



ПРИКЉУЧЕЊЕ ПРИГУШНИЦЕ У НЕУТРАЛНУ ТАЧКУ НАПОНСКИХ ТРАНСФОРМАТОРА, КАО ИНДИКАТОРА НАСТАНКА ЗЕМЉОСПОЈА

Драган Ристивојевић, Снежана Вуковић, Слободан Дамњановић, Драган Милошевић
РБ Колубара, Лазаревац, Србија

Кратак садржај: Прописи о електроенергетским постројењима напона 6-10 kV препоручују спој намотаја напојног трансформатора у спрегу троугла. У таквим мрежама, пригушница се прикључује на нулту тачку, образовану примарним намотајима напонских трансформатора спојених у звезду. Секундарни намотаји трансформатора спојени су у троугао, чиме се подстиче смањење отпорности у колу нулте компоненте. При компензацији индукваном пригушницом, јавиће се утицај отпорности датог трансформатора на услове оптималне компензације капацитивних струја земљоспоја. Посматра се и упоређује евидентирање нулте компоненте преко отвореног троугла и употребом пригушнице.

1. УВОД

Прописи о електроенергетским постројењима напона 6-10 kV препоручују спој намотаја напојног трансформатора у спрегу троугла. У таквим мрежама, пригушница се прикључује на нулту тачку, образовану примарним намотајима напонских трансформатора спојених у звезду. Секундарни намотаји трансформатора спојени су у троугао, чиме се подстиче смањење отпорности у колу нулте компоненте. При компензацији индукваном пригушницом, јавиће се утицај отпорности датог трансформатора на услове оптималне компензације капацитивних струја земљоспоја. Посматра се и упоређује евидентирање нулте компоненте преко отвореног троугла и употребом пригушнице.

2. РАСПОДЕЛА СТРУЈА И УТИЦАЈ ПРИКЉУЧЕНЕ ПРИГУШНИЦЕ СА ЗАНЕМАРЕНИМ УТИЦАЈЕМ ПАРАМЕТАРА ТРАНСФОРМАТОРА

Када су намотаји енергетског трансформатора на секундарној страни спојени у троугао пригушница се прикључује у нулту тачку образовану примарним

намотајима једнополно изолованих напонских трансформатора (формирано је звездиште). Секундарни намотаји трансформатора (напонског) спојени су у отворени троугао.

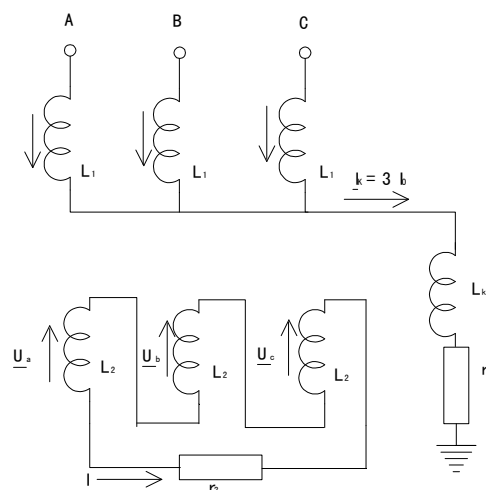
Магнетно коло трансформатора се састоји од низа лимова Е профила, на чијем језгру су распоређени примарни и секундарни намотаји појединих фаза.

У оквиру магнетног кола, флуks нулте компоненте се затвара кроз ваздух, језгро и друге металне елементе конструкције трансформатора.

При компензацији индуктивношћу (пригушницом) јавиће се утицај отпорности посматраног трансформатора, на услове оптималне компензације капацитивних струја земљоспоја.

Ради поједностављења, сматраћемо да су магнетни орпор флуksа нулте компоненте и магнетни отпор једног стуба језгра трансформатора, једнаки.

На слици 1, приказана је трофазна шема напонског трансформатора у чијој нултој тачки је прикључена пригушница.



Сл. 1.- Шема трофазног напонског трансформатора са прикљученом пригушницом у неутралну тачку

L_1 – индуктивност примарних намотаја трансформатора

L_2 – индуктивност секундарних намотаја трансформатора

L_k – индуктивност компензационе пригушнице

r_k – активна отпорност пригушнице

r_Δ – активна отпорност у колу секундара намотаја

$\underline{U}_A, \underline{U}_B, \underline{U}_C$ – комплексни напони на примарним намотајима трансформатора

$\underline{I}_A, \underline{I}_B, \underline{I}_C$ – комплексне струје примарних намотаја трансформатора

\underline{I} – струја кроз активну отпорност r_Δ

Шема на слици 1, може бити замењена еквивалентном, у којој магнетна веза између намотаја трансформатора није узета у обзир.

