

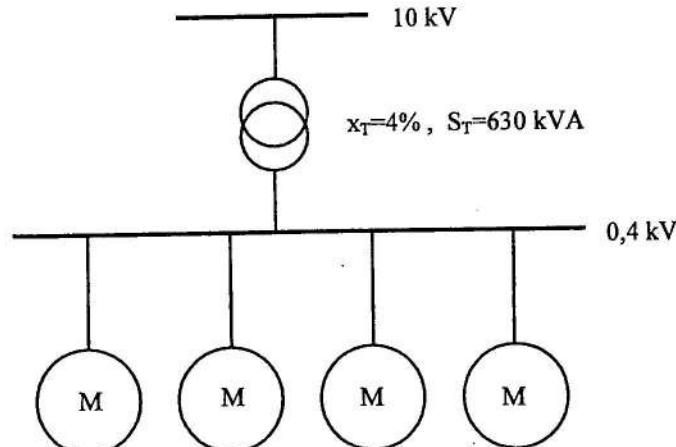
26. Transformator 10/0,4 kV/kV priključen je na sabirnice 10 kV sa snagom trofaznog spoja $S_K=250$ MVA. Na sabirnice 0,4 kV transformatora snage $S=630$ kVA priključena su dva motora snage $S_1=100$ kVA, koeficijenta korisnog dejstva $\eta_1 = 92\%$,

$\cos \varphi_1 = 0,89$ i $\frac{I_{pol_1}}{I_{n_1}} = 5$, i dva motora iste snage, ali sa drugim podacima: $\eta_2 = 91\%$,

$\cos \varphi_2 = 0,92$ i $\frac{I_{pol_2}}{I_{n_2}} = 6$. Naznačeni napon motora je 400 V.

Na sabirnice je postavljena podnaponska zaštita koja reaguje trenutno pri vrednosti napona manjoj od 70 % naznačenog napona. Ukoliko se radi o prolaznom trofaznom kvaru na sabirnicama 0,4 kV, da li će biti omogućeno samozraletanje motora?

U režimu samozraletanja motora može se smatrati da je klizanje $s=1$.



Sl. 49 Šema dela postrojenja sa motorima

Rešenje

Zadatak podnaponske zaštite je da spreči nekontrolisan start motora posle nestanka napona i njegovog ponovnog uspostavljanja. Zbog toga je potrebno odrediti napon na priključcima motora i da li podnaponski relaj reaguje ili ne. Ukoliko relaj reaguje, nema uslova za samozraletanje jer se motori isključuju sa mreže.

Naznačena struja motora sa jednim parametrima je:

$$I_{n_1} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_{nM} \cdot \cos \varphi_1 \cdot \eta_1} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 0,400 \cdot 0,89 \cdot 0,92} \text{ A} = 176 \text{ A},$$

a polazna struja je:

$$I_{pol_1} = 5 \cdot I_{n_1} = 5 \cdot 176 \text{ A} = 880 \text{ A}.$$

Impedansa motora je:

$$X_1 = \frac{U_{nM}}{\sqrt{3} \cdot I_{pol_1}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 880} \Omega = 0,262 \Omega.$$

Za drugu grupu motora je:

$$I_{n_2} = 172,4 \text{ A}, I_{pol_2} = 1034,4 \text{ A} \text{ i } X_2 = 0,223 \Omega.$$

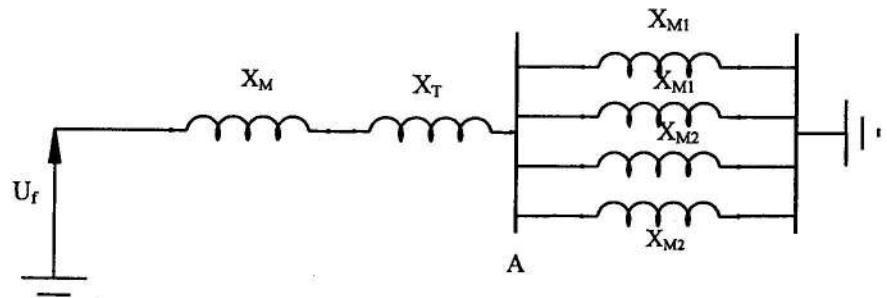
Impedansa transformatora je:

$$X_T = \frac{x}{100} \cdot \frac{U^2}{S_T} = \frac{4}{100} \cdot \frac{0,400^2 \cdot 1000}{630} \Omega = 0,01 \Omega.$$

Reaktansa mreže je:

$$X_M = \frac{U^2}{S_K} = \frac{0,400^2}{250} \Omega = 0,00064 \Omega.$$

Ekvivalentna šema je



Sl. 50 Ekvivalentna šema za izračunavanje napona

Ukupna reaktansa je:

$$X_e = X_M + X_T + \frac{\frac{X_{M_1}}{2} \cdot \frac{X_{M_2}}{2}}{\frac{X_{M_1}}{2} + \frac{X_{M_2}}{2}} = 0,07087 \Omega.$$

Poslednji član predstavlja napon na grupi motora reaktansu grupe motora, koja iznosi:

$$X_{Me} = 0,0602 \Omega.$$

Napon na sabirnicama A je:

$$\frac{U_A}{U_f} = \frac{X_{Me}}{X_e} = \frac{0,0602}{0,0708} = 0,849 \approx 85\%,$$

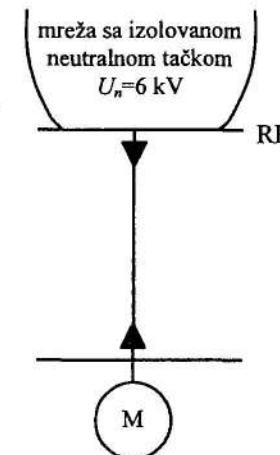
što znači da podnaponska zaštita neće isključiti motore sa mreže, pa će nastati samozletanje motora posle nestanka kvara jer u trenutku nastanka kvara napon na sabirnicama opada na 85 % naznačenog napona, što je iznad napona reagovanja podnaponske zaštite.

