

Igor Ivanković, dipl. ing.
mr. sc. Božidar Filipović-Grčić, dipl. ing.
HEP, Prijenosno područje Zagreb
Zoran Gajić, dipl. ing.
ABB Automation Technology Products AB, Västerås

B5 – 05

ZAŠTITA TRANSFORMATORA S KOMBINIRANOM UZDUŽNOM I POPREČNOM REGULACIJOM U TS ŽERJAVINEC

SAŽETAK

Prvi puta ugradit će se u hrvatski elektroenergetski sistem transformator s tzv. poprečnom ili kutnom regulacijom u TS Žerjavinec. Taj transformator snage 400 MVA povezuje mreže 400 i 220 kV. Sustav relejne zaštite tog transformatora je posve specifičan, zbog mogućnosti rada transformatora kao klasičnog regulacijskog transformatora, odnosno transformatora za regulaciju toka radne snage. U radu će se ukratko opisati zaštita i proračuni vezani na način rada zaštite.

Ključne riječi: Zaštita transformatora, autotransformator, poprečna regulacija

PROTECTION CONCEPT FOR COMBINED AUTOTRANSFORMER-PHASE SHIFTING TRANSFORMER IN ŽERJAVINEC SUBSTATION

SUMMARY

For the first time, in the history of the Croatian power system, a Phase Shifting Transformer will be put in operation in the Žerjavinec substation. Nominal power of this special transformer is 400 MVA and it will interconnect 220 kV and 400 kV transmission grids in the northwest part of the country. Because of transformer capability to operate in two different operating modes, the protection system, especially bias differential protection, has to be designed with great care. This article will present power transformer theory and necessary calculations, which have to be done in order to verify proper operation of the differential protection. The simplified formulas to estimate false differential current will be presented.

Key words: Power transformer protection, autotransformer, phase shifting transformer

1. UVOD

Uobičajeno je rješenje korištenja autotransformatora za povezivanje prijenosnih mreža različitog nazivnog napona u elektroenergetskom sistemu. Iskustvo je pokazalo kako je kod vrlo opterećenih prijenosnih mreža u normalnom pogonu kut između napona dviju mreža spojenih autotransformatorom općenito manji od 7° . Naravno, kod poremećaja taj kut se povećava kako interkonekcija postaje slabija.

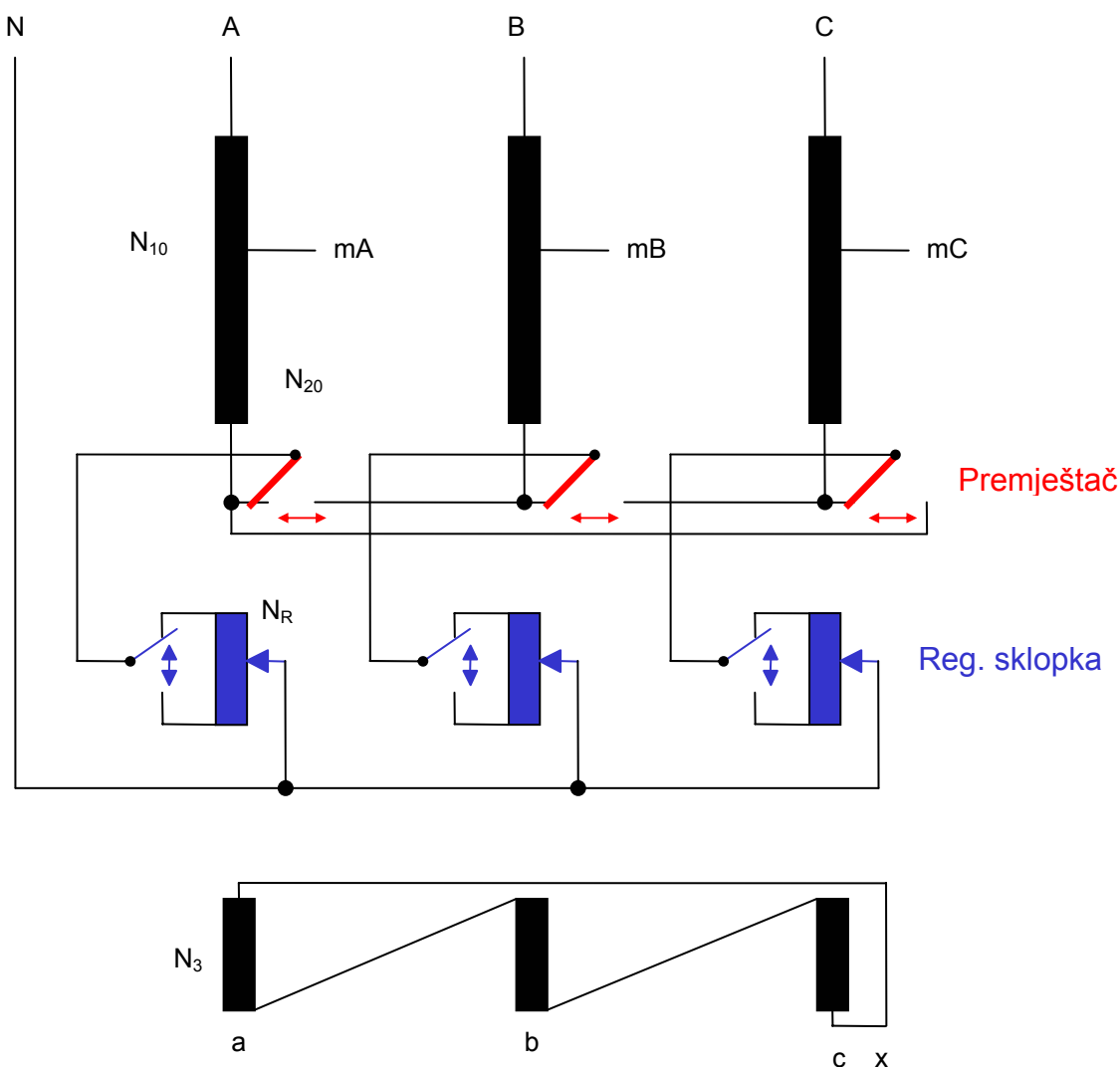
Tok radne snage ili teret na transformatoru je određen iz napona kratkog spoja transformatora i razlike kuta između dviju mreža. Stoga je mrežni transformator pasivni element mreže, te se opterećenje transformatora u principu ne može mijenjati bez bitnih promjena u mreži. Moguća je pojava, kako ubrzo

