

CONSIDERAȚII PRIVIND POSIBILITATEA ELABORĂRII UNEI DIAGRAME A TRANSFORMĂRIILOR ASOCIATĂ MODELULUI MATEMATIC AL INDICELUI ORAR LA TRANSFORMATOARELE TRIFAZATE

Ing. Mihaela POIENAR, Ing. Ovidiu-Magdin ȚANȚA, Ș. I. dr. ing. Elena Daniela OLARIU,
Dr. ing. Ilie NIȚAN, Ing. Adrian Neculai ROMANESCU, Ing. Mihai CENUȘĂ

Universitatea „Ștefan cel Mare“ din Suceava

REZUMAT. Plecând de la modelul matematic al indicelui orar al unui transformator trifazat exprimat printr-o matrice pătratică de tip 3X3, numită matrice de cod, a fost identificată o diagramă a transformărilor, în mai multe variante, care prin configurația și componența sa să exprime totalitatea posibilităților de modificare a indicelui orar dată prin modificarea legăturilor la bornele transformatorului. Principalele modificări ale conexiunilor la bornele și înfășurările transformatorului sunt: permutarea circulară a legăturilor la o pereche de borne în primar și la o pereche de borne în secundar, inversarea alimentării (înfășurarea de înaltă tensiune sau înfășurarea de joasă tensiune): inversarea sensului de bobinare, inversarea începutului cu sfârșitul, inversarea extremităților înfășurării, modificarea legăturilor din N în Z între înfășurările de fază. În finalul lucrării sunt prezentate concluziile în legătură cu valorificarea în practică a diagramei transformărilor.

Cuvinte cheie: diagrama transformărilor, matrice de cod, indice orar.

ABSTRACT. Based on the clock hour figure mathematical model of a threephase transformer expressed, in the most plain form, through a 3X3 square matrix, called code matrix was identified a transformations diagram, in several variants, that through its configuration and components express the entirety of possibilities for clock hour figure modification gaved through the transformer winding terminal changes. The main changes on the transformer winding terminal are: the circular permutation of connection between windings; terminal supply reversal (high voltage winding or low voltage winding); reverse direction for the phase winding wrapping; reversal the beginning with the end for a phase winding; the connection conversion from N in Z between phase winding or inverse. In the end of the paper are presented the practical exploitation of the transformations diagram.

Keywords: transformations diagram, code matrix, clock hour figure.

1. INTRODUCERE

Modelul matematic indicelui orar al unui transformator trifazat poate fi reprezentat, printr-o matrice pătratică de tip 3X3, numită matrice de cod și a cărei configurație se modifică în funcție de indicele orar asociat [3, 5, 6, 7].

Studiile efectuate scot în evidență interdependența între configurația matricei de cod (poziția liniilor și poziția coloanelor) și configurația legăturilor la borne sau a legăturilor între înfășurările de fază.

În general, poziția liniilor reflectă modificarea conexiunilor și legăturilor la înfășurarea de înaltă tensiune, iar poziția coloanelor reflectă modificarea conexiunilor și legăturilor la înfășurarea de joasă tensiune, fapt sugerat într-o manieră sugestivă în figura 1.

Preocuparea autorilor în lucrarea de față constă în identificarea unei metode sintetice și cuprinzătoare în același timp prin care să poată fi evidențiate cu fidelitate totalitatea modificărilor în schema de conexiuni a unui transformator în scopul modificării indicelui orar [3, 5, 6, 7].

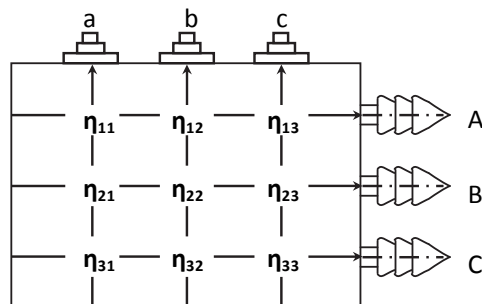


Fig. 1 Legătura între configurația matricei de cod și configurația conexiunilor la bornele unui transformator.