27. Asinhroni motor snage $P=2,5 \text{ MW}$ i naznačenog napona $U_n=6 \text{ kV}$ priključen je na kablovsku mrežu sa izolovanom neutralnom tačkom. Ukupna dužina kablova ove mreže je $l=12 \text{ km}$. Kapacitivna struja kablova može se izračunati pomoću izraza:

$$I_c = \frac{1}{7} \cdot U_n \cdot \Sigma l,$$

gde je: U_n - lininski napon u [kV],
 Σl - ukupna dužina vodova u [km], i
 I_c - kapacitivna struja u [A].

Motor je na mrežu priključen kablom dužine $l=100 \text{ m}$. Kapacitet namotaja motora prema zemlji iznosi $C_M=0,307 \mu\text{F}$. Zaštita od zemljospojeva statorskog namotaja izvedena je relejem nulte komponente struje. Šema je prikazana na sl. 51.



Sl. 51 Šema mreže sa asinhronim motorom

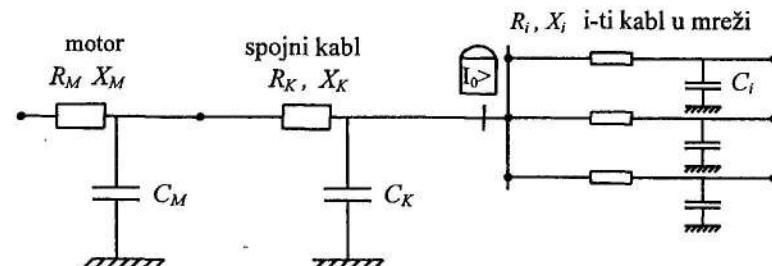
Podesiti relaj nulte komponente struje za slučaj da je priključen:

- a) u razvodnom postrojenju (RP),
- b) kod priključaka motora.

Koeficijent sigurnosti je $k=4$. Odrediti i koeficijente osetljivosti u oba slučaja. Koji je nedostatak rešenja pod b)?

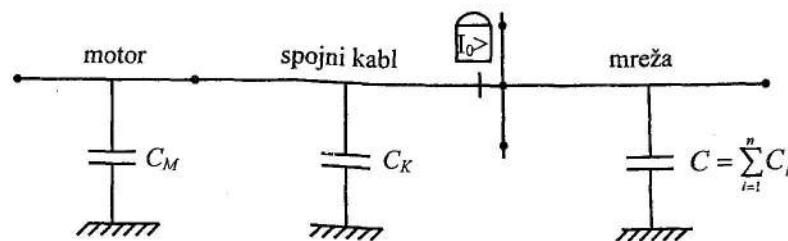
Rešenje

Visokonaponski motor naznačenog napona 6 kV priključen je na mrežu koja radi u režimu izolovanog zvezdišta. Na sabirnice na koje je kablom dužine 100 m priključen motor, priključeni su i svi kablovi mreže sa izolovanom neutralnom tačkom. Šematski se impedanse takve mreže mogu prikazati slikom 52. Predstavljena su samo tri voda.



Sl. 52 Šematski prikaz mreže sa kablovima i motorom

U režimu rada sa izolovanom neutralnom tačkom svi kablovi i motor imaju izvestan kapacitet prema zemlji, koji u ovom proračunu dominira nad induktivnostima i otpornostima, koje će zbog toga biti zanemarene. Kapaciteti su prikazani kao koncentrisani iako su oni u stvarnosti raspodeljeni. To ne menja zaključke i rezultate. Kapaciteti kablova su vezani paralelno, pa je raspored capaciteta bez rednih impedansi u mreži:



Sl. 53 Pojednostavljena šema

gde je n - broj kablova u mreži, a C_i - kapacitet i -tog kabla.

Pri kvaru svaki od kapaciteta ponaša se kao izvor struje zemljospoja, koja se može izračunati prema izrazu:

$$I_c = \sqrt{3} \cdot U_l \cdot \omega \cdot C_z ,$$

U_l - linjski napon,

ω - ugaona učestanost, jednaka 314 s^{-1} ,

C_z - kapacitet prema zemlji.

