

PRZYKŁAD C2A

Utworzyć model sieci z dwuuzwojeniowym, trójfazowym transformatorem 110/20kV. Model powinien zapewnić symulację zwarć wewnętrznych oraz zadawanie wartości początkowych indukcji w poszczególnych fazach. Ponadto, użytkownik powinien mieć możliwość określenia sposobu połączenia uzwojeń transformatora.

Rozważany system jest bardzo podobny do systemu przedstawionego w Przykładzie C2. Tym razem sieć ŚN (20kV) jest zasilana z systemu 110kV, a ponadto znajduje się tam rozproszone źródło. Do tworzenia modelu wykorzystano sposób symulacji zwarć wewnętrznych w transformatorze, przedstawiony w p. 5.3.7. Modele gałęzi poprzecznych umieszczono wewnątrz uzwojeń odpowiednich faz (rys. 1), przy czym, model gałęzi magnesowania jest dołączony oddzielnie, poza modelem transformatora. Oznaczenia na rys. 1 odpowiadają nazwom zmiennych w tekście zbioru dyskowego: *traf3_12.dat*, definiującego poniższy moduł.

```
BEGIN NEW DATA CASE          ----- NOSORT -----
C
C *****
C * Moduł:
C *   Transformator 3_fazowy dwuuzwojeniowy z dzielonym uzwojeniem wtórnym *
C *                                                                                   *
C *****
C
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C
DATA BASE MODULE
$ERASE
ARG, __P1_, __P2_, __S1_, __S2_, __SD_, __TOP_,
ARG, __Rmag, __Rp, __Lp, __Vrp, __Rs, __Ls, __Vrs, K_proc
NUM, __Rmag, __Rp, __Lp, __Vrp, __Rs, __Ls, __Vrs, K_proc
DEP, VWIN2A, VWIN2B, RWIN2A, RWIN2B, LWIN2A, LWIN2B
C
      VWIN2A = K_proc*__Vrs/100.0
      VWIN2B = __Vrs-VWIN2A
      RWIN2A = K_proc*__Rs/100.0
      RWIN2B = __Rs-RWIN2A
      LWIN2A = __Ls*K_proc*K_proc/(1.E4-2*K_proc*(1.E2-K_proc))
      LWIN2B = __Ls-LWIN2A
DUM, RTop_A, RTop_B, RTop_C
C K_proc is a percent of VWIN2A voltage to the secondary Vrs, [%]
C 0 < K_proc < 100
```

```

C
/BRANCH
C
C                                     <-I--><Flux><Name><Rmag>
TRANSFORMER                        RTop_A__Rmag
          9999
C                                     RRRRRRLLLLLLUUUUUU
1__P1_A__P2_A                      Rp__Lp__Vrp
2__S1_A__SD_A                      RWIN2ALWIN2AVWIN2A
3__SD_A__S2_A                      RWIN2BLWIN2BVWIN2B
TRANSFORMER RTop_A                  RTop_B
1__P1_B__P2_B
2__S1_B__SD_B
3__SD_B__S2_B
TRANSFORMER RTop_A                  RTop_C
1__P1_C__P2_C
2__S1_C__SD_C
3__SD_C__S2_C
C
RTop_A__P2_A                        1.E10
RTop_A__TOP_A                       1.E-5
RTop_B__P2_B RTop_A__P2_A
RTop_B__TOP_B RTop_A__TOP_A
RTop_C__P2_C RTop_A__P2_A
RTop_C__TOP_C RTop_A__TOP_A
C
BEGIN NEW DATA CASE
$PUNCH, traf3_12.lib
BEGIN NEW DATA CASE
BLANK
BEGIN NEW DATA CASE

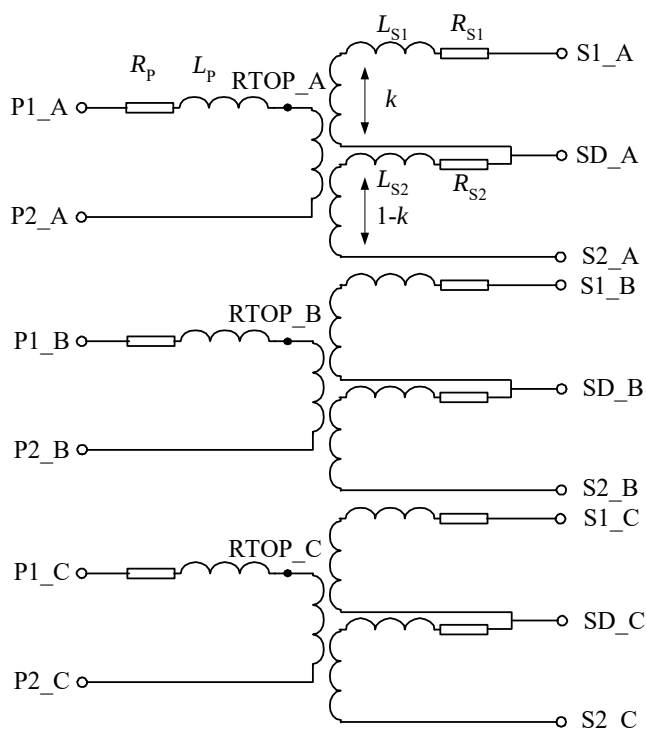
```

