

PRZYKŁAD C2

Utworzyć model dwuuzwojeniowego, trójfazowego transformatora. Model powinien zapewnić symulację zwarć wewnętrznych oraz zadawanie wartości początkowych indukcji w poszczególnych fazach. Ponadto, użytkownik powinien mieć możliwość określenia sposobu połączenia uzwojeń transformatora.

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

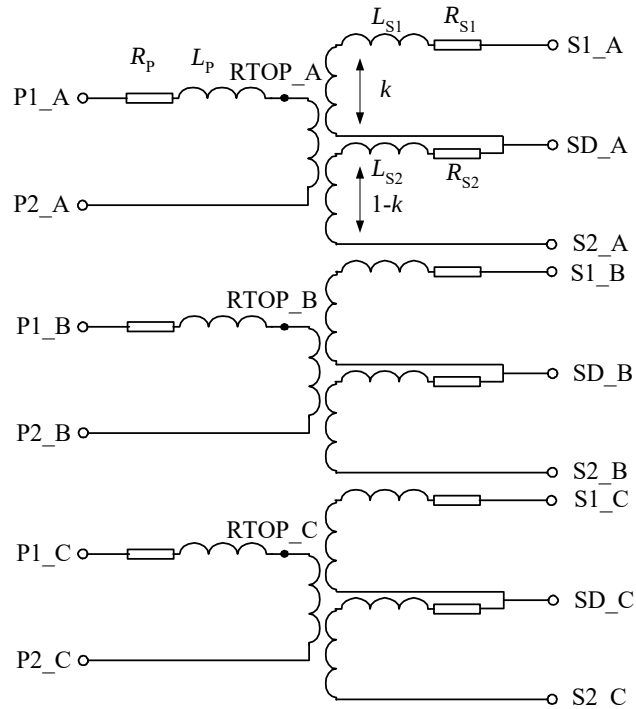
C                                RRRRRRLLLLLLLLUUUUUU
  1__P1_A__P2_A                  ____Rp____Lp____Vrp
  2__S1_A__SD_A                  RWIN2ALWIN2AVWIN2A
  3__SD_A__S2_A                  RWIN2BLWIN2BVWIN2B
  TRANSFORMER RTop_A              RTop_B
  1__P1_B__P2_B
  2__S1_B__SD_B
  3__SD_B__S2_B
  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

```

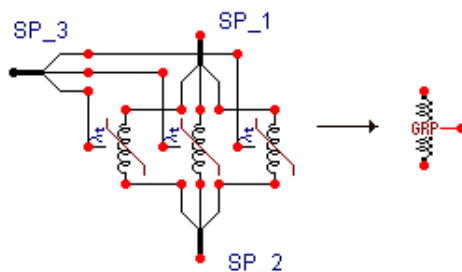
W bloku DEP obliczane są parametry dzielonego uzwojenia wtórnego (S) na podstawie danych dla całego uzwojenia. Danymi wejściowymi są: napięcie uzwojenia (V_{rs}), rezystancja (R_s), indukcyjność (L_s) oraz współczynnik podziału (K_{proc}), który określa stosunek napięcia (liczby zwojów) w górnej części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



Rys. 1. Schemat modelu transformatora

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.

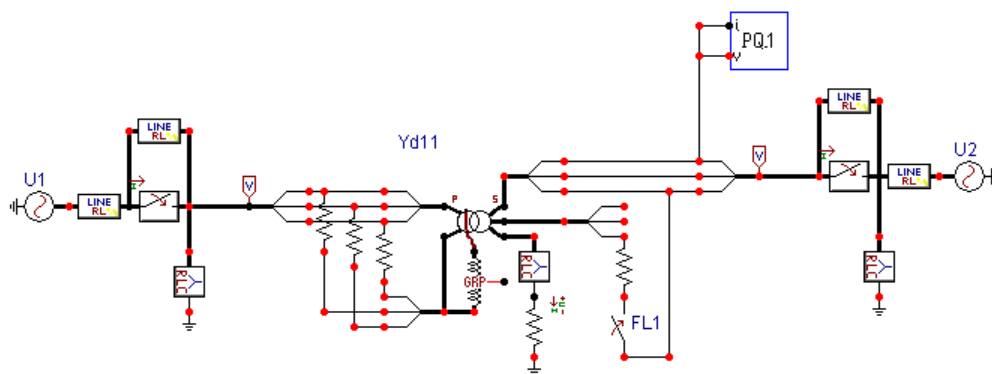
Gałęzie poprzeczne w modelu transformatora są reprezentowane za pomocą trzech elementów *NLIN98_I* (pseudo-nieliniowa indukcyjność *TYP98* z możliwością zadawania wartości początkowej indukcyjności), które tworzą grupę trójfazową (rys. 2) o symbolu przedstawionym z prawej strony rysunku.

Rys. 2. Schemat grupy elementów *NLIN98_I*

Sposób wykorzystania omawianego modelu transformatora jest pokazany na rys. 3. Główna część modelu transformatora jest reprezentowana za pomocą elementu z sześcioma 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 15,75/250 kV o mocy 240 MVA. Uzwojenie połączone w trójkąt (strona pierwotna modelu) jest związane z systemem niskiego napięcia, natomiast uzwojenie Y – z systemem wysokiego napięcia.

