

MODELAREA TRANSFORMATOARELOR

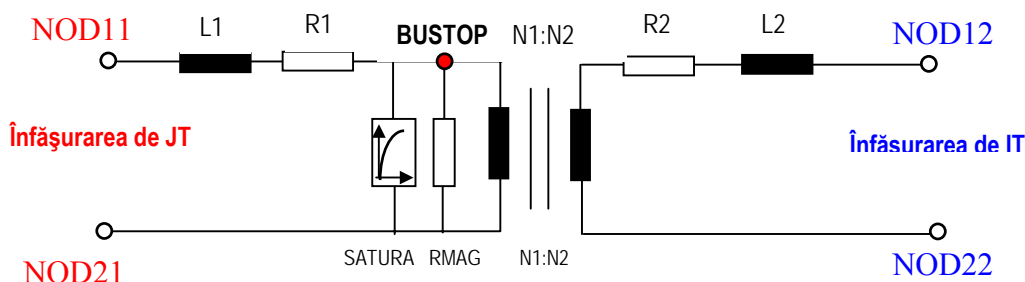
În software ATP-EMTP, așa-numitul modelul de **transformator saturabil** este utilizat pentru modelarea transformatoarelor din instalațiile electrice. Pentru aceasta, este necesară introducerea unui set de linii de date care se amplasează în fișierul sursă în zona **datelor ramuri**.

Transformatorul monofazat și cel trifazat cu fluxuri libere folosesc, în principiu, același model; pentru transformatoarele trifazate se recomandă utilizarea procedurii de referință, pentru declararea a două dintre fazele transformatorului.

Pentru transformatorul cu fluxuri forțate este necesar un model total diferit, care ia în considerare reluctanța homopolară a circuitului magnetic.

TRANSFORMATORUL MONOFAZAT

Un transformator monofazat cu două înfășurări poate fi reprezentat printr-o schemă echivalentă de forma:



Schema echivalentă a transformatorului monofazat cu două înfășurări

Ambele înfășurări sunt reprezentate prin impedanțele de scăpări, formate din rezistența R_k și inductanța L_k , $k = 1, 2$. Valoarea acestei impedanțe de scăpări poate fi calculată din încercarea la scurtcircuit. Inductanța de scăpări L_2 **trebuie să fie nenulă**, dar L_1 poate fi și nulă.

În schemă este inclus un transformator ideal, pentru introducerea implicită, în model, a raportului de transformare al înfășurării 2 în raport cu înfășurarea 1.

Efectul de saturare este modelat prin reactorul nelinear (SATURA, conectat în înfășurarea 1, cea mai apropiată de miez. Deoarece, din punct de vedere constructiv, înfășurarea având tensiunea cea mai redusă este așezată prima pe coloanele circuitului magnetic, ea va fi avea numărul de ordine 1.

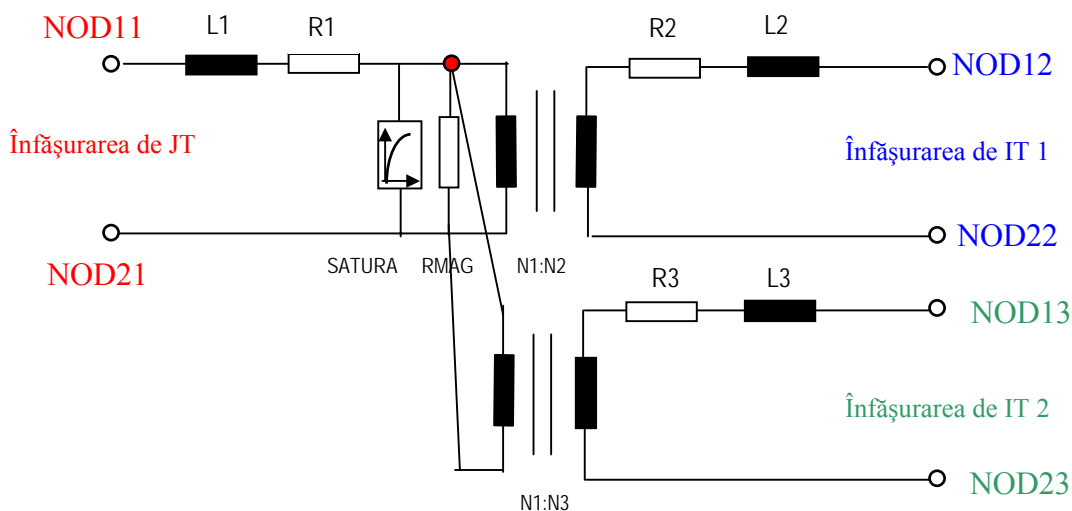
Există posibilitatea considerării a trei reprezentări diferite ale circuitului magnetic:

- ✓ În cazul miezului saturabil, se folosește un model de reactanță nelineară (tip-98). Datele necesare se obțin din caracteristica de mers în gol, dată în valori efective, așa cum se obțin ele experimental (U_{ef} , I_{ef}). Utilizând programul specializat "SATURA", se transformă această curbă în coordonate flux-curent, exprimate în valori de vârf.
- ✓ În cazul neglijării saturării circuitului magnetic al transformatorului, trebuie introdusă numai o pereche de valori (flux, curent), în valori de vârf, ca date de intrare pentru impedanța de magnetizare. Aceste valori pot fi obținute din încercarea la mers la gol.

