	25
Slika 8: Merilna oprema EZS.....	25
Slika 9: Funkcionalna shema meritev	26
Slika 10:Enopolna shema celice.....	27
Slika 11: Kapacitivni tokovi pri EZS z vključenim uporom	29
Slika 12: Kapacitivni tokovi pri EZS z izključenim uporom	30
Slika 13: Napetosti pri EZS.....	32
Slika 14: Napetost odprtega trikotu $3U_0$ in fazni tokovi med trajanjem EZS.....	32
Slika 15: Tok zemeljskega stika, izmerjen preko objemnega kableskega transformatorja TK 840.....	33
Slika 17: Potek napetosti pri EZS, zvezdišče je izolirano	35
Slika 18: Potek napetosti na odprtem trikotu ($3U_0$) in tokov pri EZS; zvezdišče je izolirano.....	36
Slika 19: Prikaz toka EZS, merjenega preko objemnega transformatorja TK.....	36
Slika 20: Kazalčni diagram med in po okvari	37
Slika 21: Enočrtna shema RONT na TR2	42

KAZALO TABEL

Tabela 1: Statistika kratkotrajnih izpadov za obdobje petih let.....	9
Tabela 2: Dozemna kapacitivnost ($\mu\text{F}/\text{km}$) vodnikov v kablh z izolacijo iz zamreženega polietilena	10
Tabela 3: Tip kabla in dolžina voda	12
Tabela 4: Tip vodnika in dolžina voda	12
Tabela 5: Tip kabla in dolžina voda	14
Tabela 6: Tip vodnika in dolžina voda	15
Tabela 7: Tip kabla in dolžina voda	17
Tabela 8: Tip vodnika in dolžina voda	18
Tabela 9: Tip kabla in dolžina voda	20
Tabela 10: Skupne dolžine vodov in kapacitivni toki po izvodih	21
Tabela 11: Vrednosti fazorjev tokov in napetosti pri okvari; referenčna vrednost faznih zasukov je $3U_0$	33
Tabela 12: Vrednosti fazorjev tokov in napetosti pri okvari; referenčna vrednost faznih zasukov je $3U_0$ z izključenim uporom	37
Tabela 13: Zaščitni rele v celici JA 19 z vključenim uporom	38
Tabela 14:Zaščitni rele REF 615; zajem podatkov I_0 iz vseh štirih celic.....	39
Tabela 15: Instrument OMICRON z vključenim uporom	39
Tabela 16: Zaščitni rele v celici JA19 brez upora.....	40
Tabela 17: Zaščitni rele REF 615 zajema podatke vseh celic.....	40
Tabela 18: Instrument OMICRON z izključenim uporom.....	41

KRATICE IN AKRONIMI

TR2:	Transformator 2
APV:	Avtomatski ponovni vklop
HAPV:	Hitri avtomatski ponovni vklop
RTP:	Razdelilna transformatorska postaja
RP:	Razdelilna postaja
TP:	Transformatorska postaja
SN:	Srednja napetost
RONT:	Resonančno ozemljena nevtralna točka
FPC:	Naprava – numerični terminal zaščite in vodenja Iskra
REF:	Naprava – numerični terminal zaščite ABB
LDU:	Prikazovalnik električnih veličin
DCV:	Distribucijski center vodenja
DVPLM:	Daljinsko vodeno progovno ločilno mesto
MAIFI:	Trenutna povprečna prekinitev frekvence napajanja (Momentary-Average-Interruption-Frequency-Index)
EZS:	Enofazni zemeljski stik
IONT:	Indirektno ozemljena nevtralna točka
SIST EN:	Standard
ZES:	Zaščita elektroenergetskih sistemov

SEZNAM SIMBOLOV

P.....delovna moč [MVA]
Q.....jalova moč [MVA]
I.....tok [A]
U.....nazivna napetost [kV]
L.....dolžina voda [km]
f.....frekvenca [Hz]
C _zdozemna kapacitivnost [μ F/km]
R.....ohmska upornost [Ω]
Z.....impedanca [Ω]

1 UVOD

1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA

Sodobnega načina življenja si ne moremo predstavljati brez električne energije. Izpad električne energije v današnjem času postaja čedalje večji problem. Odjemalec električne energije pričakuje, da je energija na razpolago takrat, ko jo potrebuje in ima zanesljivo brezprekinitveno napajanje ter kakovostno napetost. Za zagotavljanje brezprekinitvenega napajanja se distribucije zavezujejo k standardom, ki narekujejo kakovostno oskrbo z električno energijo (Elektro Primorska, a.).

Zaradi razgibanosti terena v srednje napetostnih (SN) omrežjih Slovenije prevladujejo predvsem prostozračna omrežja. Ker so to nadzemni vodi, so tudi bolj izpostavljeni zunanjim vplivom okolice. Z vidika zahtev po kakovosti oskrbe z električno energijo predstavlja velik problem veliko število kratkotrajnih izpadov napajanja ob nastanku motenj na omrežju (strela, sneg, veter).

Vsa elektrodistribucijska podjetja v Sloveniji izdelujejo letna poročila o kakovosti električne energije. Po zabeleženih statistikah predstavlja kratkotrajni zemeljski stik okoli 70 % vseh izpadov. (Elektro Primorska, a.).

Oskrba mest ne predstavlja večjega problema, saj je večina omrežja zgrajenega s podzemnimi kabelskimi vodi, transformatorske postaje pa so zankasto napajane tako, da ima vsaka TP dvostransko napajanje. Pri teh omrežjih je vpliv okolja minimalen.

Za podeželje in okoliške hribe pa pogostejši izpadi slabo vplivajo na komunikacijo ter razvoj industrije, saj je celoten proces vezan na energijo. Že ob najkrajšem izpadu se nam neki delovni proces poruši, predvsem gre tu za prostozračna neizolirana omrežja (daljnovode). Razgibanost in poraščenost terena pa ima ob vremenskih neprilikah velik vpliv. Že ob najmanjšem dotiku veje – zemeljskega stika, pride do kratkotrajnega izpada, ki močno vpliva na kakovost dobave električne energije. Na vzrok nastanka zemeljskega stika ni mogoče vplivati, zato želimo zemeljske stike omiliti oziroma izločiti, še preden delujejo zaščitne naprave – tu pa preidemo na praktično rešitev težav z zemeljskim stikom, tako da zmanjšujemo kapacitivni tok skozi mesto okvare s pomočjo naprave RONT računalniško vodene in regulirane Petersenove tuljave.

Na zmanjševanje toka okvare EZS vplivajo: načini ozemljitve nevtralne točke, prehodna upornost na mestu okvare, ozemljitvene razmere v danem trenutku in oddaljenost okvare od izvora napajanja.

Za zmanjšanje števila kratkotrajnih izpadov je ena izmed rešitev resonančna ozemljitev nevtralne točke (RONT). Omogoča nam izboljšanje razmer glede prekinitve toka ob nastanku zemeljskega stika s popolno kompenzacijo kapacitivnega toka okvare. RONT deluje na principu avtomatske kompenzacije kapacitivnega toka omrežja z induktivnim tokom dušilke, priključene v zvezdišču nevtralne točke transformatorja. Z ustrezno stopnjo kompenzacije lahko kapacitivno komponento kvarnega toka popolnoma kompenziramo. Pri majhnem toku okvare zaščitne naprave ne reagirajo takoj, zato se njihov čas izklopa lahko podaljša. V resonančno ozemljenih omrežjih se na mestu okvare počasi vzpostavi povratna napetost, kar predstavlja

ugodne razmere za ugasnitev obloka, tako da je dovolj časa za deionizacijo na mestu okvare. To pomeni, da se na mestu okvare lahko vzpostavi izolacija, ki je bila pred okvaro, na primer del veje zgori ali pa se zrak regenerira in postane neprevoden. Če je tip okvare trajnega značaja, potem se paralelno k resonančni dušilki priklopi upor 80Ω in sistem obratovanja preide na nizkoohmsko ozemljeno nevtralno točko.

1.2 NAMEN IN CILJI DELA

Obravnavana uvedba Petersenove dušilke kot modifikacija obratovanja nevtralne točke 20-kV omrežja za TR2 v RTP Gorica, bo utemeljena s statističnimi podatki pojavov zemeljskega stika in obratovanja SN-omrežja.

Zaradi prehodnih ali bežnih okvar – uspešni APV – se pričakuje zmanjšanje števila dosedanjih kratkotrajnih izpadov (0,3 s).

Zaradi doseganja kakovostnejše oskrbe z električno energijo in z namenom zmanjšanja števila definitivnih izpadov, je smiselno preučiti uvedbo sodobnega načina ozemljevanja nevtralne točke v SN 20-kV omrežju. Uvedba resonančne Petersenove dušilke je v slovenski praksi že poznana in uveljavljena rešitev.

V diplomskem delu bodo predstavljene teoretske osnove razmer ob nastanku enofaznega zemeljskega stika.

Cilj diplomskega dela je izbrati najprimernejši del omrežja, izračunati kapacitivni tok, izvesti kontrolni primarni preizkus in pripraviti projektna izhodišča za vgradnjo resonančne dušilke (RONT). Opredelili bi se na izračun kapacitivnih tokov in izvedbo zemeljskega stika, s katerim bi izmerili realno stanje. S tem bi dobili točne rezultate, kakšna resonančna dušilka je za to SN-omrežje najbolj primerna.

1.3 PREDSTAVITEV OKOLJA

Podjetje Elektro Primorska d.d., se ukvarja z distribucijo električne energije, razpolaga z območjem celotne Primorske in delom Notranjske. Deli se na štiri distribucijske enote: Koper, Sežana, Tolmin in Nova Gorica.

Diplomsko delo se nanaša predvsem na določen del okolja, in sicer gre za razdelilno transformatorsko postajo (RTP) Gorica, TR2 z delom omrežja, ki napaja podeželje. Energetski transformator TR2 moči 20 MVA, 110/21 kV, stik YNyn6 d5, uk 12,83 %, proizvod Rade Končar je ozemljen na 20-kV strani v zvezdišču transformatorja preko nizkoohmskega upora 80Ω in tokom 150 A, predstavljen na sliki 1.



Slika 1: RTP Gorica TR2
(Lastni vir)

1.4 PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE

Predpostavljamo, da bo izvedba projekta pripomogla k zmanjševanju števila izpadov in posledično k izboljšanju oskrbe s kakovostno oskrbo z električno energijo.

Upoštevati je treba vse vrste omrežij: kabelsko, prostozračno in mešano kakor tudi vezne skupine transformatorjev in upor v zvezdišču transformatorja SN-omrežja, ki je povezan z zemljo in služi kot omejitev primarnih zemeljskostičnih tokov na 150 A.

Omejitve pri nalogi so predvsem pri primarni izvedbi in testiranjih zemeljskega stika, saj je stikališče v obratovanju in je treba upoštevati varnostna navodila ter napisati delovni program za izvedbo enopolnega zemeljskega stika.

1.5 METODE DELA

Raziskava osnovnih parametrov za določitev RONT je potekala glede na pripravo preizkusov za izbrano vrsto in dolžino omrežja, sledil je izračun ter meritve, ki bi potrdile naš izračun. Pri pripravah in izvedbi preizkusov so sodelovali strokovnjaki iz podjetja Elektro Primorska d.d.

Za izvedbo testiranja je treba predhodno pripraviti delovni program, delovni nalog in dovoljenje za delo v skladu s postopki varnostnih pravil podjetja.

Cilj naloge je bil z izračunom in meritvami dobiti optimalne rezultate glede izbire pravega tipa Petersenove resonančne dušilke. Najprej teoretični izračun za kapacitivne tokove omrežja, v katerem bo vgrajena dušilka, nato pa meritve zemeljskega stika. Test se je izvajal v stikališču RTP, zato je bila na prvem mestu varnost. Območje je zajemalo niz zbiralnic 20 kV, ki jih napaja TR2, in izvode JA17, JA18, JA19, JA20. Izvod JA19 je rezervna celica, tu smo izvajali meritve zemeljskega stika. Celica je opremljena z obstoječim zaščitnim relejem (FPC 520), zaporedno smo dodali še dodatne zaščitne releje (REF 615), s katerim smo posneli oscilografijo, ter instrument OMICRON, vključen za kontrolo točnosti meritev zaščitnih relejev.

2 OSNOVE OBRATOVANJA 20-KV OMREŽJA

2.1 NAČINI OZEMLJEVANJA NEVTRALNE TOČKE

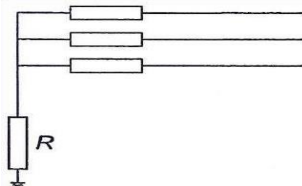
Osnovni namen ozemljevanja električnih naprav je zagotavljanje varnosti ljudi in električnih naprav. Vrsta ozemljevanja nevtralne točke vpliva na obnašanje obravnavanega sistema. V normalnem obratovalnem stanju določa način tretiranja nevtralne točke, predvsem stopnjo nesimetrije faznih napetosti, medtem ko v času okvare določa velikost zemeljskostičnega toka prehodnih prenapetosti.

V splošnem je nevtralna točka ozemljena preko neke impendence. Ta je najnižja v direktno ozemljenem omrežju, kjer med nevtralno točko transformatorja in zemljo ni nobene impendence, najvišja pa je v omrežju z izolirano nevtralno točko, kjer predstavljajo električno povezavo nevtralne točke z zemljo le dozemne kapacitivnosti. Poglavitni načini ozemljitve nevtralne točke lahko pri SN-nadzemnih ali mešanih omrežjih ozemljimo na naslednje načine:

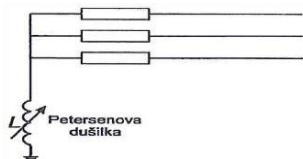
- Izolirana-nevtralna-točka



- Indirektna ozemljitev nevtralne točke preko delovnega upora



- Resonančna ozemljitev nevtralne točke preko Petersenove dušilke



Obstajajo pa še izpeljanke osnovnih tretiranj nevtralne točke:

- IONT – paralelno vezan upor in dušilka z odcepi;
- IONT – paralelno vezan delavni upor in shunt stikalom SN-zbiralkah;
- IONT – preko paralelno vezanega delovnega upora in dušilke z odcepi s shunt stikalom na SN-zbiralkah;
- RONT – Petersenova dušilka z možnostjo preklopa na IONT preko paralelno vezanega delovnega upora, možna je tudi varianta, ki ima vzporedno vezano še fiksno dušilko;
- RONT – Petersenova dušilka z vgrajenim uporom na sekundarnem navitju Petersenove dušilke;
- RONT – Petersenova dušilka s kompenzacijo preostalega delovnega toka (Vidmar, 2010).

2.1.1 Vrste zemeljskih stikov

Napake na podzemnih in nadzemnih omrežjih so neizogibne. Izvedba takega omrežja, da napak ne bi bilo, ni možna. Okvare se lahko pojavijo zaradi več možnih vzrokov (Vidmar, 2010):

- neugodno vreme,
- napake na opremi,
- poraščenost terena (dotiki dreves) in živali,
- gradbena dela.

