

**UNIVERSITATEA „ȘTEFAN CEL MARE” SUCEAVA
FACULTATEA DE INGINERIE ELECTRICĂ ȘI ȘTIINȚA CALCULATOARELOR
DOMENIUL: INGINERIE ELECTRICĂ**

**CONTRIBUȚII TEORETICE LA DIAGRAMA
TRANSFORMĂRILOR ASOCIATĂ STUDIULUI
INDICELUI ORAR AL GRUPELOR DE CONEXIUNI LA
TRANSFORMATOARELE ELECTRICE TRIFAZICE**

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT

Conducător științific

Prof. univ. dr. ing. Dorel CERNOMAZU

Prof. univ. dr. ing. Dan Laurențiu MILICI

**Doctorand:
ing. Mihaela POIENAR**

Suceava – 2016

Mulțumiri

Cele mai alese gânduri de recunoștință și mulțumire se îndreaptă către regretatul profesor universitar dr. ing. Dorel Cernomazu, conducătorul științific al acestei teze de doctorat, care, cu răbdare și profesionalism m-a sprijinit, îndrumat, ajutat, pe parcursul elaborării prezentei lucrări, dar mai ales pentru contribuția dumnealui în formarea mea ca om. Doresc să mulțumesc în mod deosebit pentru lungile discuții purtate, sfaturile și mai ales pentru încrederea acordate la începutul formării mele profesionale.

Pentru îndrumarea competentă, tactul și răbdarea de care a dat dovadă în perioada de pregătire și elaborare a lucrării, rigoarea științifică, observațiile și sugestiile oferite cu generozitate, dar și pentru rolul deosebit avut în formarea mea profesională și umană, doresc să exprim sentimentele cele mai alese de respect și întreaga mea grațitudine conducătorului științific al tezei de doctorat, domnul profesor universitar dr. ing. Dan Laurențiu Milici.

Doresc să mulțumesc domnului profesor universitar dr. ing. DHC Alexandru Simion de la Universitatea "Gheorghe Asachi" din Iași, care cu răbdare și profesionalism mi-a oferit sfaturi menite să ajute la șlefuirea și finalizarea tezei de doctorat.

De asemenea, țin să mulțumesc membrilor comisiei de îndrumare și evaluare, care cu generozitate, au încurajat, în perioada individuală de pregătire, permanent, conținutul științific al cercetării mele.

Mulțumesc întregului colectiv de cadre didactice și tehnicieni ai Departamentului de Electrotehnică al Facultății de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor din cadrul Universității "Ștefan cel Mare" Suceava.

În același timp mulțumirile mele se îndreaptă către doamna șef lucrări dr. ing. Cristina Prodan, domnișoara șef lucrări dr. ing. Elena Daniela Olariu și domnul dr. ing. Ilie Nițan, pentru sprijinul oferit, sfaturile competente și pentru continua stimulare în definitivarea tezei.

De asemenea, aduc deosebite mulțumiri colegilor și colaboratorilor mei, doctoranzi în domeniul Inginerie Electrică, pentru susținerea și încurajarea oferită, contribuind astfel la perfecționarea și finalizarea acestui demers științific.

Nu în cele din urmă aș dori să mulțumesc familiei mele care m-a susținut pe parcursul anilor de studiu și m-a înconjurat cu dragoste și încredere de reușită.

Această lucrare a beneficiat de suport financiar prin proiectul:

“SOCERT. Societatea cunoașterii, dinamism prin cercetare”

Contract nr. POSDRU/159/1.5/S/132406

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional
Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013

Doctorandul mulțumește **Centrului integrat de cercetare, dezvoltare și inovare pentru Materiale Avansate, Nanotehnologii și Sisteme Distribuite de Fabricație și Control**, dezvoltat în cadrul Contractului nr. 671/09.04.2015, Programul Operațional Sectorial Creșterea Competitivității Economice, cofinanțat din Fondul European de Dezvoltare Regională, pentru infrastructura de cercetare pusă la dispoziție prin Laboratorul de Inventică și Transfer Tehnologic și utilizată în cadrul tezei.

