

Modelarea transformatoarelor și autotransformatoarelor

Temă laborator: *studiul modelării transformatoarelor saturabile și a autotransformatoarelor și realizarea modelului ATP al unei rețele de mici dimensiuni conținând mai multe tipuri de transformatoare.*

1. MODELAREA TRANSFORMATOARELOR TRIFAZATE

Transformatoarele trifazate de putere din sistemul electroenergetic se modelează în software-UL ATP folosind procedura de referință. Astfel se definește un transformator care va corespunde unei faze a transformatorului trifazat, de obicei faza R, apoi prin procedura de referință se definesc alte două transformatoare monofazate care se vor constitui în modulele celorlalte două faze ale transformatorului. S,T.

1.1. MODELAREA TRANSFORMATOARELOR TRIFAZATE CU RELUCTANȚĂ HOMOPOLARĂ MICĂ

Pentru transformatoarele cu 3 coloane sau cu 5 coloane există o cale prin miez pentru închiderea fluxului homopolar. Astfel, este corect să presupunem că:

- inducția magnetică a celor 3 faze este independentă;
- parametrii homopolari sunt aceiași cu cei de secvență directă.

Acestea fac să fie suficientă specificarea curbei de saturație numai pentru o coloană a miezului magnetic. Rezultă acest tip de transformatoare se modelează prin folosirea a trei unități monofazate identice. Din acest motiv, s-a realizat o opțiune de memorare-salvare (procedura pentru componente de referință).

Față de cazul transformatorului monofazat, nu sunt necesare noi reguli. Totuși, trebuie acordată atenția cuvenită măsurării curbei de saturare. Curba nu trebuie obținută de la înfășurarea unei faze, celelalte fiind în gol, ci ea trebuie obținută prin excitarea echilibrată a celor trei faze, făcând o medie a curentului și tensiunii pe acestea. Apoi, folosind programul suport SATURA, se transformă această curbă în caracteristica flux-curent, exprimată în valori de vârf.

Reguli de introducere a datelor

Secvența liniilor de program este următoarea:

Regimuri Tranzitorii Electromagnetice - Laborator 4

PRIMUL TRAFU

1. *Cartela specială de cerere TRANSFORMER*
2. *Specificația flux-curent*
 - se va omite dacă se neglijează reactanța de magnetizare;
 - numai o cartelă pentru cazul liniar;
 - un grup de cartele pentru cazul saturat.
3. *Cartela marcaj pentru încheierea declarării caracteristicii flux-curent*
4. *Cartele pentru cele "N" înfășurări (care dau numele nodurilor și parametrii înfășurărilor).*

AL DOILEA TRAFU

5. *Cartela specială de cerere TRANSFORMER-REFBUS*
6. *Cartele pentru cele "N" înfășurări (care specifică numai numele nodurilor).*

AL TREILEA TRAFU

7. *Cartela specială de cerere TRANSFORMER-REFBUS*
8. *Cartele pentru cele "N" înfășurări (care specifică numai numele nodurilor).*

Observație: Modelarea transformatoarelor având conexiune în triunghi

Conexiunea în triunghi poate crea unele probleme de modelare, motiv pentru care trebuie explicate următoarele trei aspecte:

- a) - modul de realizare a schemei echivalente;
- b) - necesitatea existenței unei căi de referire a potențialelor către pământ, pe partea Δ ;
- c) - care este comportamentul homopolar.

a) Să presupunem că înfășurarea primară este conectată în Δ , iar cea secundară în Y, cu neutrul legat la pământ, conform figurii de mai jos. Se remarcă următoarele:

- 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 3 faze).
- T1 este nodul intern "BUSTOP" pentru prima unitate monofazată cu bornele primare "PA" și "PB", respectiv secundare "SA" și "TERRA".
- T2 este nodul intern "BUSTOP" pentru a doua unitate monofazată, cu T1 ca referință "REFBUS" (primul trafo), bornele primare fiind "PB" și "PC", iar acelea secundare "SB" și "TERRA".
- T3 este nodul intern "BUSTOP" pentru a treia unitate monofazată, cu T1 ca referință "REFBUS" (primul trafo), bornele primare fiind "PC" și "PA", iar acelea secundare "SC" și "TERRA".