Nastale okvare lahko povzročijo škodo na opremi in s tem škodo distribuciji ter odjemalcem, poleg tega pa predstavljajo tudi nevarnost ljudi in osebje. Zaščitni sistemi zagotavljajo odkrivanje in odpravo napake ter minimizirajo vpliv napake na distribucijsko omrežje.

V mešanih indirektno ozemljenih SN-omrežjih predstavljajo zemeljski stiki 60 % okvar, vse druge okvare pa skupaj 40 %. Statistični podatki distribucijskih omrežij glede na čas trajanja okvare (Vidmar: 2010):

- prehodne okvare (od 0 do 0,3 s),
- kratkotrajne okvare (0,3 s) od 60 % do 80 %,
- poltrajne okvare (1 s) do 15 %,
- trajne okvare do 15 %.

Najpogostejše so kratkotrajne okvare, ki jih povzroči neugodno vreme in z njim povezani pojavi – dotiki vej (Vidmar, 2010).

2.2 NAPETOST DOTIKA IN KORAKA

V času EZS se zaradi toka, ki teče preko ozemljila v zemljo, dvigne potencial ozemljitvenega sistema in vseh z njim galvanjsko povezanih delov. Merili za stopnjo nevarnosti, ki jo povzroči EZS v nekem elektroenergetskem objektu in njegovi okolici, sta napetost dotika ter koraka. Napetost dotika je sicer definirana kot del napetosti ozemljila, ki jo lahko človek premosti, napetost koraka pa kot del napetosti ozemljila, ki jo lahko človek premosti z 1 meter dolgim korakom (Vidmar 2010).



Slika 2: Potencialni lijak in prikaz napetosti dotika in koraka
(Vir: Elektroinštitut Milan Vidmar, 2010)

Problematika ozemljitve transformatorskih postaj je neposredno vezana na način ozemljitve SN nevtralne točke, saj z načinom ozemljitve in nastavitvijo vgrajenih zaščitnih naprav neposredno vplivamo na velikost ter trajanje enofaznega zemeljskega stika.

Ozemljitev mora biti dimenzionirana tako, da ne pride do preseganja najvišje dopustne napetosti dotika in koraka. Ti dve mejni vrednosti sta časovno odvisni veličini, kar pomeni, da hitreje, ko bo prišlo do odklopa enofaznega zemeljskega stika, višja je dopustna napetost dotika in koraka. Pravilnik, ki določa krivuljo dopustne napetosti dotika po standardu SIST EN 50522:2011 (nadomešča SIST HD 637 S1) (Vidmar, 2010).

2.3 ZAŠČITNI RELE FPC 520

V RTP so na sekundarni strani vgrajene zaščitne releje FPC 520 podjetja Iskra Sistemi, ki je sestavni del sistema NEO 2000. Naprava je namenjena zaščiti in vodenju distribucijskih elektroenergetskih omrežij (Kočnik, Bizjak in Cimerman 1996). Naprava ima zaščitne funkcije ter funkcije daljinskega in lokalnega vodenja naprav. Naprava se uporablja v:

- direktno ozemljenih omrežjih,
- preko upora ozemljenih omrežij,
- preko Petersenove tuljave,
- izoliranih omrežjih.

Sistem NEO 2000 tvori komunikacijski računalnik SCU810, ki je z napravami v RTP povezan preko optičnih vlaken. Podatke naprej posreduje postajnemu računalniku ali v DCV.

FPC-naprava je vgrajena v omari celice čim bliže izvodu meritev. Na prednji plošči omare imamo LCD-prikazovalnik tipa LDU 700, ki ima funkcije lokalnega krmiljenja naprave. Parametriranje in nastavljanje naprave je možno s posebnim programom na osebem računalniku na samem mestu ali daljinsko (Kočnik, Bizjak in Cimerman 1996).

2.3.1 Funkcija zaščitnega releja

Naprava je namenjena ščitenju vodov radialnih omrežij, ki so ozemljeni preko upora in kjer pride lahko do visokohmskega zemeljskega stika, ter ščitenju vodov, ki so ozemljeni direktno (Kočnik, Bizjak in Cimerman 1996).

Zaščite, ki so aktivirane v RTP, so (Kočnik, Bizjak in Cimerman 1996) :

- nadtokovna zaščita,
- kratkostična zaščita,
- pretokovna zemeljskostična zaščita,
- smerna zemeljskostična zaščita,
- podfrekvenčna zaščita,
- APV.

2.3.2 Sistem NEO 2000

Sistem NEO 2000 je namenjen zaščiti in vodenju distribucijskih omrežij.

Sestavljajo ga (Kočnik, Bizjak in Cimerman 1996):

- center vodenja;
- lokalno realiziran računalniško podprt nadzor TP;
- komunikacijski vmesniki in poti;
- inteligentne naprave, ki so namenjene zaščiti in vodenju posameznih delov TP;
- inteligentne naprave, ki so namenjene nadzoru distribucijskih vodov in kablov;
- Inteligentne enote, ki so namenjene vodenju dislociranih in manjših enot;
- Samostojne numerične zaščite vseh vrst.



Slika 3: Zaščitni rele FPC520 in LCD-prikazovalnik LDU 700
(Lastni vir)

2.4 STATISTIKA KRATKOTRAJNIH IZPADOV – MAIFI

Kazalnik povprečne frekvence kratkotrajnih prekinitev napajanja – MAIFI

MAIFI (Momentary Average Interruption Frequency Index) je razmerje med celotnim številom kratkotrajnih prekinitev napajanja odjemalcev in celotnim številom odjemalcev v opazovanem časovnem intervalu. Kazalnik se izračuna po formuli

$$MAIFI = \frac{\sum_i U_j}{N_s T}$$

kjer je:

U_j – število prekinitev j odjemalcu

T – opazovani časovni interval

N_s – celotno število odjemalcev

Upoštevane so samo kratkotrajne prekinitve do treh minut. MAIFI izražamo s številom prekinitev na odjemalca na obdobje opazovanja oziroma poročanja (mesečno ali letno) (Elektro primorska, b).

VSOTE PREKINITEV PO IZVODIH IZ RTP (prekinitve na napajalnem vodu + prekinitve izvodov iz RP)

	2013	2014	2015	2016	2017
JA 17 ROŽNA DOLINA	0	0	24,939	17,599	10,844
JA 18 AJDOVŠČINA	17,057	21,957	29,993	15,351	32,705
JA 20 GRGAR	144,271	277,532	212,565	100,867	115,248

*Tabela 1: Statistika kratkotrajnih izpadov za obdobje petih let
(Lastni vir)*

Iz tabele 1 je razvidno, kateri izvod ima največ kratkotrajnih izpadov. Gre za izvod Grgar JA 20, ki je najdaljši in ima največ prostozračnega omrežja. Ker je teren hribovit in poraščen z gozdom, nam z vidika zahtev po kakovosti oskrbe z električno energijo predstavlja velik problem veliko število kratkotrajnih izpadov napajanja ob nastanku motenj na omrežju (strele, sneg, veter itd.).

V RTP Gorica TR2 napaja okoliške kraje preko večinskega dela prostozračnega omrežja, del porabnikov pa se napaja tudi po kabelskem omrežju izvodov JA 17 ROŽNA DOLINA, JA 18 AJDOVŠČINA in JA 20 GRGAR.

3 IZRAČUN KAPACITIVNE KOMPONENTE ZEMELJSKOSTIČNEGA TOKA

3.1 IZRAČUN KAPACITIVNEGA ZEMELJSKOSTIČNEGA TOKA

Velikost kapacitivnega toka je odvisna od obratovalne napetosti omrežja, skupne dolžine omrežja, ki je galvansko vezano z delom omrežja, na katerem je nastal zemeljski stik ter od vrste omrežja (kabelsko ali nadzemno omrežje).

Kapacitivni tok izračunamo z naslednjim izrazom (POWERLAB, 2014):

$$I_{cz} = \sqrt{3} \cdot U \cdot \omega \cdot C_z' \cdot l = \sqrt{3} \cdot U \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_z' \cdot l \quad [A]$$

- I_{cz} kapacitivni tok daljnovoda (voda) v [A]
- U nazivna napetost omrežja v [kV]
- C_z' dozemna kapacitivnost voda v [μ F/km]

- L dolžina voda v [km]
- f nazivna frekvenca v [Hz]

V nadaljevanju so podane tabelarične vrednosti C_z' za posamezne tipe kablov.

Dozemne kapacitivnosti kablov iz zamreženega polietilena.

Napetost (kV) Število žil in prerez vodnikov (mm ²)	10	20	30	60	110
3 × 1 × 35	0,239	–	–	–	–
3 × 1 × 50	0,257	0,184	0,141	–	–
3 × 1 × 70	0,294	0,202	0,159	–	–
3 × 1 × 95	0,331	0,221	0,172	–	–
3 × 1 × 120	0,349	0,239	0,184	0,138	0,110
3 × 1 × 150	0,386	0,257	0,196	0,147	0,115
3 × 1 × 185	0,423	0,285	0,208	0,156	0,125
3 × 1 × 240	0,459	0,312	0,233	0,165	0,135
3 × 1 × 300	0,515	0,340	0,251	0,175	0,145
3 × 1 × 400	0,570	0,377	0,276	0,193	0,155
3 × 1 × 500	0,625	0,413	0,300	0,211	0,165
3 × 1 × 630	–	–	–	0,230	0,185

Tabela 2: Dozemna kapacitivnost ($\mu\text{F}/\text{km}$) vodnikov v kablji z izolacijo iz zamreženega polietilena
(Vir: POWERLAB, 2014)

Pri nadzemnih vodih (DV) nazivne napetosti 20 kV se lahko upošteva približna vrednost kapacitivnega toka pri zemeljskem stiku, ki znaša:

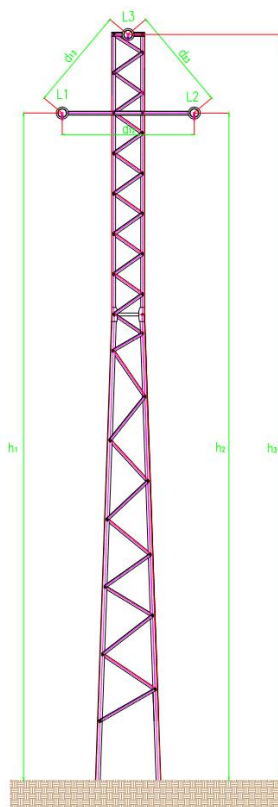
$$I_{cz} = 0,05 \text{ A/km}$$

3.1.1 Kapacitivnost faznega vodnika

Je lastnost, ki določa sprejemljivost okolja za električno polje in je odvisna od snovi ter geometrijske razporeditve faznih vodnikov v prostoru.

V uravnovešenem sistemu pa je možno poiskati takšno kapacitivnost faznega vodnika, ki je enaka za vse tri vodnike. To kapacitivnost imenujemo obratovalno kapacitivnost na fazo in je sestavljena iz dozemnih ter medfaznih kapacitivnosti.

Izračun kapacitivnosti trifaznega voda, kjer so vsi trije vodniki enaki in primerno prepleteni, lahko računamo s srednjimi geometrijskimi razdaljami (Štruc, 2007).



Slika 4: Geometrične razdalje
(Lastni vir)

Geometrična srednja razdalja med vodniki (Štruc, 2007):

$$d_{sr} = \sqrt[3]{d_{12} * d_{23} * d_{13}} \quad [\text{m}]$$

Geometrična srednja razdalja med vodniki in zemljo (Štruc, 2007):

$$h_{sr} = \sqrt[3]{h_1 * h_2 * h_3} \quad [\text{m}]$$

Obratovalna kapacitivnost faznega vodnika (Štruc, 2007):

$$C_Z = \frac{1}{18 \cdot 10^6 \ln \frac{8 \cdot h_{sr}^3}{r_v \cdot d_{sr}^2}} * l \quad [\text{F}]$$

Kapacitivni tok (Štruc, 2007):

$$I_{CZ(DV)} = \sqrt{3} * U * \omega * C_Z \quad [\text{F}]$$

3.2 JA 17 IZVOD ROŽNA DOLINA

	OZNAKA KABLA	PRESEK (mm ²)	DOLŽINA VODA (km)	DOZEMNA KAPACITIVNOST (μF/km)
1	XHE 49-A	3 × 1 × 150	1,748	0,257
2	XHP 48-A	3 × 1 × 150	1,634	0,257
3	EP 48-A	3 × 1 × 150	0,523	0,257
4	ERICSSON AXCES	3 × 95/25	0,150	0,221
SKUPNA DOLŽINA (km)			4,055	

Tabela 3: Tip kabla in dolžina voda
(Elektro Primorska b.l.)

IZRAČUN ZA DV VRTOJBA–GRADIŠČE (KABLOVOD)

$$1,2,3) C_{150} = 0,257 * 3,905 = 1,003585 \mu\text{F}$$

$$4) C_{95} = 0,221 * 0,150 = 0,03315 \mu\text{F}$$

$$C_z = C_{150} + C_{95}$$

$$C_z = 1,003585 + 0,03315$$

$$C_z = 1,036735 \mu\text{F}$$

$$I_{CZ(KBV)} = \sqrt{3} * U * \omega * C_z$$

$$I_{CZ(KBV)} = \sqrt{3} * 20000 * 2 * \pi * 50 * 1,036735 * 10^{-6}$$

$$I_{CZ(KBV)} = 11,283 \text{ A}$$

	OZNAKA VODNIKA	PRESEK (mm ²)	DOLŽINA VODA (km)
1	Al/Fe	120	1,770
2	Al/Fe	50	0,590
3	Al/Fe	35	2,436
4	Al/Fe	25	2,194
SKUPNA DOLŽINA (km)			6,990

Tabela 4: Tip vodnika in dolžina voda
(Elektro Primorska b.l.)

IZRAČUN ZA DV VRTOJBA–GRADIŠČE (DALJNOVOD)

Opomba: za nadzemne vode (DV) nazivne napetosti 20 kV se lahko upošteva

približna vrednost kapacitivnega toka pri zemeljskem stiku, ki znaša: $I_{CZ} = 0,05 \text{ A/km}$.