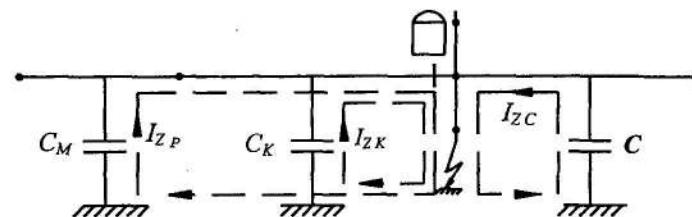
Kod zemljospoja u namotaju statora motora kroz mesto kvara teče kapacitivna struja:

$$I_c = \alpha \cdot \sqrt{3} \cdot U_l \cdot \omega \cdot C_z ,$$

gde je α - udaljenost zemljospoja od zvezdišta statora ($\alpha=1$ za spoj na stezaljci motora, a $\alpha=0$ za spoj u zvezdištu). Ostale oznake su iste kao u prethodnom izrazu. U ovom zadatku analiziraju se kvarovi van namotaja motora, pa je $\alpha=1$.

Uzimanjem u obzir vrednosti kapaciteta za kablove naponskog nivoa 6 kV , došlo se do izraza za struju zemljospoja koji je dat u tekstu zadatka.

a) Kada je zaštita postavljena u razvodnom postrojenju, šema je:



Sl. 54 Raspodela struje kvara

Komponenta struje zemljospoja koju daje motor je:

$$I_{Z_M} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot \omega \cdot C_M = \sqrt{3} \cdot 6 \cdot 10^3 \cdot 314 \cdot 0,307 \cdot 10^{-6} \text{ A} = 1 \text{ A} .$$

Na kraju ovog udžbenika dat je spisak literature. U bilo kojoj od teorijskih knjiga iz reljene zaštite mogu se naći teorijska objašnjenja o zemljospoju u izolovanoj mreži. Napon faze u kvaru prema zemlji na mestu kvara jednak je nuli, a na zdravim fazama napon prema zemlji postaje jednak linjskom naponu. Zbog toga u izrazu za struju zemljospoja figuriše linjski, a ne fazni napon mreže. Fazor napona nije prikazan na slikama jer je za taj prikaz potrebno nacrtati trofaznu šemu.

Iz spojnog kabla dužine $l=100 \text{ m}$ dolazi struja:

$$I_{Z_K} = \frac{1}{7} \cdot U_n \cdot l = \frac{1}{7} \cdot 6 \cdot 0,1 \text{ A} = 0,086 \text{ A} .$$

Kablovi u mreži proizvode struju:

$$I_{Z_C} = \frac{1}{7} \cdot U_n \cdot \Sigma l = \frac{1}{7} \cdot 6 \cdot 12 \text{ A} = 10,3 \text{ A} .$$

Napomenimo da se zaštita od zemljospoja statorskog namota motora u izolovanoj mreži obično primenjuje kada je struja zemljospoja veća od 5 A jer ova struja ošteće limove motora. U ovom slučaju struja jednofaznog zemljospoja u razvodnom postrojenju jednaka je:

$$I_z = I_{Z_M} + I_{Z_K} + I_{Z_C} = 1 \text{ A} + 0,086 \text{ A} + 10,3 \text{ A} = 11,386 \text{ A} .$$

Ova struja merodavna je za proveru osetljivosti zaštite, pod uslovom da je minimalna, što je pretpostavljeno u zadatku.

Kada u mreži nastane kvar, kroz neusmereni zemljospojni relj iz motora i spojnog kabla teče struja zemljospoja iako kvar nije u motoru ili spojnom kablu. Naravno, pri toj struci zaštita motora ne treba da reaguje jer kvar nije u motoru, već u mreži. Zbog toga zemljospojnu zaštitu treba podešiti tako da ne reaguje na struju zemljospoja u mreži.

Struja koju daju motor i spojni kabl u mreži je:

$$I_{z_M} + I_{z_K} = 1\text{A} + 0,086\text{A} = 1,086\text{A}$$

Pri nastanku kvara javljaju se elektromagnetični prelazni procesi. Zbog preraspodele električnih opterećenja na kapacitetima, nastaju kratkotrajne kapacitivne struje koje su 3-4 puta veće od ustaljenih struja zemljospoja. Zaštita pri tome ne treba da reaguje, pa je predviđen koeficijent sigurnosti $k=4$.

Podešena vrednost neusmerene zemljospojne zaštite je:

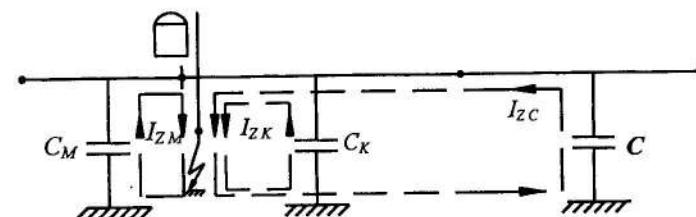
$$I_{pod} = k \cdot (I_{z_M} + I_{z_K}) = 4 \cdot 1,086\text{A} = 4,34\text{A}$$

Koeficijent osetljivosti je odnos između minimalne struje zemljospoja i podešene vrednosti zaštite. Što je on veći, veća je razlika između struje kvara i podešene struje, pa relj lakše detektuje kvar, tj. veća je osetljivost relja. Koeficijent osetljivosti je:

$$k_{OS} = \frac{I_{K_{min}}}{I_{pod}} = \frac{11,4\text{A}}{4,34\text{A}} = 2,6$$

Obično se zahteva da koeficijent osetljivosti ove zaštite bude bar 1,5. Ukoliko se to ne može postići, potrebno je primeniti usmerenu zemljospojnu zaštitu, koja reaguje ne samo na iznos, već i na smer struje kvara. Ta zaštita reaguje kada je struja veća od podešene, a smer struje kvara ka motoru. Relj koji u tom slučaju treba primeniti je relj nulte komponente snage.