- ✓ În cazul că nu este specificată o caracteristică tensiune-curent, se presupune că reacțanța de magnetizare este atât de mare încât curentul de magnetizare poate fi neglijat.

Pierderile active din miez sunt reprezentate printr-o rezistență lineară, notată RMAG, conectată în paralel cu ramura ce modelează magnetizarea transformatorului.

Acest tip de modelare este valabil, în cazul monofazat, și pentru transformatoare înfășurări multiple. Extinderea la cazul transformator monofazat cu mai multe înfășurări este în concordanță cu următoarea schemă echivalentă:



Schema echivalentă a transformatorului monofazat cu trei înfășurări

Reguli de introducere a datelor

Secvența de linii de date necesare pentru modelarea unui transformator cuprinde următorul pachet:

1. Linia specială de cerere TRANSFORMER.
2. Linia de date sau grupul de linii de date pentru caracteristica de magnetizare:
 - se omite dacă se admite că nu există reactanță de magnetizare;
 - numai o linie de date în cazul comportamentului linear;
 - un grup de linii de date pentru cazul miezului saturabil.
3. O linie marcaj de încheiere a specificației de perechi de valori flux-curent.
4. Liniile de date ale celor "N" înfășurări.

Un singur transformator monofazat



1. Linia specială de cerere TRANSFORMER.

Aceasta conține informații despre circuitul magnetic în regim cvasi-staționar.

1	2	3 ÷ 13	27 ÷ 3 2	33 ÷ 38	39 ÷ 44	45 ÷ 50	51 ÷ 79	80
		TRANSFORMER	I	FLUX	BUSTOP	Rmag		M
			[A]	[Vs]	-	[Ω]		-
			E6.2	E6.2	A6	E6.2		A1

Semnificația parametrilor:

TRANSFORMER – cuvânt rezervat pentru declararea transformatoarelor saturabile.

I, FLUX: pereche de valori (curent, flux) pentru definirea inductanței lineare, reprezentând ramura de magnetizare în prima înfășurare pentru soluția de regim staționar. Numai într-o rulare de regim tranzitoriu poate fi luată în considerare partea saturată a curbei flux-curent:

- curentul și fluxul se exprimă în valori de vârf;
- perechea de valori flux-curent pentru regimul staționar se referă la primul punct al caracteristicii flux-curent așa cum se obține folosind programul SATURA. Se recomandă să se ia aceasta valoare mai mare sau cel puțin egală cu 70% din valoarea maximă saturată a fluxului.

BUSTOP - Un nume de nod pentru punctul intern din înfășurarea **1**, folosit pentru reprezentarea ramurii de magnetizare.

Acest nume trebuie precizat totdeauna deoarece el identifică, în mod univoc, transformatorul.

Acest nume poate fi folosit și ca referință pentru a se specifica un transformator care are aceiași parametri cu altul, definit anterior.

Acest nod intern nu poate fi conectat cu alte ramuri ale circuitului.

Rmag - Rezistență constantă și lineară (dată în Ω) conectată în paralel cu reactanța de magnetizare. Aceasta modelează pierderile în miez și se calculează cu relația:

$$R_{mag} = \frac{U_{njt}^2}{P_0},$$

unde:

U_{njt} este tensiunea nominală a înfășurării **1**,

P_0 este pierderea activă absorbită la mers în gol.

Dacă acest câmp este zero sau blank, R_{mag} se considera infinită și, deci, pentru transformatorul respectiv se neglijează pierderile în fier.

M - Specificație pentru mărimea de ieșire a ramurii reactanței de magnetizare, astfel:

- 1: pentru curentul prin ramură;
- 2: pentru tensiunea pe ramură;
- 3: pentru curentul și tensiunea ramurii.

2. Grupul de linii de date pentru caracteristica flux-curent.

Este necesară distincția între mai multe cazuri posibile:

- Dacă nu se specifică o caracteristică flux-curent, se presupune că reactanța de magnetizare este infinită (curentul de magnetizare poate fi neglijat). **NU trebuie omisă** linia specială de marcaj, care va fi explicată la punctul 3 al acestei secțiuni.