SKUPNA DOLŽINA DALJNOVODA 6,990 km

$$I_{CZ(DV)} (\text{CELOTNEGA DAL.}) = I_{CZ} \cdot l$$

$$I_{CZ(DV)} (\text{CELOTNEGA DAL.}) = 0,05 \text{ A/km} \cdot 6,990 \text{ km}$$

$$I_{CZ(DV)} (\text{CELOTNEGA DAL.}) = 0,3495 \text{ A}$$

SREDNJA RAZDALJA MED VODNIKI

$$d_{SR} = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{23} \cdot d_{13}}$$

$$d_{SR} = \sqrt[3]{4,75 \cdot 4,4 \cdot 4,5}$$

$$d_{SR} = \sqrt[3]{94,05}$$

$$d_{SR} = 4,548 \text{ m}$$

SREDNJA RAZDALJA MED VODNIKI IN ZEMLJO

$$h_{SR} = \sqrt[3]{h_1 \cdot h_2 \cdot h_3}$$

$$h_{SR} = \sqrt[3]{19,1 \cdot 21,3 \cdot 23,5}$$

$$h_{SR} = \sqrt[3]{9560,505}$$

$$h_{SR} = 21,224 \text{ m}$$

$$C_{Z120} = \frac{1}{18 \cdot 10^6 \ln \frac{8 \cdot h_{SR}^3}{r_v \cdot d_{SR}^2}} \cdot l = \frac{1}{18 \cdot 10^6 \ln \frac{8 \cdot 0,0021224^3}{0,00000785 \cdot 0,004548^2}} \cdot 1,770 = 1,598 \cdot 10^{-8} \text{ F}$$

$$C_{Z50} = \frac{1}{18 \cdot 10^6 \ln \frac{8 \cdot h_{SR}^3}{r_v \cdot d_{SR}^2}} \cdot l = \frac{1}{18 \cdot 10^6 \ln \frac{8 \cdot 0,0021224^3}{0,0000048 \cdot 0,004548^2}} \cdot 0,590 = 4,931 \cdot 10^{-9} \text{ F}$$

$$C_{Z35} = \frac{1}{18 \cdot 10^6 \ln \frac{8 \cdot h_{SR}^3}{r_v \cdot d_{SR}^2}} \cdot l = \frac{1}{18 \cdot 10^6 \ln \frac{8 \cdot 0,0021224^3}{0,00000405 \cdot 0,004548^2}} \cdot 2,436 = 1,985 \cdot 10^{-8} \text{ F}$$

$$C_{Z25} = \frac{1}{18 \cdot 10^6 \ln \frac{8 \cdot h_{SR}^3}{r_v \cdot d_{SR}^2}} \cdot l = \frac{1}{18 \cdot 10^6 \ln \frac{8 \cdot 0,0021224^3}{0,0000034 \cdot 0,004548^2}} \cdot 2,194 = 1,743 \cdot 10^{-8} \text{ F}$$

$$C_Z = C_{Z120} + C_{Z50} + C_{Z35} + C_{Z25}$$

$$C_Z = 1,598 * 10^{-8} + 4,931 * 10^{-9} + 1,985 * 10^{-8} + 1,743 * 10^{-8}$$

$$C_Z = 5,8191 * 10^{-8} \text{ F}$$

$$I_{CZ(DV)} = \sqrt{3} * U * \omega * C_Z$$

$$I_{CZ(DV)} = \sqrt{3} * 20000 * 2 * \pi * 50 * 5,8191 * 10^{-8}$$

$$I_{CZ(DV)} = 0,633 \text{ A}$$

3.2.1 Skupni kapacitivni tok izvoda JA 17

$$I_{CZ(JA17)} = I_{CZ(KBV)} + I_{CZ(DV)}$$

$$I_{CZ(JA17)} = 11,283 + 0,3495$$

$$I_{CZ(JA17)} = 11,6325 \text{ A}$$

3.3 JA 18 IZVOD AJDOVŠČINA

	OZNAKA KABLA	PRESEK (mm ²)	DOLŽINA VODA (km)	DOZEMNA KAPACITIVNOST (μF/km)
1	XHE 49-A	3 × 1 × 240	1,850	0,312
2	XHE 49-A	3 × 1 × 150	0,118	0,257
3	ACSEL	3 × 1 × 70	0,100	0,202
4	EXCEL	3 × 10/10	0,210	0,10
5	XHE 48-A	4 × 1 × 70	0,219	0,202
6	XHE 49-A	3 × 1 × 70	0,156	0,202
SKUPNA DOLŽINA (km)			2,653	

Tabela 5: Tip kabla in dolžina voda
(Elektro Primorska b.l.)

IZRAČUN ZA DV AJDOVŠČINA (KABLOVOD)

$$1) C_{240} = 0,312 * 1,850 = 0,5772 \text{ } \mu\text{F}$$

$$2) C_{150} = 0,257 * 0,118 = 0,030326 \text{ } \mu\text{F}$$

$$3) C_{70} = 0,202 * 0,100 = 0,0202 \text{ } \mu\text{F}$$

$$4) C_{10} = 0,10 * 0,210 = 0,021 \text{ } \mu\text{F}$$

$$5) C_{70} = 0,202 * 0,219 = 0,044238 \text{ } \mu\text{F}$$

$$6) C_{70} = 0,202 * 0,156 = 0,031512 \text{ } \mu\text{F}$$

$$C_Z = C_{240} + C_{150} + C_{70} + C_{70} + C_{70}$$

$$C_Z = 0,583275 + 0,030326 + 0,0202 + 0,0210 + 0,044238 + 0,031512 = 0,724476 \text{ } \mu\text{F}$$

$$I_{CZ} = \sqrt{3} * U * \omega * C_Z$$

$$I_{CZ(KBV)} = \sqrt{3} * 20000 * 2 * \pi * 50 * 0,724476 * 10^{-6}$$

$$I_{CZ(KBV)} = 7,8843A$$

	OZNAKA VODNIKA	PRESEK (mm ²)	DOLŽINA VODA (km)
1	Al/Fe	150	1,760
2	Al/Fe	50	6,697
3	Al/Fe	35	10,802
4	Al/Fe	25	3,448
5	Cu	35	2,630
SKUPNA DOLŽINA (km)			25,337

Tabela 6: Tip vodnika in dolžina voda
(Elektro Primorska b.l.)

IZRAČUN ZA DV AJDOVŠČINA (DALJNOVOD)

Opomba: za nadzemne vode (DV) nazivne napetosti 20 kV se lahko upošteva približna vrednost kapacitivnega toka pri zemeljskem stiku, ki znaša: $I_{CZ} = 0,05 \text{ A/km}$.

SKUPNA DOLŽINA DALJNOVODA 25,337 km

$$I_{CZ(DV)} \text{ (CELOTNEGA DAL.)} = I_{CZ} * l$$

$$I_{CZ(DV)} \text{ (CELOTNEGA DAL.)} = 0,05 \text{ A/km} * 25,337 \text{ km}$$

$$I_{CZ(DV)} \text{ (CELOTNEGA DAL.)} = 1,26685 \text{ A}$$

SREDNJA RAZDALJA MED VODNIKI

$$d_{SR} = \sqrt[3]{d_{12} * d_{23} * d_{13}}$$

$$d_{SR} = \sqrt[3]{1,8 * 1,66 * 1,66}$$

$$d_{SR} = \sqrt[3]{4,96008}$$

$$d_{SR} = 1,705 \text{ m}$$

SREDNJA RAZDALJA MED VODNIKI IN ZEMLJO

$$h_{sr} = \sqrt[3]{h_1 * h_2 * h_3}$$

$$h_{sr} = \sqrt[3]{8,6 * 8,6 * 10}$$

$$h_{sr} = \sqrt[3]{739,6}$$

$$h_{sr} = 9,043 \text{ m}$$

$$C_{Z150} = \frac{1}{18 \cdot 10^6 \ln \frac{8 \cdot h_{sr}^3}{r_v \cdot d_{sr}^2}} * l = \frac{1}{18 \cdot 10^6 \ln \frac{8 \cdot 0,009043^3}{0,00000865 \cdot 0,001705^2}} * 1,760 = 7,905 * 10^{-9} \text{ F}$$

$$C_{Z50} = \frac{1}{18 \cdot 10^6 \ln \frac{8 \cdot h_{sr}^3}{r_v \cdot d_{sr}^2}} * l = \frac{1}{18 \cdot 10^6 \ln \frac{8 \cdot 0,009043^3}{0,0000048 \cdot 0,001705^2}} * 6,697 = 2,871 * 10^{-8} \text{ F}$$

$$C_{Z35} = \frac{1}{18 \cdot 10^6 \ln \frac{8 \cdot h_{sr}^3}{r_v \cdot d_{sr}^2}} * l = \frac{1}{18 \cdot 10^6 \ln \frac{8 \cdot 0,009043^3}{0,00000405 \cdot 0,001705^2}} * 13,432 = 5,685 * 10^{-8} \text{ F}$$

$$C_{Z25} = \frac{1}{18 \cdot 10^6 \ln \frac{8 \cdot h_{sr}^3}{r_v \cdot d_{sr}^2}} * l = \frac{1}{18 \cdot 10^6 \ln \frac{8 \cdot 0,009043^3}{0,0000034 \cdot 0,001705^2}} * 3,448 = 1,44 * 10^{-8} \text{ F}$$

$$C_Z = C_{Z150} + C_{Z50} + C_{Z35} + C_{Z25}$$

$$C_Z = 7,905 * 10^{-9} + 2,871 * 10^{-8} + 5,685 * 10^{-8} + 1,44 * 10^{-8}$$

$$C_Z = 1,07865 * 10^{-7} \text{ F}$$

$$I_{CZ(DV)} = \sqrt{3} * U * \omega * C_Z$$

$$I_{CZ(DV)} = \sqrt{3} * 20000 * 2 * \pi * 50 * 1,07865 * 10^{-7}$$

$$I_{CZ(DV)} = 1,174 \text{ A}$$

3.3.1 Skupni kapacitivni tok izvoda JA18

$$I_{CZ(JA18)} = I_{CZ(KBV)} + I_{CZ(DV)}$$

$$I_{CZ(JA18)} = 7,8843 + 1,26685$$

$$I_{CZ(JA18)} = 9,15115 \text{ A}$$

3.4 JA 20 IZVOD GRGAR

	OZNAKA KABLA	PRESEK (mm ²)	DOLŽINA VODA (km)	DOZEMNA KAPACITIVNOST (μF/km)
1	XHE 49-A	3 × 1 × 150	0,125	0,257
2	XHP 48-A	3 × 1 × 150	1,350	0,257
3	XHE 49-A	3 × 1 × 70	1,689	0,202
4	ERICSSON AXCES	3 × 70/16	4,445	0,202
SKUPNA DOLŽINA (km)			7,609	

Tabela 7: Tip kabla in dolžina voda
(Elektro Primorska b.l.)

IZRAČUN ZA DV GRGAR (KABLOVOD)

$$1,2) \quad C_{150} = 0,257 * 1,475 = 0,379075 \mu\text{F}$$

$$3,4) \quad C_{70} = 0,202 * 6,134 = 1,239068 \mu\text{F}$$

$$C_z = C_{150} + C_{70}$$

$$C_z = 0,379075 + 1,239068$$

$$C_z = 1,618143 \mu\text{F}$$

$$I_{CZ(KBV)} = \sqrt{3} * U * \omega * C_z$$

$$I_{CZ(KBV)} = \sqrt{3} * 20000 * 2 * \pi * 50 * 1,618143 * 10^{-6}$$

$$I_{CZ(KBV)} = 17,6099 \text{ A}$$

	OZNAKA VODNIKA	PRESEK (mm ²)	DOLŽINA VODA (km)
1	Al/Fe	150	2,386
2	Al/Fe	120	2,469
3	Al/Fe	70	22,787
4	Al/Fe	50	2,904
5	ALMG	50	7,818
6	Al/Fe	35	19,386
7	ALMG	35	3,697
8	Al/Fe	25	13,243
9	Cu	25	0,100
SKUPNA DOLŽINA (km)			74,790

Tabela 8: Tip vodnika in dolžina voda
(Elektro Primorska b.l.)

IZRAČUN ZA DV GRGAR (DALJNOVOD)

Opomba: za nadzemne vode (DV) nazivne napetosti 20 kV se lahko upošteva približna vrednost kapacitivnega toka pri zemeljskem stiku, ki znaša: $I_{CZ} = 0,05 \text{ A/km}$.

SKUPNA DOLŽINA DALJNOVODA 74,790 km

$$I_{CZ(DV)} \text{ (CELOTNEGA DAL.)} = I_{CZ} * l$$

$$I_{CZ(DV)} \text{ (CELOTNEGA DAL.)} = 0,05 \text{ A/km} * 74,790 \text{ km}$$

$$I_{CZ(DV)} \text{ (CELOTNEGA DAL.)} = 3,7395 \text{ A}$$

SREDNJA RAZDALJA MED VODNIKI

$$d_{SR} = \sqrt[3]{d_{12} * d_{23} * d_{13}}$$

$$d_{SR} = \sqrt[3]{1,8 * 1,66 * 1,66}$$

$$d_{SR} = \sqrt[3]{4,96008}$$

$$d_{SR} = 1,705 \text{ m}$$

SREDNJA RAZDALJA MED VODNIKI IN ZEMLJO

$$h_{sr} = \sqrt[3]{h_1 * h_2 * h_3}$$

$$h_{sr} = \sqrt[3]{8,6 * 8,6 * 10}$$

$$h_{sr} = \sqrt[3]{739,6}$$

$$h_{sr} = 9,043 \text{ m}$$

$$C_{Z150} = \frac{1}{18 \cdot 10^6 \ln \frac{8 \cdot h_{sr}^3}{r_v \cdot d_{sr}^2}} * | = \frac{1}{18 \cdot 10^6 \ln \frac{8 \cdot 0,009043^3}{0,00000865 \cdot 0,001705^2}} * 2,386 = 1,072 * 10^{-8} \text{ F}$$

$$C_{Z120} = \frac{1}{18 \cdot 10^6 \ln \frac{8 \cdot h_{sr}^3}{r_v \cdot d_{sr}^2}} * | = \frac{1}{18 \cdot 10^6 \ln \frac{8 \cdot 0,009043^3}{0,00000785 \cdot 0,001705^2}} * 2,469 = 1,004 * 10^{-8} \text{ F}$$

$$C_{Z70} = \frac{1}{18 \cdot 10^6 \ln \frac{8 \cdot h_{sr}^3}{r_v \cdot d_{sr}^2}} * | = \frac{1}{18 \cdot 10^6 \ln \frac{8 \cdot 0,009043^3}{0,0000058 \cdot 0,001705^2}} * 22,787 = 9,915 * 10^{-8} \text{ F}$$

$$C_{Z50} = \frac{1}{18 \cdot 10^6 \ln \frac{8 \cdot h_{sr}^3}{r_v \cdot d_{sr}^2}} * | = \frac{1}{18 \cdot 10^6 \ln \frac{8 \cdot 0,009043^3}{0,0000048 \cdot 0,001705^2}} * 10,722 = 4,597 * 10^{-8} \text{ F}$$

$$C_{Z35} = \frac{1}{18 \cdot 10^6 \ln \frac{8 \cdot h_{sr}^3}{r_v \cdot d_{sr}^2}} * | = \frac{1}{18 \cdot 10^6 \ln \frac{8 \cdot 0,009043^3}{0,00000405 \cdot 0,001705^2}} * 23,083 = 9,769 * 10^{-8} \text{ F}$$

$$C_{Z25} = \frac{1}{18 \cdot 10^6 \ln \frac{8 \cdot h_{sr}^3}{r_v \cdot d_{sr}^2}} * | = \frac{1}{18 \cdot 10^6 \ln \frac{8 \cdot 0,009043^3}{0,0000034 \cdot 0,001705^2}} * 13,343 = 5,573 * 10^{-8} \text{ F}$$

$$C_z = C_{Z150} + C_{Z120} + C_{Z70} + C_{Z50} + C_{Z35} + C_{Z25}$$

$$C_z = 1,072 * 10^{-8} + 1,004 * 10^{-8} + 9,915 * 10^{-8} + 4,597 * 10^{-8} + 9,769 * 10^{-8} + 5,573 * 10^{-8}$$

$$C_z = 3,193 * 10^{-7} \text{ F}$$

$$I_{CZ(DV)} = \sqrt{3} * U * \omega * C_z$$

$$I_{CZ(DV)} = \sqrt{3} * 20000 * 2 * \pi * 50 * 3,193 * 10^{-7}$$

$$I_{CZ(DV)} = 3,475 \text{ A}$$

3.4.1 Skupni kapacitivni tok izvoda JA 20

$$I_{CZ(JA20)} = I_{CZ(KBV)} + I_{CZ(DV)}$$

$$I_{CZ(JA20)} = 17,6099 + 3,7395$$

$$I_{CZ(JA20)} = 21,3494 \text{ A}$$

3.5 POVEZAVA MED TR2 IN 20-kV STIKALIŠČEM

	OZNAKA KABLA	PRESEK (mm ²)	DOLŽINA VODA (km)	DOZEMNA KAPACITIVNOST (μF/km)
1	XHE 49-A	2 × 3 × 1 × 240	0,085	0,312
SKUPNA DOLŽINA (km)			0,170	