Obiectivul menționat are la bază observația că matricele de cod reflectă cu fidelitate principalele schimbări ale transformatorului, după cum urmează:

- permutarea circulară a legăturilor la una dintre înfășurări (înalță tensiune sau joasă tensiune);
- inversarea legăturilor la o pereche de borne la o înfășurare urmate de inversarea legăturilor la o pereche de borne a celeilalte înfășurări;
- inversarea alimentării transformatorului (de la înaltă tensiune pe joasă tensiune);
- inversarea de tip 3I (inversarea sensului de bobinare, inversarea începutului cu sfârșitul, inversarea notațiilor extremității înfășurării de fază);
- modificarea legăturilor din N în Z sau din Z în N la înfășurările cu conexiunea triunghi sau zig- zag.

Ecuațiile și reprezentarea obținute la inversarea alimentării unui transformator trifazat au constituit punctul de plecare în edificarea conceptului de diagramă a transformărilor capabilă să exprime totalitatea modificărilor în schema de conexiuni a unui transformator trifazat având drept scop modificarea indicelui orar inițial.

Astfel, inversarea alimentării unui transformator, este reflectată în configurația matricei de cod, prin modificarea liniilor în coloane. Altfel spus, matricea inițială este înlocuită cu matricea transpusă.

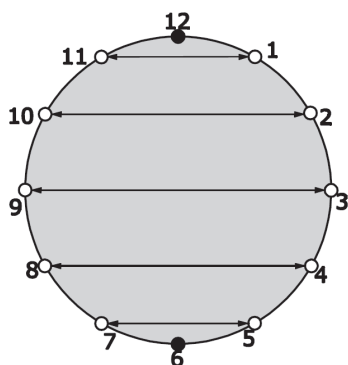


Fig. 2. Explicativă la modificarea indicelui orar la inversarea alimentării unui transformator trifazat

2. CONTRIBUȚII LA DIAGRAMA ÎN VARIANTA BIPOLARĂ

Diagrama transformărilor realizată în soluția cu secvențe paralele este constituită din șase clase ilustrate în tabelul 1. Fiecare clasă a diagramei transformărilor este alcătuită dintr-un cerc, pe circumferința căruia, la intervale echidistante sunt plasați cei doisprezece indici orari posibili. Cercul este asociat cu o axă polară care unește doi poli (doi indici orari), aflați în poziții diametral opuse. Reprezentarea este completată cu cinci secvențe reprezentate grafic prin niște linii care unesc, fiecare, doi indici orari care pot fi convertiți unul într-altul.

Aceste linii sunt paralele între ele și sunt perpendiculare pe axa polară asociată.

Tabelul 1

 Clasa 1	 Clasa 2
 Clasa 3	 Clasa 4
 Clasa 5	 Clasa 6

În continuare este analizată clasa 1 cu secvența 1-11 ilustrată în fig. 3.

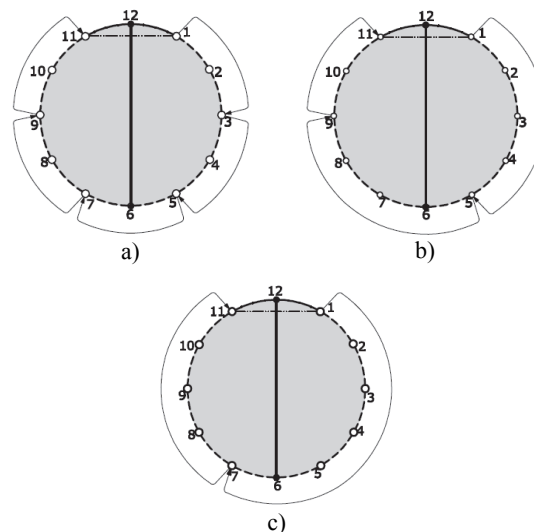


Fig. 3. Diagrama transformărilor clasa 1 – secvența 1-11.

Conform acestei construcții grafice conversia indicilor $1 \leftrightarrow 11$ poate fi realizată prin trei trasee distincte după cum urmează:

- un traseu rectiliniu reprezentat prin coarda cercului indicilor care unește punctele 1 – 11 și care este marcat distinct prin: (— · · · — · · · —);
- un traseu curbiliniu reprezentat prin arcul de cerc scurt care unește, pe circumferința cercului indicilor, punctele 1 – 11, fiind marcată distinct prin: (—————);

• un traseu curbiliniu reprezentat prin arcul de cerc lung care unește, pe circumferința cercului indicilor punctele 1- 11, fiind marcat distinct prin: (— — —).

