

Kada se distantski relaji postavljaju sa obe strane prvi stepen se podešava:

$$Z_I = 0.8 \cdot (1-n_r)^2 \cdot Z_T, \quad (4.5)$$

drugi stepen:

$$Z_{II} = 1.2 \cdot (1+n_r)^2 \cdot Z_T, \quad (4.6)$$

a treći stepen:

$$Z_{III} = 1.2 \cdot ((1+n_r)^2 \cdot Z_T + k_{gr} \cdot Z_{voda}), \quad (4.7)$$

gde je:

$k_{gr} \cdot Z_{voda}$ - proizvod koeficijenta grananja i impedanse voda sa suprotne strane transformatora kod koga je ovaj proizvod najveći.

Pri izboru podešenja distantskog relaja treba obezbediti da podešenja za sva tri stepena budu manja od minimalne pogonske impedanse (važe analogna razmatranja kao kod distantske zaštite vodova).

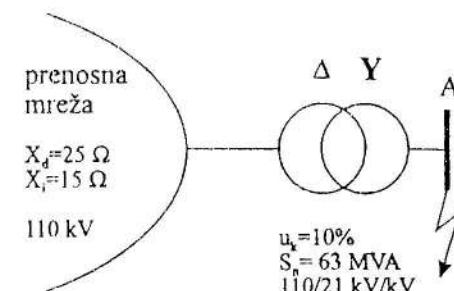
Distantna zaštita predstavlja brzu rezervnu zaštitu diferencijalnoj zaštiti. Vreme delovanja viših stepena se podiže za 0.3 s do 0.5 s u odnosu na prethodni stepen. Koeficijent zemljospojja se podešava na minimalnu vrednost koja se može zadati na relaju.

Nedostatak ove zaštite je u visokoj ceni, pošto je potrebno postaviti dva distantska relaja po transformatoru. U našoj zemlji se primenjuje jedna varijanta ove zaštite samo kod prenosnih transformatora gde se, umesto dva korista samo jedan distantski relaj i to po pravilu na niženaponskoj strani transformatora. Kod primene ove varijante izbor impedantskog podešenja i usmerenja distantskog relaja se razlikuje od slučaj kada se koriste dva relaja. Prvi stepen distantske zaštite se usmerava ka transformatoru. Impedantno podešenje prvog stepena se izračunava na osnovu izraza (4.5). Drugi stepen se usmerava na suprotnu stranu od prvog i njime se štite sabirnice sa niženaponske strane transformatora. Ovaj stepen se podešava na minimalnu vrednost koja se može podesiti na datom distantskom relaju (kako se ne bi ugrozila selektivnost zaštita vodova koji polaze sa tih sabirnica). Treći stepen se usmerava ka transformatoru, a zaštitom treba da se obuhvate višenaponske sabirnice transformatora. Impedantno podešenje se izračunava prema izrazu (4.6).

4.7. ZADACI

Zadatak 4.7.1

Izračunati struje u sve tri faze sa višenaponske strane transformatora sprege Dy5 sa slike pri simulaciji dvopolognog kratkog spoja u fazama L2 i L3 na sabirnicama A. Svi potrebeni podaci za proračune su dati na slici 4.10.



Slika 4.10. - Ekvivalentne prenosne mreže i transformator visoki/srednji napon

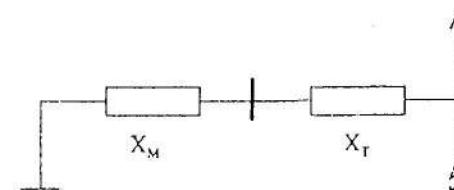
Rešenje:

Za proračun struje kratkog spoja potrebno je odrediti parametre elemenata sa slike 4.10, kao i odgovarajuće šeme za direktni (inverzni) režim. S obzirom da su od interesa vrednosti struja sa višenaponske (110 kV) strane transformatora, najjednostavnije je svesti sve vrednosti parametara na taj naponski nivo.

Vrednosti parametara mreže su već zadate na tom naponskom nivou tako da je potrebno samo izračunati vrednosti impedanse transformatora:

$$X_T = \frac{u_k \cdot V_n^2}{100 \cdot S_n} = \frac{10 \cdot 110^2}{100 \cdot 63} = 19.2 \Omega.$$

Odgovarajuća šema za direktni (inverzni) režim je prikazana na slici 4.11.