- În cazul linear, caracteristica flux-curent se reprezintă printr-un singur punct (impedanța de magnetizare lineară). Acest punct definește panta caracteristicii, presupusă a se extinde la infinit. Valorile corespunzătoare se pot extrage din încercarea la mers în gol și pot fi acelea din linia specială de cerere TRANSFORMER.

- Pentru cazul saturabil, sunt necesare mai multe perechi de valori (flux-curent), fiecare astfel de pereche reprezentând un punct al caracteristicii nelinare, folosite pentru aproximarea curbei de magnetizare. Se poate utiliza programul suport SATURA pentru formarea setului de datelor. Ultimul punct declarat în setul de perechi de valori definește o pantă a caracteristicii care se presupune că se extinde la infinit.

Pentru ultimele două cazuri, formatul liniilor de date este același:

1 ÷ 16	17 ÷ 32	33 ÷ 79	80
I	FLUX		
[A]	[Vs]		
E16.0	E16.0		

Observații:

1. Perechea de valori pentru regimul staționar este aceeași ca și pentru primul punct folosit în descrierea curbei de saturare.
2. Valoarea de regim staționar a fluxului trebuie să fie cel puțin egală cu 70 % din valoarea maximă a fluxului la saturație.

3. Linia marcaj de încheiere a specificației de perechi de valori flux-curent.

Grupul precedent de linii de date trebuie încheiat cu o linie marcaj (chiar și în cazul în care nu se specifică caracteristica de magnetizare).

1	2	3 ÷ 6	7 ÷ 79	80
		9999		
		-		
		-		

4. Liniile de date ale celor "N" înfășurări

Aceste linii de date au rolul specificării înfășurărilor și se utilizează câte o linie de date pentru fiecare înfășurare.

Formatul liniei de date este:

1	2	3 ÷ 8	9 ÷ 14	27 ÷ 32	33 ÷ 38	39 ÷ 44	80
k	NOD1	NOD2		R	L	U	M
	-	-		[Ω]	[mH]	[kV]	-
	A6	A6		E6.2	E6.2	E6.2	I1

Semnificația parametrilor:

k - Număr de referință al înfășurării. Liniile de date trebuie introduse în ordinea naturală a numerelor (1, 2, ...,N). N este limitat strict la 3. Înfășurarea de joasă tensiune trebuie să aibă numărul de ordine 1.

NOD1, NOD2 - Numele nodurilor terminale ale înfășurării "k". Astfel, fiecare înfășurare este considerată ca fiind o ramură între **NOD1k** și **NOD2k**. Un câmp lăsat blank semnifică legarea la pământ a acelu terminal al înfășurării.

R, L - Rezistența de scăpări (în Ω) și inductanța înfășurării "k" (în Ω sau mH, în funcție de valoarea parametrului XOPT). Valorile acestora pot fi calculate din rezultatele încercării la scurtcircuit, utilizând relațiile:

$$R_{sc} = \frac{P_{sc}}{I_{sc}^2}, \quad X_{sc} = \frac{1}{I_{sc}} \sqrt{U_{sc}^2 - \frac{P_{sc}^2}{I_{sc}^2}}$$

Parametrii corespunzători fiecărei înfășurări a transformatorului se obțin cu relațiile:

$$R_k = \frac{R_{sc}}{N} \frac{U_k^2}{U_{IT}^2}, \quad X_k = \frac{X_{sc}}{N} \frac{U_k^2}{U_{IT}^2}.$$

în care:

U_k - tensiunea nominală a înfășurării k ;

U_{IT} - tensiunea nominală a înfășurării de înaltă tensiune;

N - numărul de înfășurări (cel mai frecvent 2 sau 3).

Observații:

1. Inductanța L se dă în mH dacă $X_{OPT} = 0$ în prima linie de date diverse sau în Ω , la frecvența X_{OPT} , dată în Hz, dacă $X_{OPT} > 0$ în prima linie de date diverse.

2. Rezistențele pot fi nule, fără restricții.

3. Inductanțele trebuie să fie nenule, cu excepția inductanței înfășurării "1", la care poate fi nulă, dar numai dacă, simultan, rezistența acestei înfășurări este nulă.

U - Tensiunea nominală a înfășurării "k", în kV.

M - Specificație pentru ieșire (poate fi menționată numai pe linia primei înfășurări).

1- se va obține curentul ramurii, care circulă de la NOD11 la nodul BUSTOP.

EXEMPLU de calcul și de introducere a datelor:

Se consideră cazul unui transformator cu 2 înfășurări, ambele având o bornă legată la pământ. Celelalte borne sunt numite $P1$ și $S1$. Se va numi cu $TR01$ nodul intern de referință (punctul stea intern al înfășurării 1).