При томе сматрамо да је коефицијент спреге пригушнице расподељене на једном општем језгру, једнак јединици, а за намотаје расподељене на разним језгрима, једнак 1/3. Користећи $M_{1,2} = k \cdot \sqrt{L_1 \cdot L_2}$, налазимо за шему на слици 1 везу између коефицијента самоиндукције L и међусобне индукције $M_{1,2}$ свих намотаја напонског трансформатора:

$$M_{A,B} = M_{A,C} = M_{B,C} = \frac{1}{3} L_1 \quad (1)$$

$$M_{a,b} = M_{a,c} = M_{b,c} = \frac{1}{3} L_2 \quad (2)$$

$$M_{A,b} = M_{A,c} = M_{B,a} = M_{C,a} = M_{C,b} = \frac{1}{3} \sqrt{L_1 \cdot L_2} \quad (3)$$

$$M_{A,a} = M_{B,b} = M_{C,c} = \sqrt{L_1 \cdot L_2} \quad (4)$$

На основу Кирхових правила имамо:

$$j\omega L_1 (\underline{I}_A - \frac{1}{3} \underline{I}_B - \frac{1}{3} \underline{I}_C) - \frac{1}{3} j\omega \sqrt{L_1 \cdot L_2} \underline{I} = \underline{U}_A \quad (5)$$

$$j\omega L_1 (-\frac{1}{3} \underline{I}_A + \underline{I}_B - \frac{1}{3} \underline{I}_C) - \frac{1}{3} j\omega \sqrt{L_1 \cdot L_2} \underline{I} = \underline{U}_B \quad (6)$$

$$j\omega L_1 (-\frac{1}{3} \underline{I}_A - \frac{1}{3} \underline{I}_B + \underline{I}_C) - \frac{1}{3} j\omega \sqrt{L_1 \cdot L_2} \underline{I} = \underline{U}_C \quad (7)$$

Сабирањем левих и десних делова једначина (5)-(7) добијамо:

$$\frac{1}{3} j\omega L_1 (\underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C) - j\omega \sqrt{L_1 \cdot L_2} \underline{I} = \underline{U}_A + \underline{U}_B + \underline{U}_C \quad (8)$$

За секундарну контуру образовану намотајима трансформатора, спојеним у троугао, можемо писати:

$$\underline{I} \cdot (r_\Delta + j\omega L_2) - \frac{1}{3} j\omega \sqrt{L_1 L_2} (\underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C) = 0 \quad (9)$$

Одатле је:

$$\underline{I} = \frac{1}{3} \cdot \frac{j\omega \sqrt{L_1 L_2}}{r_\Delta + j\omega L_2} \cdot (\underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C) \quad (10)$$

Из (9) и (10) добијамо:

$$\underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = \frac{3(r_\Delta + j\omega L_2)}{j\omega L_1 r_\Delta} (\underline{U}_A + \underline{U}_B + \underline{U}_C) \quad (11)$$

Користећи се изразима за струје и напоне нулте компоненте за примарне намотаје трансформатора:

$$\underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = 3\underline{I}_0 \quad (12)$$

$$\underline{U}_A + \underline{U}_B + \underline{U}_C = 3\underline{U}_0 \quad (13)$$

Пуна проводност једне фазе напонског трансформатора, биће:

$$\frac{\underline{I}_0}{\underline{U}_0} = \frac{3}{n^2 r_\Delta} + \frac{3}{j\omega L_1} \quad (14)$$

Где је $n = \frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}$ – коефицијент

трансформације трансформатора.

