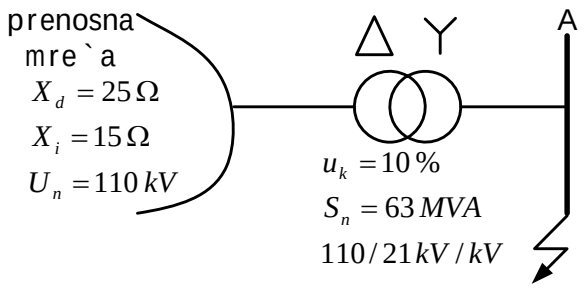
4. ЗАШТИТА НА ЕНЕРГЕТСКИ ТРАНСФОРМАТОРИ

Задача 4.1.

Да се пресметаат струите во сите три фази на високонапонската страна на трансформаторот со спрега ***Dy5*** прикажан на сликата, при симулација на двофазна куса врска во фазите L2 и L3 на собирницата A. Сите потребни податоци за пресметката се дадени на сликата 1.



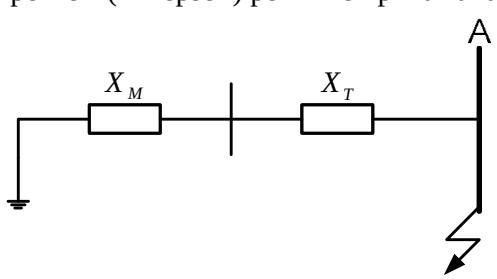
Слика 1. Еквивалент на преносната мрежа и трансформатор ВН /СН

Решение:

За пресметка на струјата на куса врска потребно е да се одредат параметрите на елементите од сликата 1, како и соодветните шеми за директен (инверзен) режим. Бидејќи од интерес се вредностите на струите на високонапонската (110 kV) страна на трансформаторот, наједноставно е да се сведат сите вредности на параметрите на тоа напонско ниво. Вредностите на еквивалентот на мрежата се дадени на тоа напонско ниво , што значи дека треба само да се пресмета вредноста на импеданцијата на трансформаторот:

$$X_T = \frac{u_k\,\%}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{10}{100} \cdot \frac{110^2}{63} = 19{,}2\,\Omega$$

Соодветната шема за директен (инверзен) режим е прикажана на слика 2.



Слика 2. Шема за директен (инверзен) режим за куса врска на собирницата A

Шемите за директен и инверзен режим се тополошки идентични . Се разликуваат само по вредностите на параметрите на реактанцијата на еквивалентот на преносната мрежа. Модулот на струјата на двофазна куса врска на собирницата A се пресметува врз основа на следниот израз:

$$I_{2\,fkv} = \frac{\sqrt{3} \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3}}}{Z_d + Z_i} = \frac{\sqrt{3} \cdot \frac{110}{\sqrt{3}}}{(25 + 19{,}2) + (15 + 19{,}2)} = 1{,}403\,kA$$

Во оваа задача не е воопшто важно дали се работи со минималната или со максималната струја на куса врска. Пресметаната струја е по модул еднаква на струите во фазите L2 и L3, а овие две струи се со спротивни насоки.

За пресметка на струите на високонапонската страна на трансформаторот, потребно е да се пресметаат вредностите на симетричните компоненти на струјата на нисконапонската страна. Кај трансформатор чија спрега има група на соединување различен од нула, секоја од симетричните компоненти се пресликува од една на друга страна по различна законитост. За да се пресметаат симетричните компоненти на струјата се користи матрицата за трансформација:

$$\begin{bmatrix} I_{L1} \\ I_{L2} \\ I_{L3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_d \\ I_i \\ I_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_d \\ -I_d \\ 0 \end{bmatrix}$$

На тој начин се добива дека струите во фазите L2 и L3 се еднакви:

$$\begin{aligned} I_{L1} &= \underline{I}_d + \underline{I}_i + \underline{I}_0 = 0 \\ I_{L2} &= \underline{a}^2 \cdot \underline{I}_d + \underline{a} \cdot \underline{I}_i + \underline{I}_0 = \left(\underline{a}^2 - \underline{a}\right) \cdot \underline{I}_d = -j\sqrt{3} \cdot \underline{I}_d \\ I_{L3} &= -\underline{I}_{L2} = j\sqrt{3} \cdot I_d \end{aligned}$$

што значи дека директната и инверзната компонента на струјата се :

$$\begin{aligned} I_d &= \frac{1{,}403}{\sqrt{3}} = 0{,}81\,kA \\ I_i &= -I_d = -0{,}81\,kA \end{aligned}$$

Влијанието на групата на соединување на спрегата на трансформаторот ***Dy5*** се зема во предвид на еден начин за директен, а на друг начин за инверзен режим. Спрегата ***Dy5*** означува дека фазорите на нисконапонската страна на разгледуваниот трансформатор се поместени (дефазирани) за 5 саати (150^0) во однос на фазорите на високонапонската страна за директен режим. **<u>Гледано од нисконапонската страна на истиот трансформатор</u>** фазорите на високонапонската страна се поместени за **<u>7 саати (210^0=-150^0)</u>** во однос на фазорите на нисконапонската страна за директен режим.