Prin măsurări, s-au obținut următoarele valori:

- Puterea nominală, S	0,0063 MVA
- Pierderile la gol, P_0	65 W
- Pierderile la scurtcircuit, P_{sc}	95 W
- Raportul de transformare U_1/U_2	220/377 V
- Curentul de mers în gol, I_0	1,85 A
- Tensiunea de scurtcircuit, U_{sc}	8,3 V
- Curentul de scurtcircuit, I_{sc}	16 A

În cazul liniar, valorile de vârf flux-curent se obțin prin folosirea relațiilor de calcul:

$$I_v = I_0 \sqrt{2} = 2.616 \text{ A}, \quad \Phi_v = \frac{U_0}{4,44 \cdot f} = \frac{220}{4.44 \cdot 50} = 0.990 \text{ V sec.}$$

Valorile celorlalți parametri sunt:

$$R_{mag} = \frac{U_{JT}^2}{P_0} = \frac{220^2}{65} = 744.6 \Omega; \quad R_{sc} = \frac{P_{sc}}{I_{sc}^2} = \frac{95}{16^2} = 0.3711 \Omega$$

Dacă, $N = 2$, atunci:

R_1 = rezistența de scăpări a înfășurării 1 (JT) : $0.3711/2 * (220/377)^2 = 0.063 \Omega$,

R_2 = rezistența de scăpări a înfășurării 2 (IT) : $0.3711/2 = 0.185 \Omega$.

$$X_{sc} = \frac{1}{I_{sc}} \sqrt{U_{sc}^2 - \frac{P_{sc}^2}{I_{sc}^2}} = \frac{1}{16} \sqrt{8.3^2 - \frac{95^2}{16^2}} = 0.3624 \Omega.$$

Astfel, rezultă:

Reactanța de scăpări X_1 a înfășurării 1 (JT) este $0.3624/2*(220/377)^2 = 0.0617 \Omega$.

Reactanța de scăpări X_2 a înfășurării 2 (IT) este $0.3642/2 = 0.1812 \Omega$.

Transformând în valori de inductanță, rezultă:

$$L_1 = 0.196 \text{ mH},$$

$$L_2 = 0.576 \text{ mH}.$$

Setul de linii de date de intrare pentru acest transformator este următorul:

```

C      1      2      3      4      5      8
C 345678901234567890123456789012345678901234567890123456.....0
$UNITS, 0.,0.
C TRANSFORMER          I      flux  BUSTOP Rmag          marcaj
C      1      2      3      4      5      8
C 345678901234567890123456789012345678901234567890123456.....0
TRANSFORMER          2.616 0.990TR01      744.6          1
C      I      FLUX
C      2.6161665255      .09903479478
9999
C BUS1  BUS2          R      L      Unom          M
C      1      2      3      4      5      8
C 345678901234567890123456789012345678901234567890123456.....0
1P1          .0632      .196      .220          1
2S1          .185      .576      .377

```

Procedura de referință

Dacă în fișierul sursă se declară un transformator care are parametri identici cu al altuia, definit anterior, se poate folosi opțiunea procedurii de referință, urmând a introduce numai numele nodurilor de identificare a acestui nou transformator.

Reguli de introducere

Grupul de linii de date are următoarea structură:

1. Linie specială de cerere TRANSFORMER-REFBUS
2. Liniile cu numele nodurilor pentru cele "N" înfășurări

Formatul normal al liniilor de date:

1. Linie specială de cerere TRANSFORMER-REFBUS

Conține pe lângă cuvântul special "TRANSFORMER", două nume de noduri:

1	2	3 ÷ 13	15 ÷ 20	21 ÷ 38	39 ÷ 44	45 ÷ 79	80
		TRANSFORMER	REFBUS		BUSTOP		M
		-	-		-		-
		-	A6		A6		I1

Semnificația parametrilor:

REFBUS - Câmpul conține numele nodului intern folosit ca variabilă BUSTOP pentru transformatorul definit anterior și a cărei copie se dorește.

BUSTOP - Numele punctului stea intern din înfășurarea "1" folosit pentru reprezentarea ramurii de magnetizare a transformatorului nou definit. Acest nume nu trebuie omis

deoarece numai el identifică noul transformator. Acest nod intern nu poate fi conectat cu alte ramuri ale circuitului.

M - Specificație pentru rezultate cerute pentru ramura de magnetizare a noului trafo:

- 1: curentul ramurii
- 2: tensiunea ramurii
- 3: curentul și tensiunea ramurii.