Conversia 1→11, pe traseul rectiliniu implică în mod obligatoriu, asupra matricei de cod inițiale, o transpoziție urmată de alte transformări (permutări circulare, inversiune la o pereche de linii urmată de o inversiune la o pereche de coloane, inversiuni de semn sau asocieri de inversiuni și permutări).

$$G_1 = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \end{pmatrix}^T \rightarrow \begin{pmatrix} 2 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 2 \end{pmatrix} = [G_1]^T = G_{11}$$

Conversia 1→11, pe un traseu curbiliniu implică, în mod obligatoriu, asupra matricei de cod inițiale, o permutare circulară de linii sau coloane urmată după caz de alte modificări (inversiuni, asocieri de inversiuni și permutări), realizată în mai multe variante.

Pentru traseul curbiliniu scurt conversia este:

$$G_1 = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 0 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 2 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \\ 1 & 2 & 0 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 2 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 2 \end{pmatrix} = \left[\left[[G_1] \right]_{invab} \right]_{invBC} = G_{11}$$

Pentru traseul curbiliniu lung în varianta 1, conversia este constituită din trecerea succesivă între următorii pași: pasul 1 – 3, pasul 3 – 5, pasul 5 – 7, pasul 7 – 9 și pasul 9 – 11:

$$G_1 = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \end{pmatrix} \rightarrow 2 \cdot \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 2 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 0 \end{pmatrix} = [G_3] \rightarrow 2 \cdot \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 2 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 0 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \end{pmatrix} = [G_5] \rightarrow 2 \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 1 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 2 \\ 2 & 0 & 1 \end{pmatrix} = [G_7] \rightarrow 2 \cdot \begin{pmatrix} 1 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 2 \\ 2 & 0 & 1 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 0 \end{pmatrix} = [G_9] \rightarrow 2 \cdot \begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 0 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 2 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 2 \end{pmatrix} = 2 \cdot \left[2 \cdot \left[2 \cdot \left[2 \cdot \left[2 \cdot [G_1] \uparrow \right] \uparrow \right] \uparrow \right] \uparrow \right] = G_{11}$$

Conversia pe traseul curbiliniu lung în varianta 2 este constituită din: pasul 1 – 5, pasul 5 – 9 și pasul 9 – 11, reprezentată în fapt, printr-o permutare directă a înfășurărilor pe partea de IT urmată de două permutări directă pe partea de JT și de o schimbare a sensului de înfășurare, realizate pentru fiecare pas în parte:

$$G_1 = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \end{pmatrix} = [G_5] \rightarrow \begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 0 \end{pmatrix} = [G_9] \rightarrow$$

$$2 \cdot \begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 0 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 2 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 2 \end{pmatrix} = 2 \cdot \left[\left[[G_1] \downarrow \right] \downarrow \right] = G_{11}$$

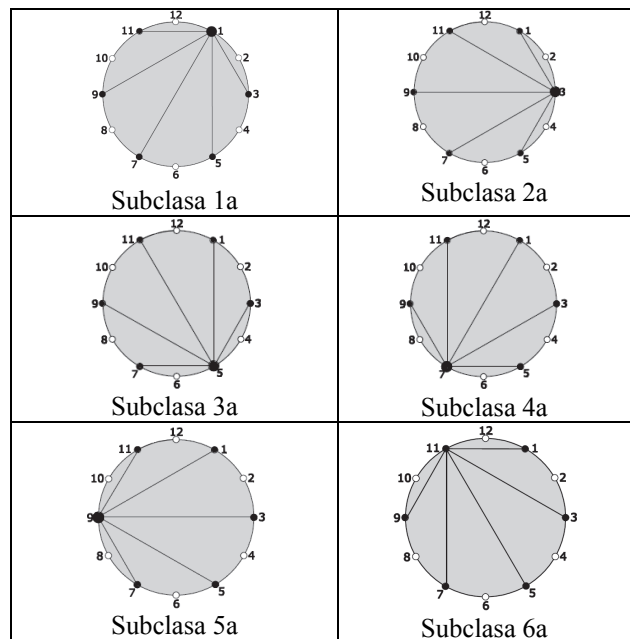
Conversia pe traseul curbiliniu lung varianta 3 este constituită din: pasul 1 – 7 și pasul 7 – 11, reprezentată printr-o schimbare a sensului de înfășurare, urmată de o permutare directă a înfășurărilor pe partea de înaltă tensiune:

$$G_1 = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \end{pmatrix} \rightarrow 2 \cdot \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 2 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 2 \end{pmatrix} = 2 \cdot \left[[G_1] \downarrow \right] = G_{11}$$