W bloku DEP obliczane są parametry dzielonego uzwojenia wtórnego (S) na podstawie danych dla całego uzwojenia. Danymi wejściowymi są: napięcie uzwojenia (V_{rs}), rezystancja (R_s), indukcyjność (L_s) oraz współczynnik podziału (K_{proc}), który określa stosunek napięcia (liczby zwojów) w górnej części uzwojenia, do napięcia (liczby zwojów) całego uzwojenia. Rezystancja jest dzielona proporcjonalnie do liczby zwojów, natomiast indukcyjność – proporcjonalnie do kwadratu liczby zwojów.

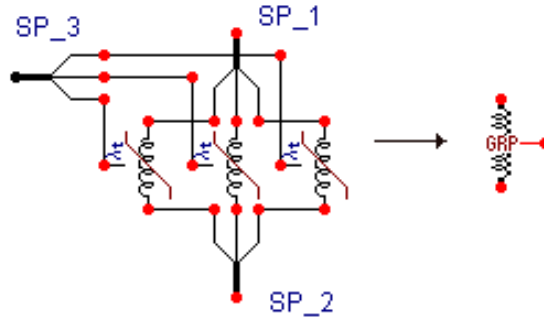
Gałęzie poprzeczne są umieszczane po stronie pierwotnej (P) każdego uzwojenia na zewnątrz modułu. Wewnątrz modułu umieszczono dodatkowe rezystancje o wartościach $1,0E10 \Omega$ oraz $1,0E-5 \Omega$. Gałęzie te należy umieścić pomiędzy węzłami $_TOP_A$ - $_P2_A$ i podobnie w innych fazach. Wszystkie węzły zewnętrzne modułu są trójfazowe: wyszczególnienie faz następuje automatycznie przez dodanie do pięcioliterowej nazwy węzła litery A, B lub C.

Gałęzie poprzeczne w modelu transformatora są reprezentowane za pomocą trzech elementów *NLIN98_I* (pseudo-nieliniowa indukcyjność *TYP98* z możliwością zadawania wartości początkowej indukcji), które tworzą grupę trójfazową (rys. 2) o symbolu przedstawionym z prawej strony rysunku.

Sposób wykorzystania omawianego modelu transformatora jest pokazany na rys. 3. Główna część modelu transformatora jest reprezentowana za pomocą elementu z sześcioma wyprowadzeniami (nóżkami) trójfazowymi: - dwie związane z uzwojeniem strony pierwotnej, - jedna do przyłączenia gałęzi poprzecznej (drugi zacisk tej gałęzi jest połączony z końcem uzwojenia pierwotnego) oraz – trzy wyprowadzenia związane z uzwojeniem strony wtórnej (patrz rys. 1). W modelu został zastosowany transformator Yd11 115/21,5 kV o mocy 16 MVA. Uzwojenie połączone w trójkąt (strona pierwotna modelu) jest związane z systemem niskiego napięcia, natomiast uzwojenie Y – z systemem wysokiego napięcia.