2. Liniile cu numele nodurilor pentru cele "N" înfășurări

Un număr de linii de date pentru specificarea celor "N" înfășurări, egal cu numărul de înfășurări și al căror format este:

1	2	3 ÷ 8	9 ÷ 14	15 ÷ 79	80
k	NOD1	NOD2			M
-	-	-			-
I2	A6	A6			I1

Semnificația parametrilor:

k - Numărul de ordine a înfășurării. Aceste linii de date trebuie plasate în ordinea naturală a numerelor. Numărul "1" corespunde înfășurării de joasă tensiune. *N* este limitat la 3.

NOD1, NOD2 - Numele nodurilor terminale ale înfășurării "k". Astfel, fiecare înfășurare va fi considerată ca o ramură unică, între NOD1 și NOD2.

M: Specificație pentru ieșire (se poate menționa numai pe linia primei înfășurăr)

Observație:

Nu sunt necesare alte valori pentru parametrii înfășurărilor deoarece ele sunt considerate aceleași ca ale transformatorului definit anterior.

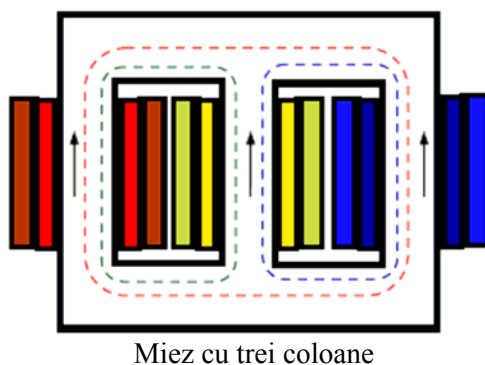
EXEMPLU de utilizare a procedurii de referință

Modelarea a două transformatoare monofazate de 110/20 kV identice, cel de-al doilea fiind introdus cu ajutorul procedurii de referință.

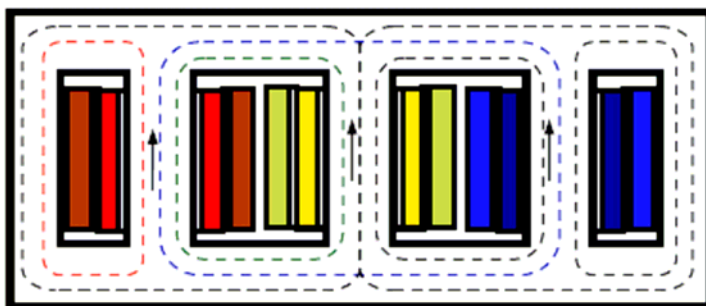
```
C Linii de program pentru modelarea unui transformator monofazat
C cu următoarele tensiuni 110/20 kV
      1          2          3          4          5          6          7          8
1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
  TRANSFORMER          7.838090.090TR002 16667.
      7.8380          90.090
      9999
1R002          0.22732.1895  20.0
2R001          6.875066.232  63.5
c Folosirea procedurii de referința pentru introducerea unui transformator
c identic cu cel declarat anterior
      1          2          3          4          5          6          7          8
1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
  TRANSFORMER TR002          TS002
1S002
2S001
```

TRANSFORMATOARE TRIFAZATE CU RELUCTANȚĂ HOMOPOLARĂ MICĂ

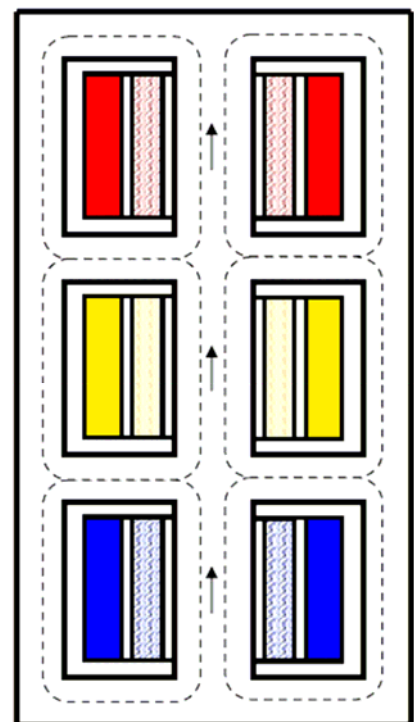
Pentru transformatoarele având circuitul magnetic cu 3 coloane în manta sau cu 5 coloane există o cale prin miez pentru întoarcerea fluxului homopolar.



Miez cu trei coloane



Miez cu cinci coloane



Miez în manta, cu trei coloane

- Sunt perfect valabile ipotezele:
- ✓ inducția magnetică a celor 3 faze este independentă
 - ✓ parametrii homopolari sunt egali cu cei de secvență directă.

Aceste tipuri de transformatoare se pot modela prin intermediul a trei unități monofazate identice.