- b) U slučaju da je zaštita postavljena kod motora, ona ne štiti od kvarova u kablu. Zbog toga se preporučuje varijanta gde se zaštita priključuje u postrojenju, kada je to izvodljivo.



Sl. 55 Raspodela struja kvara za podešavanje zaštite priključene kod motora

Vrednost struje kvara je ista kao kada je kvar u razvodnom postrojenju jer je mreža sa izolovanom neutralnom tačkom. Pri kvaru kao na sl. 55, kroz zemljospojni relj protiče struja:

$$I_{z_M} = 1\text{A}$$

Podešena vrednost relja, da on ne bi reagovao pri kvarovima van motora, iznosi:

$$I_{pod} = k \cdot I_{z_M} = 4 \cdot 1\text{A}$$

Koeficijent osetljivosti je:

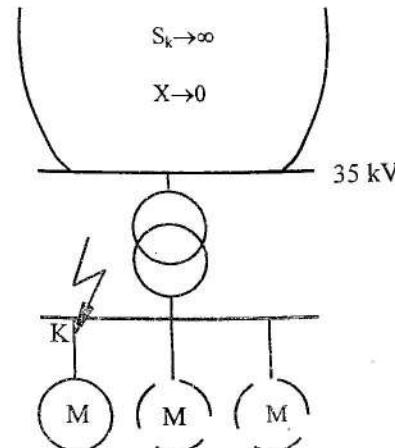
$$k_{OS} = \frac{I_{z_K} + I_z}{I_{pod}} = \frac{0,086\text{A} + 11,4\text{A}}{4\text{A}} = 2,87 > 1,5$$

28. Visokonaponski asinhroni motor naznačenog napona $U_n=6,3$ kV i naznačene snage $P_n=0,5$ MW priključen je na 35 kV-nu mrežu beskonačne snage preko transformatora naznačene snage $S_{nT}=8$ MVA, prenosnog odnosa $35/6,3$ kV/kV i relativne reaktanse kratkog spoja $x_k=6,5\%$. Koeficijent korisnog dejstva motora je $\eta=92\%$, faktor snage iznosi $\cos\varphi=0,9$, a polazna struja je 5 puta veća od naznačene.

Potrebno je motor zaštiti od međufaznih kratkih spojeva dvorelejnog šemom sa dva strjuna transformatora. Relej je sekundarni, trenutnog dejstva. Koeficijent sigurnosti je $k=2$, a uticaj ostalih motora priključenih na iste sabirnice na struju kratkog spoja može se zanemariti. Odrediti i koeficijent osetljivosti zaštite.

Rešenje

Šema je:



Sl. 56 Priključenje motora na mrežu

Dvofazna trenutna prekostrujna zaštita od međufaznih kratkih spojeva podešava se tako da struja reagovanja releja bude iznad struje polaska, jer je to normalan režim. Zaštita ne sme da spreči polazak motora ukoliko nema kratkog spoja. U prvim periodama polazne struje struja može biti 1,4-1,7 puta veća od ustaljene vrednosti polazne struje, zbog čega koeficijent sigurnosti u ovom primeru iznosi $k=2$. Uzrok tome je trenutno delovanje releja.

Naznačena struja motora je:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot \eta \cdot U_n \cdot \cos\varphi} = \frac{500 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 0,92 \cdot 6,3 \cdot 10^3 \cdot 0,9} \text{ A} = 55,3 \text{ A} .$$

Polazna struja je:

$$I_{pol} = 5 \cdot I_n = 5 \cdot 55,3 \text{ A} = 276,5 \text{ A} .$$

Podešena primarna struja zaštite je:

$$I_{pod} = k \cdot I_{pol} = 2 \cdot 276,5 \text{ A} = 553 \text{ A} .$$

Ako se odabere prenosni odnos strujnog transformatora $n_{ST} = 500/5 \text{ A/A}$, podešena struja releja je:

$$I''_{pod} = \frac{I_{pod}}{n_{ST}} = \frac{553}{500} \text{ A} = 5,5 \text{ A} .$$

Da bismo izračunali koeficijent osetljivosti zaštite, potrebno je da izračunamo minimalnu struju kratkog spoja na priključcima motora. To je struja dvofaznog kratkog spoja. Reaktansa transformatora je:

$$X_T = \frac{x_T}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_{nT}} = \frac{6,5}{100} \cdot \frac{6,3^2}{8} \Omega = 0,322 \Omega .$$

Struja trofaznog kratkog spoja na priključcima motora (tačka K na sl. 56) je:

$$I_k^{(3)} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot X_T} = \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 0,322} \text{ A} = 10758 \text{ A} .$$

Budući da su struje trofaznog i dvofaznog kratkog spoja:

$$I_k^{(3)} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot X_d} \quad \text{i} \quad I_k^{(2)} = \frac{U_n}{X_d + X_i} = \frac{U_n}{2 \cdot X_d} ,$$

gde su X_d i X_i - direktna i inverzna reaktansa transformatora, koje su jednake. Veza između struja trofaznog i dvofaznog kratkog spoja je:

$$I_k^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_k^{(3)} = 0,866 \cdot 10758 \text{ A} = 9317 \text{ A} .$$