nakon uključenja u pogon transformatora, na određenoj lokaciji mreže on može postati neekonomičan (npr. TS Mraclin) ili čak transformacija postaje nemoguća. U odnosu na tokove radne snage, tokovi jalove snage mogu se na klasičnim transformatorima mijenjati položajem regulacione preklapke. Tok jalove snage služi za reguliranje napona na niženaponskoj strani.

HEP planira instalirati transformator s posebnim karakteristikama u TS Žerjavinec. Taj transformator će se koristiti u dva različita načina rada.

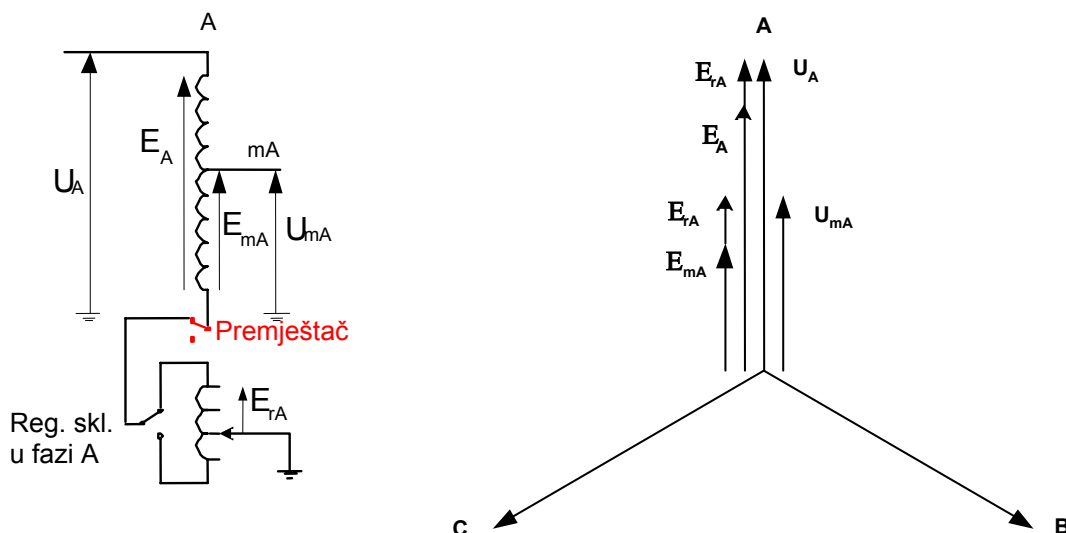
- Normalni autotransformator s regulacijskom preklapkom pod teretom u zvjezdištu transformatora, omogućavajući time regulaciju napona za smjer energije u oba pravca, tzv. regulacija promjenom toka.
- Poprečna regulacija, čime se omogućava regulacija tokova radne snage između dvije mreže.

Transformator ima regulacijsku sklopku u zvjezdištu. Između serijskog i regulacijskog namota smješten je premještač. Ovisno o položaju premještača odabire se način rada autotransformatora, uzdužna ili poprečna regulacija slika 1. Premještač može mijenjati položaj samo kada nema tereta i napona (off-load and no-voltage).



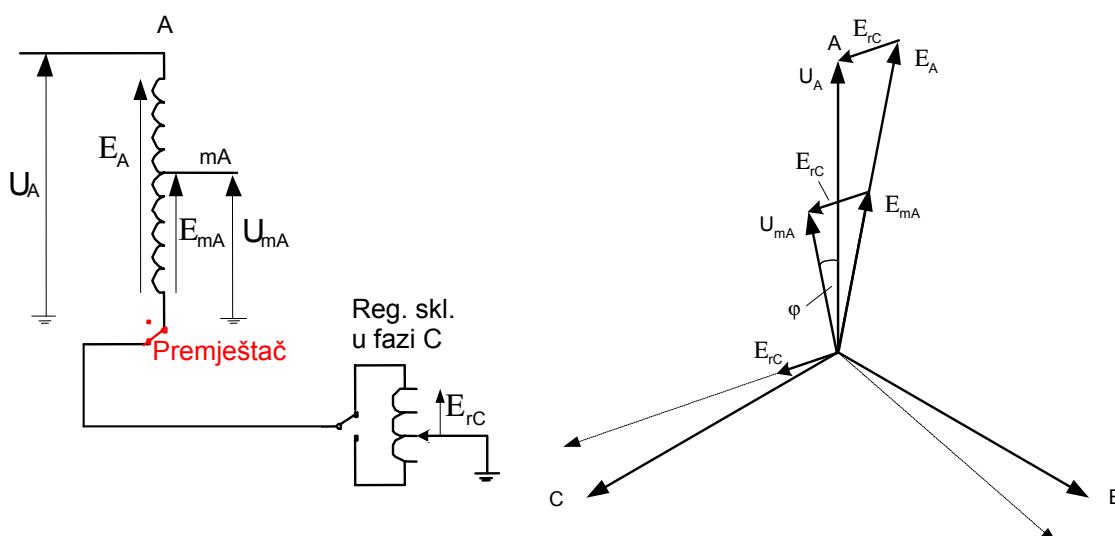
Slika 1, shema autotransformatora s uzdužnom i poprečnom regulacijom