Slika 4.11. - Šema za direktni (inverzni) režim za mesto kratkog spoja na sabirnicama A

Za proračun vrednosti struje dvopolognog kratkog spoja na mestu kratkog spoja potrebno je izračunati vrednosti ekvivalentnih impedansi na mestu kratkog spoja za direktni i inverzni režim na osnovu šeme sa slike 4.11. Šeme za direktni i inverzni režim su topološki identične. U ovom slučaju se razlikuju jedino po vrednosti parametara za reaktans prenosne mreže, ekvivalentne vrednosti za direktni i inverzni režim se dobijaju elementarnim sabiranjem vrednosti reaktansi mreže i transformatora. Modul struje dvopolognog kratkog spoja se izračunava na osnovu sledećeg izraza:

$$I_{2\text{pks}} = \frac{\sqrt{3} \cdot V_0 / \sqrt{3}}{Z_d + Z_t} = \frac{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3 / \sqrt{3}}{(25+19.2)+(15+19.2)} = 1.403 \text{ kA.}$$

Za proračune su korišćene vrednosti struje minimalnog kratkog spoja, pri čemu treba istaći da je, u okviru ovog zadatka, irrelevantno je da li se radi sa minimalnom ili maksimalnom vrednosti struje kratkog spoja. Prethodno izračunata struja je po modulu jednaka strujama u fazama L2 i L3, s tim što su ove dve struje suprotnih smerova.

Za proračun vrednosti struje na višenaponskoj strani transformatora potrebno je izračunati vrednosti simetričnih komponenti struje sa niženaponske strane. Kod transformatora čija sprega ima satni broj različit od vrednosti nula, svaka od simetričnih komponenti se sa jedne od strana preslikava na drugu stranu transformatora po drugoj zakonitosti. Da bi se iz prethodno određene vrednosti struje dvopolognog kratkog spoja izračunale simetrične komponente polazi se od izraza kojim je definisana veza između veličina u faznom i domenu simetričnih komponenti (2.14):

$$\begin{bmatrix} I_{L1} \\ I_{L2} \\ I_{L3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_d \\ I_i \\ I_0 \end{bmatrix}.$$

Kod dvopolognog kratkog spoja ne postoji nulta komponenta (tj. $I_0=0$), dok je $I_i=-I_d$, pa se gornji izraz modifikuje na sledeći način:

$$\begin{bmatrix} I_{L1} \\ I_{L2} \\ I_{L3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_d \\ -I_d \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Na taj način se dobija da su struje faza L2 i L3 jednake:

$$I_{L2} = (a^2 - a) \cdot I_d = (-j\sqrt{3}/2 - 0.5 - (-j\sqrt{3}/2 - 0.5)) \cdot I_d = -j\sqrt{3} \cdot I_d,$$

$$I_{L3} = (a - a^2) \cdot I_d = (j\sqrt{3}/2 - 0.5 - (-j\sqrt{3}/2 - 0.5)) \cdot I_d = j\sqrt{3} \cdot I_d,$$

Što znači da je direktna komponenta I_d jednaka:

$$I_d = 1.403/\sqrt{3} = 0.81 \text{ kA.}$$

Odavde se lako izračunava i inverzna komponenta:

$$I_i = -0.81 \text{ kA}$$

Uticaj sprega transformatora Dy5 se uzima u obzir na jedan način za direktni, a na drugi način za inverzni režim. Sprega Dy5 označava da su fazori sa niženaponske strane razmatranog transformatora pomereni za 5 sati (150°) u odnosu na fazore sa višenaponske strane za direktni režim. Gledano sa niženaponske strane tog transformatora fazori sa višenaponske strane su pomereni za 7 sati (210°) u odnosu na fazore sa niženaponske strane u direktnom režimu.

U inverznom režimu razmatrani transformator ima spregu Dy(12-5), što znači da su fazori sa niženaponske strane razmatranog transformatora pomereni za 7 sati (210°) u odnosu na fazore sa

višenaponske strane. Gledano sa niženaponske strane tog transformatora fazori sa višenaponske strane su pomereni za 5 sati (150°) u odnosu na fazore sa niženaponske strane u inverznom režimu.