CUPRINS

Introducere	3	3
Capitolul 1 – Stadiul actual al modelelor matematice pentru identificarea indicelui orar	9	5
1.1 Metoda alimentării în curent continuu utilizată pentru determinarea indicelui orar.....	9	-
1.2 Modelul matematic al indicelui orar.....	11	5
1.2.1 Modelul matematic al indicelui orar identificat prin intermediul funcției signum.....	11	5
1.2.2 Modelul matematic al indicelui orar identificat prin intermediul algebrei elementelor trivalente.....	16	6
1.3 Soluția grafică pentru identificarea indicelui orar prin metoda alimentării în curent continuu.....	21	-
1.4 Reprezentarea modelului matematic prin analogie cu teoria grafurilor....	22	-
1.5 Concluzii.....	24	-
Capitolul 2 – Contribuții la unificarea modelului de definire și reprezentare a modelului matematic al indicelui orar	25	6
2.1 Considerații generale.....	25	6
2.2 Variante ale ecuației de cod obținute pe baza matricelor definitorii.....	26	-
2.3 Alte forme de exprimare a ecuației de cod.....	27	-
2.4 Considerații și contribuții privind unificarea modului de definire și reprezentare a grafului de cod asociat indicelui orar.....	28	7
2.5 Considerații privind graful de cod rezultat din utilizarea matricelor particulare T și L.....	32	-
2.6 Contribuții la soluția grafică pentru identificarea indicelui orar.....	33	-
2.7 Contribuții la soluția grafo-analitică pentru identificarea indicelui orar...	37	-
2.8 Concluzii.....	39	-
Capitolul 3 – Considerații privind ecuațiile modelului matematic al indicelui orar	40	8
3.1 Ecuațiile modelului matematic al indicelui orar.....	40	-
3.2 Notații și definiții în legătură cu modelul matricial al indicelui orar.....	41	-
3.3 Permutarea circulară a legăturilor la bornele transformatorului.....	42	8
3.4 Inversarea legăturilor sau a notațiilor la două borne ale înfășurărilor de înaltă tensiune, simultan cu inversarea legăturilor sau a notațiilor la două	45	8

Cuprins

borne ale înfășurărilor de joasă tensiune.....		
3.5 Inversarea alimentării unui transformator trifazat.....	46	8
3.6 Studiul influenței legăturilor în N și Z asupra valorii indicelui orar al unui transformator trifazat.....	47	9
3.7 Inversare de tip 3I.....	48	9
3.8 Concluzii.....	49	-
Capitolul 4 – Contribuții la diagrama transformărilor în varianta bipolară.....	50	9
4.1 Considerații generale.....	50	-
4.2 Reprezentarea diagramei transformărilor în variantă bipolară.....	50	9
4.3 Concluzii.....	86	-
Capitolul 5 – Contribuții la diagrama transformărilor în varianta unipolară.....	87	12
5.1 Considerații generale.....	87	-
5.2 Reprezentarea diagramei transformărilor în variantă unipolară.....	87	12
5.3 Concluzii.....	122	-
Capitolul 6 – Aplicație informatică pentru implementarea diagramei transformărilor indicilor orari.....	124	15
6.1 Considerații generale.....	124	-
6.2 Implementarea aplicației informatice pentru utilizarea diagramei transformări-lor indicilor orari.....	124	15
6.3 Concluzii.....	128	-
Capitolul 7 – Dispozitiv pentru determinarea indicelui orar la transformatoarele electrice trifazate.....	129	17
7.1 Considerații generale.....	129	-
7.2 Implementarea dispozitivului pentru determinarea indicilor orari.....	129	17
7.3 Încercări experimentale ale dispozitivului pentru determinarea indicilor orari.....	134	18
7.4 Concluzii.....	136	-
Capitolul 8 – Concluzii generale.....	137	18
8.1 Contribuțiile teoretice ale lucrării.....	137	18
8.2 Contribuțiile experimentale ale lucrării.....	139	20
8.3 Direcții de cercetare pentru viitor.....	139	21
Referințe bibliografice.....	140	22
Anexa 1.....	159	-
Anexa 2.....	168	-

INTRODUCERE

Teza de doctorat "Contribuții teoretice la diagrama transformărilor asociată studiului indicelui orar al grupelor de conexiuni la transformatoarele electrice trifazice" reprezintă o continuare a cercetărilor realizate, în domeniul grupelor de conexiuni la transformatoarele electrice, în cadrul Centrului de Cercetare în Mașini, Aparate și Acționări Electrice (EMAD) de la Universitatea Ștefan cel Mare din Suceava și are ca obiectiv principal realizarea unei diagrame a transformărilor, capabilă să exprime toate posibilitățile de modificare a indicelui orar survenite prin orice tip de modificare realizat la bornele transformatorului.