Koeficijent osetljivosti zaštite je:

$$k_{os} = \frac{I_{K \min}}{I_{pod}} = \frac{9317 \text{ A}}{553 \text{ A}} = 16,8 .$$

povećanja struje u ostale dve faze, pa se u ovom slučaju mora neposredno konstatovati nestanak jedne faze. U ovom slučaju se koristi neka od sledećih zaštita:

- zaštitu u kojoj se koriste diferencijalni strujni magneti; u svakoj fazi postoji po jedan magnet koji se uključenom stanju drži pomoću namota sa većim brojem navojaka kroz koji protiče struja faze na koji je redno vezan; istovremeno na isključenje tog magneta se deluje pomoću dva namota sa znatno manjim brojem navojaka kroz koje protiče struja iz ostale dve faze; kada nestane struja u toj fazi, magnet se isključuje i zaštitom se deluje na isključenje motora;
- primenu frekventnih releja vezanih za napon koji je ispravljen preko diodnih mostova; kada postoji napajanje u sve tri faze, frekvenciju na ulazu u frekvenčmetar je 150 Hz, dok se pri nestanku jedne faze ta frekvencija menja na 100 Hz; prema tome, pri smanjenju frekvencije sa 150 Hz deluje se zaštitom na isključenje motora.

6.7. ZADACI

Zadatak 6.7.1

Podesiti jednorelejnu dvofaznu zaštitu asinhronog motora sa sledećim podacima: 6 kV, 800 kW, odnos polazne i nominalne struje motora 5.5, $\eta=0.95$, $\cos\varphi=0.88$.

Ako se za kratak spoj na priključcima motora obezbedi da minimalna vrednost struje kratkog spoja kroz zaštitu premašuje k_{os} puta podešenu vrednost struje ove zaštite, smatra se da će se zaštitom efikasno delovati i u slučaju kratkog spoja unutar motora (obično je $k_{os}=2$). Ako se usvoji da je $k_{os}=2$, koliko bi trebalo da iznosi minimalna vrednost struje tropolnog kratkog spoja na priključcima motora?

Rešenje:

Šema ove zaštite je prikazana na slici 6.1a. Struja podešenja relaja ove zaštite se izračunava na osnovu izraza (6.1):

$$I_{podešenja} = \frac{k_s \cdot k_{sp} \cdot I_{motora}}{p_i},$$

za koji je potrebno izračunati struju uključenja motora I_{motora} . Kao je u podacima o motoru dat samo odnos polazne i nominalne struje, to je potrebno prvo izračunati nominalnu struju motora. Nominalna struja motora se izračunava na osnovu sledećeg izraza:

$$P = S \cdot \cos\varphi \cdot \eta = \sqrt{3} \cdot V \cdot I_n \cdot \cos\varphi \cdot \eta \Rightarrow I_n = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\varphi \cdot \eta} = \frac{800 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 10^3 \cdot 0.88 \cdot 0.95} = 92.1 \text{ A.}$$

Struja uključenja je 5.5 puta veća od nominalne struje:

$$I_{motora} = 5.5 \cdot I_n = 5.5 \cdot 92.1 = 506.55 \text{ A.}$$

Ako se na osnovu nominalne struje motora usvoje strujni transformatori prenosnog odnosa 100/5 A/A, tj. $p_i=20$, tada se poznaju svi potrebeni podaci za proračun podešenja relaja:

$$I_{podešenja} = \frac{k_s \cdot k_{sp} \cdot I_{motora}}{p_i} = \frac{1.8 \cdot \sqrt{3} \cdot 506.55}{20} = \frac{1579.3}{20} = 79 \text{ A.}$$

Ako je nominalna struja relaja 5 A, tada relaj treba podesiti skoro na $16 \cdot I_{nominalno\ relaja}$, što je približno visoko podešenje.

Iz gornjeg izraza se vidi da je struja podešenja zaštite 1579.3 A i ta je struja približno 17 puta veća od nominalne struje motora i potrebno je proveriti da li su struje kratkih spojeva takve da mogu da pobude ovu zaštitu.

Jednorelejna dvofazna zaštitu se može koristiti samo u mrežama kod kojih je izolovano zvezdište transformatora preko koga se napaja motor. To znači da su u takvim mrežama mogući samo tropolni i dvopolni kratki spojevi. Zato je za proveru osetljivosti potrebno raznortiti kolika se struja meri zaštitom (relajom) pri ovim kratkim spojevima.

Kada se dogodi tropolni kratak spoj, fazori struja sve tri faze su ista po intenzitetu, a fazno pomereni za $2\pi/3$ radijana. S obzirom da struje postoje u sve tri faze, na priključcima relaja će se pojaviti razlika faznih struja:

$$I_f = \frac{|I_{L1} - I_{L2}|}{p_i} = \frac{|I_{L1} - I_{L1} e^{-j2\pi/3}|}{p_i} = \frac{|I_{L1} (1 + j0 + j\frac{\sqrt{3}}{2})|}{p_i} = \frac{|I_{L1} (1.5 + j\frac{\sqrt{3}}{2})|}{p_i},$$

odakle nije teško izračunati da je struja relaja, po modulu:

$$I_f = \frac{\sqrt{3} \cdot |I_{L1}|}{p_i}.$$

Kod dvopolnog kratkog spoja modul struja u fazama sa kratkim spojem je $\sqrt{3}/2$ puta manji od modula struje tropolnog kratkog spoja, a kritičniji je slučaj kada se kratak spoj dogodi između faze u kojoj postoji strujni transformator i faze u kojoj on ne postoji. U tom slučaju se prema relaju preslikava struja kratkog spoja samo iz jedne faze, što je tačno dvostruko manja vrednost nego u slučaju kada se kratak spoj dogodi između faza u kojima postoji strujni transformator.