Premda tome, uticaj sprega transformatora se u proračunima manifestuje na sledeći način kod direktnih komponenti struje:

$$I_D = I_d e^{j210^\circ} = 0.81 \cdot e^{j210^\circ}$$

Struja I_D je struja sa višenaponske strane razmatranog transformatora. Kako se za proračune koristi šema koja je svedena na jedan naponski nivo, to se pri uzimanju uticaja transformatora i njegove sprega ne menjaju intenziteti simetričnih komponenti sa njegovih strana nego samo njihov fazni stav. Analogno razmatranje važi i za inverzni režim:

$$I_i = I_d e^{j150^\circ} = -0.81 \cdot e^{j150^\circ}$$

Sada se mogu izračunati struje u fazama L1, L2 i L3 sa višenaponske strane transformatora:

$$\begin{bmatrix} I_{L1} \\ I_{L2} \\ I_{L3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.81 e^{j210^\circ} \\ -0.81 e^{j150^\circ} \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Tako je struja u fazi L1 jednaka:

$$I_{L1} = 0.81(e^{j210^\circ} - e^{j150^\circ}) = 0.81(-\sqrt{3}/2 - j0.5 - (-\sqrt{3}/2 + j0.5)) = -j0.81 \text{ kA.}$$

Važno je zapaziti da u fazi L1 sa niženaponske strane nije bilo struje $I_{L1}=0!$

Struja u fazi L2:

$$I_{L2} = 0.81(a^2 e^{j210^\circ} - a e^{j150^\circ}) = 0.81(e^{j450^\circ} - e^{j270^\circ}) = 0.81(j1 - (-j1)) = j2 \cdot 0.81 \text{ kA} = j1.62 \text{ kA.}$$

Struja u fazi L3:

$$I_{L3} = 0.81(a e^{j210^\circ} - a^2 e^{j150^\circ}) = 0.81(e^{j330^\circ} - e^{j390^\circ}) = 0.81(\sqrt{3}/2 - j0.5 - (\sqrt{3}/2 + j0.5)) = -j0.81 \text{ kA.}$$

Na kraju se može dati kratak komentar dobijenih rezultata:

Pri dvopolognom kratkom spoju između fazama L2 i L3 sa niženaponske strane transformatora struja u fazama L2 i L3 iznosi 1.403 kA (pri čemu treba, još jednom, naglasiti da se radi sa šemom transformatora svedenom na naponski nivo višenaponske strane). Struje u fazama L1 i L3 su nule. Kada se izračunaju struje sa višenaponske strane transformatora, (pri čemu se pri proračunu uzima u obzir samo pomeraj koji unosi sprega jer je cela šema svedena na jedan naponski nivo) dobija se da:

1. Postoje struje u sve tri faze!
2. Struja u fazi L2 je dvostruko većeg intenziteta nego struje u fazama L1 i L3; struja u fazi L2 je suprotnog smera od struja u fazama L1 i L3.
3. Intenzitet struje u fazi L2 sa višenaponske strane je veći od intenziteta struje u fazi L2 sa niženaponske strane (1.62 kA u odnosu na 1.403 kA).

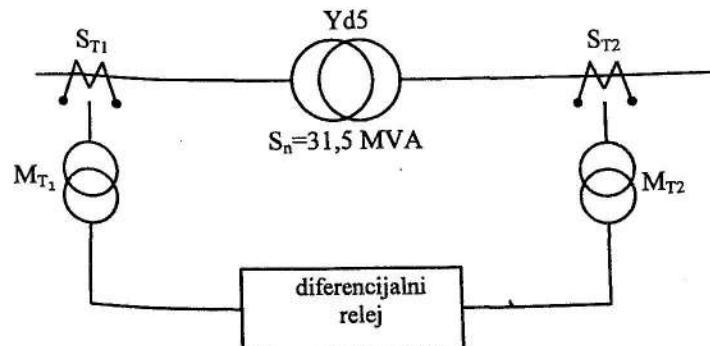
1.2 ZAŠTITA TRANSFORMATORA

16. Odrediti spregu i prenosni odnos glavnih i pomoćnih strujnih transformatora za diferencijalnu zaštitu energetskog transformatora 110/10 kV snage 31,5 MVA ako je odnos transformacije tog transformatora $110 \pm 10 \times 1,5\% / 10,5 \text{ kV} / \text{kV}$, a sprega Yd5 sa izvedenim zvezdištem na strani 110 kV.

Sekundarne naznačene struje strujnih transformatora su 1 A (primar 110 kV) i 5 A (sekundar 10,5 kV), a naznačena struja diferencijalnog relaja je $I_{n,REL} = 5 \text{ A}$. Primarne naznačene struje strujnih transformatora su 10, 12,5, 15, 25, 30, 40, 50, 60, 75 A, kao i 10 i 100 puta veće vrednosti od ovih. Strujni međutransformatori se proizvode sa prenosnim odnosom u području 1/5, 5/5 i 1/1 A/A. Međutransformatori sa prenosnim odnosom 5/5 A upotrebljavaju se tamo gde je sekundarna naznačena struja strujnih transformatora na primarnoj i sekundarnoj strani štićenog energetskog transformatora 5 A. Za slučaj da je na jednoj strani energetskog transformatora naznačena struja 1 A, a na drugoj 5 A, upotrebljava se transformator sa prenosnim odnosom 1/5 A/A.