Tabela 9: Tip kabla in dolžina voda
(Elektro Primorska b.l.)

$$1) C_{240} = 0,312 * 0,170 = 0,05304 \mu\text{F}$$

$$I_{CZ(TR)} = \sqrt{3} * U * \omega * C_Z$$

$$I_{CZ(TR)} = \sqrt{3} * 20000 * 2 * \pi * 50 * 0,05304 * 10^{-6}$$

$$I_{CZ(TR)} = 0,577 \text{ A}$$

3.6 SKUPNI KAPACITIVNI TOK ZA TR2

IZVOD	DOLŽINA KBV (km)	KAP. TOK KBV (A)	DOLŽINA DV (km)	KAP. TOK DV (A)	KAP. TOK I_{CZ} (A)
JA 17 ROŽNA DOLINA	4,055	11,283 A	6,990	0,3495 A	11,6325A
JA 18 AJDOVŠČINA	2,653	7,8843A	25,337	1,26685 A	9,15115
JA 20 GRGAR	7,609	21,3494A	74,790	3,7395 A	21,3494A
TR2 IN 20 kV STIKALIŠČE	0,170	0,577 A	–	–	0,577A
SKUPAJ	14,487	36,7469	107,117	5,35585	42,71005

Tabela 10: Skupne dolžine vodov in kapacitivni toki po izvodih
(Lastni vir)

$$I_{CZ} = I_{CZ(JA18)} + I_{CZ(JA17)} + I_{CZ(JA20)} + I_{CZ(TR2)}$$

$$I_{CZ} = 9,15115A + 11,6325A + 21,3494A + 0,577A$$

$$I_{CZ} = 42,71005 A$$

3.7 POPRAVEK IZRAČUNA

Pred testiranjem se je pojavil dvom v varnost in zanesljivost naprav, ker so določeni zemeljski kabli stari okoli 40 let in je obstajala bojazen, da bo prišlo do preboja ter posledično izpada električne energije odjemalcem za čas popravila okvare. Zato se je za čas testiranja spremenilo konfiguracijo omrežja – odklopilo se je dva izvoda: Rijavci V. P. in Ajševica V. P. v skupni dolžini 2,753 km.

Pri testiranju smo upoštevali popravek izračuna kapacitivnega zemeljskostičnega toka, ki je znašal 36,021 A.

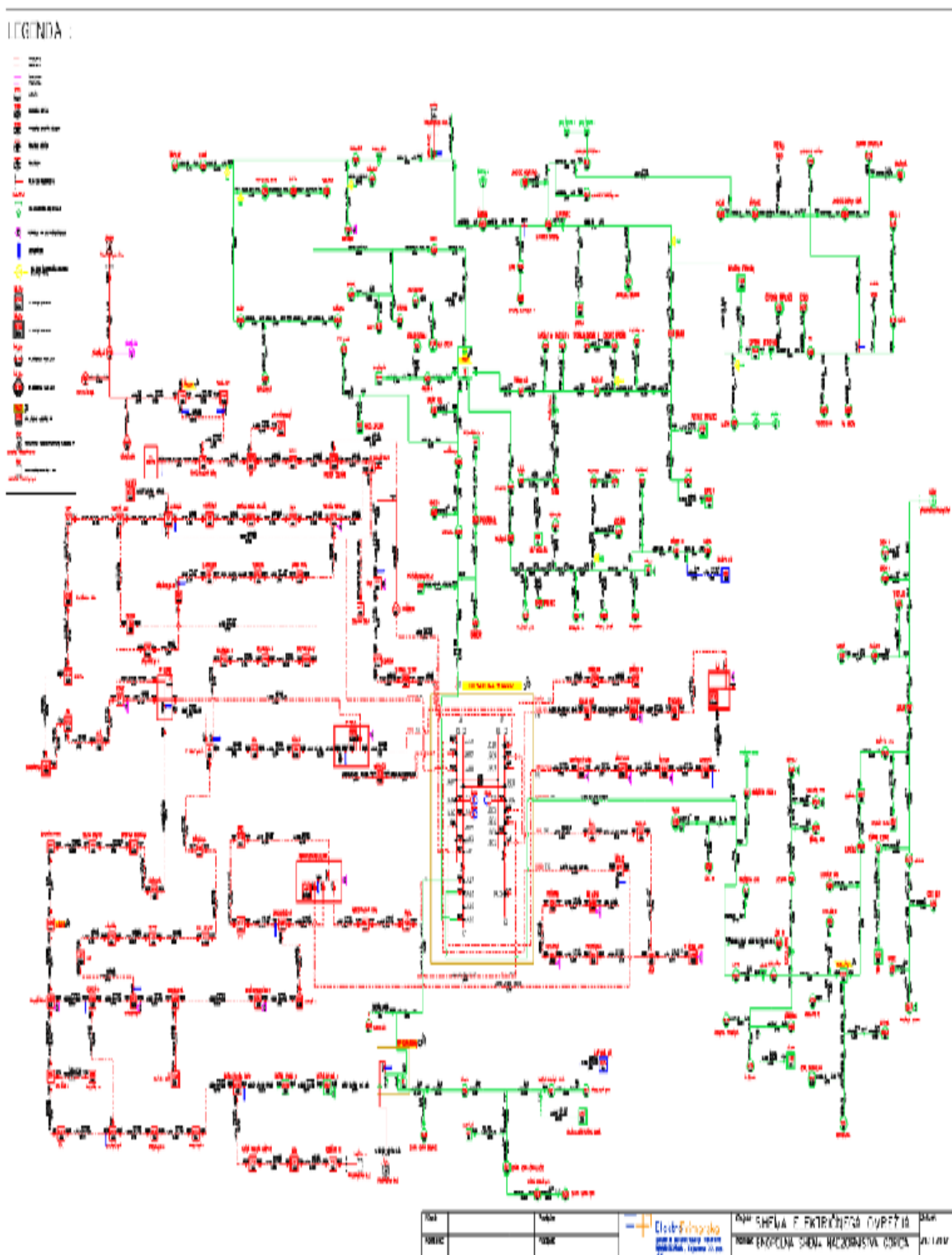
4 IZVEDBA PREIZKUSOV ENOFAZNEGA ZEMELJSKEGA STIKA

4.1 SHEMA OMREŽJA PRI IZVEDBI EZS

Shema opredeljuje celotno omrežje, ki ga napaja RTP Gorica 20 kV. V delu bomo obravnavali samo del omrežja, ki je označen v legendi za čas izvajanja EZS (Elektro Primorska, b.l.).

LEGENDA:

- Rdeče barvani izvodi – obratujejo na TR1 in TR3
- Zeleno barvani izvodi – obratujejo na TR2
- Modro barvana izvoda – odklopljena v času izvajanja enofaznega zemeljskega stika



Slika 5: Shema omrežja pri izvedbi EZS
(Vir: Elektro Primorska, b.l.)

4.2 OPREMA CELICE JA 19 ZA ZAJEM PODATKOV

Predhodno smo pripravili žične povezave za sekundarne preizkuse in kasnejšo primarno izvedbo. Programirali in testirali smo zaščitno napravo FPC 520 v rezervni celici JA19. Dodatni zaščitni rele (REF 615) zajema toke $3I_0$ in napetost odprtega trikota $3U_0$ za potrebe oscilografije.

4.2.1 Zaščitni rele REF 615

Dodatni zaščitni rele (REF 615) je vključen v celice JA 17, JA 18 JA 19 in JA 20. Zaščitni rele REF 615 – feeder protection and control (terminal za zaščito in vodenje) – je kompaktni in vsestranski pripomoček, ki se uporablja v industrijskih sistemih ter v sistemih za distribucijo električne energije. Zaščitni rele je namenjen za zaščito, krmiljenje, nadzor in merjenje električnih sistemov (transformatorjev, električnih vodov, generatorjev). Rele ima obsežno paleto zaščite in nadzor funkcionalnosti – s senzorji ali običajnimi merilnimi instrumenti. Nadzor nad relejem je mogoč preko lokalnega grafičnega zaslona SLDs, lokalnega računalnika ali internetne povezave. (ABB, letnica).



Slika 6: Zaščitni rele REF 615
(Vir: ABB, b.l.)

4.2.2 Instrument OMICRON

V serijski vezavi smo zaradi večje točnosti meritev uporabili še merilno napravo OMICRON – slika 7.

Je naprava za funkcionalno preizkušanje in analizo zaščitnih ter merilnih sistemov. Naprava mora imeti visoko stopnjo točnosti – razreda 0,1 % – za zagotovitev pravilnih meritev. Zato je bistvenega pomena, da je instrument pregledan in kalibriran v rednih časovnih intervalih. Merilni instrumenti je namenjeni za nastavljanje, preizkušanje in meritve zaščitnih relejev. Iz vsakoletnih preizkusov zaščitnih naprav ugotavljamo

pravilno delovanje merilnih in zaščitnih sistemov, kar zagotavlja selektivno delovanje zaščite v primeru okvar (OMICRON, 2018).



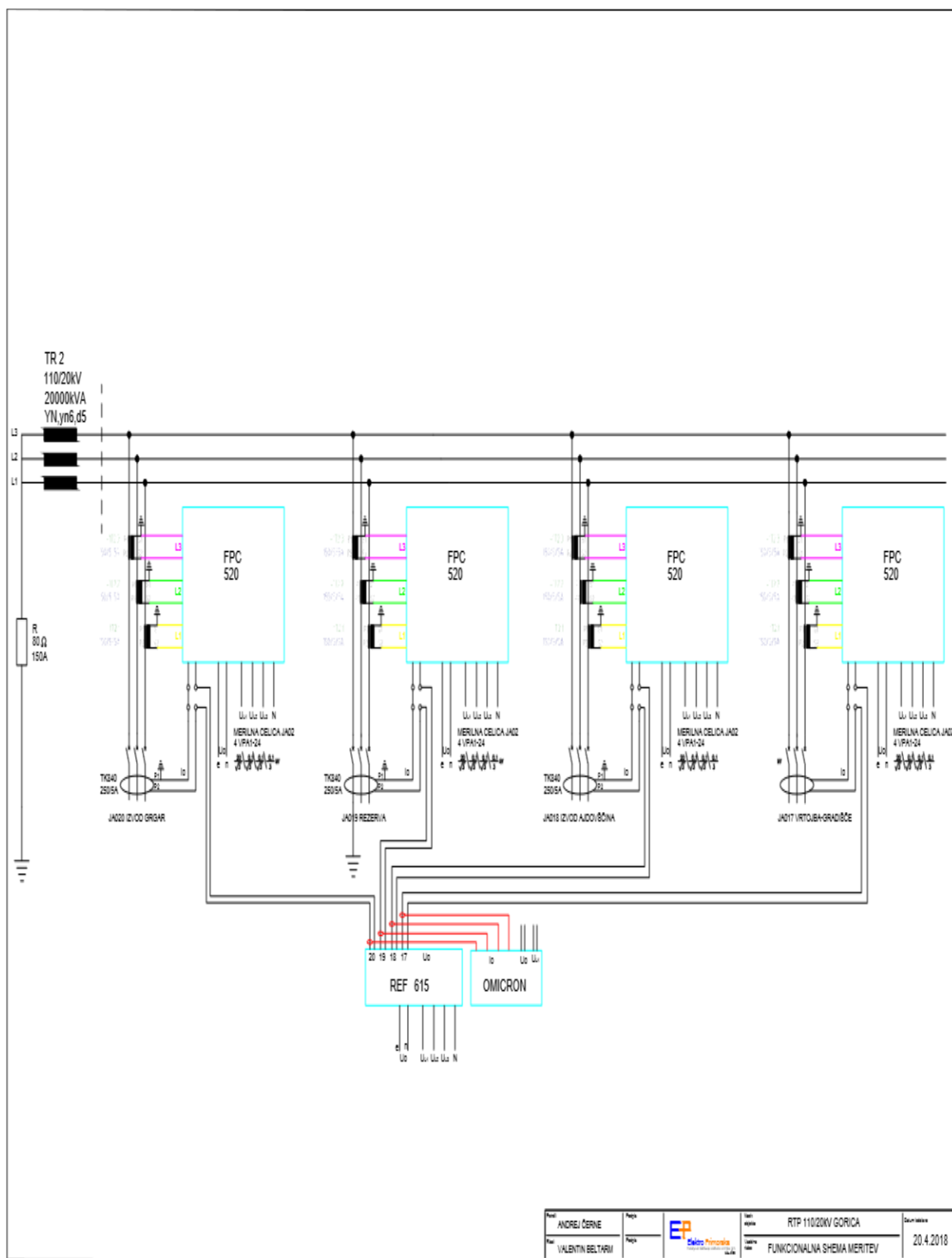
Slika 7: Instrument OMICRON CMC 353
(Vir: OMICRON, b.l.)

Iz slike 8 je razvidna oprema, ki je bila uporabljena pri izvedbi meritev enofaznega zemeljskega stika. Vključena sta dodatni instrument REF 615 in instrument OMICRON.



Slika 8: Merilna oprema EZS
(Lastni vir)

Na sliki 9 je prikazana vezalna shema zaščitnih relejev in instrumenta OMICRON za izvedbo preizkusa EZS.