Nu sunt necesare noi reguli, totuși trebuie atenție la măsurarea curbei de saturare. Curba nu trebuie obținută de la înfășurarea unei singure faze, celelalte fiind în gol, ci prin excitarea echilibrată a tuturor celor trei faze, făcând o medie a curentului și tensiunii pe cele trei faze. Ulterior, folosind programul suport SATURA, se transformă această curbă în caracteristica flux-curent, exprimată în valori de vârf.

Reguli de introducere a datelor

Secvența de linii de date are componența următoare:

PRIMUL TRANSFORMATOR

1. Linia specială de cerere TRANSFORMER
2. Specificația flux-curent
 - se va omite dacă se neglijează reactanța de magnetizare
 - numai o linie de date pentru cazul liniar
 - un grup de linii de date pentru cazul miezului saturabil.
3. Linia marcaj de încheiere a grupului de specificare a caracteristicii flux-curent
4. Linii de date pentru cele "N" înfășurări (care specifică numele nodurilor și parametrii înfășurărilor).

AL DOILEA TRANSFORMATOR

5. Linia specială de cerere TRANSFORMER - REFBUS
6. Linii de date cele "N" înfășurări (care specifică numai numele nodurilor).

AL TREILEA TRANSFORMATOR

7. Linia specială de cerere TRANSFORMER - REFBUS
8. Linii de date cele "N" înfășurări (care specifică numai numele nodurilor).

Modelarea transformatoarelor în conexiune Yd

Practic, toate transformatoarele cu două înfășurări folosite în sistemele electro-energetice au acest tip de conexiune, cu atât mai mult cu cât transformatoarele cu trei înfășurări au o înfășurare în triunghi.

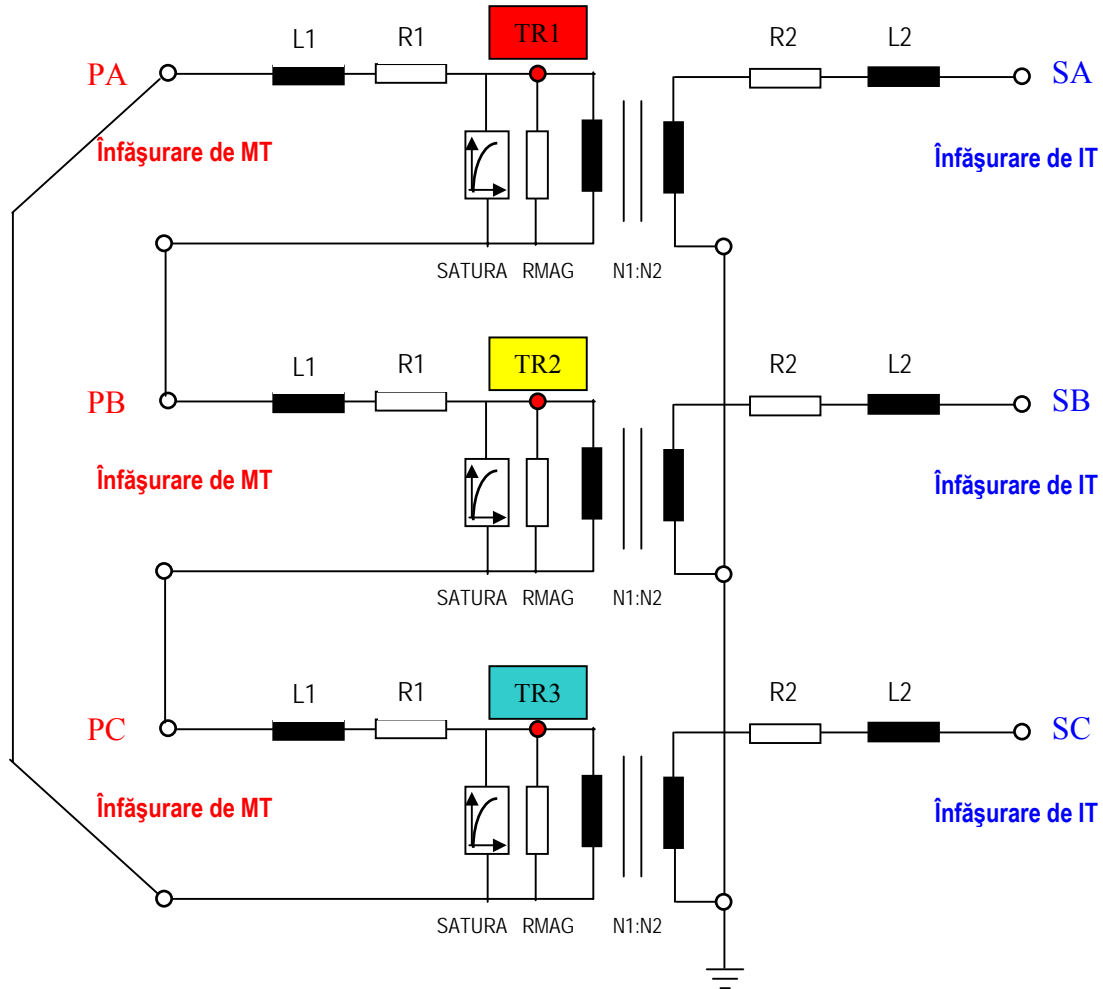
Prezența înfășurării în triunghi asigură o valoare a reactanței homopolare apropiată ca valoare de mărimea reactanței directe, la fel ca la transformatoarele cu fluxuri libere. Din acest motiv, se poate folosi pentru reprezentarea acestora același procedeu ca cel prezentat mai sus, pentru transformatoarele cu fluxuri libere.