Autotransformator ima slijedeće nazivne podatke o snazi i naponu, 400/400/(130) MVA i 400/231/(10,5) kV, te ima ukupno 25 položaja regulacijske preklapke, uz grupu spoja YNa0(d5). Vektorski dijagram napona za dva različita načina rada transformatora prikazan je na slici 2 i slici 3. Regulacijski namot nalazi se u zvjezdištu. Na slici 2, prikazana je uzdužna regulacija ili klasična regulacija napona. U ovom slučaju transformator radi kao klasični regulacioni transformator, čija regulaciona preklapka ima 25 položaja. Oba namota faze A nalaze se na istom magnetskom krugu.



Slika 2, vektorski prikaz napona za autotransformator bez tereta za uzdužnu regulaciju

Mijenjanjem položaja premještača, "obični transformator" postaje transformator za poprečnu regulaciju. Poprečna regulacija prikazana je na slici 3, gdje se vidi kako se namoti iste faze nalaze na različitim magnetskim krugovima. Naponu faze A dodaje se napon pod određenim kutem iz faze C. Rezultantna napona je takva da je napon na SN strani transformatora pomaknut za kut φ , koji nije kut uslijed tereta, nego pomak napona zbog poprečne regulacije. Mijenjanjem kuta φ mijenja se i tok radne snage kroz transformator, također ovisno o predznaku kuta φ moguće je i mijenjati smjer toka radne snage.



Slika 3, vektorski prikaz napona za autotransformator bez tereta za poprečnu regulaciju

2. NAMJENA U HEP-OVOJ MREŽI

Izgradnja TS Žerjavinec prirodno je nametnula povezivanje 400 i 220 kV mreže na području Zagreba. Poznat je tzv. "problem" relativno pa i apsolutno energetski prazne mreže 220 kV u Zagrebu. Svi proizvodni objekti priključeni na 220 kV, udaljeni su više od stotinu kilometara, osim TE Sisak, koji praktički pokriva lokalne potrebe. Stoga je TS Mraclin jedno vrlo veliko rasklopište koje zapravo ne može pokriti potrebe potrošača u 110 kV mreži (raspadi EES-a su potvrdili ove navode). Obavljeni su proračuni tokova snaga (FER i ORZ), te su oba proračuna dali iste rezultate.

Tako se samo po sebi nametnulo korištenje transformatora s regulacijom toka radne snage, engleski najčešće korišten naziv je **phase shift transformer**, PST. Također se nametnulo pitanje kakvu

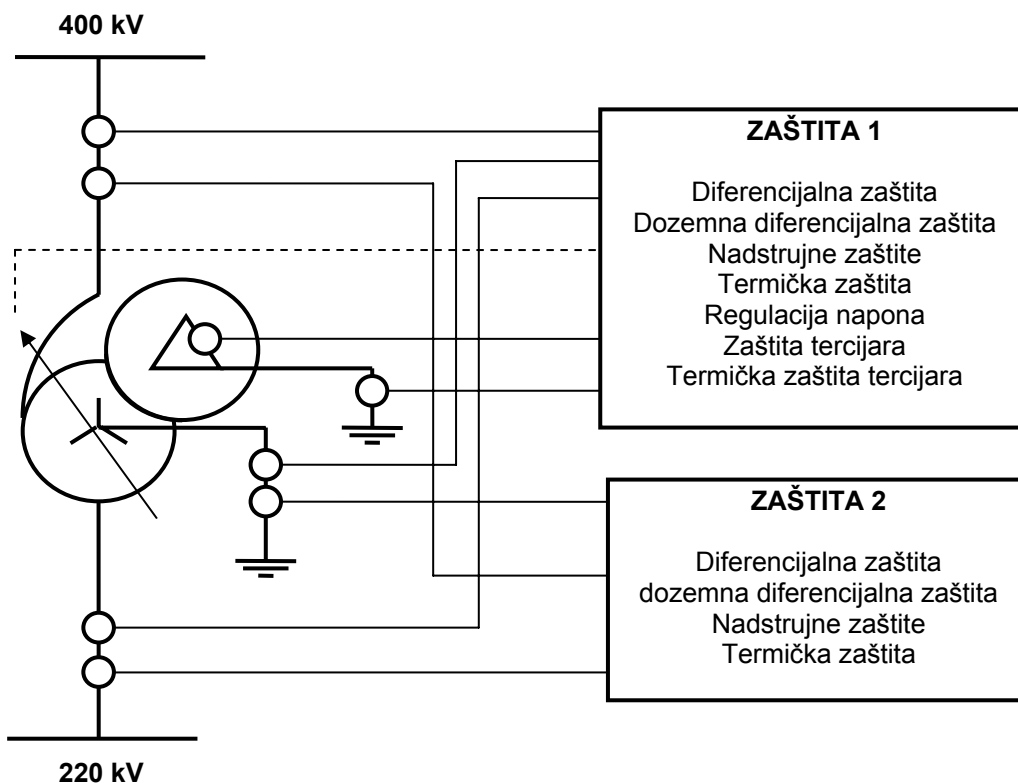
vrstu PST-a koristiti. Dio stvari je bio već prilično unaprijed definiran, stoga je odlučeno kako će se koristiti PST u jednom kotlu s jednom regulacijskom preklapkom i jednim te istim regulacijskim namotom. Ovakvo ili slično rješenje je poznato iz prakse elektroprivrednih poduzeća u Americi. Izbor rješenja je povećao cijenu transformatora manje od 1%. Opseg regulacije od $+7^\circ$ i $-4,8^\circ$ su više nego dovoljni za ovaj slučaj. Korištenje iste regulacijske sklopke ne može dati veliki opseg regulacije, a također nudi na neki način zavisnu regulaciju tokova snaga s iznosom napona. Korištenje dvije regulacijske preklapke omogućilo bi nezavisnu regulaciju. Odustalo se od korištenja skupog rješenja s korištenjem tzv. "booster" transformatora ili njegovog smještaja u isti kotao.