Во инверзен режим разгледуваниот трансформатор има спрега ***Dy(12-5)***, што значи дека фазорите на нисконапонската страна се поместени за **<u>7 саати (210^0)</u>** во однос на фазорите на високонапонската страна. **<u>Гледано од нисконапонската страна на истиот трансформатор</u>** фазорите на високонапонската страна се поместени за **<u>5 саати (150^0)</u>** во однос на фазорите на нисконапонската страна во инверзен режим.

Согласно ова, директната компонента на струјата на високонапонската страна на трансформаторот е:

$$I_D = I_d \cdot e^{j210^0} = 0{,}81 \cdot e^{j210^0}$$

Бидејќи за пресметка се користи шема која е сведена на едно напонско ниво, преносниот однос на трансформаторот не го менува интензитетот на симетричните компоненти, меѓутоа групата на соединување на трансформаторот го менува нивниот фазен агол. За инверзен режим важи:

$$I_I = I_i \cdot e^{j150^0} = -0{,}81 \cdot e^{j150^0}$$

Сега можат да се пресметаат струите во фазите L1, L2 и L3 на високонапонската страна на трансформаторот:

$$\begin{bmatrix} I_{L1} \\ I_{L2} \\ I_{L3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_d \\ I_i \\ I_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0{,}81 \cdot e^{j210^0} \\ -0{,}81 \cdot e^{j150^0} \\ 0 \end{bmatrix}$$

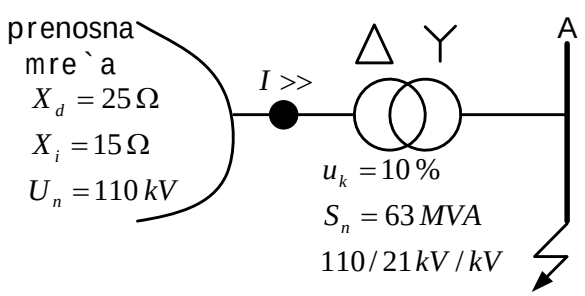
$$\underline{I}_{L1} = 0{,}81 \cdot \left(e^{j210} - e^{j150}\right) = -j0{,}81\,kA$$
$$\underline{I}_{L2} = 0{,}81 \cdot \left(a^2 \cdot e^{j210} - a \cdot e^{j150}\right) = j1{,}62\,kA$$
$$\underline{I}_{L3} = 0{,}81 \cdot \left(a \cdot e^{j210} - a^2 \cdot e^{j150}\right) = -j0{,}81\,kA$$

На крајот може да се даде краток коментар на добиените резултати :
При двофазна куса врска помеѓу фазите L2 и L3 на нисконапонската страна на трансформаторот, струјата во фазите L2 и L3 изнесува 1,403 кА (при што треба уште еднаш да се нагласи дека се работи со шема на трансформаторот сведена на високонапонската страна. Струја нема во фазата L1. Кога ќе се пресметаат струите на високонапонската страна на трансформаторот (при тоа во пресметката се зема во пре двид само поместувањето кое го внесува спрегата, бидејќи целата шема е сведена на едно напонско ниво) се добива дека:

1. Постојат струи во сите трифази!
2. Струјата во фазата L2 е два пати поголема од струите во фазите L1 и L3 и е со спротивна насока од нив;

Задача 4.2.

За трансформаторот од слика 3 да се провери можноста на примена на моментална прекуструјна заштита $I>>$ за заштита на трансформатори. Нека оваа заштита е поставена на високонапонската страна на трансформаторот.



Слика 3. Моментална прекуструјна заштита на трансформатор ВН /СН

Решение:

За избор на подесувањето на моменталната прекуструјна заштита на трансформаторот, потрено е да се пресмета максималната вредност на струјата на куса врска низ заштитата при симулација на куси врски на нисконапонската страна на трансформаторот. Врз основа на така добиената максимална вредност на струјата на куса врска треба да се подеси моменталната прекуструјна заштита и потоа треба да се провери нејзината осетливост при минимална вредност на струјата на куса врска за место на грешка на висконапонската страна.