Lucrarea este structurată pe opt capitole, însoțite de o introducere, o notă cu referințe bibliografice având 271 de semnalări, din care 12 lucrări reprezintă contribuțiile autoarei în domeniul tezei de doctorat și 36 de lucrări sunt cercetări ale autoarei în domenii conexe, și două anexe în care sunt prezentate elemente de detaliu în legătură cu conținutul lucrării.

Primul capitol "*Stadiul actual al modelelor matematice pentru identificarea indicelui orar*", cuprinde prezentarea variantelor de modelare a indicelui orar, prin intermediul funcției signum și a algebrei elementelor trivalente, la transformatoarele electrice trifazate prin metoda alimentării în curent continuu. În continuare sunt prezentate soluția grafică pentru identificarea indicelui orar prin metoda alimentării în curent continuu și reprezentarea modelului matematic al indicelui orar prin analogie cu teoria grafurilor.

În al doilea capitol "*Contribuții la unificarea modului de definire și reprezentare a modelului matematic al indicelui orar*" este identificată o formă general-unitară de definire a modelului matematic, valabilă atât în cazul folosirii funcției signum cât și în cazul algebrei elementelor trivalente. Elaborarea variantei unificate a avut la bază următoarele considerente: în ambele variante de reprezentare și definire coeficienții ecuației de cod reprezintă în fapt elementele primei linii ale matricei de cod: η_{11} , η_{12} , η_{13} și matricele definatorii au forme identice pentru ambele variante de definire a variabilei η_{ij} .

În finalul capitolului este prezentată posibilitatea de extindere a metodei grafo-analitice pentru identificarea indicelui orar și în cazul reprezentării prin intermediul algebrei elementelor trivalente, prin înlocuirea coeficienților cunoscuți (λ_{ab} , λ_{bc} , λ_{ca}) prin coeficienții Λ_{ab} , Λ_{bc} , Λ_{ca} , a căror semnificație este prezentată printr-o regulă de conversie mai generală și cuprinzătoare.

Cel de-al treilea capitol "*Considerații privind ecuațiile modelului matematic al indicelui orar*" cuprinde ecuațiile care se obțin în urma unor modificări asupra configurației legăturilor la bornele transformatorului: permutarea circulară a legăturilor la bornele transformatorului, inversarea legăturilor sau a notațiilor la două borne ale înfășurării de înaltă tensiune, simultan cu inversarea legăturilor sau a notațiilor la două borne ale înfășurării de joasă tensiune, inversarea alimentării unui transformator trifazat. În finalul capitolului este studiată influența modificării legăturilor din N în Z și reciproc, asupra indicelui orar al unui transformator trifazat.

Capitolul al patrulea, intitulat "*Contribuții la diagrama transformărilor în varianta bipolară*", prezintă o primă variantă constructivă de diagramă a transformărilor indicilor orari,

capabilă să exprime totalitatea posibilităților de modificare a indicilor orari aferenți unui transformator electric trifazat. În prima parte a capitolului este prezentată soluția constructivă a diagramei, caracterizată prin existența a doi poli principali plasați pe cercul indicilor orari în poziții diametral opuse și care sunt unite printr-o axă polară în raport cu care secvențele paralele între ele sunt perpendiculare.

În continuare, se analizează trecerile de la un indice orar la altul prin intermediul axelor polare, ținând cont de faptul că transformarea aferentă unei secvențe se poate realiza după trei trasee distincte: un traseu rectiliniu care corespunde cu o coardă a cercului indicilor și două trasee curbilinii care reprezintă arce ale cercului indicilor cu extremitățile plasate între cei doi indici aflați în conversie.