Da bi se obezbedila minimalna osetljivost ove zaštite potrebno je da struja dvopolnog kratkog spoja iznosi:

$$I_{2pk} = k_{os} \cdot I_{podešenja} / p_i = 2 \cdot 79 \cdot 20 = 3160 \text{ A,}$$

pa bi minimalna struja tropolnog kratkog spoja trebala da iznosi:

$$I_{3pk} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot I_{2pk} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot 3160 = 3648.9 \text{ A.}$$

Zadatak 6.7.2

Koliko bi iznosila vrednost struje koja bi pri tropolnom kratkom spoju na priključcima motora tekla sa strane motora? Asinhroni motor sledeće podatke: 6 kV, 800 kW, odnos polazne i nominalne struje motora 6.6, $\eta=0.95$, $\cos\phi=0.88$.

Rešenje:

Da bi se izračunala gore pomenuta struja kratkog spoja koja dolazi sa strane motora potrebno je izračunati impedansu motora u kratkom spoju. Do te vrednosti se dolazi tako što se prvo izračuna prvidna snaga motora:

$$S_n = \frac{P}{\eta \cdot \cos\phi} = \frac{800 \cdot 10^3}{0.95 \cdot 0.88} = 956.94 \text{ kVA.}$$

Reaktansa kratkog spoja se izračunava na osnovu sledećeg izraza:

$$X_k = \frac{1}{I_{motora}} \cdot \frac{V^2}{S_n} = \frac{1}{6.6} \cdot \frac{(6 \cdot 10^3)^2}{956.94 \cdot 10^3} = 5.7 \Omega.$$

Na ovom mestu je potrebno dati mali komentar u vezi sa brojnom vrednosti reaktanse motora. Gornjim postupkom izračunata reaktansa se dobro slaže sa vrednostima dobijenim u merenjima u ogledu kratkog spoja na realnom motoru. U slučaju motora iz ovog primera, merenjima su dobijene sledeće vrednosti za impedansu kratkog spoja $Z_k=(1.182+j5.867) \Omega$.

Struja tropolnog kratkog spoja koja dolazi sa strane motora pri tropolnom kratkom spoju na njegovim priključcima se izračunava iz sledećeg izraza:

$$I_{3m} = \frac{1.1 \cdot V_0 / \sqrt{3}}{X_k} = \frac{1.1 \cdot 6 \cdot 10^3 / \sqrt{3}}{5.7} = 6685 \text{ A.}$$

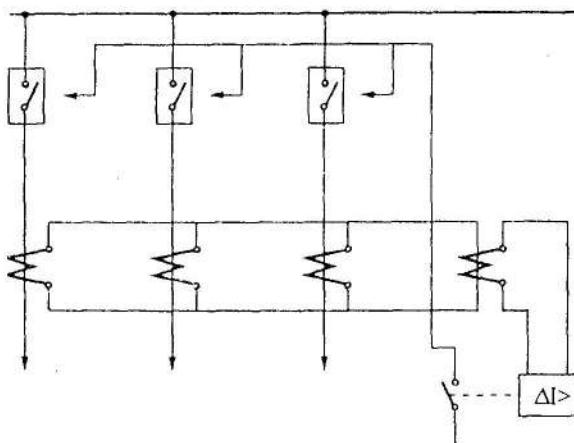
6.8. LITERATURA

1. ***: *Prenos i distribucija električne energije (priručnik Westinghouse)*, Građevinska knjiga, Beograd, 1964.
2. F.Božuta: *Automatski zaštitni uređaji elektroenergetskih postrojenja*, Svjetlost, Sarajevo, 1987.
3. M.Đurić: *Relejna zaštita*, Naučna knjiga, Beograd, 1991.
4. J.Nahman: *Struje kratkih spojeva u elektroenergetskim sistemima*, Nauka, Beograd, 1996.

4. D.Bekut, M.Sokola, P.Matić: Proračun uticaja asinhronog motora na struje kratkih spojeva, *JUKO CIGRE*, Vrnjačka banja, 1995, ref. br. 23.06, str. R23-06/1-3.
5. D.Bekut, Đ.Oros: Proračun struja i napona asinhronog motora pri automatskom ponovnom uključenju, *VIII simpozijum ENERGETSKA ELEKTRONIKA*, Novi Sad, 1995, str. 335-342.
6. M.Đurić: *Tehnika zaštite u elektroenergetici*, ETF Beograd, Beograd, 1997.
7. A.R.C.Warrington: *Protective Relays*, Chapman&Hall Ltd, London, U.K., 1971.
8. J.L.Blackburn: *Protective Relaying*, Marcel Dekker, Inc., New York, U.S.A., 1987.

Povećanje sigurnosti rada zaštite sabirnica se može postići uslovljavanjem njenog delovanja delovanjem podnaponskog releja vezanog za sabirnice, odnosno, uvođenjem blokadnog podnaponskog ispred izvršnog člana.