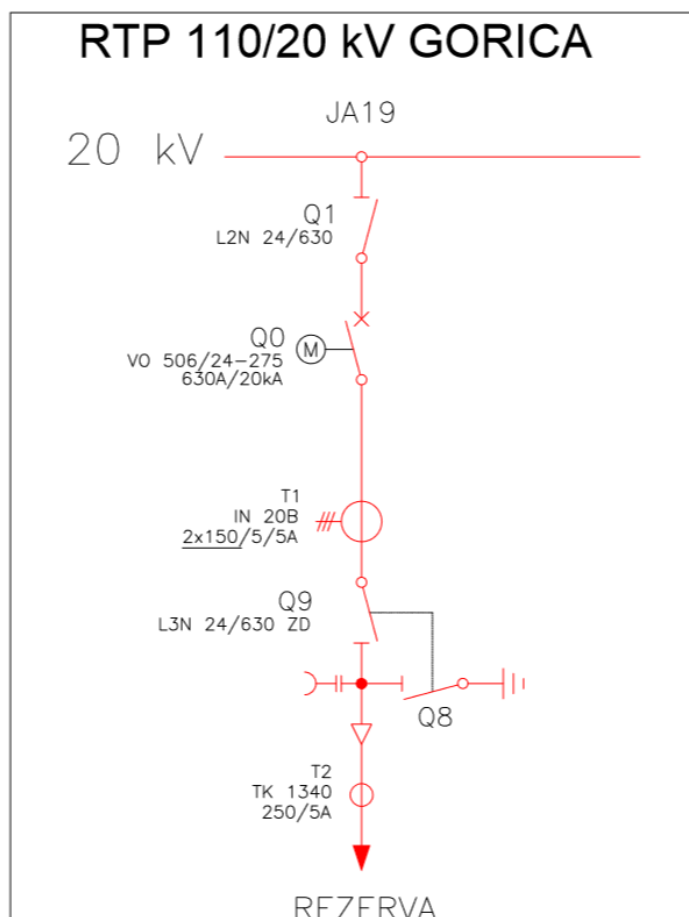
Slika 9: Funkcionalna shema meritev
(Lastni vir)

4.3 PRIPRAVA 20-kV CELICE JA 19

Celica je sestavljena iz zbiralničnega ločilnika Q1, odklopnika Q0, tokovnih instrumentnih transformatorjev za merjenje tokav v posameznih fazah T1 in izvodnega ločilnika Q9, na katerem so vgrajeni kapacitivni delilniki za indikacijo prisotnosti napetosti na izvodu ter objemnega tokovnika TK za zajemanje $3I_0$ – slika 10.

Ker je bil odklopnik samo v rezervi, je bilo treba narediti revizijo oziroma temeljit pregled ter preveriti funkcionalno delovanje vklopov in izklopov, lokalno in daljinsko ter preveriti, ali so v centru vodenja DCV dobili pravilno signalizacijo.

Na izvodu JA 19 smo za kasnejši primarni zemeljski stik v fazi L3 priključili kabel NA $2 \times S(F)2Y$ dolžine 10 m, ga uvedli skozi objemni tokovnik in ga pravilno priključili na temeljno ozemljitev postaje RTP Gorica.



Slika 10: Enopolna shema celice
(Lastni vir)

4.4 PRIPRAVA 20-kV OMREŽJA

Za testiranje zemeljskega stika na TR2 je treba spremeniti konfiguracijo omrežja, in sicer TR2 napaja v 20-kV stikališče sistema A zbiralka 2.

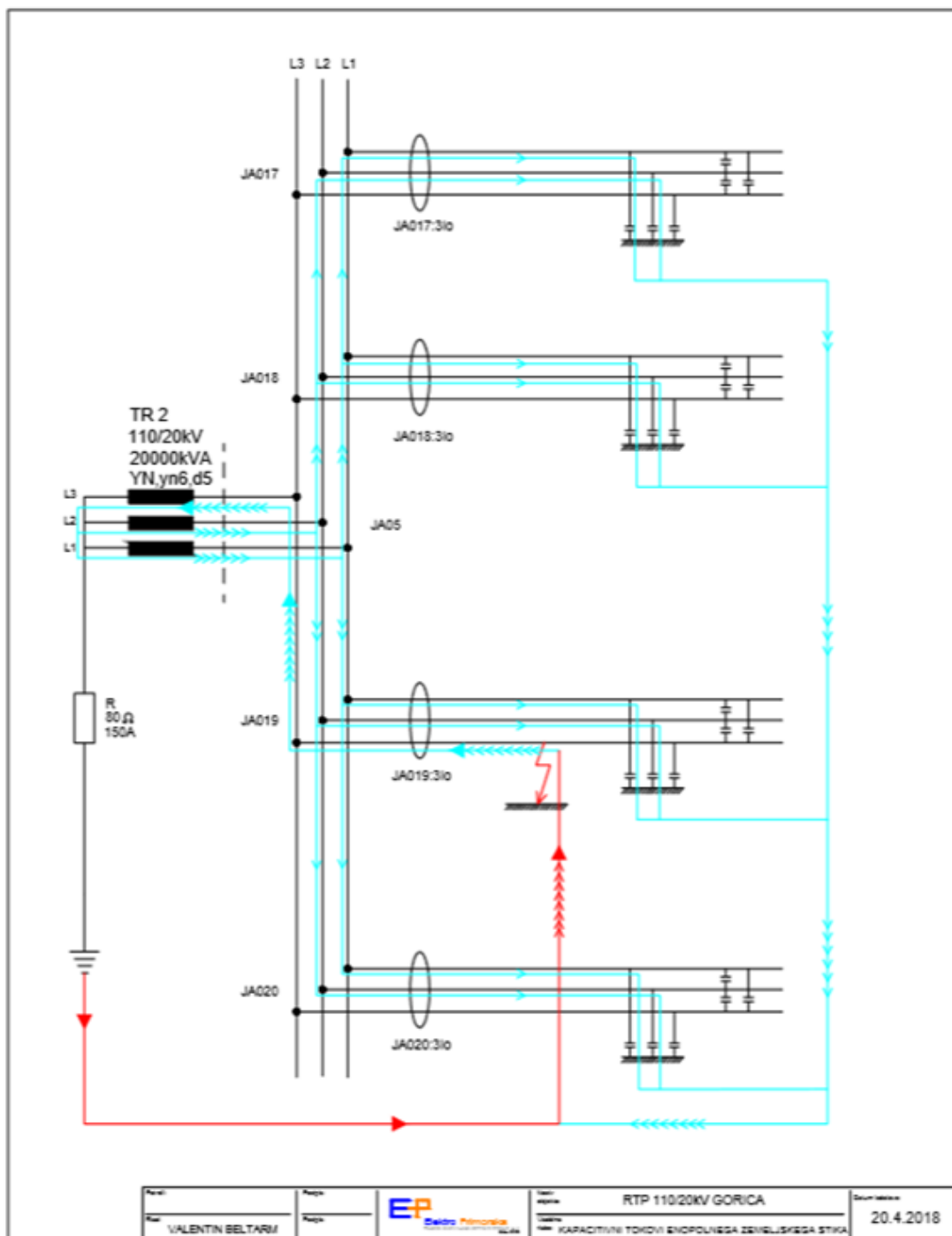
Sprememba normalnega obratovalnega stanja:

1. DV Solkan se prenapaja, zato je treba predhodno skleniti zanko v TP Livarna in šele nato ločiti kablovod v RTP celica JA 01 – v celici je na izvodu napetost. V RP Rožna Dolina se kablovod Rožna Dolina 3 sklene Rožna Dolina blok in loči v RP.
2. DV Ajdovščina ostane normalno napajana do ločilnega mesta DVPLM Osek.
3. DV Grgar normalno napaja RP Grgar in je ločen na DVPLM Vrhavč.

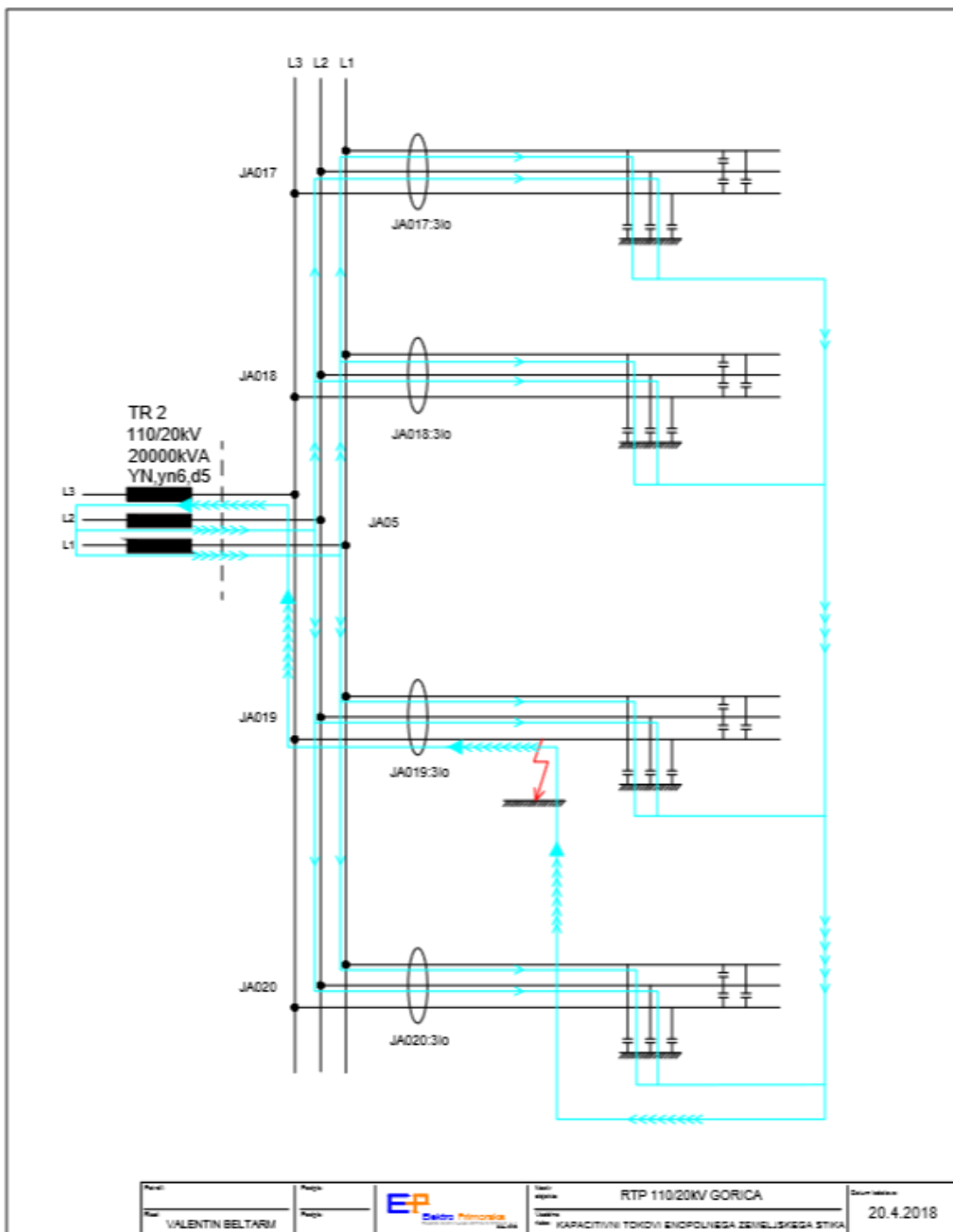
4.5 IZVEDBA MERITEV EZS NA TR2

Na izvodu celice JA 19 smo izvedli direktni (kovinski) zemeljski stik v fazi L_3 z vklopom odklopnika. Z izpadom odklopnika je bil EZS prekinjen.

Testiranje zemeljskega stika je potekalo v dveh preizkusih, in sicer prvi z vključenim uporom, ki normalno obratuje z ozemljeno nevtralno točko – slika 11 – drugi pa z izključenim uporom tako, da je zvezdišče izolirano proti zemlji – slika 12.



Slika 11: Kapacitivni tokovi pri EZS z vključenim uporom
(Lastni vir)



Slika 12: Kapacitivni tokovi pri EZS z izključenim uporom
(Lastni vir)

5 OBDELAVA PODATKOV OSCILOGRAFIJE ENOFAZNEGA ZEMELJSKEGA STIKA

Za obdelavo oscilografskih posnetkov v numeričnih terminalih FPC 520 in REF 615 ter instrumentomOMICRON, v katerem so bili registrirani podatki o izvedbi zemeljskih stikov z uporabo funkcijskega bloka »DISTURBANCE RECORDER«, in sicer formatu COMTRADE.

Za obdelavo teh podatkov je bilo uporabljeno programsko orodje Siemens/SIGRA 4.58.

Delni prikaz obdelave podatkov obsega:

- analogne vrednosti v sinusni obliki,
- tabele karakteristik posameznih analognih veličin,
- prikaz kazalcev/vektorski diagram v času trajanja okvare in po okvari.

Podani so posamezni sekvenci (situacija z uporom v zvezdišču ter z izoliranim zvezdiščem), sledi pa primerjava vrednosti sofaznih komponent, registriranih dodatno z REF615 in instrumentomOMICRON.

5.1 ZVEZDIŠČE 20 kV TR2, OZEMLJENO PREKO UPORA 80 Ω

TR2 normalno obratuje z ozemljeno nevtralno točko preko upora.

5.1.1 Izvajanje kovinskega zemeljskega stika v fazi L3 na odvodu JA 19 rezerva

Oscilografija zaščitnega terminala FPC 520 na odvodu JA 19.

Prikazani so oscilografski posnetki zaščitnega releja FPC, vključenega v celici rezerva JA 19 pri izvajanju enofaznega zemeljskega stika z vključenim uporom.

Slika 13 prikazuje desno zgoraj datum in čas izvedbe EZS – čas je beležen do stotinke natančno. Kazalniki ali cursorji, kot je navedeno v tabeli, so poravnani na 97 ms po nastanku okvare, tako da imamo zmeraj enake čase odčitkov različnih relejev za primerjavo analognih vrednosti tokov in napetosti. Pri EZS v fazi L3 napetost pade na 0 voltov, v fazi L₁ in L₂ pa se napetosti povečata za $\sqrt{3}$ ter spremenita medsebojni fazni zasuk iz 120° na 60° (glej kazalčni diagram na sliki 16).

Slika 14 prikazuje napetost odprtega trikota ($3U_0$) in potek faznih tokov, ki so v zdravih fazah enaki 0 A, v fazi L₃ pa tok zemeljskega stika znaša 158,7 A. Meritev $3U_0$ je napetost odprtega trikota in znaša med okvaro 11,601 kV. V normalnem obratovalnem stanju je napetost v razredu nekaj voltov.