Rešenje

Jednopolna šema prikazana je na sl. 33.



Sl. 33 Jednopolna šema transformatora, glavnih stujnih transformatora i međutransformatora

Naznačena struja primara je:

$$I_{n_p} = \frac{S_{nT}}{\sqrt{3} \cdot U_{n_p}} = \frac{31,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110} \text{ A} = 165 \text{ A},$$

pa je prenosni odnos glavnog strujnog transformatora 200/1 A/A.

Naznačena struja sekundara je:

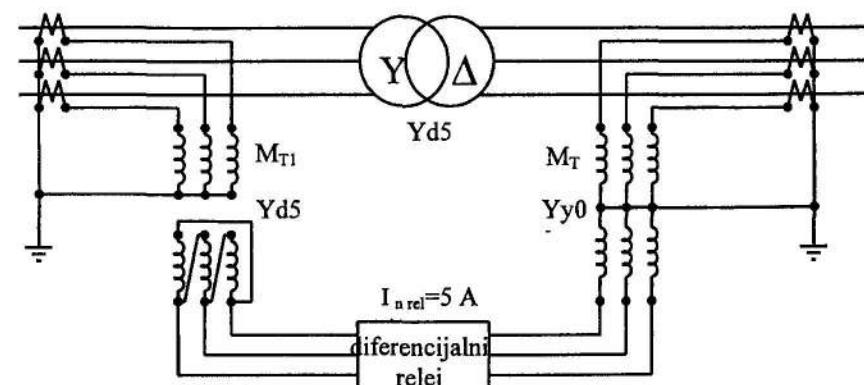
$$I_{n_s} = \frac{S_{nT}}{\sqrt{3} \cdot U_{n_s}} = \frac{31,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10,5} \text{ A} = 1732 \text{ A}.$$

Prenosni odnos je 2000/5 A/A (iako može biti i 1500/5 A/A, jer svaki strujni transformator trajno može biti preopterećen 20 %).

U Jugoslaviji je sprega glavnih strujnih transformatora uvek Yy0 zbog toga što ona omogućava uzemljenje sekundarnih kola. Da bi se omogućilo zatvaranje nulte komponente struje i primari strujnih međutransformatora spregnuti su u zvezdu.

Kada je neutralna tačka štićenog transformatora na nekoj strani uzemljena, ili postoji mogućnost da bude uzemljena (spoj u zvezdu), sekundar strujnog međutransformatora mora biti spojen u trougao, kako bi se sprečilo pogrešno delovanje diferencijalnih relaja pri kvarovima sa zemljom van štićene zone. U slučaju da su namotaji spojeni u trougao, sekundar međutransformatora može biti spojen u zvezdu ili trougao, u zavisnosti od zahteva za faznim prilagođenjem. Zbog toga je sprega međutransformatora M_{T_1} Yd, dok je za M_{T_2} Yy. Najjednostavnije je za M_{T_2} tri monofazne jedinice povezati u spregu Yy0, zbog čega sprega M_{T_1} mora biti Yd5, zbog spreve energetskog transformatora.

Tropolna šema zaštite prikazana je na sl. 34.



Sl. 34 Tropolna šema diferencijalne zaštite transformatora

Prenosni odnos trofaznog strujnog međutransformatora treba da je takav da pri naznačenom opterećenju energetskog transformatora sekundar međutransformatora daje struju od 5 A:

$$m_{MT_1}^{(3)} = \frac{I_{n_p}}{I_{nREL} \cdot m_p} = \frac{165}{5 \cdot \frac{200}{1}} = 0,165 ,$$

gde je $m_{MT_1}^{(3)}$ - prenosni odnos trofazne grupe međutransformatora MT₁.

Prenosni odnos monofaznog strujnog transformatora trofazne grupe, gde su transformatori spojeni u trougao, je:

$$m_{MT_1}^{(1)} = \sqrt{3} \cdot m_{MT_1}^{(3)} = \sqrt{3} \cdot 0,165 = 0,286 .$$

Za MT₂ je:

$$m_{MT_2}^{(3)} = \frac{I_{n_S}}{I_{nREL} \cdot m_S} = \frac{1732}{5 \cdot \frac{2000}{5}} = 0,866.$$

Zbog sprege Yy0 prenosni odnos jednofaznih jednak je prenosnom odnosu trofazne grupe međutransformatora ($m_{MT_2}^{(3)} = m_{MT_1}^{(1)}$).