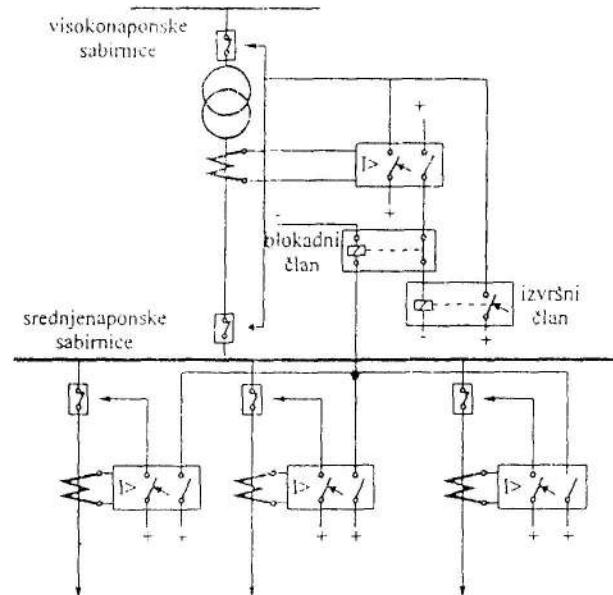
Na slici 7.3 prikazan je princip delovanja diferencijalne zaštite sabirnica $\Delta I >$. Diferencijalna zaštita sabirnica se zasniva na primeni prvog Kirchhoff-ovog zakona. Sve dok nema kvara na sabirnicama suma struja koje teku ka sabirnicama je jednaka sumi struja koje teku od sabirnica, tako da je rezultujuća diferencijalna struja brojno jednaka nuli. U slučaju kvara na sabirnicama diferencijalna struja je brojno različita od nule pa se deluje na isključenje svih prekidača uz sabirnice. Kod realnih diferencijalnih zaštita se pojavljuje i problem zasićenja strujnih transformatora koji se rešava korišćenjem stabilizovanih diferencijalnih zaštita.



Slika 7.3. - Princip delovanja diferencijalne zaštite sabirnica

Na slici 7.4 prikazana je prekostrujsna zaštita sabirnica. Ova zaštita se najčešće primenjuje za zaštitu srednjenaponskih sabirnica u transformatorskim stanicama visoki/srednji napon. Princip rada ove zaštite je sličan principu rada zaštite sa slike 7.2, samo se u ovom slučaju, umesto usmernih, koriste prekostrujni releji u izvodnim poljima. Najčešće se koriste trenutne prekostrujsne zaštite izvoda, mada se isti efekat postiže i kod primene obične prekostrujske zaštite.

Pri kratkom spoju na srednjenaponskim sabirnicama delovaće se zaštitom iz srednjenaponskog transformatorskog polja, obično nakon 0.1 s. Pri kratkom spoju u izvodnom polju, vrednost struje kratkog spoja će ostati praktično nepromenjena u odnosu na vrednost struje za kratak spoj na sabirnicama. To dalje znači da će se pobuditi zaštita u transformatorskom polju, ali će njeno delovanje biti blokirano pri proradi zaštite izvoda na kome se dogodio kvar. Kada se zaštita izvoda pobudi, odmah se deluje na blokadni član (da bi se ovo blokiranje moglo praktično izvesti, neophodno je bilo uvesti prethodno pomenuto kašnjenje od 0.1 s kod delovanja zaštite u transformatorskom polju).



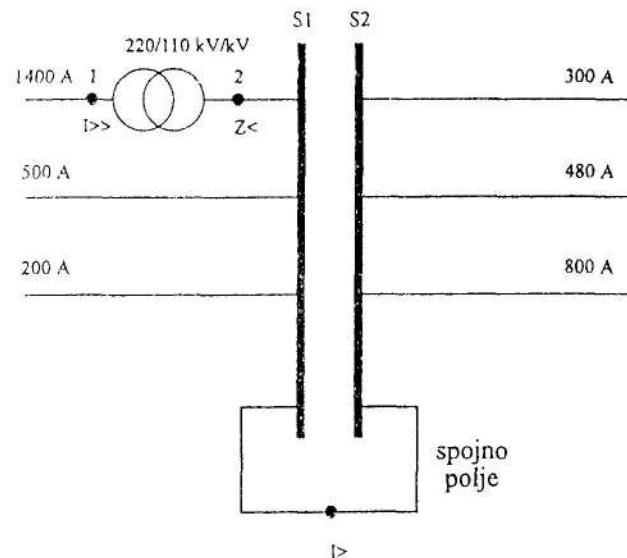
Slika 7.4. - Prekostrujsna zaštita sabirnica

Ako dođe do kvara zaštite ili prekidača izvoda, nakon vremena od oko 0.5 s nakon isteka vremenskog podešenja zaštite izvoda, delovaće se zaštitom u transformatorskom polju. Da bi se obezbedilo ovo rezerviranje, potrebno je paralelno sa izvršnim članom dodati još jedan kontakt kojim bi se kratko spojio izvršni član.