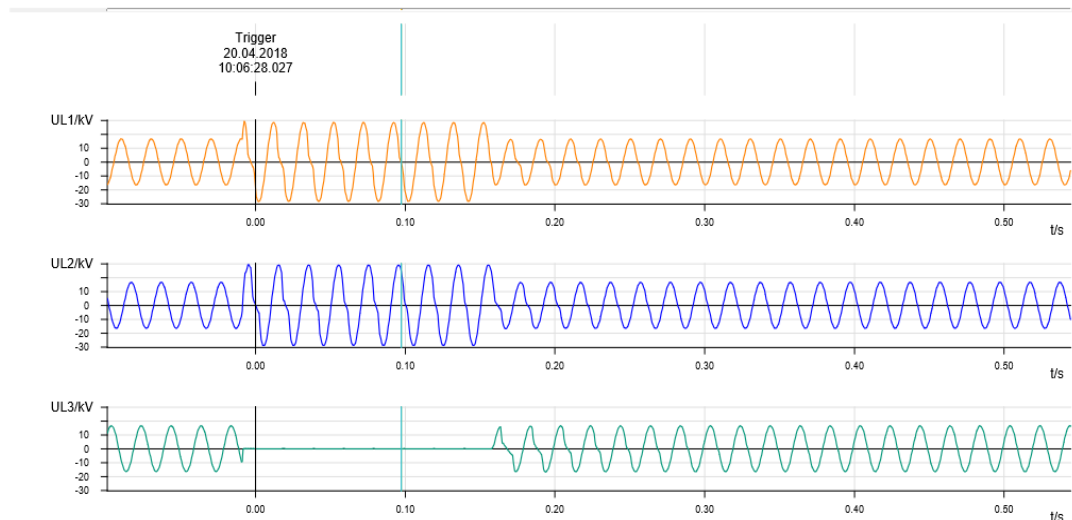
Slika 14 prikazuje potek toka zemeljskega stika, izmerjenega preko kabelskega objemnega transformatorja TK 840, primarna vrednost znaša 162,86 A; fazni zasuk glede na napetost $3U_0$ znaša 16° .

FPC520 Ver

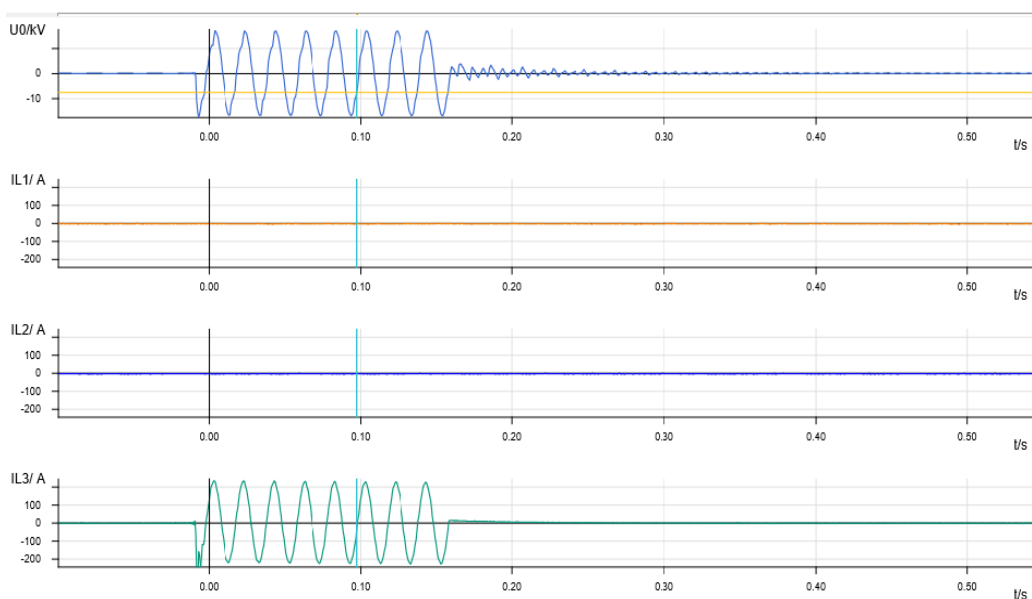
- 2 -

20.04.2018 / 10:06:28.027

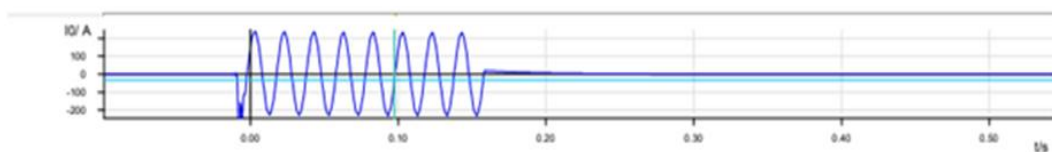
	Time in ms	Measuring Signal	Instantaneous	R.M.S.	Phase
Cursor 1:	97,4	U0	-7,4490 kV	11,631 kV	22,0°
Cursor 2:	97,4	I0	-32,965 A	162,89 A	38,0°
C2 - C1	0,0	I0 - U0			16,05°



Slika 13: Napetosti pri EZS
(Lastni vir)



Slika 14: Napetost odprtega trikota $3U_0$ in fazni tokovi med trajanjem EZS
(Lastni vir)



Slika 15: Tok zemeljskega stika, izmerjen preko objemnega kabljskega transformatorja TK 840
(Lastni vir)

5.1.2 Primerjava vrednosti med različnimi zaščitnimi releji

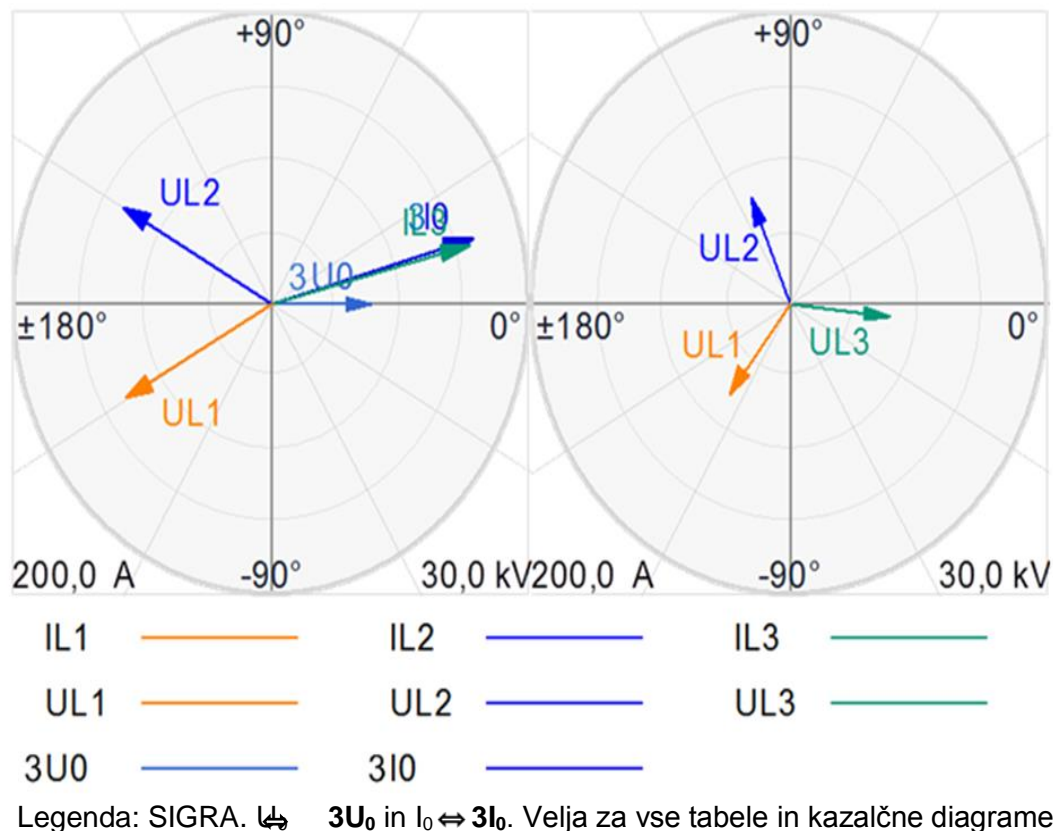
V tabeli 11 imamo zajem podatkov iz celice JA 19 na FPC, v kateri je bil izveden EZS. Zelo lepo nam prikaže, kaj se v fazi L₃ dogaja s tokovi in napetostmi ter s tokom I₀. Pri tabeli 14 imamo prikaz zajema podatkov iz dodanega zaščitnega releja REF 615, ki nam zajema toke I₀ celic JA 17-A, JA 18-B in JA 20-C ter tok I₀-N CELICE JA 19. V tretji tabeli imamo vključen instrument OMICRON, ki ima večjo točnost meritev in je samo za primerjavo vrednosti – kontrola vrednosti meritev.

ZAŠČITNI RELE FPC V CELICI JA 19 Z VKJUČENIM UPOROM

Cursor 1: 97,4 ms							
Measuring Signal	Value	Phase	Extremum	DC	2.Harmon.	3.Harmon.	5.Harmon.
IL1	0,3754 A	27,2°	-4,3108 A	-449,5%	36,0%	99,4%	36,6%
IL2	0,3760 A	-176,4°	-3,4586 A	-799,1%	2,6%	20,4%	43,1%
IL3	158,76 A	37,1°	-223,98 A	0,9%	0,4%	0,1%	1,1%
UL1	19,763 kV	-128,6°	28,514 kV	0,4%	3,3%	4,3%	3,6%
UL2	20,164 kV	171,9°	29,243 kV	-0,0%	4,1%	5,3%	4,3%
UL3	0,00375 kV	172,1°	0,1253 kV	3296,2%	140,7%	186,4%	147,3%
U0	11,601 kV	22,0°	-16,660 kV	1,8%	2,3%	1,1%	4,2%
I0	162,86 A	38,0°	-230,84 A	0,8%	0,1%	0,3%	0,9%

Tabela 11: Vrednosti fazorjev tokov in napetosti pri okvari; referenčna vrednost faznih zasukov je 3U₀
(Lastni vir)

Levi kazalčni diagram predstavlja stanje med okvaro, desni pa normalno stanje napetosti po izklopu okvare.



Slika 16: Kazalčni diagram med in po okvari
(Lastni vir)

5.1.3 Izračun vrednosti kapacitivne komponente toka zemeljskega stika

Iz tabele 11 sta uporabljeni amplituda toka zemeljskega stika in vrednost faznega zasuka glede na referenčno vrednost ($3U_0$).

$$I_c = 3I_0 \times \sin\varphi$$

$$I_c = 162,86 \text{ A} \times \sin 16^\circ$$

$$I_c = 162,86 \text{ A} \times 0,275$$

$$I_c = 44,89 \text{ A}$$

5.2 ZVEZDIŠČE 20 kV TR2 IZOLIRANO

Pri drugem poskusu enofaznega zemeljskega stika je bil na transformatorju odklopljen maloohmski upor 80Ω . Tako je bilo zvezdišče TR2 izolirano proti zemlji.

5.2.1 Izvajanje kovinskega zemeljskega stika na odvodu JA 19 (rezerva)

Oscilografija zaščitnega terminala FPC520: odvod JA 19 rezerva

Na sliki 17 je prikazan EZS na časovni točki kazalnika 100 ms po nastanku okvare. Napetost okvarjene faze L_3 pade na 0 V, preostali dve napetosti se povečata za $\sqrt{3}$ in spremenita fazni zasuk iz 120° na 60° (glej kazalčni diagram na sliki 16).

Pri drugem poizkusu enofaznega zemeljskega stika se je na transformatorju odklopilo maloohmski upor, tako da je bilo zvezdišče TR izolirano proti zemlji. Pod sliko 17 imamo lepo prikazan čas EZS in kazalnike poravnane na 100 ms. Napetost okvarjene faze L_3 pade na nič voltov, preostali dve naraseta za $\sqrt{3}$. Pri napetosti U_0 se nam napetosti odprtega trikota porušijo tako, da dobimo napetost 11,6 kV.

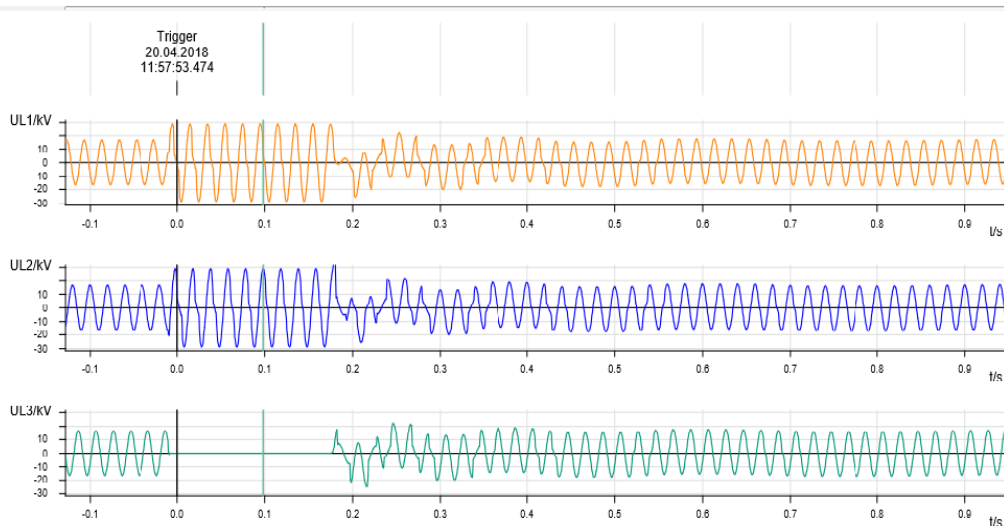
Pri sliki 18 imamo v celici JA 19 toke zdravih faz skoraj nič amperov, v fazi IL_3 pa imamo tok zemeljskega stika I_0 , ki znaša 39,9 A in je enak seštevku vseh treh faznih tokov.