Regimuri Tranzitorii Electromagnetice - Laborator 4

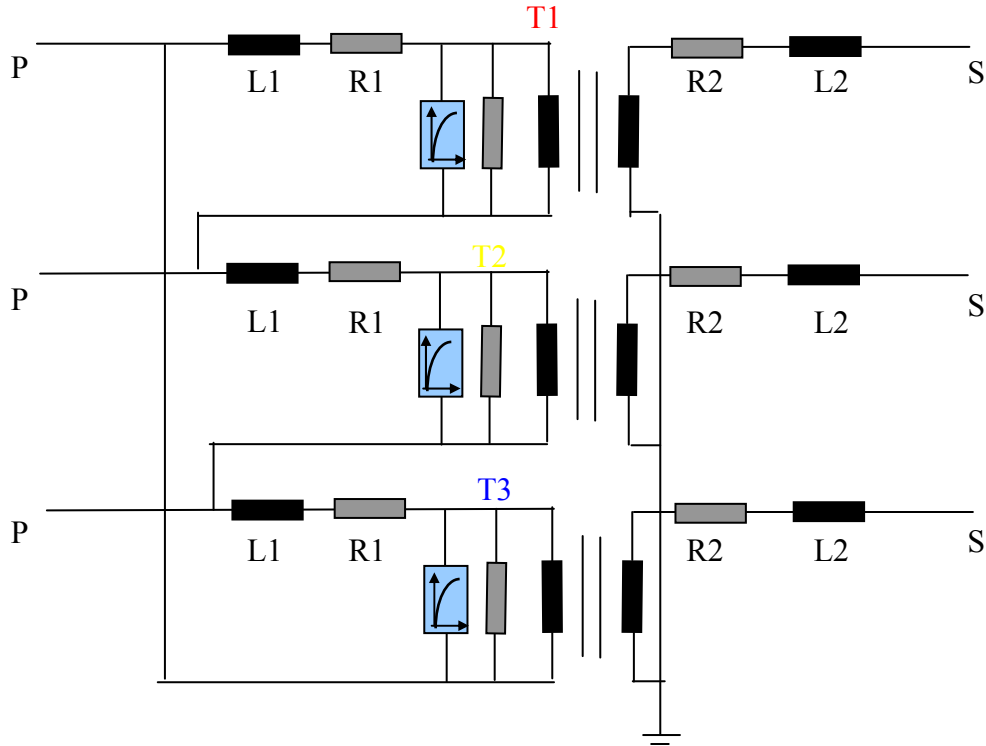


Fig. 1. Schema unui transformator trifazat

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.

A doua problemă care trebuie soluționată este necesitatea realizării unei căi de circulație prin pământ pe partea în Δ a grupului de transformatoare monofazate. Un triunghi flotant nu este tratat de către program deoarece, matematic, tensiunea ar fi definită printr-o constantă arbitrară.

Nu apar astfel de probleme dacă la înfășurarea în Δ este conectată o linie. În acest caz, capacitatea liniei realizează conexiunea la pământ. De asemenea, conectarea uneia sau mai multor surse (fie direct, fie prin alte elemente) va satisface această cerință.

Soluționarea potențializării înfășurării terțiare în Δ a unui transformator cu trei înfășurări poate fi realizată prin una dintre următoarele metode:

a) *metoda neechilibrată*: se leagă la pământ un colț al triunghiului (conform figurii de mai jos)). Această opțiune se va folosi numai dacă nu interesează valoarea tensiunii pe partea Δ .

b) *metoda echilibrată*: se conectează capacități egale în colțurile triunghiului, față de pământ. Se vor folosi valori rezonabile (de ex. 0,003 μF) pentru a evita singularități

Regimuri Tranzitorii Electromagnetice - Laborator 4

în matricele rețelei. Această opțiune se va folosi atunci când este necesar a se păstra echilibrul pe partea în Δ .



Fig. 2. Soluții de potențializare a înfășurării terțiare în Δ a unui transformator cu trei înfășurări

A treia problemă privește comportarea homopolară a triunghiului. În asemenea caz, construcția miezului este de mică importanță deoarece încercarea de mers în gol devine o încercare la scurtcircuit (o înfășurare Δ închisă acționează ca un scurtcircuit pentru curentul homopolar). Astfel, nici valoarea curentului homopolar de mers în gol, nici pierderile homopolare de mers în gol nu sunt critice.

Numai dacă triunghiul este deschis artificial poate fi efectuată o încercare homopolară relevantă. În acest caz, fluxul homopolar se va închide prin aer și prin cuva transformatorului. Asemenea situații nu pot fi redată prin acest model de transformator saturabil. El poate fi redat numai de varianta miezului cu trei coloane cu fluxuri forțate, explicată în secțiunea de mai jos.

1.2. APLICAȚII ALE "MODELULUI TRANSFORMATORULUI SATURABIL"

Acest model poate fi utilizat pentru transformatoare monofazate sau trifazate (în manta sau cu trei coloane), cu două înfășurări. În cazul existenței a trei înfășurări, pot apare probleme numerice. Simptomul evident al acestora este mesajul:

"TROUBLE AT 73912 ON TYPE-99 OR 98 ELEMENT NUMBER..."