Ultima parte este dedicată câtorva concluzii care relevă importanța diagramei transformărilor indicilor orari la transformatoarele electrice trifazate.

În al cincilea capitol "*Contribuții la diagrama transformărilor în varianta unipolară*" este analizată o altă variantă de construcție a diagramei transformărilor, denumită diagrama unipolară sau în evantai. Constructiv, diagrama transformărilor realizată în soluția cu secvențe în evantai se caracterizează prin existența unui pol radiant, plasat pe cercul indicilor și de la care, pleacă, mai multe trasee rectilinii care unesc acest pol cu indicii orari rezultați prin conversie și plasați pe circumferința cercului indicilor. În partea a doua a capitolului sunt studiate toate posibilitățile de trecere de la un indice orar la altul, pentru cele douăsprezece subclase obținute (șase subclase asociate indicilor orari pari și șase subclase asociate indicilor orari impari).

Capitolul șase "*Aplicație informatică pentru implementarea diagramei transformărilor indicelui orar la transformatoarele electrice trifazate*", prezintă o aplicație realizată în mediul de programare LabView, având la bază diagrama transformărilor, prin care să poată fi evidențiate cu fidelitate totalitatea modificărilor în schema de conexiuni a unui transformator cu scopul modificării indicelui orar. Aplicația software realizată rulează un algoritm bazat pe mecanismul de conversie dezvoltat și prezentat în capitolele anterioare.

Al șaptelea capitol "*Dispozitiv pentru determinarea indicelui orar la transformatoarele electrice trifazate*" prezintă proiectarea, realizarea și verificarea unui aparat pentru determinarea indicelui orar la transformatoarele electrice trifazate pe baza metodei de alimentare în curent continuu. Sistemul realizat are la bază o schemă logică ce procesează semnalele preluate la bornele transformatorului testat și afișează grupa de conexiuni corespunzătoare acestuia.

Partea finală a lucrării, "*Concluzii generale*", scoate în evidență contribuțiile autoarei în legătură cu tema abordată și câteva direcții de cercetare pentru viitor, în domeniul grupelor de conexiuni la transformatoarele electrice.

Capitolul 1

STADIUL ACTUAL AL MODELELOR MATEMATICE PENTRU IDENTIFICAREA INDICELUI ORAR

1.2 MODELUL MATEMATIC AL INDICELUI ORAR

Modelul matematic al indicelui orar este reprezentat printr-o matrice pătratică, cu trei linii și trei coloane având forma [53], [59], [135], [156], [226], [227]:

$$\mathbf{G}_i = \begin{pmatrix} \eta_{11} & \eta_{12} & \eta_{13} \\ \eta_{21} & \eta_{22} & \eta_{23} \\ \eta_{31} & \eta_{32} & \eta_{33} \end{pmatrix} \quad (4.1)$$

unde i este valoarea indicelui orar al unui transformator, $i \in \{1, 2, 3, \dots, 12\}$.

Matricea \mathbf{G}_i poartă numele de *matrice de cod*. Elementele matricei de cod notate cu η_{ij} pot fi definite prin intermediul funcției sgn sau prin intermediul elementelor trivalente.

1.2.1 Modelul matematic al indicelui orar identificat prin intermediul funcției *signum*

Din punct de vedere matematic, polaritatea unui impuls de tensiune sau de curent, poate fi modelată de funcția sgn . În cazul modelării prin intermediul funcției sgn , aceasta este definită astfel [156], [157], [168]:

$$\text{sgn } a = \frac{a}{|a|} \quad (4.2)$$

Considerând $|a| = 1$, va rezulta:

$$a = \text{sgn } a \quad (4.3)$$

$$\text{sgn } a = \begin{cases} 1 & \text{când } a > 0 \\ -1 & \text{când } a < 0 \\ 0 & \text{când } a = 0 \end{cases} \quad (4.4)$$