На собирницата А можат да се симулираат четири видови на куси врски : трифазна, двофазна, двофазна со земја и еднофазна куса врска. Важно е да се нагласидека ѕвездиштето на нисконапонската страна е незаземјено, што значи дека при појава на куса врска со земја (еднофазна или двофазна со земја) нема тек на нултата компонента на струјата, односно импеданцијата на фиктивното коло за нулти режим е бесконечно голема по вредност. Тоа значи дека при еднофазна куса врска нема да постојат и останатите две компоненти на струјата, бидејќи вкупната еквивалентна импеданција на местото на куса врска е бесконечна (еквивалентната импеданција при овој тип на куса врска е збир од импеданциите на трите симетрични кола). Двофазната куса врска со земја преминува во обична двофазна куса врска. Од ова следи дека разгледувањето се ограничува на трифазна и двофазна куса врска. Бидејќи топологијата и параметрите на мрежата од слика 3 се исти како на мрежата од слика 1 од задача 4.1, можат да се искористат резултатите за пресметка на двофазната куса врска од оваа задача. Разликата е што во оваа задача ни треба максималната струја на куса врска низ заштитата, при куса врска на нисконапонската страна, па затоа добиената вредност од задача 4.1 ќе ја помножиме со коефициент 1,1:

$$I_{2fkv} = 1{,}602 \cdot 1{,}1 = 1{,}782\ kA$$

Селективноста на заштитата мора да биде обезбедена за сите фази , па затоа се бира фазата со најголема струја L2, односно фазите L1 и L3 не се од интерес бидејќи имаат двојно помала струја.

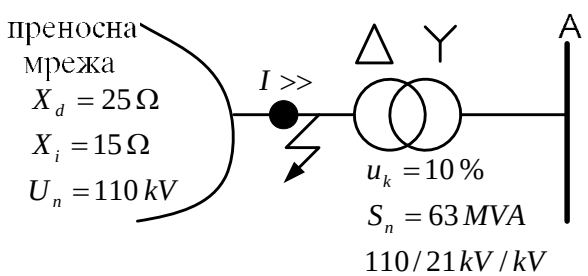
Вредноста на струјата на трифазна куса врска се пресметува од равенката :

$$I_{3fkv} = \frac{1{,}1 \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3}}}{Z_d} = \frac{1{,}1 \cdot \frac{110}{\sqrt{3}}}{(25 + 19{,}2)} = 1{,}58\ kA$$

Во случај на трифазна куса врска постоењето на поместувањети на фазниот агол не влијае на интензитетот на струјата по фазите, бидејќи во овој случај постои само еден симетричен режим и не постои можност при евентуално поклопување на фазорите се добие струја со поголем интензитет во некоја од фазите, како што беше случај при двофазна куса врска.

Бидејќи за избор на подесувањето на ***I*>>** заштита меродавна е поголемата струја, понатаму во пресметката за избор наподесувањето ќе се користи струјата на двофазна куса врска 1,782 kA. Струјата на подесување се пресметува од изразот :

$$I_{podesuvanje} = k_s \cdot I_{kv\max} = 1{,}3 \cdot 1{,}782 = 2{,}32\ kA$$



Слика 4. Место на куса врска за проверка на осетливоста на I>> заштита на трансформаторот

Осетливоста на оваа заштита се проверува при минимална вредност на струјата на куса врска на високонапонската страна, прикажано на слика 4. За вредноста на минималната струја на куса врска се избира помалата од вредностите на струјата при двофазна и трифазна куса врска. Струјата на двофазна куса врска е:

$$I_{2\,fkv} = \frac{\sqrt{3}\cdot\frac{U_n}{\sqrt{3}}}{Z_d + Z_i} = \frac{\sqrt{3}\cdot\frac{110}{\sqrt{3}}}{(25+15)} = 2{,}75\,kA$$

Струјата на трифазна куса врска е:

$$I_{3\,fkv} = \frac{\frac{U_n}{\sqrt{3}}}{Z_d} = \frac{\frac{110}{\sqrt{3}}}{25} = 2{,}54\,kA$$

Помала од овие две вредности е струјата на трифазна куса врска и таа изнесува 2,54 kA. Спрема тоа, осетливоста на заштитата изнесува:

$$k_{osetlivost} = \frac{I_{kv\min}}{I_{podesuvanje}} = \frac{2{,}54}{2{,}32} = 1{,}095$$

што е доста помалку од минималната потребна вредност за коефициентот на осетливост која изнесува 2. Значи може да се заклучи дека во делов ите од електроенергетските систем каде вредностите на кусите врски се релативо мали, не може ефикасно да се употреби прекуструјна заштита на трансформатор.

Задача 4.3.