Dane transformatora:

$S_r = 240$ MVA, $U_r = 250/15,75$ kV, $I_r = 554/8800$ A, $\Delta P_{CU} = 804,9$ kW, $\Delta P_{Fe} = 175,6$ kW, $i_0 = 0,5$ %.



Rys. 3. Schemat modelu rozpatrywanej sieci

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

DATA	UNIT	VALUE
Rmag		4250
Rp		0.0052
Lp		0.2204
Vtp		15.75
Rs		0.437
Ls		18.51
Vrs		144.34
K_proc		5

NODE	PHASE	NAME
P1	ABC	P1__
P2	ABC	P2__
S1	ABC	S1__
S2	ABC	S2__
Sd	ABC	SD__
Tr	ABC	_TOP_

Copy Paste entire data grid Order: 0 Label: Yd11

Comment:

User specified

\$!include: TRAF3_12.LIB Edit... Empty

☒ Send parameters ☐ Hide

☒ Internal phase seq. ☐ Lock

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).

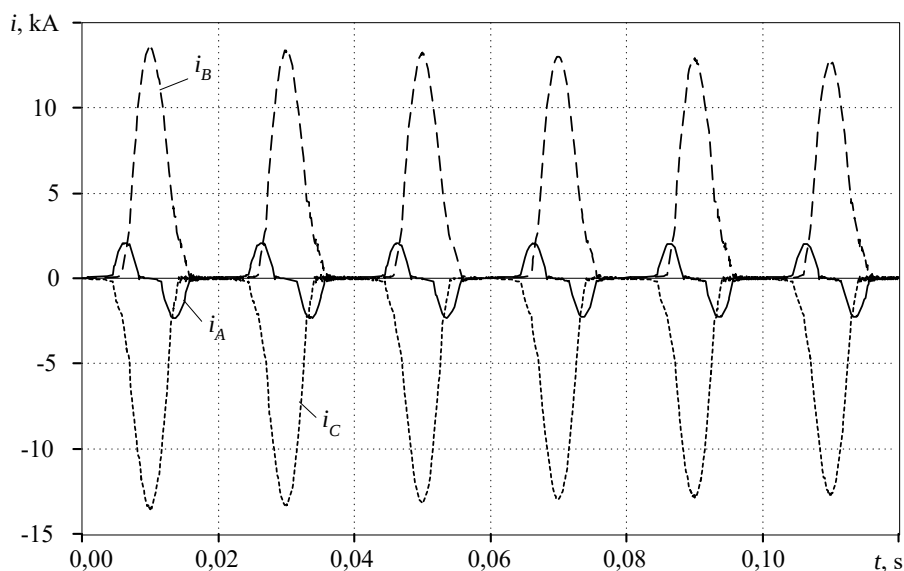
Równolegle z obu wyłącznikami trójfazowymi, umieszczono trójfazowe elementy *LINE RL*, w których zadane zostały duże wartości parametrów ($1,0E5\Omega$). One także pełnią funkcję stabilizacji numerycznej w przypadku otwarcia wyłączników: zachowana zostaje spójność całego modelu, a prądy płynące przez 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.

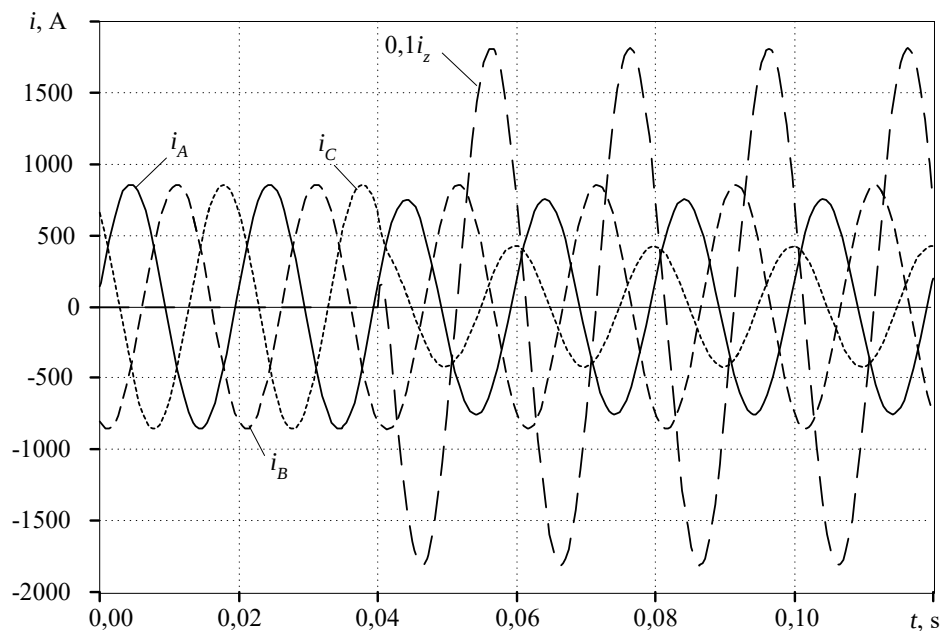
W modelu umieszczono także jednofazowy miernik mocy (P , Q , S), którego wskazania (w postaci danych w zbiorze wyjściowym *.PL4) ułatwiają zmianę warunków początkowych (kierunek przepływu i wartość mocy) sieci. Moduł został napisany w postaci programu w języku MODELS. Z tym elementem związane są dwa 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 U_2 jest wyłączony, natomiast wyłącznik od strony źródła U_1 , 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 zdarzenia 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.



Rys. 5. Prądy po stronie Δ , po załączeniu nieobciążonego transformatoraRys. 6. Prądy fazowe na stronie H oraz prąd w miejscu zwarcia (i_z)

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.