Potrebno se bilo odlučiti što će se događati s naponom kada se reguliraju tokovi snaga. Regulacija će biti takva da se utiskivanjem radne snage u mrežu 220 kV povećava malo napon, te bi se na taj način kompenzirao pad napona uslijed većih tokova snaga. Ovaj način rada bi trebao biti najčešći, te bi se tako dio tokova prenosio u 220 kV mrežu, a oslobodio bi se prostor za veći tranzit na 400 kV razini.

Proračuni su pokazali kako bi ovakva regulacija bila i posve prikladna za korištenje u tom dijelu mreže. Naime u TS Žerjavinec postoje samo dva dalekovoda 220 kV koji imaju ipak ograničenu snagu prijenosa. Prirodni tokovi snaga su takvi da ne ostavljaju previše prostora za dodatne tranzite. Stoga je ovakva regulacija tokova snaga s regulacijskim transformatorom omogućila posve dovoljnu regulaciju radnih tokova snage od 120 do 150 MW. Što ukupno s prirodnim tokovima u ovoj točki mreže omogućava više nego kvalitetnu podršku mreže 220 kV. Praktično veći tokovi snage nisu mogući zbog ograničene prijenosne moći dva dalekovoda 220 kV. Međutim ovaj transformator omogućava dobru polaznu poziciju za rekonstrukciju dalekovoda 220 kV Mracilin – Žerjavinec kada za to dođe vrijeme. Naime tada je moguće povećati prijenosnu moć upravo ovog dalekovoda, te skoro u potpunosti iskoristiti snagu transformacije od 400 MVA.

3. KONCEPCIJA ZAŠTITE I REGULACIJE TRANSFORMATORA

Za zaštitu ovog i ostalih transformatora u TS Žerjavinec odabrana je diferencijalna zaštita, slika 4.



Slika 4, blok shema zaštite transformatora 400 MVA

Ostali elementi postrojenja, vodovi i sabirnice, također se štite diferencijalnim zaštitama. Zbog važnosti i sigurnosti pogona diferencijalne zaštite su udvostručene.

Dva moguća načina rada transformatora nametnulo je posebne zahtjeve na zaštitu transformatora. Transformator će se štititi s dvije diferencijalne zaštite, koje moraju sigurno i dobro raditi za sve uvjete pogona. Koristit će se stabilizirana diferencijalna zaštita koja mora biti prilagođena za sljedeća tri ključna uvjeta;

- Pozicija položaja regulacione sklopke bit će priključena na diferencijalni relej korištenjem BCD koda.
- Potrebno je korektno udesiti kompenzaciju položaja regulacione preklopke za diferencijalnu funkciju.
- Pozicija premještača definira način rada transformatora, te se ta informacija koristi za promjenu grupe udešenja u diferencijalnom releju.

Regulacija transformatora kada on radi u regulaciji napona, bit će prilagođena tom dijelu mreže. Regulacija napona će biti u potpunosti automatizirana i daljinski upravljiva. Regulacija napona u ovom dijelu mreže treba biti u stanju najbrže reagirati na promjene napona, te će regulator morati ovdje prvi pokušati izregulirati napon na 220 kV sabirnicama. U slučaju toka snage u 400 kV mrežu moći će se u nekim postocima regulirati napon i na toj strani. Daljinski će biti moguće promijeniti postavne vrijednosti na regulatoru napona. Naravno, moći će se i kompletna regulacija obavljati ručno iz centra. Dakle standardno su raspoložive opcije automatske i ručne regulacije.

U poprečnoj regulaciji, neće biti aktivan regulator napona, nego će se ručno daljinski moći mijenjati položaji regulacije za potrebe regulacije tokova radne snage. Premještač će se moći mijenjati isključivo lokalno uz autorizaciju pristupa.