Даден е трансформатор со следните податоци: $S_n = 60\,MVA$; $115{,}5/10{,}5\,kV/kV$; $T = 60\,\min$; $S_{opt.} = 0{,}5\cdot S_n$. Да се пресмета:

a) Ако трансформаторот се преоптовари за 50 %, колку време тој може да работи без да реагира термичката заштита;
b) После колку време ќе имаме отгпуштање на контактите на термичката заштита ако $\theta_{otp} = 30^0 C$ и $\theta_m = 60^0 C$.

Решение:

a) Времето на реагирање на термичката заштита може да се пресмета од следната равенка:

$$t = T\cdot\ln\frac{\theta_{\max} - \theta_0}{\theta_{\max} - \theta_{gr}} \qquad \Rightarrow \qquad t = T\cdot\ln\frac{I^2 - I_0^2}{I^2 - I_n^2}$$

каде што температурите одговараат на следните струи:

$$\theta_{gr}(I = I_n);\ \theta_0(I = I_0);\ \theta_{\max}(I > I_n)$$

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3}\cdot U_n} = \frac{60\cdot 10^3}{\sqrt{3}\cdot 10{,}5} = 3299\,A \qquad\qquad I_0 = 0{,}5\cdot I_n = 1649{,}5\,A$$

$$I = 1{,}5\cdot I_n = 4948{,}5\,A$$

Врската помеѓу струите и температурите е дадена со следните релации:

$$\frac{\theta_{\max}}{\theta_{gr}} = \frac{I^2}{I_n^2} \qquad \Rightarrow \qquad \theta_{\max} = \theta_{gr} \cdot \frac{I^2}{I_n^2}$$

$$\frac{\theta_0}{\theta_{gr}} = \frac{I_0^2}{I_n^2} \qquad \Rightarrow \qquad \theta_0 = \theta_{gr} \cdot \frac{I_0^2}{I_n^2}$$

Конечно времето на реагирање на термичката заштита е :

$$t = T \cdot \ln \frac{I^2 - I_0^2}{I^2 - I_n^2} = 60 \cdot \ln \frac{1{,}5^2 \cdot I_n^2 - 0{,}5^2 \cdot I_n^2}{1{,}5^2 \cdot I_n^2 - I_n^2} = 28{,}2 \min$$

b) До отпуштање на контактите на термичката заштита ќе дојде кога температурата ќе падне од 60^0C на 30^0C:

$$\theta = \theta_m \cdot e^{-\frac{t}{T}} \qquad \theta_{otp} \rightarrow t_{otp}$$

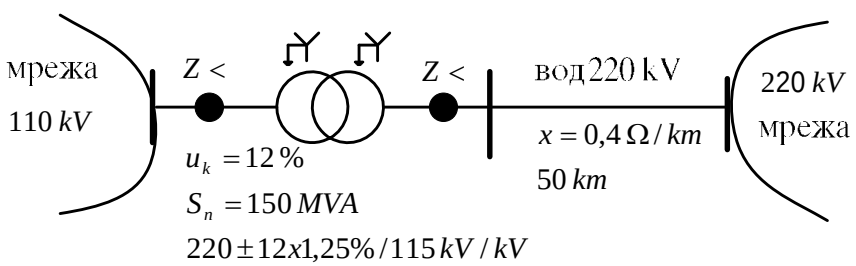
$$t_{otp} = T \cdot \ln \frac{\theta_m}{\theta_{otp}} = 60 \cdot \ln \frac{60}{30} = 41{,}6 \min$$

Задача 4.4.

За трансформаторот на сликата 5 да се пресмета импеданциското подесување на дистантната заштита $Z<$ на 110 kV страна на трансформаторот за следните два случаи :

a) кога на 220 kV страна на трансформаторот постои дистантна заштита ;

b) кога на 220 kV страна на трансформаторот не постои дистантна заштита .



Слика 5. Избор на подесувањето на дистантната заштита на трансформатор

Решение:

а) Во овој случај се разгледува избор на подесување на дистантната заштита на трансформаторот при што на двете страни се поставени заштити. За избор на подесувањето на дистантната заштита, неопходно е да се пресмета импеданцијата (реактанцијата) на трансформаторот за средната положба на регулационата преклопка :

$$X_T = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{12}{100} \cdot \frac{115^2}{150} = 10{,}58\,\Omega$$

Вредноста на импеданциското подесување на првиот степен на дистантната заштита на трансформаторот се пресметува врз основа на следниот израз:

$$X_I = 0{,}8 \cdot X_{T\min} = 0{,}8 \cdot (1 - n_r)^2 \cdot X_T = 0{,}8 \cdot (1 - 0{,}15)^2 \cdot 10{,}58 = 6{,}12\,\Omega$$