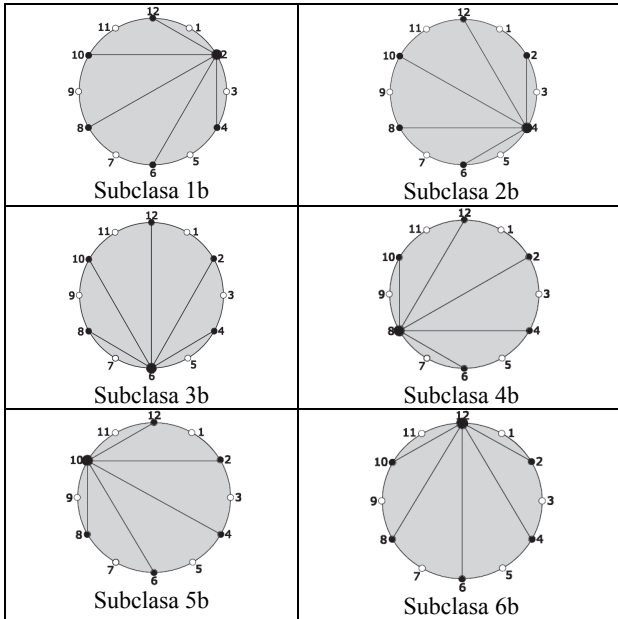
3. CONTRIBUȚII LA DIAGRAMA ÎN VARIANTĂ UNIPOLARĂ

Diagrama transformărilor în variantă unipolară este constituită într-o primă variantă din șase subclase asociate indicilor orari impari (tabelul 2) și din șase subclase asociate indicilor orari pari (tabelul 3). Fiecare subclasă este alcătuită din cercul indicilor orari pe circumferința căruia este plasat un pol radiant de la care pleacă mai multe trasee rectilinii având la extremități indicii orari rezultați în urma convenției.

Tabelul 2



Tabelul 3



indicialor, punctele 1 – 3, fiind marcată distinct prin: (---);

– un traseu curbiliniu reprezentat prin arcul de cerc lung care unește, pe circumferința cercului indicilor punctele 1 - 3, fiind marcat distinct prin: (— — —).

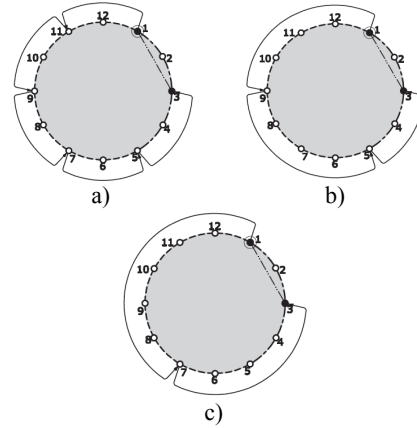
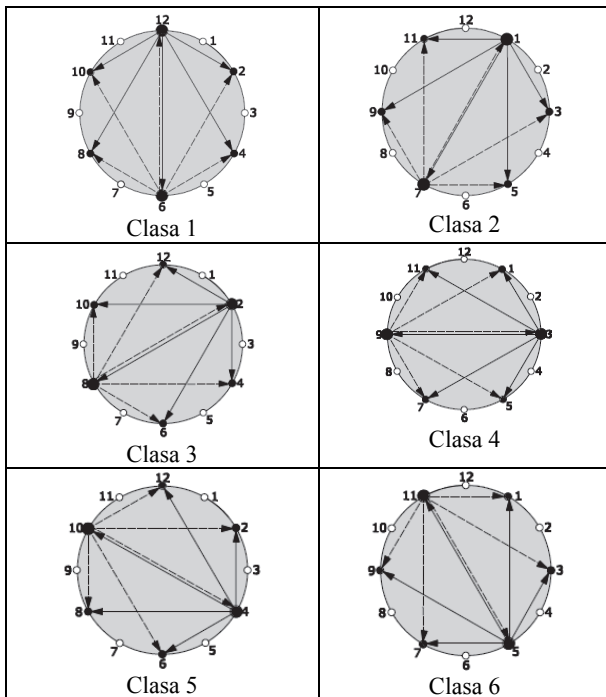


Fig. 4. Diagrama transformărilor clase 1 secvența 1-3

În altă variantă (tabelul 4), diagrama transformărilor în evantai este dată prin suprapunerea spectrelor afe-rente a doi poli radianți aflați în poziții diametral opuse.