Ovakav način izračunavanja prenosnog odnosa međutransformatora posledica je činjenice da se oni proizvode kao monofazne jedinice. Oni se tako i poručuju od proizvođača. Zbog toga se najpre izračunava trofazni prenosni odnos, da bi se na kraju izračunao i prenosni odnos pojedinačnog transformatora.

Kod mikroprocesorskih releja nema potrebe za ugradnjom međutransformatora jer se struja softverski preračunava u zavisnosti od sprege i prenosnog odnosa energetskog transformatora.

17. Distributivni transformator naznačenog napona namotaja višeg napona 10 kV i snage $S_n=630$ kVA treba od kratkih spojeva zaštiti osiguračem. Odabratи osigurač kombinacije sklopka-rastavljač sa osiguračima, kada se zna da je dozvoljeno preopterećenje transformatora 50 %. Međutim, zahteva se da u havarijskom režimu postoji mogućnost preopterećenja od 100 % (ukupno opterećenje 200%). Udarna struja magnećenja u najnepovoljnijem slučaju je 12 puta veća od naznačene struje transformatora. Relativna reaktansa kratkog spoja je $x_k=4\%$.

Minimalne prekidne struje i vrednosti struje $I(0,1s)$ koja topi osigurač u vremenu od 0,1 s za nekoliko osigurača dati su u Tabeli III.

Tabela III Podaci o osiguračima

naznačena struja osigurača [A]	40	50	63	80	100	125
minimalna prekidna struja [A]	120	200	240	375	475	650
$I(0,1s)$ [A]	300	600	760	1080	1350	1750

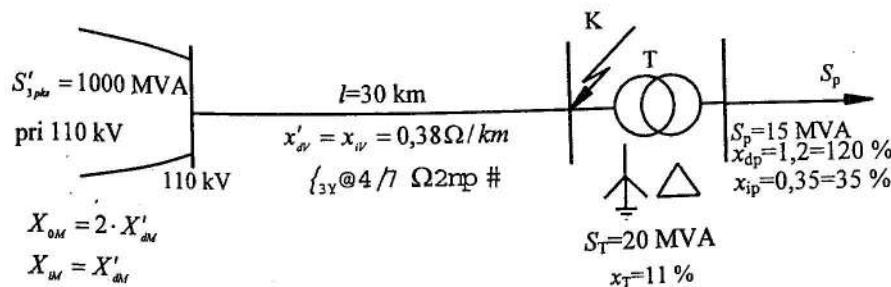
Prekidna moć svih osigurača je 40 kA, a naznačeni napon osigurača je $U_{nO}=12$ kV.

Rešenje

Zaštitu distributivnog transformatora od kratkih spojeva možemo izvesti primenom prekidača sa odgovarajućom zaštitom ili kombinacijom sklopka-rastavljač sa osiguračima.

U distributivnim transformatorskim stanicama uglavnom se koristi kombinacija sklopka-rastavljač sa osiguračima jer je znatno jeftinija od prekidača sa odgovarajućom zaštitom, primarnom ili sekundarnom. Sklopka je jeftinija od prekidača, a osigurač od primarne ili sekundarne zaštite. U literaturi [12] kao zaštitu od kvarova unutar uljnog transformatora naznačene snage iznad 160 kVA preporučuje se i primena Buholic releja. Međutim, treba znati da kombinacija sklopka-rastavljač sa osiguračima ne predstavlja zaštitu transformatora od preopterećenja, već samo od kratkih spojeva. Od preopterećenja se preporučuje "preventivna" zaštita, koja se ostvaruje praćenjem (merenjem) opterećenja konzuma koji napaja transformatorska stanica. Za zaštitu od preopterećenja može se koristiti bimetalni relej, pa je u [12] preporučeno podešavanje tog releja, proizašlo iz prakse. Za uljne transformatore snage veće od 250 kVA kao zaštitu od preopterećenja preporučuje se primena termostata, a izuzetno i primena termičkog releja. Termostat se nalazi na poklopcu transformatora i podešava se na 95°C. Međutim, kod suvih transformatora treba koristiti specijalne termičke releje jer oni nemaju ulje, čija se temperatura meri kod uljnih transformatora.