На тај начин унета активна отпорност трансформатора биће једнака:

$$r_1 = \frac{1}{3} n^2 r_\Delta \quad (15)$$

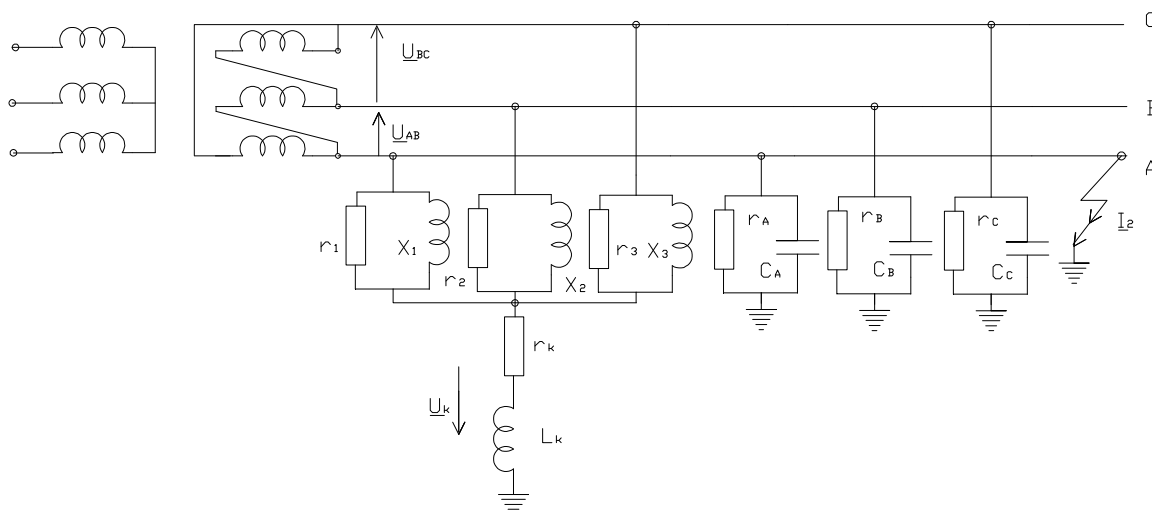
а индуктивна:

$$X_1 = \frac{1}{3} \omega L_1 \quad (16)$$

3. РАСПОДЕЛА СТРУЈА И УТИЦАЈ ПРИКЉУЧЕНЕ ПРИГУШНИЦЕ, ПОЈАВА ЗЕМЉОСПОЈА

У заменској шеми електричне мреже за уклањање утицаја датог трансформатора, прикљученог између сваке фазе и заједничке тачке у коју се прикључује пригушница, неопходно је остварити активни отпор

$$\frac{1}{3}n^2r_{\Delta} \text{ и индуктивни отпор } \frac{1}{3}\omega L_1.$$



Слика 2: Еквивалентна шема мреже са утицајем отпорности напонског трансформатора

При отвореном троуглу ($r_{\Delta} \rightarrow \infty$), отпорност трансформатора једнака је само индуктивном отпору $X_1 = \frac{1}{3}\omega L_1$, који може бити искоришћен само за компензацију капацитивне струје земљоспоја.

Са заменске шеме на слици 2, нађимо и напон неутралне тачке који се има и при непостојању земљоспоја:

$$\underline{U}_N = U_f \cdot \frac{j\omega(C_A + a^2C_B + aC_C)}{\frac{3}{r} + j\omega(C_A + C_B + C_C) + \frac{1}{\frac{1}{9} \cdot \frac{j\omega L_1 r_{\Delta}}{r_{\Delta} + j\omega k_2} + r_k + j\omega L_k}} \quad (17)$$

и струју једнофазног земљоспоја:

$$\underline{I}_{ZA} = U_f \left[\frac{3}{r} + j\omega(C_B + C_C) - j\omega(a^2C_B + aC_C) + \frac{1}{\frac{1}{9} \cdot \frac{j\omega L_1 r_{\Delta}}{r_{\Delta} + j\omega k_2} + r_k + j\omega L_k} \right] \quad (18)$$

При отвореним секундарним намотајима, везаним у троугао ($r_{\Delta} \rightarrow \infty$) и $r_k = 0$ из израза (18), уочимо

На слици 2 дата је заменска шема са утицајем параметара напонског трансформатора. Из ове шеме је лако добити све неопходне једначине, које карактеришу рад мреже у режиму компензације струје земљоспоја.

Неопходно је приметити да при $r_{\Delta} = 0$, општа проводност, условљена трансформатором, тежи ка бесконачности.