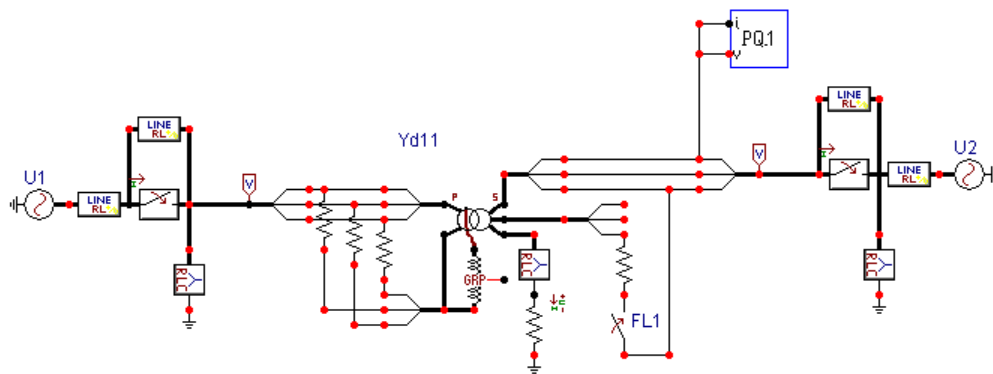


Rys. 1. Schemat modelu transformatora

Rys. 2. Schemat grupy elementów *NLIN98_I*

Dane transformatora:

$S_r = 16 \text{ MVA}$, $U_r = 115/21,5 \text{ kV}$, $I_r = \text{A}$, $\Delta P_{CU} = 60,0 \text{ kW}$, $\Delta P_{Fe} = 18,0 \text{ kW}$, $i_0 = 1,0 \%$,
 $u_K = 10,5\%$.



Rys. 3. Schemat modelu rozpatrywanej sieci

Na podstawie tych danych obliczamy parametry schematu zastępczego transformatora (patrz Przykład 5.1).

$$R_H = \frac{1}{2} \frac{\Delta P_{CU} U_{rH}^2}{S_r^2} = \frac{1}{2} \frac{0,06 \cdot 115^2}{16^2} = 1,55 \Omega,$$

$$Z_H = \frac{1}{2} \frac{u_K U_{rH}^2}{100 \cdot S_r} = \frac{1}{2} \frac{10,5 \cdot 115^2}{100 \cdot 16} = 43,39 \Omega,$$

$$X_H = \sqrt{Z_H^2 - R_H^2} = \sqrt{43,39^2 - 1,55^2} = 43,37 \Omega.$$

$$R_L = R_H / g^2 = \frac{1,55}{\left(\frac{115}{21,5\sqrt{3}}\right)^2} = 0,163 \Omega,$$

$$X_L = X_H / g^2 = 4,55 \Omega.$$

Parametry gałęzi poprzecznej (na stronie L):

$$R_{Fe} = \frac{U_{rL}^2}{\Delta P_{Fe} / 3} = \frac{3 \cdot 21,5^2}{0,018} = 77,04 \text{ k}\Omega,$$

$$Z_p = \frac{100 \cdot U_{rL}^2}{i_0 \cdot S_r / 3} = \frac{100 \cdot 21,5^2}{1,0 \cdot 16 / 3} = 8,67 \text{ k}\Omega,$$

$$X_\mu = \frac{R_{Fe} Z_p}{\sqrt{R_{Fe}^2 - Z_p^2}} = \frac{77,04 \cdot 8,67}{\sqrt{77,04^2 - 8,67^2}} = 8,73 \text{ k}\Omega.$$

Strumień znamionowy po stronie L:

$$\psi_{rL} = \sqrt{2} \frac{U_{rL}}{\omega_1} = \frac{\sqrt{2} \cdot 21500}{100\pi} = 96,8 \text{ Vs (amplituda)}.$$

Znamionowy prąd magnesowania uzwojenia strony L:

$$i_{\mu L} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{rL}}{X_\mu} = \frac{\sqrt{2} \cdot 21,5}{8,73} = 3,48 \text{ A (amplituda)}.$$

Okno dialogowe do wprowadzania parametrów transformatora jest pokazane na rys. 4. Odpowiada mu zbiór dyskowy *traf3_12.sup*, który powstał podczas tworzenia nowego elementu programu ATPDraw. Wprowadzane tam parametry są przekazywane następnie do modułu *traf3_12.dat*.