18. Transformator naznačene snage $S_T = 20 \text{ MVA}$ i naznačenog napona 110 kV napaja potrošačko područje 10 kV , pri čemu je opterećenje $S_p = 15 \text{ MVA}$. Svi parametri potrebni za proračun prikazani su na sl. 35.



Sl. 35 Deo mreže sa transformatorom

U potrošačkom području nema uzemljenih neutralnih tačaka. Transformator T je štićen od unutrašnjih kvarova kotlovske (kućišnom) zaštitom. On je od zemlje i metalnih delova izolovan tako da pri kvaru u transformatoru kroz spojni provodnik, koji spaja kućište transformatora sa uzemljenjem postrojenja, prolazi 250 puta veća struja od struje koja drugim putevima odlazi sa kućišta na uzemljivač postrojenja.

Podesiti zaštitu tako da koeficijent sigurnosti pri jednofaznom kratkom spoju bude $k = 3$.

Da li će zaštita reagovati pri dvofaznom kratkom spoju sa zemljom ako je izraz za struju nultog redosleda:

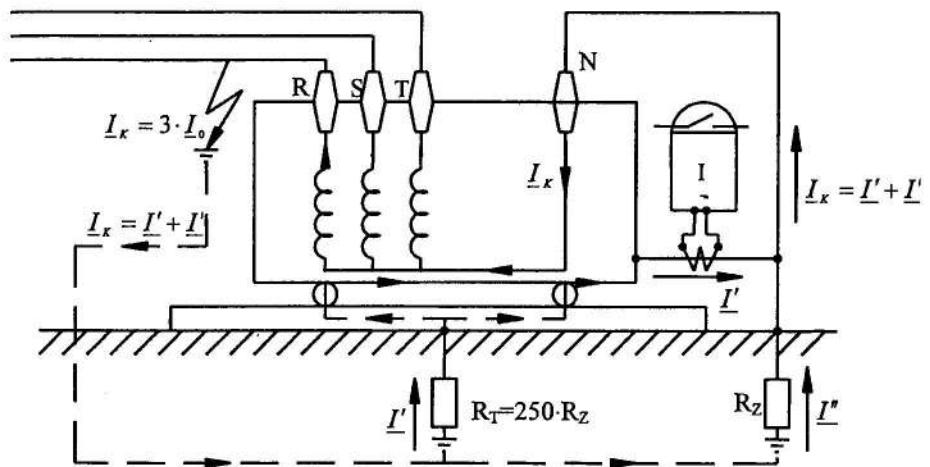
$$I_0 = \frac{-Z_i \cdot U_f}{(Z_d \cdot Z_i + Z_i \cdot Z_0 + Z_d \cdot Z_0)},$$

gde je: Z_d, Z_i, Z_0 - direktna, inverzna i nulta impedansa posmatrana otočno sa mesta kvara, i

U_f - napon faze koja nije u kvaru.

Rešenje

Kućišna zaštita ne treba da reaguje pri spoljnim kvarovima sa zemljom u blizini priključaka transformatora, pa se zaštita podešava pomoću analize prilikom jednofaznog kratkog spoja u tom slučaju. Raspodela struja prikazana je na sl. 36.



Sl. 36 Raspodela struja pri kvaru u blizini priključaka

Potrebno je izračunati struje jednofaznog i dvofaznog kratkog spoja sa zemljom. Parametri su:

$$X'_{dM} = \frac{U_n^2}{S'_{3\,pk}} = \frac{110^2}{1000} \Omega = 12,1 \Omega,$$

$$X_{iM} = X'_{dM} = 12,1 \Omega,$$

$$X_{0M} = 2 \cdot X'_{dM} = 2 \cdot 12,1 \Omega = 24,2 \Omega,$$

$$X_{dV} = X_{iV} = 30 \cdot 0,38 \Omega = 11,4 \Omega,$$

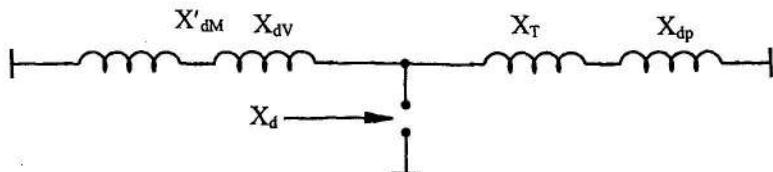
$$X_{0V} = 1,4 \cdot 30 \Omega = 42 \Omega,$$

$$X_T = x_T \cdot \frac{U_n^2}{S_T} = 0,11 \cdot \frac{110^2}{20} \Omega = 66,5 \Omega,$$

$$X_{dP} = x_{dP} \cdot \frac{U_n^2}{S_P} = 1,2 \cdot \frac{110^2}{15} \Omega = 968 \Omega, \text{ i}$$

$$X_{ip} = x_{ip} \cdot \frac{U_n^2}{S_p} = 0,35 \cdot \frac{110^2}{15} \Omega = 282 \Omega.$$