вредност струје земљоспоја за симетричну мрежу ($C_A = C_B = C_C = C$)

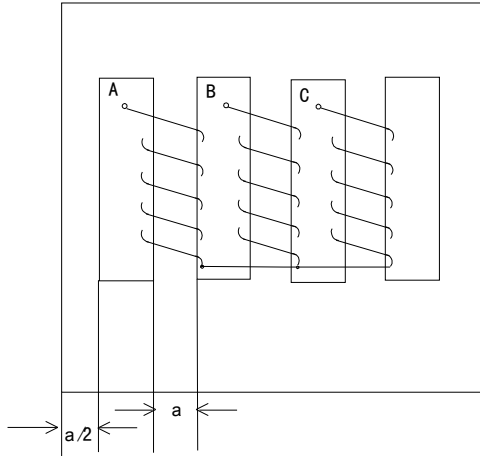
$$\underline{I}_{ZA} = \frac{U_L}{\sqrt{3}} \left[\frac{3}{r} + j(3\omega C - \frac{1}{\omega L_K + \frac{1}{9}\omega L_1}) \right] \quad (19)$$

Из израза (19) следи услова настанка резонансе:

$$3\omega C = \frac{1}{\omega(L_K + \frac{1}{9}L_1)} \quad (20)$$

Како се види из израза (20) индуктивности пригушнице L_K , додаје се вредност $\frac{1}{9}L_1$, што је условљено утицајем напонског трансформатора.

Најцелисходније решење компензације, јавља се у виду трофазног кола, са петостубним магнетним колом – слика 3.



Слика 3- Магнетно коло са трофазним намотајима за компензацију капацитивних струја земљоспоја

За овај случај напишимо израз за струју земљоспоја:

$$\frac{I_{ZA}}{\sqrt{3}} = \frac{U_L}{\sqrt{3}} \left[\frac{1}{2} \left(\frac{3}{r_B} + \frac{3}{r_C} - \sqrt{3}\omega C_B + \sqrt{3}\omega C_C \right) + \frac{1}{2} j \left(\frac{\sqrt{3}}{r_B} - \frac{\sqrt{3}}{r_C} + 3\omega C_B + 3\omega C_C \right) + \frac{9}{j\omega L} \right] \quad (21)$$

где је L - индуктивност једног намотаја петостубног језгра. Из добијеног израза, види се при услову:

$$\frac{1}{2} \left(\frac{\sqrt{3}}{r_B} - \frac{\sqrt{3}}{r_C} + 3\omega C_B + 3\omega C_C \right) = \frac{9}{\omega L} \quad (22)$$

Произилази резонанса, и струја земљоспоја ће бити минимална:

$$\frac{I_{ZA_{\min}}}{2\sqrt{3}} = \frac{U_L}{2\sqrt{3}} \left(\frac{3}{r_B} + \frac{3}{r_C} - \sqrt{3}\omega C_B + \sqrt{3}\omega C_C \right) \quad (23)$$

Уколико је мрежа симетрична у односу према фазама и земљи (B и C), ($r_B = r_C = r, C_B = C_C = C$), услови резонансе се изражавају у облику:

$$\omega C = \frac{3}{\omega L}, \text{ а струја земљоспоја: } I_{ZA} = \frac{\sqrt{3}U_L}{r}$$

При датом техничком решењу система компензације, евидентна је знатна материјална уштеда, пошто се, уместо два гломазна уређаја – допунског трансформатора и компензационе пригушнице, примењује само један петостубни склоп магнетног кола.

4. ЗАКЉУЧАК

Дакле, компензација капацитивних струја тземљоспоја у принципу може бити остварена и без компензационе пригушнице, само на основу индуктивности примарних намотаја самог напонског трансформатора. При томе, секундарни намотаји морају бити отворени.

Уколико нису неопходни секундарни намотаји, поставља се питање потребе и самог трансформатора, тим пре што конструкција напонског трансформатора, одликује тако великим недостацима, као што је немогућност затварања магнетних флуксева нулте компоненте.

5. ЛИТЕРАТУРА

[1] М. Фјодоров: Земљоспоји у мрежама 6 до 35 kV

INDUCTANCE CONNECTION IN NEUTRAL POINT OF VOLTAGE TRANSFORMERS AS AN INDICATION OF THE EARTHING

Abstract: Electric regulations for substation of 6-10 kV voltage recommends delta connection of supply transformer windings. In such networks, the inductance is connected to the zero point of the star connected primary winding of the transformer. Secondary winding of the transformer are connected in delta, which has effects on decreasing of resistance for the zero component. When compensation of capacitive current is done with the inductance, the effect of transformer resistance will be noticeable. The paper treats the zero current component and compare its detection over open delta and with application of the inductance.