Acest mesaj este oarecum înșelător, nefiind nici o problemă cu acest element de tip 98. Dacă se examinează tensiunile nodurilor modelului, se poate observa o creștere explozivă exponențială, fără modificări bruște sau discontinuități. Aceasta apare ca și cum eroarea de aproximare (zgomotul numeric) este amplificată pe măsură ce înaintează calculul.

Acest model permite considerarea pierderilor la gol, cu toate că ele pot fi neglijate atât în cazul transformatoarelor monofazate cât și al acelor trifazate în manta sau cu cinci coloane. Pentru transformatoarele trifazate cu trei coloane, curentul la gol este destul de

Regimuri Tranzitorii Electromagnetice - Laborator 4

mare la încercarea homopolară deci aceste pierderi la gol trebuie luate în considerare. Pierderile la scurtcircuit pot fi (și trebuie) luate în considerare.

Capacitățile parazite sunt ignorate în acest model, motiv pentru care acesta se poate folosi numai până la frecvențe de câțiva kHz. Deoarece părțile active și reactive ale impedanțelor sunt tratate intern separat, acest model este valabil și pentru frecvențe foarte joase (cum este și cazul modelului BCTRAN).

Modelul poate fi folosit în cazurile liniar și saturat, în funcție de datele introduse pentru caracteristica flux-curent. Fenomenul de histerezis poate fi simulat adăugând elemente de tip 96 conectate la bornele la bornele înfășurării care este mai apropiată de miez, atât pentru simularea regimurilor staționare, cât și tranzitorii.

Model transformatorului cu trei coloane este complicat și nu este recomandabil de folosit deoarece nu se poate reprezenta cuplajul magnetic dintre faze. Acest tip de transformator trifazat poate fi modelat mai bine folosind programul BCTRAN, adăugând elemente neliniare la înfășurările mai apropiate de miez.

1.3. EXEMPLU DE MODELARE A TRANSFORMATOARELOR CU CARACTERISTICĂ DE MAGNETIZARE LINEARĂ

Pentru exemplificarea modelării transformatoarelor se va folosi schema de mai jos. Schema cuprinde trei transformatoare de forță și un transformator de neutru artificial. Alimentarea transformatoarelor se realizează de la o sursă de putere infinită. Primul transformator dintre nodurile R001 și R002 are tensiunile nominale de 110/20 kV, puterea nominală de 16 MVA și grupa de conexiuni Yd11. Acesta alimentează două transformatoare de tensiuni 20/0,4 kV, având puterea nominală de 400 kVA și grupa de conexiuni Yd5. La rândul lor alimentează niște consumatori modelați aici prin impedanțe. Transformatorul de neutru artificial are tensiunile de 20/0,4 kV, puterea nominală de 630 kVA și grupa de conexiuni Yd5.

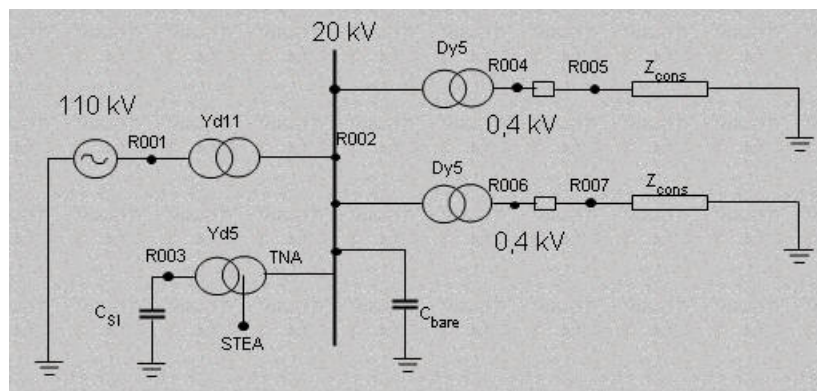


Fig. 3. Schema electrică a unei rețele de mici dimensiuni conținând mai multe tipuri de transformatoare

Regimuri Tranzitorii Electromagnetice - Laborator 4

Observație: Capacitățile de pe bare și din secundarul transformatorului de neutru artificial sunt neapărat necesare pentru o simulare corectă. Modelarea EMTP nu acceptă înfășurări cu conexiunea în triunghi funcționând în gol. Absența capacităților de pe bare face ca una dintre fazele înfășurării în triunghi a transformatorului de putere să fie luată implicit legată la pământ, capacitățile având numai rolul practic de fixare a potențialelor fazelor în raport cu pământul.

Fișierul sursă ATP care modelează schema propusă în figura anterioară este prezentat AICI.