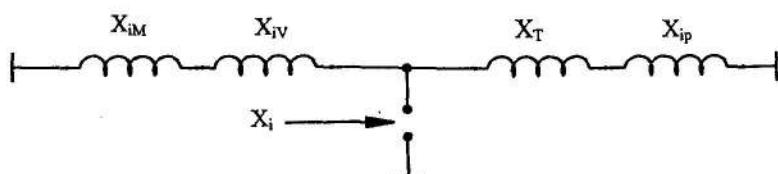
Ekvivalentna šema direktnog redosleda posmatrano otočno sa mesta kvara je:



Sl. 37 Ekvivalentna šema direktnog redosleda

$$X_d = (X'_{dM} + X_{dV}) \parallel (X_T + X_{dp}) = 23 \Omega.$$

Ekvivalentna šema inverznog redosleda je:

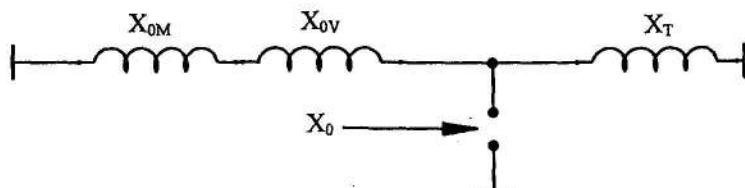


Sl. 38 Ekvivalentna šema inverznog redosleda

Reaktansa inverznog redosleda je:

$$X_i = (X'_{iM} + X_{iV}) \parallel (X_T + X_{ip}) = 22 \Omega.$$

Ekvivalentna šema nultog redosleda je:

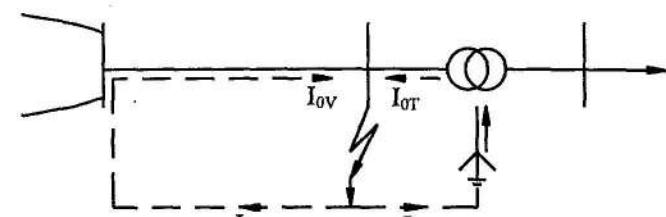


Sl. 39 Ekvivalentna šema nultog redosleda

Reaktansa nultog redosleda je:

$$X_0 = (X_{0M} + X_{0V}) \parallel X_T = 33,2 \Omega.$$

Raspodela struja pri kvaru prikazana je na sl. 40.



Sl. 40 Raspodela struje kvara

Sa sl. 40 je očigledno da je potrebno izračunati nultu komponentu struje koja na mesto kvara dolazi iz transformatora:

$$\frac{(X_{0M} + X_{0V}) \cdot X_T}{X_{0M} + X_{0V} + X_T} \cdot I_0 = X_T \cdot I_{0T} .$$

Zbog toga je:

$$I_{0T} = 0,5 \cdot I_0 ,$$

gde je:

$$I_0 = \frac{U_f}{X_d + X_i + X_0} = 0,81 \text{ kA} .$$

Sada je:

$$I_{0T} = 0,5 \cdot I_0 = 0,5 \cdot 0,81 \text{ kA} = 0,405 \text{ kA} .$$

Struja kvara koja kroz transformator dolazi na mesto kvara je:

$$I_K = 3 \cdot I_{0T} = 3 \cdot 0,405 \text{ kA} = 1,215 \text{ kA} .$$

Sa sl. 36 je očigledno da pri spoljašnjem kvaru kroz strujni transformator za zaštitu prolazi struja I' koja predstavlja 250-ti deo ukupne struje kvara.

$$\frac{I'}{I''} = \frac{R_Z}{R_T} \Rightarrow I' = \frac{I''}{250}.$$

Osim toga, prema prvom Kirhoffovom zakonu je:

$$I' + I'' = I_K.$$

Kada se te dve jednačine reše, dobija se:

$$I' = 5 \text{ A}.$$

Zbog toga što je koeficijent sigurnosti $k = 3$, podešena vrednost kućišne zaštite je:

$$I_{pod} = k \cdot I' = 3 \cdot 5 \text{ A} = 15 \text{ A}.$$

Pri dvofaznom kratkom spoju nulta komponenta struje kvara na mestu kvara je:

$$I_0^{(2)} = \frac{-Z_i \cdot U_f}{(Z_d \cdot Z_i + Z_i \cdot Z_0 + Z_d \cdot Z_0)} = j \cdot 0,698 \text{ kA}.$$