FPC520 Ver

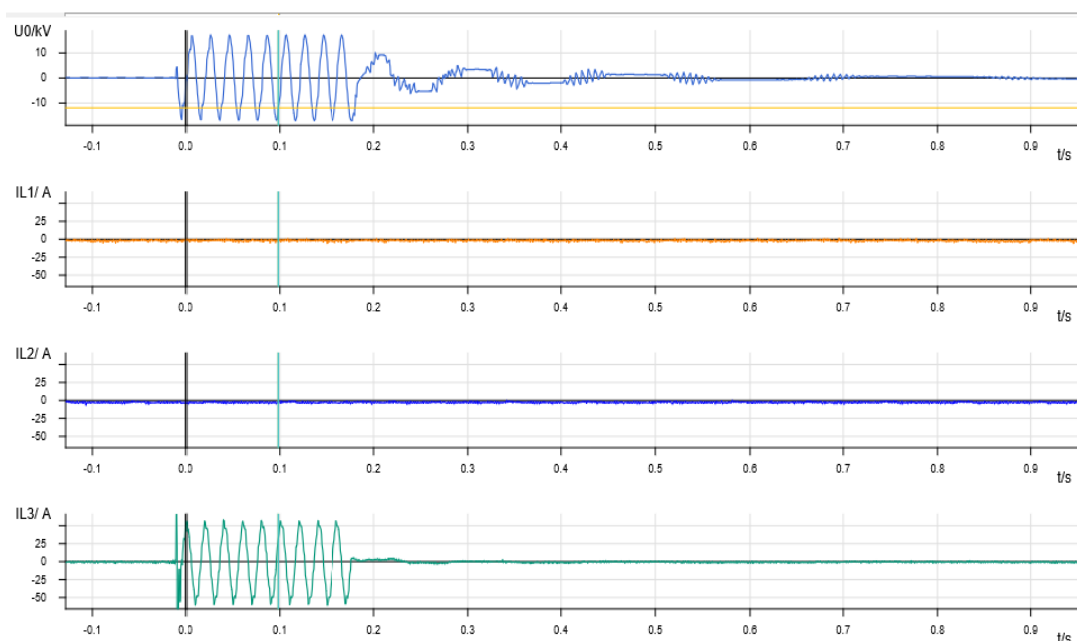
- 2 -

20.04.2018 / 11:57:53.474

	Time in ms	Measuring Signal	Instantaneous	R.M.S.	Phase
Cursor 1:	98,7	U0	-11,746 kV	11,654 kV	-94,3°
Cursor 2:	98,2	I0	32,204 A	40,111 A	68,4°
C2 - C1	0,0	I0 - U0			92,72°

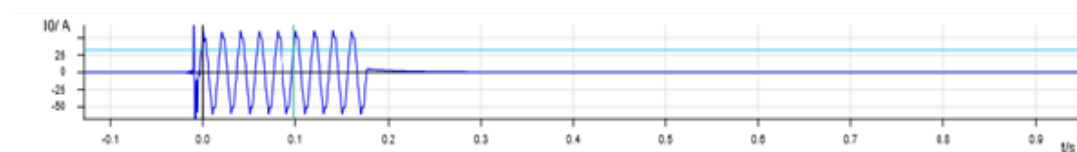


Slika 16: Potek napetosti pri EZS, zvezdišče je izolirano
(Lastni vir)



Slika 17: Potek napetosti na odprtem trikotu ($3U_0$) in tokov pri EZS; zvezdišče je izolirano.
(Lastni vir)

Na sliki 17 je prikazan potek napetosti odprtega trikotja $3U_0$ v velikosti 11,6 kV. Tokova v zdravih fazah IL_1 in IL_2 sta praktično 0 A, v fazi IL_3 pa imamo tok zemeljskega stika $3I_0$, ki znaša 38,420 A. To je »čista« kapacitivna komponenta toka EZS!



Slika 18: Prikaz toka EZS, merjenega preko objemnega transformatorja TK
(Lastni vir)

Na sliki 19 je potek toka zemeljskega stika izmerjenega preko kablanskega objemnega transformatorja TK 840; primarna vrednost je 40,054 A.

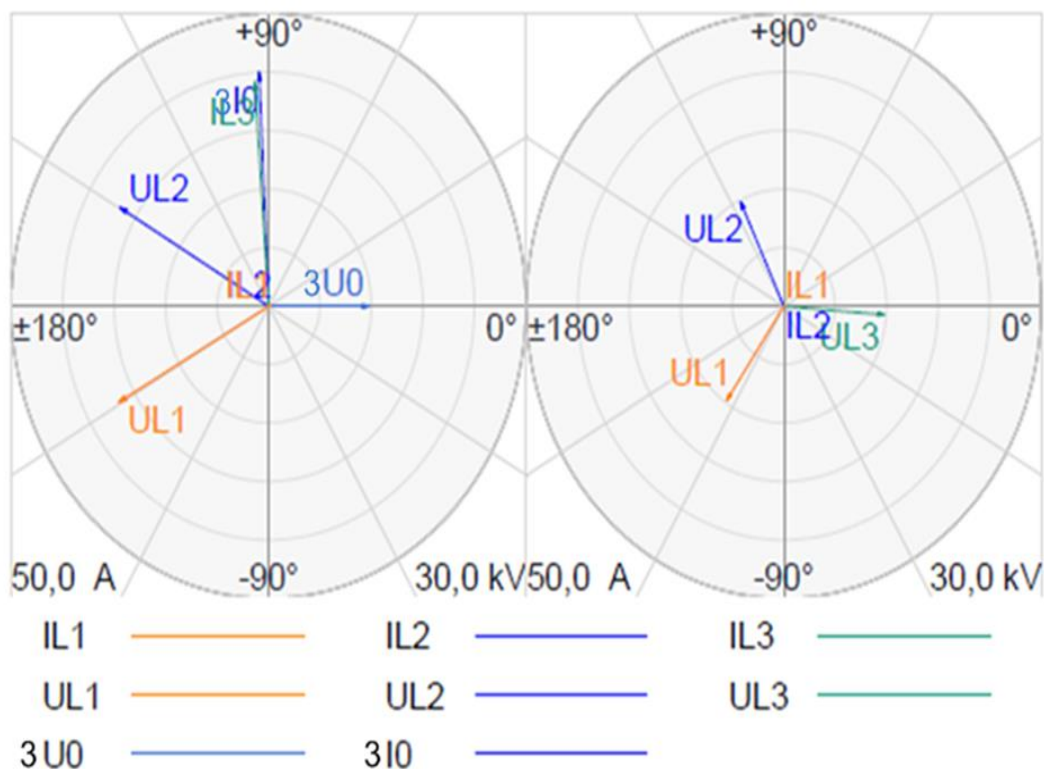
ZAŠČITNI RELE FPC V CELICI JA 19 Z IZKLJUČENIM UPOROM

Cursor 1: 110,1 ms

Measuring Signal	Value	Phase	Extremum	DC	2.Harmon.	3.Harmon.	5.Harmon.
IL1	0,3489 A	-5,0°	-3,6232 A	-503,3%	6,4%	21,5%	37,4%
IL2	0,4304 A	-0,9°	-0,6902 A	-635,1%	23,7%	21,8%	58,8%
IL3	38,420 A	94,1°	-59,375 A	-1,0%	0,5%	0,5%	3,0%
UL1	20,046 kV	-150,6°	-28,833 kV	0,0%	4,0%	5,1%	3,9%
UL2	20,104 kV	149,8°	-28,818 kV	0,0%	4,1%	5,2%	4,1%
UL3	0,00334 kV	142,8°	0,08998 kV	2551,6%	171,5%	225,5%	172,4%
U0	11,658 kV	0,0°	17,003 kV	1,5%	2,4%	0,4%	4,3%
I0	40,054 A	92,7°	-59,948 A	0,6%	0,4%	0,2%	3,4%

Tabela 12: Vrednosti fazorjev tokov in napetosti pri okvari; referenčna vrednost faznih zasukov je $3U_0$ z izključenim uporom (Lastni vir)

Levi kazalčni diagram predstavlja stanje med okvaro, desni pa normalno stanje napetosti po izklopu okvare.



Legenda: SIGRA. U_0 $3U_0$ in I_0 $3I_0$. Velja za vse tabele in kazalčne diagrame

Slika 19: Kazalčni diagram med in po okvari (Lastni vir)

5.3 PRIMERJAVA VREDNOSTI MED RAZLIČNIMI ZAŠČITNIMI TERMINALI IN INSTRUMENTOM OMICRON

Glede na priključno shemo za izvedbo meritev smo poleg osnovnega zaščitnega releja voda FPC 520 uporabili še dodatno drugi tip releja REF 615 – slika 9. Meritve smo zajeli tudi z instrumentom OMICRON.

5.3.1 Zvezdišče 20 kV, ozemljeno preko upora 80 Ω

V tabeli 13 so zajeti podatki iz celice JA 19 na FPC 520, v kateri je bil izveden EZS. Razviden je potek EZS v fazi L₃ (tokovi in napetosti).

V tabeli 14 je prikaz podatkov iz dodanega zaščitnega releja REF 615, ki registrira zemeljskostične tokove 3I₀ iz celic JA 17-A, JA 18-B in JA 20-C in tok 3I₀ iz celice JA 19.

V tabeli 15 so podatki zajeti z instrumentom OMICRON, zaradi kontrole večjo točnost meritev (vzorčenje 10 kHz), in je samo za primerjavo vrednosti – kontrola točnosti meritev. Zaščitna terminala imata vzorčenje zajemanja analognih vrednosti 1 kHz.

ZAŠČITNI RELE FPC V CELICI JA 19 Z VKLJUČENIM UPOROM

Cursor 1: 97,4 ms							
Measuring Signal	Value	Phase	Extremum	DC	2.Harmon.	3.Harmon.	5.Harmon.
IL1	0,3754 A	27,2°	-4,3108 A	-449,5%	36,0%	99,4%	36,6%
IL2	0,3760 A	-176,4°	-3,4586 A	-799,1%	2,6%	20,4%	43,1%
IL3	158,76 A	37,1°	-223,98 A	0,9%	0,4%	0,1%	1,1%
UL1	19,763 kV	-128,6°	28,514 kV	0,4%	3,3%	4,3%	3,6%
UL2	20,164 kV	171,9°	29,243 kV	-0,0%	4,1%	5,3%	4,3%
UL3	0,00375 kV	172,1°	0,1253 kV	3296,2%	140,7%	186,4%	147,3%
U0	11,601 kV	22,0°	-16,660 kV	1,8%	2,3%	1,1%	4,2%
I0	162,86 A	38,0°	-230,84 A	0,8%	0,1%	0,3%	0,9%

Tabela 13: Zaščitni rele v celici JA 19 z vključenim uporom
(Lastni vir)

REF 615 Z VKLJUČENIM UPOROM

Cursor 1: 97,2 ms

Measuring Signal	Value	Phase	Extremum	DC	2.Harmon.	3.Harmon.	5.Harmon.
IL1 A	7,1758 A	160,6°	8,7891 A	-4,7%	0,6%	0,3%	4,2%
IL2 B	9,5559 A	159,4°	11,719 A	-4,5%	0,8%	1,6%	1,9%
IL3 C	22,564 A	160,3°	29,297 A	-1,4%	0,3%	0,2%	3,0%
Io N	163,60 A	-96,8°	235,35 A	0,3%	0,1%	0,1%	0,9%
U1 A	19,847 kV	99,7°	-28,672 kV	-0,7%	3,9%	4,9%	3,9%
U2 B	20,349 kV	39,7°	-29,297 kV	-0,9%	4,1%	5,2%	4,2%
U3 C	0,00687 kV	-28,1°	-0,07813 kV	-1065,8%	98,6%	96,2%	88,6%
Uo N	11,049 V	-50,1°	-45,105 V	-229,6%	46,4%	43,0%	40,4%

Tabela 14: Zaščitni rele REF 615; zajem podatkov I_0 iz vseh štirih celic
(Lastni vir)

LEGENDA MERITEV TOKA $3I_0$ z REF-om 615:

- $IL_1 A = 3I_0 \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow$ JA 17 Vrtojba–Gradišče
- $IL_2 B = 3I_0 \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow$ JA 18 Ajdovščina
- $IL_3 C = 3I_0 \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow$ JA 20 Grgar
- $IoN \leftrightarrow 3I_0 \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow$ JA 19 Rezerva EZS

OMICRON Z VKLJUČENIM UPOROM

Cursor 1: 97,82 ms

Measuring Signal	Value	Phase	Extremum	DC	2.Harmon.	3.Harmon.	5.Harmon.
Currents L1	7,2746 A	-53,9°	-10,892 A	-9,5%	0,4%	0,2%	2,5%
Currents L2	9,5437 A	-54,2°	-13,987 A	-4,2%	0,3%	0,3%	2,6%
Currents L3	22,461 A	128,7°	30,135 A	0,8%	0,3%	0,2%	3,2%
Currents N	163,68 A	51,3°	-234,97 A	1,2%	0,1%	0,1%	0,9%
Voltages L1N	19,879 kV	68,6°	-28,723 kV	-0,6%	3,9%	4,9%	4,0%

Tabela 15: Instrument OMICRON z vključenim uporom
(Lastni vir)

5.3.2 Zvezdišče (izolirano)

Glede na priključno shemo za izvedbo meritev smo poleg osnovnega zaščitnega releja voda FPC 520 uporabili še drugi tip releja REF 615 – slika 9. Meritve smo zajeli tudi z instrumentom OMICRON.

V tabeli 16 so podatki iz FPC 520, celice JA 19. Vrednosti, ki so karakteristične, so v drugem stolpcu – Value. Prikazana je vrednost kapacitivnega toka v fazi IL_3 , v

katerem je okvara (38,234 A). Meritev zemeljskostičnega toka $3I_0$ iz objemnega transformatorja znaša 39,990 A.

ZAŠČITNI RELE FPC 520 V CELICI JA 19 Z IZKLJUČENIM UPOROM

Cursor 1: 100,4 ms							
Measuring Signal	Value	Phase	Extremum	DC	2.Harmon.	3.Harmon.	5.Harmon.
IL1	0,1565 A	-42,1°	-0,1852 A	-1503,9%	76,9%	174,1%	289,7%
IL2	0,08942 A	25,3°	-2,7665 A	-3152,5%	108,7%	172,2%	270,3%
IL3	38,234 A	69,8°	56,333 A	-1,3%	0,8%	0,9%	2,9%
UL1	20,000 kV	-175,2°	29,091 kV	0,4%	4,4%	5,5%	4,0%
UL2	19,989 kV	125,5°	29,118 kV	-0,1%	5,1%	6,4%	4,6%
UL3	0,00699 kV	147,7°	0,08374 kV	1144,6%	98,9%	110,3%	75,9%
U0	11,625 kV	-24,4°	-16,767 kV	1,4%	2,8%	0,8%	4,4%
I0	39,990 A	68,4°	59,358 A	0,5%	0,5%	0,3%	3,2%

Tabela 16: Zaščitni rele v celici JA19 brez upora
(Lastni vir)

V tabeli 17 so podatki iz REF 615 prispevki zdravih vodov; skupni kapacitivni tok I_0 , ki v celici JA 19 znaša 40,005 A. V tabeli je predstavljen prikaz zajema podatkov iz dodanega zaščitnega releja REF 615, ki zajema toke $3I_0$ celic JA 17-A, JA 18-B in JA 20-C ter tok $3I_0$ celice JA 19.