4. TEORETSKE JEDNADŽBE ZA STANJE BEZ TERETA

Ključno je bilo odabrati diferencijalnu zaštitu za siguran rad transformatora u poprečnoj regulaciji. Tada diferencijalna zaštita mora sigurno raditi za unutarnji kvar, a mora ostati stabilna za bliski kratki spoj pri najvećem kutu poprečne regulacije. Stoga će se ovdje navesti teoretske postavke za transformator i algoritam rada diferencijalne zaštite.

Za uredan rad zaštite 1 od najveće važnosti je točan upis položaja regulacijske sklopke za kompenzaciju prijenosnog odnosa transformatora. Prema pravilu potrebno je upisati kompletne podatke za transformator koji nije opterećen, to su podaci dostupni s natpisne pločice transformatora. Prema slikama 2 i 3, moguće je napisati slijedeće jednadžbe;

$$U_A = E_A + E_{rX}$$

$$U_{mA} = E_{mA} + E_{rX}$$

gdje je X položaj regulacione preklopke za tu fazu koja je spojena s glavnim namotom faze A. Ovo zapravo ovisi o položaju premještača. Inducirana elektromotorna sila ems, može se prikazati kao umnožak broja zavoja i ems po svakom zavoju. Ova ems po zavoju označit će se kao E_{tA} u fazi A, te je direktno proporcionalna magnetskom toku u jezgri i ima isti iznos za sve zavojne smještene na istom stupu jezgre.

$$U_A = N_{10} * E_{tA} + N_R * E_{tX} \quad (1)$$

$$U_{mA} = N_{20} * E_{tA} + N_R * E_{tX} \quad (2)$$

gdje je N_{10} ukupni broj zavoja u paralelnom i serijskom namotu, a N_{20} ukupni broj zavoja u paralelnom namotu i N_R je ukupni broj zavoja u regulacijskom namotu. Za ovaj određeni transformator podaci su slijedeći; $N_{10} = 1236$ zavoja, $N_{20} = 714$ zavoja i $N_R = \pm 12*16$ zavoja.

Iz teorije transformatora poznata je činjenica za uvjet trofaznog simetričnog izvora napona, ta ems po zavoju se može opisati sa simetričnim nizom jednadžbi. Moguće je stoga napisati slijedeće izraze;

$$U_A = N_{10} * E_{tA} + N_R * E_{tA} * b \quad (3)$$

$$U_{mA} = N_{20} * E_{tA} + N_R * E_{tA} * b \quad (4)$$

gdje je E_{tA} ems po zavoju u fazi A, dok je b konstanta, koja ovisi o načinu rada transformatora, te ona poprima slijedeće vrijednosti;

- $b = e^{j0^\circ} = 1 + j * 0$ za uzdužnu regulaciju
- $b = e^{j120^\circ} = -0.5 + j * 0.866$ za poprečnu regulaciju

poslije množenja s 1,732 ($\sqrt{3}$) i dijeljenja dviju jednadžbi, dobiva se slijedeći izraz;

$$U_{MV} = U_{HV} * \frac{N_{20} + N_R * b}{N_{10} + N_R * b} \quad (5)$$

gdje su U_{MV} linijski naponi na srednje naponskoj strani i U_{HV} linijski naponi na višenaponskoj strani transformatora.

Tablica I. Naponi bez tereta na niženaponskoj strani za uzdužnu regulaciju i konstantni napon $U_{HV}=400$ kV kod 0°

pozicija	Nr	U_{MV} [kV]	kut U_{MV} [stupnjevi]	E_t [V]	U_{LV} [kV]
1	-192	200,0	0,00	221,21	12,39
2	-176	203,0	0,00	217,87	12,20
3	-160	205,9	0,00	214,63	12,02
4	-144	208,8	0,00	211,48	11,84
5	-128	211,6	0,00	208,43	11,67
6	-112	214,2	0,00	205,46	11,51
7	-96	216,8	0,00	202,58	11,34
8	-80	219,4	0,00	199,78	11,19
9	-64	221,8	0,00	197,05	11,03
10	-48	224,2	0,00	194,39	10,89
11	-32	226,6	0,00	191,81	10,74
12	-16	228,9	0,00	189,30	10,60
13	0	231,1	0,00	186,84	10,46
14	16	233,2	0,00	184,46	10,33
15	32	235,3	0,00	182,13	10,20
16	48	237,4	0,00	179,86	10,07
17	64	239,4	0,00	177,65	9,95
18	80	241,3	0,00	175,49	9,83
19	96	243,2	0,00	173,38	9,71
20	112	245,1	0,00	171,32	9,59
21	128	246,9	0,00	169,31	9,48
22	144	248,7	0,00	167,35	9,37
23	160	250,4	0,00	165,43	9,26
24	176	252,1	0,00	163,56	9,16
25	192	253,8	0,00	161,72	9,06

Tipično je za sve autotransformatore s regulacijskom sklopkom smještenom u zvjezdishu, navesti napone bez tereta za konstantan napon na višenaponskoj strani (u ovom slučaju 400 kV), dok se napon na niženaponskoj strani mijenja s pozicijom regulacione sklopke. Korištenjem jednadžbe 5, napon na niženaponskoj strani bez tereta se može izračunati, a prikazan je u tablicama I i II.