User specified: TRAF3_12

Attributes

DATA	UNIT	VALUE
Rmag		77040
Rp		0.163
Lp		4.55
Vrp		21.5
Rs		1.55
Ls		43.39
Vrs		66.395
K_proc		5

NODE	PHASE	NAME
P1	ABC	P1__
P2	ABC	X0001
S1	ABC	X0003
S2	ABC	X0014
Sd	ABC	X0002
Tr	ABC	X0004

Copy Paste entire data grid Reset Order: 0 Label: Yd11

Comment:

User specified

\$include: TRAF3_12 Edit... ☒ Send parameters ☐ Hide

☐ Empty ☒ Internal phase seq. ☐ Protect

Edit definitions OK Cancel Help

Rys. 4. Okno edycyjne parametrów transformatora

Punkt neutralny strony Y transformatora (rys. 3) jest uziemiony poprzez rezystancję $0,5\Omega$. Na schemacie widoczny jest w tym obwodzie także trójfazowy element RLC, w którym aktywna jest tylko rezystancja o bardzo małej wartości. Jest to niezbędne w celu połączenia trzech uzwojeń fazowych w jeden punkt neutralny.

Podobną rolę pełnią także rezystancje łączące uzwojenia pierwotne transformatora w trójkąt. Po obu stronach transformatora znajdują się również elementy RLC, za pomocą których odwzorowane są pojemności doziemne sieci. W przypadku testów z otwartym wyłącznikiem po niskiej stronie transformatora, pojemności te zapewniają także połączenie izolowanej sieci z ziemią. Jest to niezbędne dla stabilizacji numerycznej modelu (w przypadku pominięcia tych elementów, program doda je automatycznie, przed rozpoczęciem symulacji).

Równolegle z obu wyłącznikami trójfazowymi, umieszczono trójfazowe elementy *LINE RL*, w których zadane zostały duże wartości parametrów ($1,0E5 \Omega$). One także pełnią funkcję stabilizacji numerycznej w przypadku otwarcia wyłączników: zachowana zostaje spójność całego modelu, a prądy płynące przez te elementy są pomijalnie małe. Warto zauważyć, że duża impedancja umieszczona równolegle z wyłącznikiem, w przybliżeniu odwzorowuje fakt, że w rzeczywistych wyłącznikach prąd nie jest przerywany natychmiast, lecz zanika wraz z gaśnięciem powstałego łuku elektrycznego (przy założeniu, że obwód ma charakter indukcyjny). Zjawisko to nie jest tu jednak przedmiotem analizy.

W modelu umieszczono także jednofazowy miernik mocy (P , Q , S), którego wskazania (w postaci danych w zbiorze wyjściowym *.PL4) ułatwiają zmianę warunków początkowych

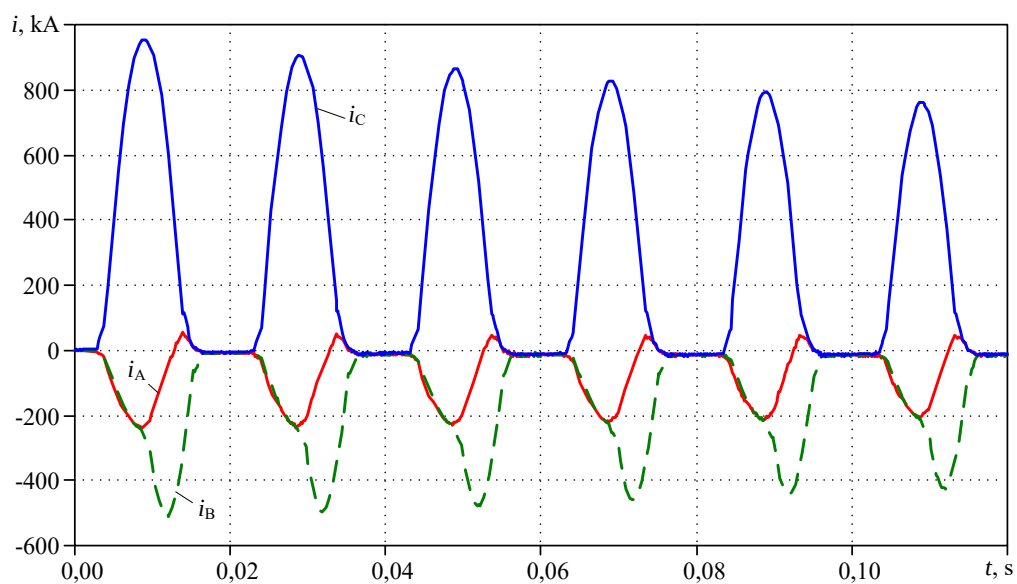
(kierunek przepływu i wartość mocy) sieci. Moduł został napisany w postaci programu w języku MODELS. Z tym elementem związane są dwa zbiory dyskowe: *PQ_1.sup* oraz *PQ_1.mod*.