În legătură cu matricele elementare sunt evidențiate și definite trei matrice definatorii \mathbf{M}_{100} , \mathbf{M}_{10} și \mathbf{M}_I , având forma:

$$\mathbf{M}_{100} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad \mathbf{M}_{10} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}; \quad \mathbf{M}_I = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Utilizând matricele \mathbf{M}_{100} , \mathbf{M}_{10} și \mathbf{M}_I , ecuația 1.5 devine:

$$\mathbf{G}_i = \text{sgn } T_a \cdot \mathbf{M}_{100} + \text{sgn } T_b \cdot \mathbf{M}_{10} + \text{sgn } T_c \cdot \mathbf{M}_I \quad (1.6)$$

unde $\text{sgn } T_a$, $\text{sgn } T_b$, $\text{sgn } T_c$ reprezintă polaritatea semnalelor.

În forma concentrată, ecuația anterioară, devine:

$$G_i = (\text{sgn}T_a \quad \text{sgn}T_b \quad \text{sgn}T_c) \cdot \begin{pmatrix} M_{100} \\ M_{10} \\ M_1 \end{pmatrix} \quad (1.7)$$

1.2.2 Modelul matematic al indicelui orar identificat prin intermediul algebrei elementelor trivalente

Din punct de vedere matematic polaritatea unui impuls de tensiune sau curent poate fi modelată prin funcția sgn [135], [226], [227], [228] conform relației 1.2.

Trecerea de la reprezentarea prin funcția sgn, la algebra elementelor trivalente, este exprimată prin relația [135], [228]:

$$\eta_{ij} = \begin{cases} 2 & \text{când } a > 0 \\ 1 & \text{când } a < 0 \\ 0 & \text{când } a = 0 \end{cases}$$

Ecuția de cod a unui indice orar oarecare, în cazul reprezentării prin :

$$G_i = (K_{T_a} \quad K_{T_b} \quad K_{T_c}) \cdot \begin{pmatrix} M_{100} \\ M_{10} \\ M_1 \end{pmatrix}$$

Capitolul 2

CONTRIBUȚII LA UNIFICAREA MODULUI DE DEFINIRE ȘI REPREZENTARE A MODELULUI MATEMATIC AL INDICELUI ORAR

2.1 CONSIDERAȚII GENERALE

Așa cum s-a precizat în primul capitol, modul de reprezentare al modelului matematic al indicelui orar depinde de forma de definire a variabilei η_{ij} , care poate fi realizată, prin intermediul funcției signum (a se vedea [156]), sau prin intermediul algebrei elementelor trivalente (a se vedea [135]).

Premisele unificării modului de reprezentare prin ecuația de cod sunt următoarele:

- în ambele variante de reprezentare, coeficienții ecuației de cod reprezintă, în fapt, elementele primei linii a matricei de cod;
- matricele definatorii M_{100} , M_{10} , M_1 , au forme identice pentru ambele variante de reprezentare.

Drept urmare, într-o primă variantă, forma unitară propusă de autoare este [225]:

$$\mathbf{G}_i = (q_a, q_b, q_c) \cdot \begin{pmatrix} M_{100} \\ M_{10} \\ M_1 \end{pmatrix}; \quad (2.1)$$

unde $q_a = \eta_{11}$; $q_b = \eta_{12}$; $q_c = \eta_{13}$; sunt definite, după caz, prin intermediul funcției sgn sau prin intermediul algebrei elementelor trivalente.

Având în vedere că, în fapt, coeficienții ecuației matriciale expuse anterior, reprezintă chiar elementele primei linii a matricei de cod, forma finală propusă este:

$$\mathbf{G}_i = (\eta_{11}, \eta_{12}, \eta_{13}) \cdot \begin{pmatrix} M_{100} \\ M_{10} \\ M_1 \end{pmatrix}; \quad (2.2)$$

unde: $\eta_{ij} \in \{-1, 1, 0\}$ în cazul definirii prin intermediul funcției sgn sau $\eta_{ij} \in \{1, 2, 0\}$ în cazul definirii prin intermediul algebrei elementelor trivalente.

2.4 CONSIDERAȚII ȘI CONTRIBUȚII PRIVIND UNIFICAREA MODULUI DE DEFINIRE ȘI REPREZENTARE A GRAFULUI DE COD ASOCIAT INDICELUI ORAR

Prin unificarea modelului de definire și reprezentare, pornind de la ecuația de cod prezentată în relația 2.4, rezultă forma generală unitară a grafului de cod, prezentată în figura de mai jos.