Tablice I i II također uključuju slijedeće vrijednosti za;

- amplitudu za ems po zavoju (označen s E_t u tablici)
- amplitudu linijskog napona u tercijarnom namotu (označeno s U_{LV} u tablici), te dvije jednadžbe su izračunate korištenjem slijedeće dvije formule;

$$E_t = \frac{U_{HV}}{1.732 * (N_{10} + N_R * b)} \quad (6)$$

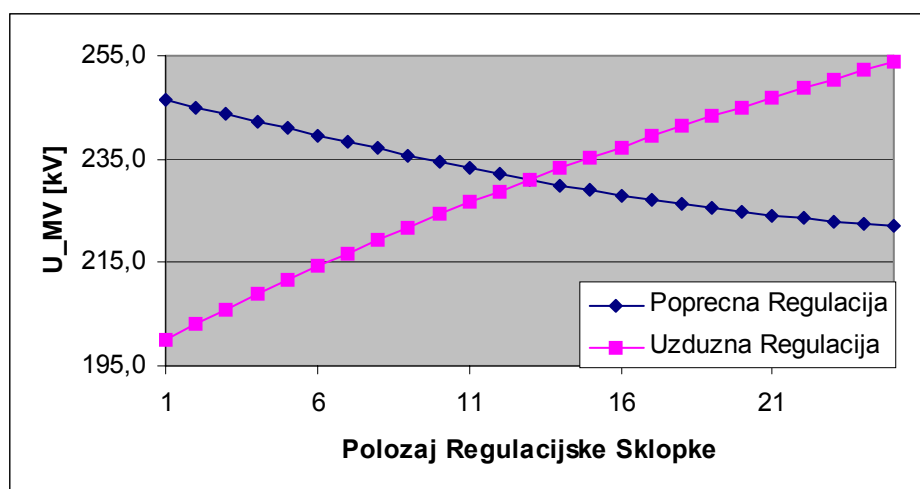
$$U_{LV} = N_3 * E_t \quad (7)$$

gdje je N_3 ukupni broj zavoja u tercijarnom namotu. Za ovaj transformator $N_3 = 56$ zavoja.

Tablica II, naponi bez tereta na niženaponskoj strani za poprečnu regulaciju i konstantni napon $U_{HV}=400$ kV kod 0°

pozicija	Nr	U_MV [kV]	kut U_MV [stupnjevi]	Et [V]	U_LV [kV]
1	-192	246,4	-4,48	172,04	9,63
2	-176	245,0	-4,19	173,28	9,70
3	-160	243,6	-3,89	174,52	9,77
4	-144	242,3	-3,57	175,76	9,84
5	-128	240,9	-3,24	177,00	9,91
6	-112	239,6	-2,89	178,24	9,98
7	-96	238,3	-2,52	179,48	10,05
8	-80	237,0	-2,14	180,72	10,12
9	-64	235,8	-1,75	181,96	10,19
10	-48	234,5	-1,33	183,19	10,26
11	-32	233,3	-0,91	184,41	10,33
12	-16	232,2	-0,46	185,63	10,40
13	0	231,1	0,00	186,84	10,46
14	16	230,0	0,48	188,05	10,53
15	32	229,0	0,97	189,25	10,60
16	48	228,0	1,48	190,43	10,66
17	64	227,1	2,01	191,61	10,73
18	80	226,2	2,55	192,77	10,80
19	96	225,4	3,11	193,92	10,86
20	112	224,7	3,69	195,05	10,92
21	128	224,0	4,27	196,17	10,99
22	144	223,5	4,88	197,27	11,05
23	160	223,0	5,49	198,36	11,11
24	176	222,5	6,12	199,42	11,17
25	192	222,2	6,76	200,46	11,23

Grafički prikaz za napone bez tereta na niženaponskoj strani dan je na slici 5.



Slika 5, naponi bez tereta na niženaponskoj strani za konstantni $U_{HV}=400$ kV

5. DIFERENCIJALNE I STABILIZACIJSKE STRUJE ZA DIFERENCIJALNU ZAŠTITU

Prema literaturi [2], diferencijalna struja faze A i stabilizacijska struja računaju se prema slijedećim jednadžbama;

$$I_{bias}[pu] = \max \left\{ \frac{I_{A_HV}}{I_{r1}}, \frac{I_{B_HV}}{I_{r1}}, \frac{I_{C_HV}}{I_{r1}}, \frac{I_{A_MV}}{I_{r2}}, \frac{I_{B_MV}}{I_{r2}}, \frac{I_{C_MV}}{I_{r2}} \right\} \quad (8)$$

$$I_{d_A}[pu] = \left| \frac{(I_{A_HV} - I_{o_HV}) + (I_{A_MV} - I_{o_MV}) * \frac{U_{MV}}{U_{HV}}}{I_{r1}} \right| \quad (9)$$

gdje su I_{A_HV} , I_{B_HV} i I_{C_HV} struje na 400 kV strani, a I_{A_MV} , I_{B_MV} i I_{C_MV} struje na 231 kV strani, dok su I_{o_HV} i I_{o_MV} računane nulte struje za 400 kV namot odnosno za 231 kV namot. I_{r1} i I_{r2} su udešene nazivne struje namota. Potrebno je naglasiti slijedeće;