Struja nultog redosleda koja dolazi iz transformatora je:

$$I_{0T}^{(2)} = \frac{X_{0M} + X_{0V}}{X_{0M} + X_{0V} + X_T} \cdot I_0 = 0,348 \text{ kA}.$$

Kroz strujni transformator za zaštitu prolazi struja:

$$\frac{1}{250} \cdot 3 \cdot I_{0T}^{(2)} = \frac{3}{250} \cdot 348 \text{ A} = 4,2 \text{ A}.$$

Budući da je zaštitu podešena na 15 A, ona pri dvofaznom kratkom spoju sa zemljom van kućišta transformatora neće reagovati, iako je njena vrednost manja od struje jednofaznog kratkog spoja. To je postignuto zahvaljujući koeficijentu sigurnosti, koji je u ovom slučaju $k = 3$.

Kada bi se podešavanje zaštite kućišta izvodilo na način prikazan u ovom zadatku, bilo bi to previše složeno. Postupak je relativno složen, a ne raspolažemo ni podacima koji se koriste u zadatku. Cilj ovog zadatka bio je da se kroz numerički primer ukaže na osnovni problem koji se javlja kod ove zaštite – moguće lažno reagovanje zaštite transformatora pri kvaru na vodu, dakle, van zone štićenja. Naravno, pokazano je

da se to može desiti jedino kada je transformator loše izolovan od zemlje. To je osnovni nedostatak ove zaštite. Zbog toga se u jugoslovenskim preporukama koje definišu zaštitu transformatora ukazuje na postupak izolovanja transformatora.

U [19] je definisana zemljospojna zaštita izvedena kao zaštita kućišta za transformatore 35/10,5 kV i 35/21 kV. Zaštita kućišta ne izvodi se za transformatore 110/X kV. Međutim, zaštita kućišta primenjuje se za sve transformatore u prenosnim mrežama [26].

Zaštita kućišta transformatora 35/10,5 kV i 35/21 kV je jednostavna. To je zemljospojna zaštita i njome su obuhvaćeni kvarovi prema masi na namotajima energetskog transformatora i preskoci sa provodnih izolatora na masu. Transformatorski sud treba da bude izolovan u odnosu na temelj, a komandno-signalni kablovi na transformatoru (za Buholc relaj, termostat, kontaktni termometar) treba da budu bez metalnog plašta i armature. Betonski temelj ima dovoljno veliku prelaznu otpornost u odnosu na uzemljenje postrojenja i nije potrebno preduzeti dodatne mere za izolaciju. Relaj je za naznačenu struju 5 A, a strujni transformator je prenosnog odnosa 150/5 A. Preko primara tog strujnog transformatora kućište transformatora se povezuje na uzemljenje postrojenja. Zaštita kućišta deluje bez vremenskog kašnjenja.

19. Energetski transformator 110/10,5 kV, čija je termička vremenska konstanta jednaka 8 min., treba zaštiti od preopterećenja. Opisati zaštitu.

Rešenje

Zaštita od preopterećenja treba blagovremeno da upozori na pojavu nedozvoljenih opterećenja i da po potrebi rastereti ili isključi transformator. Ova zaštita treba da omogući optimalno korišćenje snage transformatora u skladu sa odgovarajućim domaćim i stranim propisima koji se odnose na mogućnost preopterećenja transformatora uzimajući u obzir prethodno opterećenje, preopterećenje i temperaturu ambijenta. Prema [19], zaštita od preopterećenja ovog distributivnog transformatora sastoji se od termičke slike i dva stepena prekostrujne zaštite.

Ako opterećenje naraste iznad naznačene struje transformatora na glavnom izvodu regulacione sklopke, reaguje prvi stepen ove zaštite, koji čini monofazni prekostrujni relaj. Posle vremenske zadrške od 20 s on daje signal prekoračenja naznačene struje transformatora, daje signal za uključenje ventilatora i priprema kolo za rasterećenje transformatora, koje bi usledilo kada se zatvori kontakt termičke slike. Redna veza kontakta prekostrujnog relaja i termičke slike omogućava da pojedini izvodi obuhvaćeni rasterećenjem mogu brzo da se uključe, ukoliko struja posle toga ostaje manja od naznačene.