Tabelul 4



Conversia 1 → 3 pe traseul rectiliniu este:

$$G_1 = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \end{pmatrix}^T \rightarrow \begin{pmatrix} 2 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 2 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 2 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 0 \end{pmatrix} = \left[G_1 \right]^T = G_3$$

Conversia 1 → 3 pe traseul curbiliniu scurt este:

$$G_1 = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \end{pmatrix} \rightarrow 2 \cdot \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 2 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 0 \end{pmatrix} = 2 \cdot [G_1] \uparrow = G_3$$

Conversia pe traseul curbiliniu lung în varianta 1, este constituită din trecerea succesivă între următorii pași: pasul 1 – 11, pasul 11–9, pasul 9–7, pasul 7–5 și pasul 5 – 3.

$$G_1 = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \end{pmatrix} \rightarrow 2 \cdot \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 2 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 2 \end{pmatrix} = G_{11}$$

$$2 \cdot \begin{pmatrix} 2 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 2 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 0 \end{pmatrix} = G_9 \rightarrow 2 \cdot \begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 2 \\ 2 & 0 & 1 \end{pmatrix} = G_7 \rightarrow 2 \cdot \begin{pmatrix} 1 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 2 \\ 2 & 0 & 1 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \end{pmatrix} = G_5$$

$$2 \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 2 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 0 \end{pmatrix} = G_3 =$$

$$2 \cdot \left[2 \cdot \left[2 \cdot \left[2 \cdot \left[2 \cdot \left[G_1 \right] \right] \right] \right] \right] = G_3$$

În fig. 4 este prezentat un exemplu în legătură cu subclasa 1a și secvența 1 →3, unde conversia indicilor 1→3 poate fi realizată prin trei trasee distincte, care păstrează aceeași modalitate de reprezentare ca și în cazul diagramei cu secvențe paralele:

– un traseu rectiliniu reprezentat prin coarda cercului indicilor care unește punctele 1 – 3 și care este marcat distinct prin: (---);

– un traseu curbiliniu reprezentat prin arcul de cerc scurt care unește, pe circumferința cercului

Conversia pe traseul curbiliniu lung în varianta 2, este constituită din trecerea succesivă între următorii pași: pasul 1 – 9, pasul 9 – 5 și pasul 5 – 3.

$$G_1 = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 0 \end{pmatrix} = G_9$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 0 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \end{pmatrix} = G_5 \rightarrow 2 \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 2 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 0 \end{pmatrix} 2 \cdot \left[\left[\left[G_1 \right] \right] \right] = G_3$$

Conversia pe traseul curbiliniu lung în varianta 3, este constituită din trecerea succesivă între următorii pași: pasul 1 - 7; pasul 7 – 3.

$$G_1 = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \end{pmatrix} \rightarrow 2 \cdot \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 2 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 0 \end{pmatrix} =$$

$$2 \cdot \left[\left[G_1 \right] \right] = G_3$$

4. CONCLUZII

1. Preocuparea principală a autorilor a constituit-o identificarea unei diagrame a transformărilor în mai multe variante, care prin configurația și componența sa să exprime totalitatea posibilităților de modificare a indicelui orar dată prin modificarea legăturilor la bornele transformatorului.

2. Premisa de la care s-a plecat în identificarea diagramei de transformări a fost aceea că, configurația acesteia trebuie să corespundă tuturor modificărilor posibile ce se pot realiza la bornele de joasă respectiv înaltă tensiune ale transformatorului.

3. În cadrul lucrării s-au identificat, realizat și cercetat două variante de diagrame a transformărilor (varianta cu secvențe paralele – diagrama bipolară și varianta cu secvențe în evantai – diagrama unipolară), care respectă premisa prezentată anterior, prin aceea că, orice modificare survenită la bornele înfășurărilor de înaltă tensiune a transformatorului este asociată liniilor din diagrama de transformări, iar modificările legăturilor la bornele de joasă tensiune sunt asociate și sesizate prin modificarea elementelor trivalente existente pe coloanele diagramei de transformări.

4. Structura diagramei de transformări obținută a avut la bază faptul că inversarea alimentării unui transformator produce modificări asupra matricei de cod asociate, transformând-o în matrice transpusă.

Pe structura diagramei sunt aplicate succesiv fie operații de permutare circulară directă sau inversă, fie inversiuni ale conexiunilor sau a notațiilor la borne la o pereche de borne ale înfășurării de borne la IT și la o pereche de borne ale înfășurării de JT.