каде што n_r е максималната промена на напонот со регулационата преклопка. Вредноста на импеданциското подесување на вториот степен се пресметува од следниот израз:

$$X_{II} = 1{,}2 \cdot X_{T\max} = 1{,}2 \cdot (1 + n_r)^2 \cdot X_T = 1{,}2 \cdot (1 + 0{,}15)^2 \cdot 10{,}58 = 16{,}79\,\Omega$$

Изборот на подесување на третиот степен на дистантниот релеј се пресметува врз основа на изразот:

$$X_{III} = 1{,}2 \cdot \left((1 + n_r)^2 \cdot X_T + k_{gr} \cdot Z_{vod}\right)$$

каде што $k_{gr} \cdot Z_{vod}$ е производ на коефициентот на разгранување и импеданцијата на водот од спротивната страна на трансформаторот кај кого овој производ е најголем. Во овој случај на 220 kV страна на трансформаторот има само еден вод што значи еднозначен е случајот. Притоа потребно е да се одреди вредноста на коефициентот на разгранување помеѓу струјата низ водот и струјата низ разгледуваната дистантна заштита при трифазна куса врска на собирниците на крајот на водот кај 220 kV мрежата. Со оглед на едноставноста на примерот, коефициентот k_{gr} се одредува од количникот:

$$k_{gr} = \frac{I_v}{I_{tr110}}$$

каде што I_v е струјата на водот и I_{tr110} е струјата низ трансформаторот на 110 kV страната. Струјата на 110 kV страната се пресметува како производ од струјата на 220 kV страната (која е еднаква на струјата низ водот) и преносниот однос на трансформаторот m_T за средна положба на регулационата преклопка:

$$k_{gr} = \frac{I_v}{I_{tr110}} = \frac{I_v}{I_{tr220} \cdot m_T} = \frac{I_v}{I_v \cdot m_T} = \frac{1}{\frac{220}{115}} = 0{,}52$$

Импеданциското подесување на третиот степен на дистантниот релеј е:

$$X_{III} = 1{,}2 \cdot \left((1 + n_r)^2 \cdot X_T + k_{gr} \cdot Z_{vod}\right) = 1{,}2 \cdot \left((1 + 0{,}15)^2 \cdot 10{,}58 + 0{,}52 \cdot 0{,}4 \cdot 50\right) = 29{,}27\,\Omega$$

b) Кога дистантната заштита е поставена само на 110 kV страната на трансформаторот импеданциското подесување на првиот степен е исто како за првиот степен за случајот под а). Импеданциското подесување на вториот степен во овој случај се бира на минимална вредност која може да се подеси на дадениот тип на релеј (тоа е обично вредност која се движи во опсег од 5 до 10 Ω). Импеданциското подесување на третиот степен е идентично како подесувањето на вториот степен за случајот под а).

Задача 4.5.

За трансформатор со следните податоци: $110 \pm 12x1{,}25\% / 10{,}5$ kV/kV, $u_k = 12\%$, $S_n = 20\,MVA$, со спрега ***Yd5***, треба да се изведе диференцијална заштита. Поради

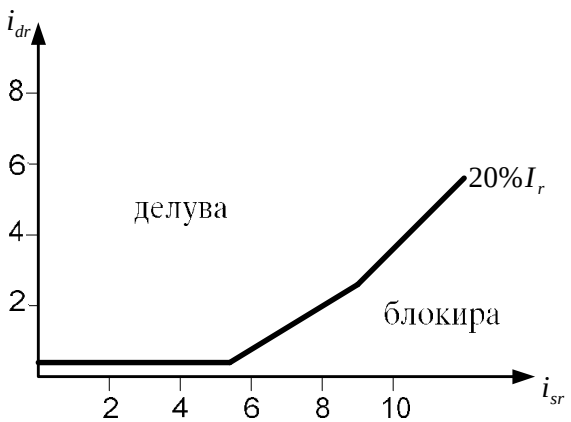
упростување да се смета дека моќноста на куса врска на 110 kV собирница бесконечна. Потребно е:

а) да се одредат преносните односи и спрегите на струјните трансформатори и меѓу трансформаторите;

b) да се пресмета диференцијалната струја за крајната положба на регулационата преклопка (се смета дека напонот е зголемен до вредност која со промена на положбата на регулационата преклопка може да се сведе на номиналниот напон на трансформаторот ;

v) ако наместо меѓутрансформатор се преносен однос пресметан под а), се користи меѓутрансформатор со преносен однос $p_{MT} = \sqrt{3}$ (што одговара на случајот да се занемари разликата на вредностите на струите i_1 и i_2) да се провери дали со статичка диференцијална заштита подесена на 20 % од номиналната струја на релејот ќе се делува при настанување на трифазна куса врска на 10 kV страната на трансформаторот. Карактеристиката на статичката заштита е дадена на сликата 6 како функција на релативната диференцијална од релативната стабилизациона струја $i_{dr} = f(i_{sr})$