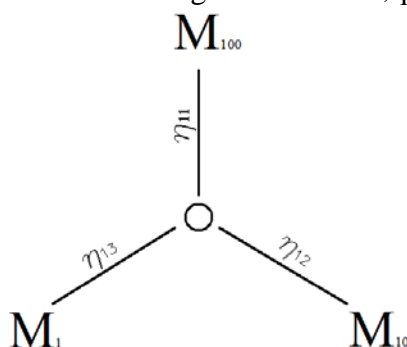


Fig. 2.3 Forma generală unitară a grafului de cod

Vârfurile sunt asociate matricelor definatorii M_{100} , M_{10} , M_1 , iar arcele sunt asociate coeficienților η_{11} , η_{12} , η_{13} , unde $\eta_{ij} \in \{-1, 1, 0\}$ în cazul reprezentării prin funcția sgn, iar în cazul reprezentării prin algebra elementelor trivalente, $\eta_{ij} \in \{1, 2, 0\}$.

Capitolul 3

CONSIDERAȚII PRIVIND ECUAȚIILE MODELULUI MATEMATIC AL INDICELUI ORAR

3.3 PERMUTAREA CIRCULARĂ A LEGĂTURILOR LA BORNELE TRANSFORMATORULUI

Studiul literaturii de specialitate [135], [156] arată că prin permutarea circulară a legăturilor la bornele unui transformator trifazat, putem obține modificarea indicelui orar cu ± 4 ore.

Considerând un transformator trifazat cu indicele orar inițial i , sunt posibile, în legătură cu aspectul menționat, situațiile prezentate în continuare:

- permutarea circulară directă (în sensul de succesiune a fazelor) a legăturilor la bornele înfășurării de înaltă tensiune (fig. 3.2a), ce va conduce la un indice orar $i + 4$;
- permutarea circulară inversă (în sens contrar celui de succesiune a fazelor) a legăturilor la bornele înfășurării de înaltă tensiune (fig. 3.2b), ce va conduce la un indice orar $i - 4$;
- permutarea circulară directă a legăturilor la bornele înfășurării de joasă tensiune (fig. 3.2c), ce va conduce la un indice orar $i - 4$;
- permutarea circulară inversă a legăturilor la bornele înfășurării de joasă tensiune (fig. 3.2d), ce va conduce la un indice orar $i + 4$.

3.4 INVERSAREA LEGĂTURILOR SAU A NOTAȚIILOR LA DOUĂ BORNE ALE ÎNFĂȘURĂRILOR DE ÎNALTĂ TENSIUNE, SIMULTAN CU INVERSAREA LEGĂTURILOR SAU A NOTAȚIILOR LA DOUĂ BORNE ALE ÎNFĂȘURĂRILOR DE JOASĂ TENSIUNE

Efectul inversării legăturilor între înfășurări și borne, fie prin inversarea notațiilor la borne vor conduce la același rezultat, după cum urmează:

- pentru un transformator cu indicele orar par, inversarea descrisă va conduce fie la un indice orar modificat cu ± 4 ore, fie la același indice orar;
- pentru un transformator cu indicele orar impar, inversarea descrisă va conduce fie la un indice orar modificat cu ± 2 ore, fie la un indice orar modificat cu 6 ore;

3.5 INVERSAREA ALIMENTĂRII UNUI TRANSFORMATOR TRIFAZAT

Inversarea alimentării unui transformator se reflectă în configurația matricei de cod prin modificarea liniilor în coloane.

3.6 STUDIUL INFLUENȚEI LEGĂTURILOR ÎN N ȘI Z ASUPRA VALORII INDICELUI ORAR AL UNUI TRANSFORMATOR TRIFAZAT

Conexiunea în triunghi poate fi obținută conectând, într-un circuit închis, sfârșitul unei faze cu începutul fazei următoare. Conectarea a două faze se poate realiza cu legături în N sau cu legături în Z. În cazul conexiunii zigzag, semibobinele unei faze (semibobinele plasate pe coloane diferite) sunt conectate cu legături în N sau cu legături în Z.