Na rys. 5 pokazane są prądy fazowe po niskiej stronie transformatora, po jego załączeniu, przy braku obciążenia. Test ten odpowiada sytuacji, gdy wyłącznik od strony źródła U2 jest wyłączony, natomiast wyłącznik od strony źródła U1, zostaje załączony w czasie $t=0$. Indukcje początkowe w rdzeniach: $\psi_A=25$ Vs, $\psi_B=25$ Vs, $\psi_C=-50$ Vs. Widać charakterystyczne dla tego przypadku, przebiegi prądów magnesujących. Należy zauważyć, że efekt indukcji początkowej widoczny jest w prądach odpowiednich uzwojeń, natomiast na rysunku pokazane są przebiegi prądów fazowych. W przypadku strony Δ transformatora, wartości prądów fazowych wynikają z sumy odpowiednich prądów związanych z uzwojeniami.

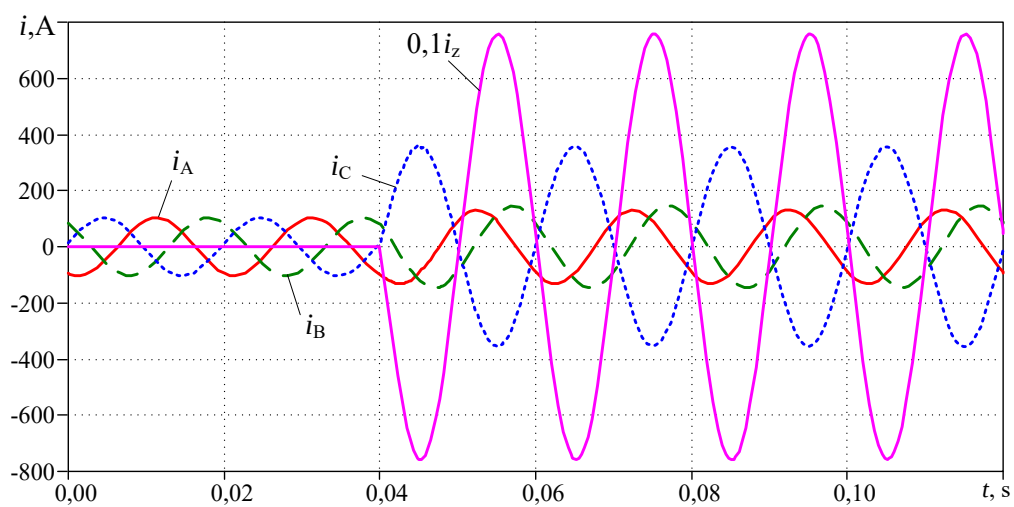
Zwarcie, obejmujące 5% uzwojenia strony Y w fazie C, przeprowadzono w stanie pracy znamionowej transformatora. Przebiegi prądów zmierzonych na wyłączniku strony wysokiego napięcia, są przedstawione na rys. 6. Pokazany jest tam także prąd w miejscu zwarcia (dziesięciokrotnie zmniejszony).

Widać, że prąd zwarcia, obejmujący niewielką liczbę zwojów, jest lokalnie bardzo duży, natomiast w tym czasie, prąd obserwowany na zewnątrz transformatora uległ nawet zmniejszeniu. Nieco inny obraz przebiegu zdarzeń może być obserwowany z drugiej strony transformatora. Tym niemniej, groźne w skutkach zwarcie wewnętrzne jest trudne do identyfikacji, co jest warunkiem szybkiego wyłączenia uszkodzonego obiektu.

Przedstawione testy pokazują, że omawiany model transformatora można łatwo wykorzystać do badania zjawisk zwarciovych w samym transformatorze oraz w otaczającej sieci. Może być on z powodzeniem wykorzystany do badania zabezpieczeń transformatora. Dzięki uniwersalnej strukturze, można łatwo tworzyć modele o różnej konfiguracji połączeń uzwojeń transformatora. Należy jednak pamiętać, że uzwojenie jest dzielone po stronie przeciwnej modelu do miejsca umieszczenia gałęzi poprzecznej.



Rys. 5. Prądy po stronie Y po załączeniu nieobciążonego transformatora

Rys. 6. Prądy fazowe na stronie Y oraz prąd w miejscu zwarcia (i_z)