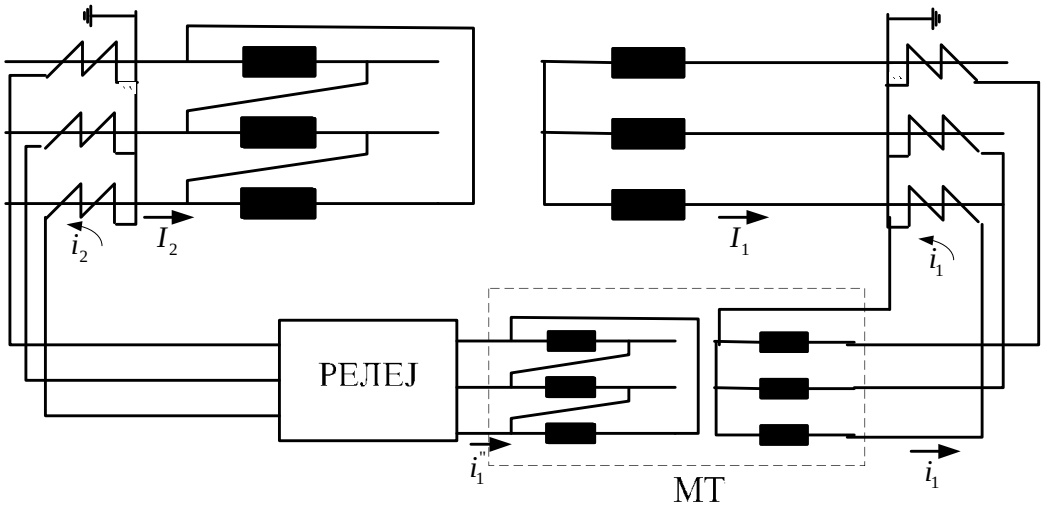
g) дали ќе дојде до проработување на диференцијалниот релеј во случајот под в), по услов трифазната куса врска да се случи при положба на регулационата преклопка од +15%. Во оваа пресметка да се земе во предвид и промената на реактанцијата на трансформаторот.



Слика 6. Карактеристика на статичката диференцијална заштита

Решение:

На сликата 7 е прикажана диференцијална заштита на трансформатор . За да се одредат преносните односи на главните струјни трансформатори , прво е потребно да се одредат струите кои течат низ намотките на трансформаторот .



Слика 7. Диференцијална заштита на двонамотен трансформатор

Струјата низ намотката на високонапонската страна на трансформаторот се пресметува како:

$$I_1 = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{n1}} = \frac{20}{\sqrt{3} \cdot 110} = 104{,}97\ A \approx 105\ A$$

додека струјата на нисконапонската страна е:

$$I_2 = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{n2}} = \frac{20}{\sqrt{3} \cdot 10{,}5} = 1099{,}7\ A \approx 1100\ A$$

Струите на струјните транасформатори се избираат врз основа на номиналната работна струја низ трансформаторот. При изборот на преносните односи на струјните трансформатори, треба да се обезбеди да струјата на нивната секундарна страна биде по вредност приближно еднаква на номиналната струја на диференцијалниот релеј (најчесто 5 А). Кога на високонапонската страна ќе се одбере трансформатор со преносен однос:

$$p_1 = \frac{100}{5} = 20$$

тогаш на неговиот секундар се добива струја:

$$i_1 = \frac{I_1}{p_1} = \frac{105}{20} = 5{,}25\ A$$

На нисконапонската страна може да се избере трансформатор со преносен однос:

$$p_1 = \frac{1000}{5} = 200$$

тогаш на неговиот секундар се добива струја:

$$i_2 = \frac{I_2}{p_2} = \frac{1100}{200} = 5{,}5\ A$$

Намотките на секундарите на главните струјни трансформатори се поврзани во ѕвезда. Очигледно е дека струите на секундарите се разликуваат по вредност, но таа разлика е релативно мала и може да се занемари. Меѓутоа потребно е да се усогласат фазните агли на овие струи и да се елиминираат нултите компоненти на струјата на високонапонската страна. Затоа на неа после главниот струен трансформатор се поставува меѓутрансформатор. Неговата спрега се одредува врз основа на табела (види предавања) и врз основа на истата се добува дека спрегата е ***Yd5*** со заземјено ѕвездиште на намотката поврзана во ѕвезда. Преносниот однос на меѓутрансформаторот се одредува од изразот :

$$p_{MT} = \frac{\dfrac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{n1} \cdot p_1}}{k_{sp} \cdot i_r} = \frac{i_1}{k_{sp} \cdot i_r} = \frac{5{,}25}{\dfrac{1}{\sqrt{3}} \cdot 5{,}5} = 1{,}65$$