În figura următoare este prezentată schema echivalentă a unui asemenea transformator, având înfășurarea primară conectată în Δ , iar cea secundară în Y cu neutrul legat la pământ.

Notațiile din figură au următoarea semnificație:

- ✓ **R1** și **L1** sunt parametrii de scăpări ai înfășurării primare (aceiași pentru toate cele trei faze; opțiune pentru componenta de referință).
- ✓ **R2** și **L2** sunt parametrii de scăpări ai înfășurării secundare (aceiași pentru cele trei faze).
- ✓ **TR1** este nodul intern "BUSTOP" pentru prima unitate monofazată cu bornele primare **PA** și **PB**, respectiv secundare **SA** și **TERRA**.
- ✓ **TR2** este nodul intern "BUSTOP" pentru a doua unitate monofazată, cu **TR1** ca referință "REFBUS", bornele primare fiind **PB** și **PC**, iar acelea secundare **SB** și **TERRA**.
- ✓ **TR3** este nodul intern "BUSTOP" pentru a treia unitate monofazată, cu **TR1** ca referință "REFBUS", bornele primare fiind **PC** și **PA**, iar acelea secundare **SC** și **TERRA**.

Astfel, înfășurările primare (PA-PB, PB-PC, PC-PA) sunt conectate în Δ , iar înfășurările secundare (SA-TERRA, SB-TERRA, SC-TERRA) sunt conectate în Y cu neutrul la pământ. Prin alocarea de nume nodurilor poate fi stabilită declararea sensului direct.



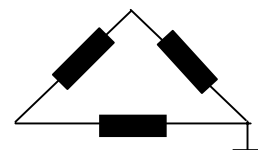
Observații:

Înfășurările în triunghi **nu pot fi lăsate să funcționeze în gol**. Un triunghi flotant nu este tratat de către program deoarece, matematic, tensiunea ar fi definită printr-o constantă arbitrară. În aceste condiții, programul consideră, în mod implicit, un vârf al triunghiului legat la pământ.

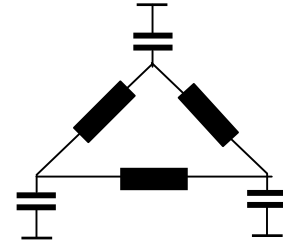
Nu există probleme de acest tip dacă la înfășurarea în Δ este conectată o linie, chiar dacă aceasta, la rândul ei, este în gol. În astfel de cazuri, capacitatea liniei realizează, de fapt, legătura la pământ. De asemenea, conectarea uneia sau mai multor surse (fie direct, fie prin alte elemente) satisface cerința de mai sus.

Dacă modelul nu conține elemente conectate în vârfurile triunghiului, pot fi utilizate următoarele soluții:

a) metoda neechilibrată – utilizată implicit de program - se leagă la pământ un colț al triunghiului. Această opțiune se va folosi numai dacă nu interesează valoarea tensiunii pe partea Δ .



b) metoda echilibrată - se conectează capacități egale în colțurile Δ , față de pământ. Se vor folosi valori rezonabile (de exemplu 1 nF) pentru a evita singularitățile ale matricelor. Această opțiune se va utiliza atunci când este necesar a se păstra echilibrul pe partea în Δ și pentru a putea utiliza rezultatele simulării, în mod corect.



EXEMPLU de calcul și de introducere a datelor

Transformator trifazat 110/20 kV, 16 MVA, Yd-11, având parametrii:
 $P_0 = 24 \text{ kW}$; $I_0 = 1,2\%$; $P_{sc} = 97 \text{ kW}$; $U_{sc} = 11\%$.