2. MODELAREA AUTOTRANSFORMATOARELOR TRIFAZATE

Modelarea autotransformatoarelor este asemănătoare cu modelarea transformatoarelor. Este prezentată mai jos modelarea unui autotransformator cu trei înfășurări, având tensiunile 400/220/20 kV și conexiunea Y_{yd} .

Fișierul sursă ATP care modelează un astfel de autotransformator este prezentat AICI.

Fișierul sursă ATP ce modelează rețeaua prezentată este:

```

BEGIN NEW DATA CASE
CHANGE PLOT FREQUENCY
      5      5      10      1
PRINTED NUMBER WIDTH, 13, 2,
C Urmeaza prima cartela cu date generale:
C DELTAT, col 1-8, E8.0-pasul de integrare, in secunde
C TMAX, col 9-16, E8.0-durata de studiu, in secunde
C XOPT, col 17-24, E8.0
C COPT, col 25-34 E8.0
C 1 2 3 4 5 6 7 8
C 34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
.000100 .10000
      1      1      1      1      1      -1      0      2
      5      5      10      10      20      20
C Cartele laturi
$VINTAGE, 0
C Linii de program pentru modelarea transformatorului de putere - Yd11
C Transformatorul 110/20 kV/16 MVA NODURILE 001IT-002MT
C 1 2 3 4 5 6 7 8
C234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
TRANSFORMER 7.838090.090TRO02 16667.
      7.8380 90.090
      9999
1T002 R002 0.22732.1895 20.0
2R001 6.875066.232 63.5
TRANSFORMER TRO02 TS002
1R002 S002
2S001
TRANSFORMER TRO02 TT002
1S002 T002
2T001
C Linii de program pentru modelarea transf. de neutru artificial - Yd5
C Transformatorul 20/0.4kV 630 kVA NODURILE 002MT-003JT
C 1 2 3 4 5 6 7 8
C234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
TRANSFORMER 30.8601.0418TRO03 128.
      30.860 1.0418
      9999
1R003 T003 0.00580.0380 0.40
2R002 STEA 14.69394.07011.547
TRANSFORMER TRO03 TS003
1S003 R003
2S002 STEA
TRANSFORMER TRO03 TT003
1T003 S003
2T002 STEA

```

```

2R002  S002
  TRANSFORMER TRO04          TS006
1S006
2S002  T002
  TRANSFORMER TRO04          TT006
1T006
2T002  R002
C Linii de program pt. modelarea sarcinilor (40% incarcare si cos(fi) = 0.8)
C 400 kVA
C      1          2          3          4          5          6          7          8
C234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
OR005          0.800 1.910
OS005          R005
OT005          R005
OR007          R005
OS007          R005
OT007          R005
C Linii pt.modelarea sarcinii fictive a traf. de servicii terne (TNA),
C      necesare atunci cand infasurarea in triunghi este la gol.
OR003          0.0001
OS003          R003
OT003          R003
C Linii pt.modelarea sarcinii fictive a traf. de putere,
OR002          R003
OS002          R003
OT002          R003
BLANK card ending branch cards
C Intrerupatoare pentru conectarea sarcinii consumatorilor
C      1          2          3          4          5          6          7          8
C234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
C
R004 R005      20.000      20.00      0.001          1
S004 S005      20.000      20.00      0.001          1
T004 T005      20.000      20.00      0.001          1
R006 R007      20.000      20.00      0.001          1
S006 S007      20.000      20.00      0.001          1
T006 T007      20.000      20.00      0.001          1
BLANK card ending switches
C SURSA DE FRECVENTA INDUSTRIALA
C      1          2          3          4          5          6          7          8
C234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
14R001  100429.000      50.0      0.0          -1.0      20.0
14S001  100429.000      50.0     -120.0        -1.0      20.0
14T001  100429.000      50.0     120.0        -1.0      20.0
BLANK card ending sources

C Urmeaza lista nodurilor retelei in care se cer tensiunile (ca rezultat)
C      1          2          3          4          5          6          7          8
C234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
R001 S001 T001 R002 S002 T002 R003 S003 T003 R004 S004 T004
R006 S006 T006 STEA
BLANK card terminating output request
BEGIN NEW DATA CASE

```


Fișierul sursă ATP ce modelează autotransformatorul este:

```
TRANSFORMER          23.75299.099GUT1R 3025.0
      23.752          99.099
      9999
1R030 S030           0.01510.9802  22.0
2R029                0.174012.830 133.0
3GU42R               0.5590113.06 231.0
  TRANSFORMER GUT1R          GUT1S
1S030 T030
2S029
3GU42S
  TRANSFORMER GUT1R          GUT1T
1T030 R030
2T029
3GU42T
```