Considerând un transformator trifazat ce are conexiunea fie în triunghi, fie în zigzag, încercările experimentale arată că schimbarea legăturilor (din N în Z sau din Z în N), va determina modificarea indicelui orar cu ± 2 ore [135], [156].

3.7 INVERSARE DE TIP 3I

Printr-o inversare de tip 3I se înțelege: inversarea începutului cu sfârșitul la înfășurările de fază; inversarea sensului de bobinare la înfășurările de fază; inversarea notației extremităților la înfășurările de fază [135], [156].

Ecuția care exprimă acest tip de inversare este:

$$G_x = K_T \cdot G_i \quad (4.5)$$

Constanta K_T este 2 în cazul modelului matematic exprimat prin intermediul algebrei elementelor trivalente și 1 în cazul modelului realizat prin intermediul funcției signum, pentru toate cele trei cazuri de inversiune menționate anterior.

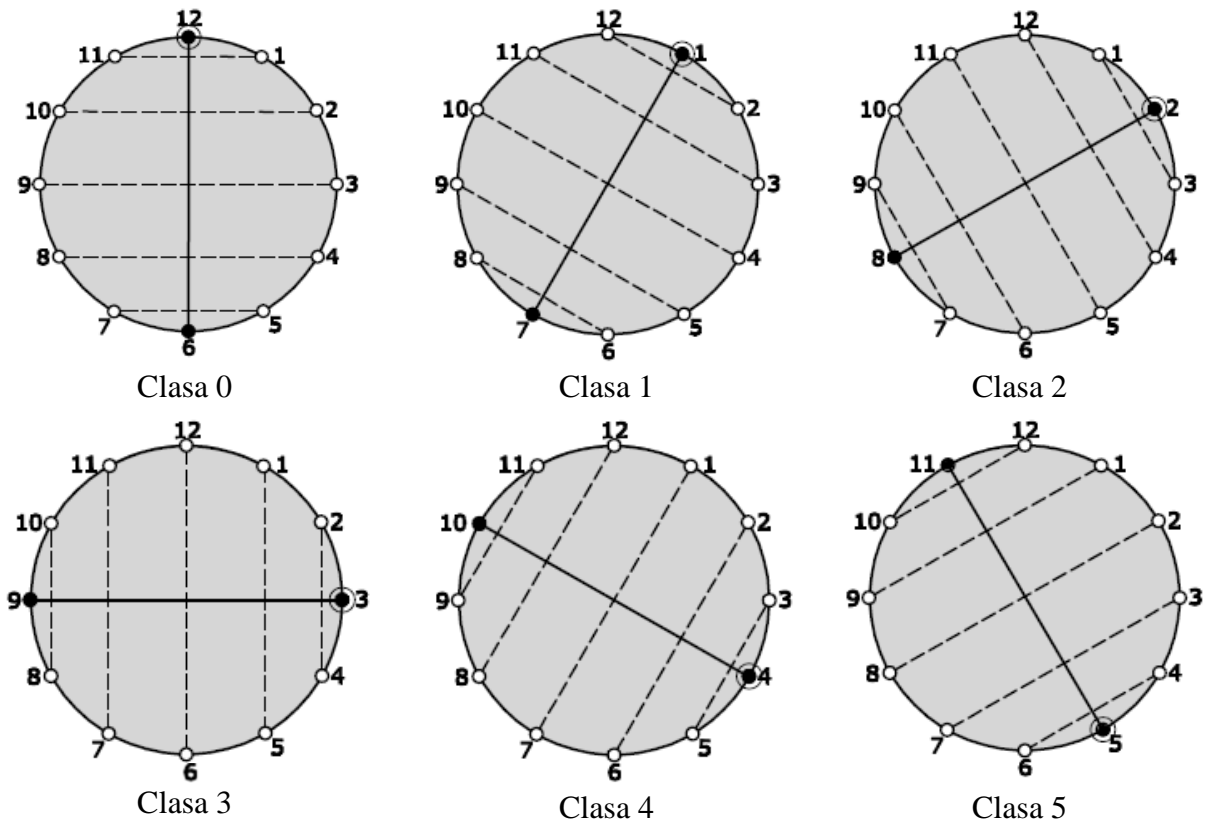
Capitolul 4

CONTRIBUȚII LA DIAGRAMA TRANSFORMĂRILOR ÎN VARIANTA BIPOLARĂ

4.2 REPREZENTAREA DIAGramei TRANSFORMĂRILOR ÎN VARIANTĂ BIPOLARĂ

Diagrama transformărilor realizată în soluția cu secvențe paralele este constituită din șase clase ilustrate în tabelul 4.1. 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 [225], [228], [229], [230], [232].

Tabelul 4.1 Diagrama transformărilor realizată în varianta bipolară



În continuare este analizată clasa 0 cu secvența 1-11 ilustrată în fig. 4.1.

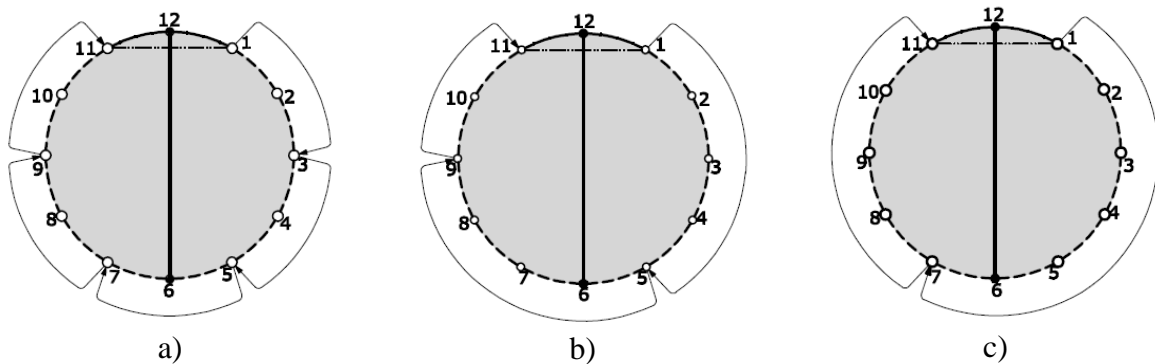


Fig. 4.1 Diagrama transformărilor clasa 0 – secvența 1-11

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: (— — — — —).

În figura 4.1 este analizată conversia $1 \rightarrow 11$ pe cele trei trasee menționate anterior, cele trei posibilități de conversie pe traseul curbiliniu lung.

Conversia $1 \rightarrow 11$, 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).

$$G_I = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \end{pmatrix}^T \rightarrow \begin{pmatrix} 2 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 2 \end{pmatrix} = [G_I]^T = G_{11} \quad (5.1)$$