- diferencijalne struje faze B i C računaju se na sličan način
- prema udešenju napon U_{HV} ima konstantnu vrijednost 400 kV
- prema udešenju U_{MV} će se mijenjati ovisno o položaju regulacijske sklopke
- diferencijalna funkcija ima samo jednu stabilizacijsku struju za sve tri faze

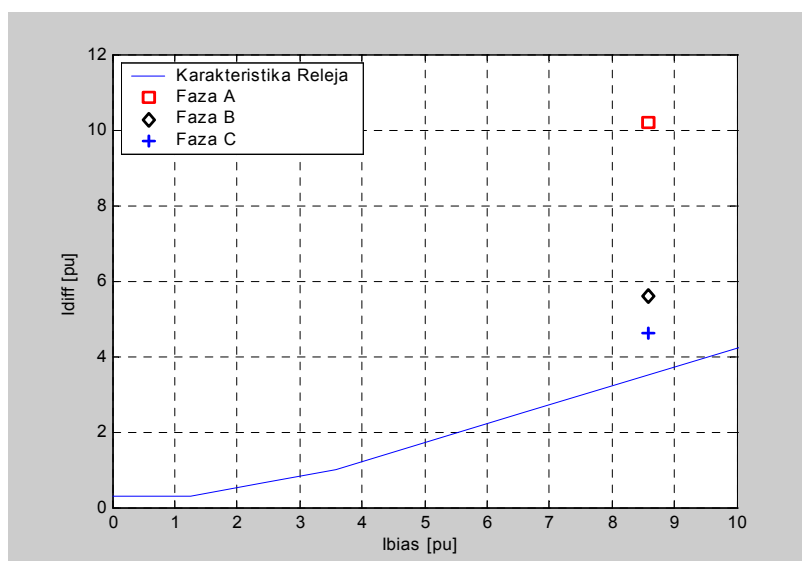
Korištenjem jednadžbi 8 i 9, obavljen je proračun za sve struje kvara i načine rada transformatora prema matematičkom modelu. Navest će se neki karakteristični slučajevi za poprečnu regulaciju. Prikazat će se proračuni za jedan unutarnji kratki spoj pri krajnjem položaju regulacijske sklopke te jedan bliski vanjski kratki spoj.

5.1. Unutarnji kratki spoj AN na 231 kV strani

Iz tablice VIII/ Literatura [6] koriste se slijedeći podaci, koji su navedeni u tablici III i tablici V;

Tablica III, podaci iz literature [6]

400kV Struje						231kV Struje					
Faza A		Faza B		Faza C		Faza A		Faza B		Faza C	
A	stup.	A	stup.	A	stup.	A	stup.	A	stup.	A	stup.
4010,9	276,8	390,3	206,9	388,2	104,1	8578,0	270,0	1112,2	60,2	1056,6	284,7



Slika 6, radne točke diferencijalne zaštite 1 za unutarnji kratki spoj

Tablica IV, stabilizacijska i diferencijalne struje prema proračunu

	Istab	Id faza A	Id faza B	Id faza C
[HV Amperes]	4958	5896	3226	2671
[pu]	8.58	10.20	5.58	4.62

U tablici IV, za unutarnji kratki spoj AN na 231 kV strani s Nr = 192, $U_{MV} = 222.0$ kV izračunali su se slijedeće stabilizacijske i diferencijalne struje. Grafički prikaz radnih točaka za diferencijalnu funkciju za ovaj slučaj prikazan je na slici 6.

5.2. Vanjski kratki spoj AN na 231 kV strani

Tablica V, podaci iz literature [6]

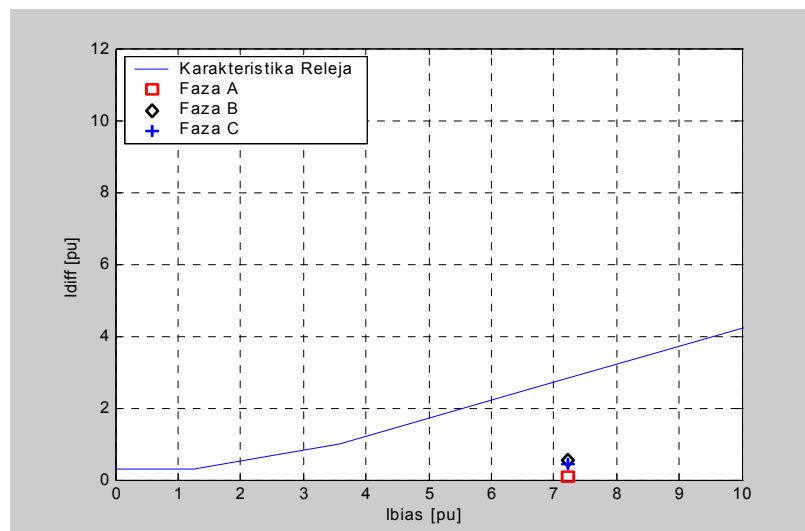
400kV Struje						231kV Struje					
Faza A		Faza B		Faza C		Faza A		Faza B		Faza C	
A	stup.	A	stup.	A	stup.	A	stup.	A	stup.	A	stup.
4010,9	276,8	390,3	206,9	388,2	104,1	7222,9	97,0	1112,2	60,2	1056,6	284,7

U tablici VI, za unutarnji kratki spoj AN na 231 kV strani s Nr = 192, $U_{MV} = 222.0$ kV, izračunala se slijedeća stabilizacijska i diferencijalna struja

Tablica VI, stabilizacijska i diferencijalne struje prema proračunu

	Istab	Id faza A	Id faza B	Id faza C
[HV Amperes]	4175	58.0	306.3	253.2
[pu]	7.22	0.100	0.530	0.438

Grafički prikaz radnih točaka za diferencijalnu funkciju za vanjski kratki spoj prikazan je na slici 7.