Во изразот за струјата на релето е земена вредност 5,5 А, за да се изедначат вредностите на струите од двете страни на диференцијалниот релеј.

b) Кај регулационите трансформатори се менува положбата на регулационата преклопка со цел на нивната секундарна страна да се обезбеди соодветниот работен напон. Во овој случај тој напон е 10,5 кВ, користењето на горната положба на регулационата преклопка (+12x1,25%=+15%) подразбира ситуација кога примарниот напон е за 15 % поголем од номиналниот (при што се подразбира дека изолационото ниво на опремата дозволува таков погон). Во спротивно може да се работи со вредност на напонот која е дозволена согласно изолационото ниво. При зголемен напон струјата на примарот е :

$$I_1 = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{zgolemeno}} = \frac{20}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot (1 + 0{,}15)} = 91{,}3\ A$$

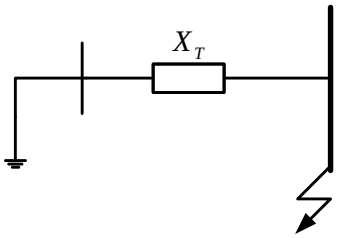
Соодветната вредност на струјата $i_1^{''}$ е:

$$i_1^{''} = \frac{I_1}{p_1 \cdot p_{MT}} \cdot \sqrt{3} = \frac{91{,}3}{20 \cdot 1{,}65} \cdot \sqrt{3} = 4{,}79\ A$$

Диференцијалната струја е (при што струјата i_2 не се менува):

$$i_d = i_2 - i_1^{''} = 5{,}5 - 4{,}79 = 0{,}71\ A$$

v) За да се одговори на прашањето дали со статичката диференцијална заштита ќе се делува при појава на трифазна куса врска на 10 kV страната на трансформаторот, прво е потребно да се пресмета вредноста на струјата при таа куса врска. Шемата за пресметка е прикажана на сликата 8 (сведена на 110 kV напонско ниво).



Слика 8. Еквивалентна шема за пресметка на трифазна куса врска

Реактанцијата на трансформаторот е:

$$X_T = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{12}{100} \cdot \frac{110^2}{20} = 72{,}6\,\Omega$$

Струјата на трифазна куса врска се пресметува за средна положба на регулационата преклопка:

$$I_{3fkv1} = \frac{1{,}1 \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3}}}{Z_d} = \frac{1{,}1 \cdot \frac{110}{\sqrt{3}}}{72{,}6} = 0{,}96\,kA$$

Добиената вредност на струјата претставува струја која тече низ трансформаторот на високонапонската страна (реактанцијата е сведена на високонапонската страна). На нисконапонската страна струјата се пресметува:

$$I_{3fkv2} = I_{3fkv1} \cdot \frac{110}{10{,}5} = 0{,}96 \cdot \frac{110}{10{,}5} = 10{,}06\,kA$$

Соодветните струи на секундарите на струјните трансформатори се:

$$i_{1kv} = \frac{I_{3fkv1}}{p_1} = \frac{0{,}96}{20} = 0{,}048\,kA = 48\,A$$

$$i_{2kv} = \frac{I_{3fkv2}}{p_2} = \frac{10{,}06}{200} = 0{,}0503\,kA = 50{,}3\,A$$

Бидејќи преносниот однос на меѓутрансформаторот е еднаков на $\sqrt{3}$, тоа значи дека $i_1 = i_1''$, па диференцијалната струја е:

$$i_d = i_{2kv} - i_{1kv} = 50{,}3 - 48 = 2{,}3\,A$$

Соодветната стабилизациона струја се пресметува како полузбир од струите i_2 и i_1'':