5. Pentru ambele variante de diagrame a transformărilor identificate trecerea de la un indice orar la altul a fost investigată pe trei trasee distincte: un traseu rectiliniu care corespunde cu o coardă ce unește indicii orari între care se realizează conversia; două trasee curbilinii care reprezintă arce ale indicilor cu extremitățile plasate între cei doi indici aflați în conversie.

6. Regula care stă la baza conceperii și utilizării diagramei transformărilor este legată de faptul că respectă indicațiile literaturii de specialitate și anume că nu pot fi convertiți unul într-altul decât doi indici orari care aparțin aceleiași grupe (grupa indicilor impari sau grupa indicilor pari). Trecerea de la un indice par la un indice impar și invers se poate face doar prin schimbarea legăturilor în interiorul transformatorului adică prin schimbarea schemei bobinajului care duce în final la schimbarea raportului de transformare al transformatorului.

7. Importanța practică a modificării indicilor orari constă în faptul că una din condițiile existențiale pentru cuplarea în paralel a două sau mai multe transformatoare trifazate o constituie egalitatea indicelui orar al grupei de conexiuni. O diferență fie ea și de o oră între indicii orari ai celor două grupe de conexiuni conduce la apariția unor curenți de egalizare care depășesc valoarea nominală a curenților din secundarul celor două transformatoare, conducând în final la avarierea transformatoarelor.

8. În urma cercetărilor efectuate s-a constatat că diagrama transformărilor identificată reflectă fidel proprietățile grupelor de conexiuni aferente grupelor de conexiuni ale transformatoarelor trifazate și poate fi utilizată pentru studiul posibilităților de modificare a grupelor de conexiuni.

Mulțumiri

La această lucrare, infrastructura a fost partial susținută de proiectul POSCCE "Centru integrat de cercetare, dezvoltare și inovare pentru materiale Avansate, Nanotehnologii și Sisteme distribuite de fabricație și control", Contract Nr. 671/09.04.2015, Programul Operational Sectorial Creșterea Competitivității Economice cofinanțat prin Fondul European de Dezvoltare Regională.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Cernomazu, D.; Michiu, Gh. *Considerații privind verificarea grupei de conexiuni aferentă transformatoarelor electrice trifazate, prin metoda curentului continuu.* În: Energetica, volumul XXIX, București, septembrie, 1981, p.397-401.

- [2] Cernomazu, D. *Considerații privind proprietățile codurilor grupelor de conexiuni determinate prin metoda curentului continuu*. În: Energetica, volumul XXX, București, septembrie, 1981, p.440-446.
- [3] Cernomazu, D. *Étude du modèle mathématique de l'indice horaire d'un transformateur triphasé* – ouvrage de stage à l'Université des Sciences et Technologies de Lille, France, 1995, Coordonateur Philippe Delarue, professeur à l'EUDIL.
- [4] Cernomazu, D.; Mandici, L.; Cojocariu, I.; et al. *Cercetări privind metodele pentru verificarea indicelui orar al grupelor de conexiuni la transformatoarele electrice – Proiectarea și realizarea unor aparate numerice pentru verificarea indicelui orar și afișarea modelului matematic aferent*. Suceava: Universitatea “Ștefan cel Mare”, Facultatea de Inginerie Electrică, Contract de Cercetare Nr.1096B/1995, Faza 3, Beneficiar: Ministerul Învățământului, 1995.
- [5] Poienar, M.; Georgescu, D. Șt.; Țanța, O. M.; Nițan, I.; Olariu, E. D.; Cernomazu, D. *Particular matrix identified in the study of the index hour mathematical model*. In: Analele Universității „Eftimie Murgu” Reșița, Fascicula de Inginerie, anul XXI, nr. 2, 2014, p. 101 – 110, ISSN: 1453-7397.
- [6] Poienar, M. *Stadiul actual al soluțiilor și cercetărilor în legătură cu modelul matematic al indicelui orar asociat unui transformator electric trifazat – Raport I în cadrul stagiului de pregătire pentru doctorat*. Suceava: Universitatea „Ștefan cel Mare”, Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor, martie, 2014.
- [7] Poienar, M.; Țanța, O. M.; Romanescu, A. N.; Cenușă, M.; Olariu, E. D. *Contributions to Highlight the Particular Matrices Used for Defining and Representation of Clock Hour Figure Mathematical Model*. In: International Conference and Exhibition on Electromechanical and Power Systems, Chișinău, R. Moldova, October, 2015.