Slika 7, radne točke diferencijalne zaštite 1 za vanjski kratki spoj

5.3. Greška u mjerenju diferencijalne struje

Iz dijela ovdje navedenih proračuna vidljivo je kako funkcija diferencijalne zaštite u zaštiti 1, ABB relej RET 521, transformatora 400 MVA, se može koristiti kao stabilizirana diferencijalna zaštita. Navedeno potvrđuje kako će diferencijalna zaštita;

- ostati stabilna za sve vrste vanjskih kratkih spojeva za oba načina rada transformatora
- ispravno će raditi za unutarnje kvarove

Stabilnost rada zaštite bit će sačuvana i za slučaj gubitka pozicije regulacione sklopke, ali tada će se zaštita automatski prebaciti u neosjetljivije područje kako bi i dalje ispravno radila. Greška koja se pri tome pojavljuje u diferencijalnoj struji bit će veća. Ukoliko postoji prisutna informacija o poziciji regulacione sklopke za poprečnu regulaciju, može se koristiti izraz za približno računanje greške diferencijalne struje.

$$Idiff[pu] = k * Ibias[pu] * \sin \theta \quad (10)$$

gdje je θ kut između vektora napona bez tereta na više odnosno niženaponskoj strani za određenu poziciju regulacione sklopke, dok je k konstanta koja ovisi o vrsti kvara zbog redukcije nulte komponente struje u izračunu diferencijalne struje;

- $k=1.0$ za 3 fazni i 2 fazni kvar
- $k=2/3$ za 1 fazni prema zemlji

prema jednadžbi dobivaju se maksimalne greške u diferencijalnoj struji od 12.2% ($100 * \sin(7^\circ) \sim 12.2$). Ova vrijednost je unutar uobičajenih ograničenja za diferencijalnu zaštitu koja štiti energetski transformator s regulacionom sklopkom.

6. ZAKLJUČAK

Ovi proračuni i radovi potvrđuju opravdanost korištenja naprednih adaptivnih diferencijalnih zaštita na složenim objektima i elementima mreže, kakav je kombinirani transformator s uzdužnom i poprečnom regulacijom. Korištenje drugih tipova zaštitnih uređaja uvelike bi usložnilo sistem zaštite ovog transformatora, odnosno imalo bi sigurno upliva na povećanje inicijalnih troškova gradnje TS Žerjavinec, što se moralo izbjeći, budući su ključni parametri objekta već bili zadani, posebno što se tiče građevinskog dijela. Nastojalo se također uspostaviti nadzor nad strujama u stabilizacijskom namotu, što je bilo moguće s korištenjem ovakvog releja. Općenito govoreći, sposobnost primjene i primjena najnovijih dostignuća u sistemima relejne zaštite pruža smanjenja troškova gradnje i kasnije troškove eksploatacije postrojenja.

Transformator i s ovako relativno ograničenim regulacijskim svojstvima ipak posve zadovoljava na mjestu mreže gdje se ugrađuje, te on više nije pasivni element mreže. U novonastalom okruženju za elektroprivredu mogućnosti ovog transformatora će biti sigurno od koristi, jer će omogućavati značajan upliv na tokove snaga u mrežama 400 i 220 kV u sjeverozapadnom dijelu mreže, odnosno na tranzite prema susjednim državama.

LITERATURA

- [1] A. Krämer, J. Ruff, "Transformer for Phase Angle Regulation considering the Selection of On-Load Tap-Changers", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 13, No.2, april 1998. pp 518-525.
- [2] ABB, "User's manual, RET521", Version 2.3, ABB Automation Technology Products AB, Västerås, Sweden, Januar, 2003.
- [3] Z. Gajić, J. Zakonjšek, "Capabilities of Modern Numerical Differential Protections", ABB Automation Technology Products AB, Bled-Slovenia, September 2002.
- [4] I. Pavić, S. Tešnjak, "Proračun tokova snaga s kutnom regulacijom na mrežnom transformatoru 400/220 kV u TS Žerjavinec", FER Zagreb, Zagreb, ožujak 2002.
- [5] B. Filipović-Grčić, I. Ivanković, I. Pavić, S. Tešnjak, "Preusmjeravanje tokova snaga u prijenosnoj mreži HEP-a uz pomoć kutne regulacije na transformatoru 400/220 kV u TS Žerjavinec", Cavtat, listopad 2002.
- [6] T. Kelemen, B. Ćučić, "Trofazni regulacijski autotransformator 400 MVA, 400/231/(10,5) kV s regulacijom napona u nultčki za TS Žerjavinec", Končar Institut za elektrotehniku, Zagreb, veljača 2003.
- [7] International Standard IEC 60076-8, "Power Transformers – Application Guide", First Edition, 1997-10.
- [8] R.G. Andrei, M.E. Rahman. C. Koepfel, J.P. Arthaud, "A Novel Autotransformer Design Improving Power System Operation", IEEE Transactions on Power delivery, vol. 17, No.2, april 2002. pp 523-527.