7.1. ZADACI

Zadatak 7.1.1

Neka se sistem od dve glavne sabirnice naponskog nivoa 110 kV štiti distantskom zaštitom vodova (transformatora) u drugom stepenu. Radi postizanja selektivnosti pri delovanju ovog tipa zaštite sabirnica, u spojno polje se ugrađuje prekostrujsna zaštita $I >$ kojom se deluje nakon 0.2 s. Izračunati maksimalno podešenje ove zaštite kako bi se u kritičnijem slučaju pri delovanju postigao koeficijent osetljivosti $k_{os} = 1.2$. Podaci o strujama kratkih spojeva su dati na slici 7.5 za kratak spoj na sabirnicama (nije bitno kojim). Sa strane 220 kV transformatora 220/110 kV/kV (na mestu 1) se nalazi trenutna prekostrujsna zaštita, a na mestu 2 distantsna zaštita. Na slici su naznačene vrednosti struja koje teku ka sabirnicama pri nastanku kratkog spoja na sabirnicama. Smatra se da su fazi stavovi struja približno isti.



Slika 7.5. - Primena prekostrujne zaštite u spojnom polju između sabirnica

Rešenje:

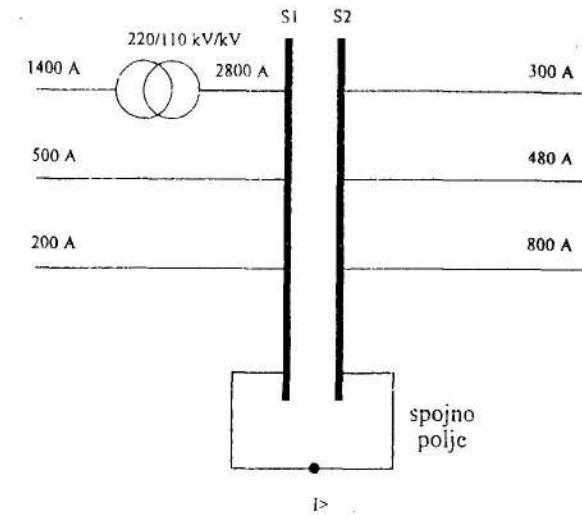
Pre analiza vezanih za funkcionisanje $I>$ zaštite u spojnom polju potrebno je razmotriti funkciju i delovanje zaštita koje se nalaze na transformatoru koji je vezan za razmatrani sabirnički sistem. Trenutnom prekostrujnom zaštitom se, po definiciji, ne deluje pri kratkim spojevima sa suprotno strane transformatora, što znači da se pri nastanku kvara na sabirnicama S1 ili S2 neće delovati ovom zaštitom. Kako je *distantna zaštita* postavljena samo sa niženaponske strane transformatora, podrazumeva se da se u prvom stepenu *distantnom zaštitom* deluje pri kratkim spojevima unutar transformatora, dok se tek u drugom stepenu deluje u smeru ka sabirnicama S1 (S2). U okviru ovog zadatka se, upravo razmatra slučaj sa kratkim spojem na sabirnicama S1 (S2) koji bi se ovom zaštitom detektovao u njenom drugom stepenu. Vreme delovanja *distantne zaštite* u drugom stepenu je od 0.3 do 0.5 s, što je duže od vremena delovanja $I>$ zaštite spojnjog polja (od 0.15 s do 0.2 s), pa se ni ovom zaštitom neće delovati u vremenu u kojem treba da se deluje $I>$ zaštitom spojnjog polja. Prema tome, mesto kratkog spoja se napaja i preko transformatora. Pri tom, potrebno je obratiti pažnju da je vrednost struje kroz transformator data sa višenaponske strane i da je treba svesti na niženaponsku stranu. To je u ovom slučaju trivijalno jer se radi o transformatoru čiji je prenosni odnos jednak 2 (220/110 kV/kV), pa je struja sa niženaponske strane 2800 A, kao što je to prikazano na slici 7.6.

Sada je potrebno izračunati vrednosti struja kroz spojno polje u zavisnosti od toga na kojim je sabirnicama kratak spoj. Ako je mesto kratkog spoja na sabirnicama S1, tada kroz spojno polje teku struje koje dolaze po vodovima sa desne strane na slici 7.6:

$$I_{S1} = 300 + 480 + 800 = 1580 \text{ A},$$

dok pri kratkom spoju na sabirnicama S2 kroz spojno polje teku struje koje dolaze preko transformatora i dva voda sa leve strane:

$$I_{S2} = 2800 + 500 + 200 = 3500 \text{ A}.$$



Slika 7.6. - Vrednosti struja ka sabirnicama pri kratkom spoju na sabirnicama

Prekostrujna zaštita spojnjog polja treba tako da bude podešena da se njom deluje i u nepovoljnijem slučaju, tj. slučaju kada je struja kroz spojno polje manja. Manja je struja I_{S1} , pa je struja podešenja $I>$ zaštite $I_{\text{podešenja}}$:

$$I_{\text{podešenja}} = \frac{I_{S1}}{k_{os}} = \frac{1580}{1.2} = 1316.7 \text{ A}.$$

7.2. LITERATURA

1. F.Božuta: *Automatski zaštitni uređaji elektroenergetskih postrojenja*, Svjetlost, Sarajevo, 1987.
2. M.Đurić: *Tehnika zaštite u elektroenergetici*, ETF Beograd, Beograd, 1997.
3. J.L.Blackburn: *Protective Relaying*, Marcel Dekker, Inc., New York, U.S.A., 1987