REF 615 Z IZKLJUČENIM UPOROM

Cursor 1: 100,6 ms							
Measuring Signal	Value	Phase	Extremum	DC	2.Harmon.	3.Harmon.	5.Harmon.
IL1 A	7,3133 A	74,7°	9,7656 A	-6,3%	0,6%	1,7%	3,6%
IL2 B	9,7549 A	73,6°	12,695 A	-7,2%	1,1%	1,0%	3,1%
IL3 C	22,737 A	74,2°	35,156 A	-3,0%	0,0%	0,6%	3,7%
I0 N	40,005 A	-106,1°	-60,547 A	-1,2%	0,5%	0,2%	3,5%
U1 A	20,070 kV	13,2°	-29,297 kV	-1,1%	5,2%	6,4%	4,4%
U2 B	20,152 kV	-46,6°	-29,297 kV	-0,9%	5,3%	6,5%	4,6%
U3 C	0,01275 kV	7,5°	0,00000 kV	-97,8%	81,5%	100,1%	33,2%
U0 N	11,640 kV	-16,8°	-16,960 kV	-1,1%	3,2%	0,2%	4,7%

Tabela 17: Zaščitni rele REF 615 zajema podatke vseh celic
(Lastni vir)

LEGENDA MERITEV TOKA I_0 z REF 615:

- IL₁ A ⇒⇒⇒ JA17 Vrtojba–Gradišče
- IL₂ B ⇒⇒⇒ JA18 Ajdovščina
- IL₃ C ⇒⇒⇒ JA20 Grgar
- I₀ N ⇒⇒⇒ JA19 Rezerva EZS

V tabeli 18 so vrednosti iz instrumenta OMICRON z večjo točnostjo. Meritev zemeljskostičnega toka $3I_0$ (čista kapacitivna komponenta) iz objemnega transformatorja znaša 40,138 A.

OMICRON Z IZKLJUČENIM UPOROM

Cursor 1: 100,45 ms							
Measuring Signal	Value	Phase	Extremum	DC	2.Harmon.	3.Harmon.	5.Harmon.
Currents L1	7,1791 A	-82,4°	-8,9172 A	3,8%	0,4%	0,2%	2,9%
Currents L2	9,5127 A	-83,8°	-12,046 A	0,3%	0,5%	0,2%	2,8%
Currents L3	22,549 A	96,1°	30,054 A	-0,3%	0,4%	0,1%	3,8%
Currents N	40,138 A	96,0°	51,974 A	-2,0%	0,6%	0,1%	3,4%
Voltages L1N	20,093 kV	36,1°	-29,334 kV	-0,8%	5,2%	6,4%	4,4%

Tabela 18: Instrument OMICRON z izključenim uporom
(Lastni vir)

LEGENDA MERITEV TOKA I_0 Z OMICRON:

- Curents L1 ⇒⇒⇒ JA17 Vrtojba–Gradišče
- Curents L2 ⇒⇒⇒ JA18 Ajdovščina
- Curents L3 ⇒⇒⇒ JA20 Grgar
- Curents N ⇒⇒⇒ JA19 Rezerva EZS

Prispevki kapacitivnega toka iz zdravih vodov so praktično enaki, kar je razvidno iz tabele 11 v primerjavi s tabelo 14 oziroma OMICRON: tabela 12 in tabela 14.

Primerjava zajetih podatkov z instrumentom OMICRON z zaščitnimi terminali ne kaže bistvenih odstopanj.

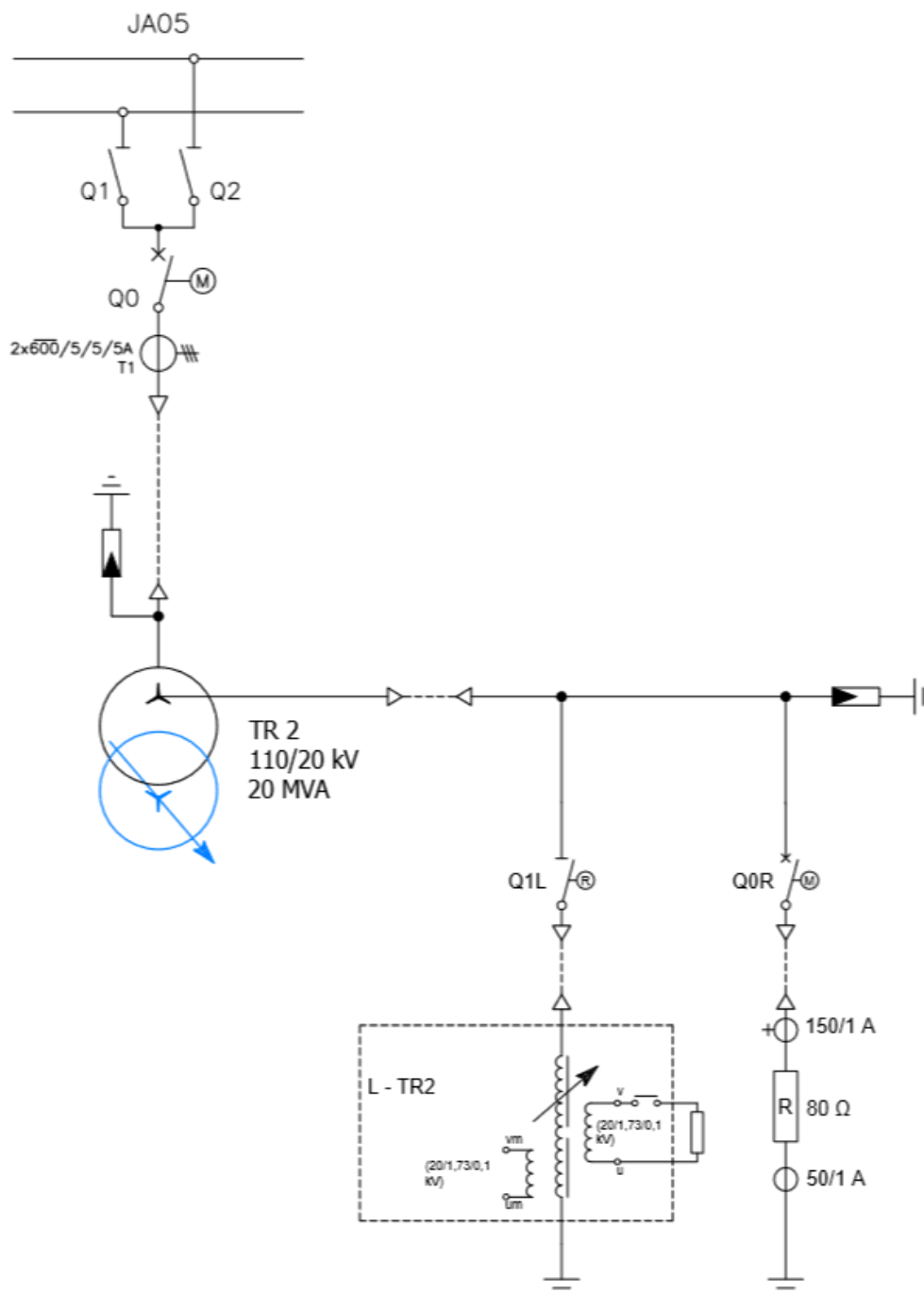
Izmerjena vrednost kapacitivnega toka se sklada z izračunanimi vrednostmi iz tretjega poglavja.

6 PREDLOG IZVEDBE

Glavni parametri za dimenzioniranje velikosti/moči resonančne dušilke:

- Osnovni podatek je velikost kapacitivnega toka dela omrežja, ki ga napaja TR2 v RTP.
- Praviloma se velikost določi kot dvakratnik izmerjenega kapacitivnega toka. Na ta način se doseže, da je resonančna točka dušilke v sredini reguliranega področja. S tem je možno naravno povečevanje kapacitivnega toka zaradi kasnejših širitev omrežja.

RONT ali resonančno ozemljena nevtralna točka se dogradi med zvezdiščem transformatorja 2 in zemljo, kar je razvidno iz slike 22. Lastnost dušilke je kompenzacija kapacitivnih tokov, ki stečejo ob okvari. Tok enofaznega zemeljskega stika steče preko dozemnih kapacitivnosti daljnovodov in kablovodov na mesto okvare in se zaključi preko nevtralne točke transformatorja.



Slika 20: Enočrtna shema RONT na TR2
(Lastni vir)

Ob EZS teče skozi mesto okvare tok, ki se razdeli na dva dela. Prvi teče preko zemlje v zvezdišče, drugi preko dozemnih odvodnosti in kapacitivnosti zdravih dveh faz. V 20-kV omrežju je lahko predvsem zaradi velikega deleža kablov in s tem velike kapacitivnosti omrežja, kapacitivna komponenta toka EZS zelo velika. RONT preko Petersenove resonančne dušilke omogoča kompenzacijo kapacitivne komponente toka skozi mesto okvare, tako da teče skozi mesto okvare le še zelo mala delovna komponenta toka. Zato je ob uglasitvi Petersenove resonančne dušilke na kapacitivni tok omrežja verjetnost ugasnitve obloka na mestu okvare veliko večja. Zaradi manjšega toka EZS se zmanjša napetost dotika in koraka, zato lahko tako omrežje dalj časa obratuje pod okvaro (Vidmar, 2010).

Posledica, ki jo povzroča EZS v omrežju, ozemljenem preko Petersenove resonančne, dušilke je povišanje napetosti v zdravih dveh fazah za približno $\sqrt{3}$, pri intermitirajočih EZS pa lahko do 2- ali 3-krat U_n (Vidmar, 2010).

Če je tip okvare trajnega značaja, regulator RONT po določenem času vključi odklopnik upora 80Ω , kar omogoči delovanje zaščitnih naprav s sistemom z nizkoohmsko nevtralno točko in APV.

7 ZAKLJUČEK

Obravnavana uvedba Petersenove resonančne dušilke kot modifikacija obratovanja nevtralne točke 20-kV omrežja za TR2 v RTP Gorica je utemeljena s karakterističnimi statističnimi podatki tega načina obratovanja SN-omrežij. Izkušnje dobre prakse so se pokazale tudi na SN-omrežjih nekaterih distribucijskih podjetij v Sloveniji in Hrvaškem. Predlagali smo vgradnjo RONT na delu omrežja Elektro Primorska d.d., ki ga napaja TR2 v RTP Gorica. Izračunali smo velikost in s primarnimi preizkusi preverili dejansko vrednost kapacitivnega toka, kar bo omogočilo obratovanje tudi z resonančno nevtralno točko.

Pričakujemo zmanjšanje števila dosedanjih kratkotrajnih izpadov (0,3 s) zaradi prehodnih okvar (uspešni APV v obstoječem sistemu z nizkoohmsko impedanco v nevtralni točki).

APV predstavlja kratkotrajno prekinitev, vendar je nezaželena za večino industrije. Kapacitivna komponenta toka zemeljskega stika ($1/\omega C$) bo kompenzirana z induktivno komponento toka skozi dušilko (ωL); posledično bo tok I_{lo} na mestu okvare reda manjši od 3 A in bo zemeljski stik prenehal. Zato bo večina prehodnih zemeljskih stikov izginila oziroma bo oblok ugasnil, še preden bo sistem z vklopom upora prešel v sistem ozemljitve z nizkoohmsko impedanco.

Prikazana je principiелna enočrtna shema novega načina ozemljevanja zvezdišča sekundarja in parametri za optimalno izbiro moči RONT.

Evidentno je, da je diskrepanca vrednosti zemeljskostičnega toka, registriranega samo v fazi L_3 , vzrok netočnosti faznega tokovnega transformatorja v primerjavi z objemnim transformatorjem (napaka amplitude, napaka kota). Meritve z objemnim tokovnim transformatorjem lahko smatramo za bolj verodostojne.

Izvedena sta bila dva preizkusa. Prvič smo EZS izvedli z nizkoohmskom impendanco nevtralne točke, drugič pa z izolirano nevtralno točko.

V našem primeru je bil preizkus zaradi kovinskega zemeljskega stika izveden v zelo kratkem intervalu brez prehodne upornosti. Dobljene izmerjene vrednosti kapacitivnega toka EZS so bile skladne z dobljenimi vrednostmi izračunanega toka iz tretjega poglavja.

Nepredvidenih prebojev odvodnikov prenapetosti, kabelskih glav ali kablovodov ni bilo pri izvedbi drugega preizkusa z izolirano nevtralno točko TR2.

LITERATURA IN VIRI

ABB. (b.l.). REF 615. Pridobljeno 23. 5. 2018 z naslova <https://new.abb.com/medium-voltage/distribution-automation/numerical-relays/feeder-protection-and-control/relion-for-medium-voltage/feeder-protection-and-control-ref615-iec>.

—. (b.l.). REF 615. Pridobljeno 23. 5. 2018 z naslova <https://new.abb.com/medium-voltage/distribution-automation/numerical-relays/feeder-protection-and-control/relion-for-medium-voltage/feeder-protection-and-control-ref615-iec> (poskus dostopa 23. Maj 2018).

—. (b.l.). REF 615. Pridobljeno 23. 5. 2018 z naslova https://www.google.si/search?q=REF+615&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjNu9CTmJzbAhUiS5oKHZrNDuYQ_AUICigB&biw=1600&bih=720#imgdii=aZz-1Ce_A5-yaM:&imgsrc=fDUTR8W1uJcTUM.

—. (b.l.). REF 615. Pridobljeno 23. 5. 2018 z naslova https://www.google.si/search?q=REF+615&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjNu9CTmJzbAhUiS5oKHZrNDuYQ_AUICigB&biw=1600&bih=720#imgdii=aZz-1Ce_A5-yaM:&imgsrc=fDUTR8W1uJcTUM.

Elektroinštitut Milan Vidmar. (2010). Proučitev SN zemeljskostične zaščite in njenega delovanja pri različnih načinih ozemljitve nevtralne točke. Referat, št.: 2040. Ljubljana: Elektroinštitut Milan Vidmar.

Elektro Primorska (b. l.). Scada Elektro Primorska. Neobjavljeno delo.

Elektro Primorska. (a). Kakovost električne energije. Pridobljeno 23. 5. 2018 z <http://www.elektro-primorska.si/omrezje/kakovost-elektricne-energije>.

Elektro Primorska. (b). Zanesljivost oskrbe. Pridobljeno 24. 5. 2018 z <http://www.elektro-primorska.si/omrezje/zanesljivost-oskrbe>.

Kočnik, D., Bizjak, J. in Cimerman, G. (b.l.). NEO 2000. Ljubljana.

OMICRON. (b.l.). OMICRON. Pridobljeno 23. 5. 2018 z naslova <https://www.omicronenergy.com/en/support/technical-support/>. brez datuma. <https://www.omicronenergy.com/en/support/technical-support/>

OMICRON. (b.l.). CMC 353. pridobljeno 1. 6. 2018 z naslova <https://www.omicronenergy.com/en/products/cmc-353/>.

POWERLAB. (2014). Kapacitivnost. Pridobljeno 27. 5. 2018 z naslova http://www.powerlab.um.si/novo2012/Download/REE/Predavanja/REE_2_3_Elektricne_lastnosti_vodov-kapacitivnost_2014.pdf.

Štruc, S. (2007). Relejna zaščita elektroenergetskih sistemov. Ljubljana, ICES.