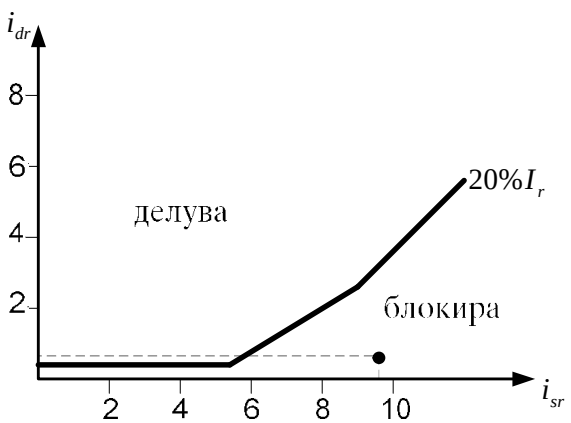
$$i_s = \frac{i_{1kv} + i_{2kv}}{2} = \frac{48 + 50{,}3}{2} = 49{,}15\,A$$

Претходно пресметаните вредности на диференјцијалната и стабилизационата струја треба да се поделат со номиналната струја на релето и на тој начин да се пресметаат соодветните релативни вредности на диференцијалната и стабилизационата струја :

$$i_{dr} = \frac{i_d}{i_r} = \frac{2,3}{5} = 0,46$$

$$i_{sr} = \frac{i_s}{i_r} = \frac{49,15}{5} = 9,83$$

Вредностите на овие струи претставуваат координатни точки (0,46 ; 9,83) на точката на сликата 9. Како што се гледа оваа точка паѓа во областа во која релејот не делува, што значи при трифазна куса врска не доаѓа до делување на овој релеј.



Слика 9. Проценка на делувањето на диференцијален релеј

d) Во однос на случајот под в) потребно е да се пресмета новата вредност на реактанцијата на трансформаторот:

$$X_{T1} = (1 + n_r)^2 \cdot X_T = (1 + 0,15)^2 \cdot 72,6 = 96\,\Omega$$

Струјата на трифазна куса врска се пресметува за напон кој е за 15 % поголем од номиналниот:

$$I_{3fkv1} = \frac{1,15 \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3}}}{Z_d} = \frac{1,15 \cdot \frac{110}{\sqrt{3}}}{96} = 0,76\,kA$$

Добиената вредност е помала од онаа што е добиена во случајот под в). Струјата која тече низ трансформаторот на нисконапонската страна се пресметува како:

$$I_{3fkv2} = I_{3fkv1} \cdot \frac{110}{10,5} = 0,76 \cdot \frac{1,15 \cdot 110}{10,5} = 9,16\,kA$$

Соодветните струи на секундарите на струјните трансформатори се:

$$i_{1kv} = \frac{I_{3fkv1}}{p_1} = \frac{0,76}{20} = 0,038\,kA = 38\,A$$

$$i_{2kv} = \frac{I_{3fkv2}}{p_2} = \frac{9,16}{200} = 0,0458\,kA = 45,8\,A$$

Диференцијалната струја е:

$$i_d = i_{2kv} - i_{1kv} = 45,8 - 38 = 7,8\,A$$

Соодветната стабилизациона струја се пресметува како полузбир од струите i_2 и $i_1^{''}$:

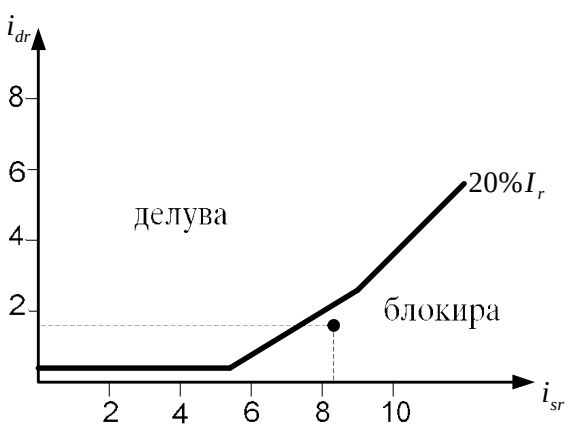
$$i_s = \frac{i_{1kv} + i_{2kv}}{2} = \frac{38 + 45,8}{2} = 41,9\,A$$

Претходно пресметаните вредности на диференјцијалната и стабилизационата струја треба да се поделат со номиналната струја на релето и на тој начин да се пресметаат соодветните релативни вредности на диференцијалната и стабилизационата струја:

$$i_{dr} = \frac{i_d}{i_r} = \frac{7,8}{5} = 1,56$$

$$i_{sr} = \frac{i_s}{i_r} = \frac{41,9}{5} = 8,38$$

Вредностите на овие струи претставуваат координатни точки (1,56 ; 8,38) на точката на сликата 10.



Слика 10. Проценка на делувањето на релејот при положбан а регулационата преклопка +15%

Не е тешко да се забележи дека промената на регулационата преклопка не влијае на положбата на поместување на работната точка во правец на областа на делување. Ако се процени дека положбата на работната точка е премногу близу до областа на делување може да се премине на подесување 25% или 32 % од *Ir*.