Calculul parametrilor schemei echivalente:

- ✓ Valorile de vârf flux-curent :

$$I_v = I_0 \sqrt{2} = \frac{I_0(\%)}{100} \cdot \frac{S_n(\text{MVA})}{U_n(\text{kV})} \cdot 10^3 \cdot \sqrt{2} = 13,576 \text{ A},$$

$$\Phi_v = \frac{U_0}{4,44 \cdot f} = \frac{20000}{4,44 \cdot 50} = 90,09009 \text{ V} \cdot \text{sec}.$$

- ✓ Rezistența de magnetizare:

$$R_{mag} = \frac{U_{JT}^2(\text{kV})}{P_0(\text{kW})} \cdot 10^3 = \frac{20^2}{24} \cdot 10^3 = 16666,6 \ \Omega$$

- ✓ Rezistențele înfășurărilor:

$$R_{sc} = \frac{P_{sc}(\text{kW})}{I_{sc}^2(\text{A})} \cdot 10^3; \quad I_{sc} = I_{1n}; \quad I_{1n} = \frac{S_n(\text{MVA})}{3U_1(\text{kV})} \cdot 10^3;$$

$$I_{sc} = \frac{16}{3 \cdot 20} \cdot 10^3 = 266,66 \text{ A}; \quad R_{sc} = \frac{97}{266,66^2} \cdot 10^3 = 1,36413 \ \Omega;$$

$$R_1 = \frac{1}{2} \cdot R_{sc} = 0,68206 \ \Omega; \quad R_2 = \frac{1}{2} \cdot R_{sc} \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 = 0,68206 \cdot \left(\frac{110}{20} \right)^2 = 20,6325 \ \Omega.$$

- ✓ Reactanțele înfășurărilor:

$$X_{sc} = \frac{10^3}{I_{sc}(\text{A})} \cdot \sqrt{U_{sc}^2(\text{kV}) - \frac{P_{sc}^2(\text{kW})}{I_{sc}^2(\text{A})}}; \quad U_{sc} = \frac{U_{sc}(\%)}{100} \cdot \frac{U_1^2(\text{kV})}{S_n(\text{MVA})};$$

$$U_{sc} = \frac{11}{100} \cdot \frac{20^2}{16} = 2,75 \text{ kV}; \quad X_{sc} = \frac{10^3}{266,66} \sqrt{2,75^2 - \frac{97^2}{266,66^2}} = 10,222139 \ \Omega;$$

$$L_1 = \frac{1}{2\omega} \cdot X_{sc}; \quad L_2 = \frac{1}{2\omega} \cdot X_{sc} \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2; \quad L_1 = 16,277 \text{ mH}; \quad L_2 = 492,388 \text{ mH}.$$

Setul de linii de date de intrare pentru acest transformator este următorul:

```

C      1      2      3      4      5      8
C 345678901234567890123456789012345678901234567890123456.....0
$UNITS, 0.,0.
C      FAZA R A TRANSFORMATORULUI
C TRANSFORMER      I      flux      BUSTOP      Rmag      marcaj
C      1      2      3      4      5      8
C 345678901234567890123456789012345678901234567890123456.....0
TRANSFORMER      13.57690,090 TR01R 16666.      1
C      I      FLUX
      13,576      90.09009
9999
C BUS1      BUS2      R      L      Unom      M
C      1      2      3      4      5      8
C 345678901234567890123456789012345678901234567890123456.....0
1R001      S001      .682016.277      20.0      1
2R100      20.632492.3863.508
C      FAZA S A TRANSFORMATORULUI
C      1      2      3      4      5      8
C 345678901234567890123456789012345678901234567890123456.....0
TRANSFORMER      TR01R      TR01S
1S001      T001
2S100
C      FAZA T A TRANSFORMATORULUI
C      1      2      3      4      5      8
C 345678901234567890123456789012345678901234567890123456.....0
TRANSFORMER      TR01R      TR01T
1T001      R001
2T100

```

Exemplu de conexiune Yd-11, trafo 110/20 kV

```

C Date ramuri pentru modelarea transformatorului de putere - Yd11
C Transformatorul 110/20 kV/16 MVA      NODURILE 003IT-004MT
TRANSFORMER      7.838090.090 TR004 16667.
      7.8380      90.090
9999
1T004      R004      0.22732.1895      20.0
2R003      6.875066.232      63.5
TRANSFORMER      TR004      TS004
1R004      S004
2S003
TRANSFORMER      TR004      TT004
1S004      T004
2T003

```

Exemplu de transformator 20/0,4 kV, conexiune Dy-5

```

C Date transformatoare posturi din retea - grupa de conexiuni Dy5
C Tranformatorul 20/04 kV/250 kVA -      NODURILE 024MT-025JT
C      1      2      3      4      5      8
C 345678901234567890123456789012345678901234567890123456.....0
TRANSFORMER      14.7991.0418 TR025 235.29
      14.799      1.0418
9999
1R025      0.01690.10590.2310
2R024      S024      21.120132.3820.000
TRANSFORMER      TR025      TS025
1S025
2S024      T024
TRANSFORMER      TR025      TT025
1T025
2T024      R024

```