Conversia $1 \rightarrow 11$, 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:

$$G_1 = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 0 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 2 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 \\ 1 & 2 & 0 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 2 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 2 \end{pmatrix} = \left[\left[\left[G_1 \right] \right]_{invab} \right]_{invBC} = G_{11} \quad (5.2)$$

unde: - *invab* reprezintă inversarea între înfășurările a, b de pe partea de joasă tensiune;
- *invBC* reprezintă inversiunea între înfășurările B și C de pe partea de înaltă tensiune.

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:

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

$$2 \cdot \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 2 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 0 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \end{pmatrix} = [G_5] \rightarrow 2 \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 1 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 2 \\ 2 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (5.3)$$

$$= [G_7] \rightarrow 2 \cdot \begin{pmatrix} 1 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 2 \\ 2 & 0 & 1 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 0 \end{pmatrix} = [G_9]$$

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

Conversia pe traseul curbiliniu lung în varianta 2 este constituit 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 o permutare directă pe partea de JT și de o schimbare a sensului de înfășurare, realizate pentru fiecare pas în parte:

$$\begin{aligned}
 G_1 = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \end{pmatrix} &\rightarrow \begin{pmatrix} \rightarrow 2 & 1 & 0 \leftarrow \\ 0 & 2 & 1 \leftarrow \\ 1 & 0 & 2 \leftarrow \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \end{pmatrix} = [G_5] \\
 &\rightarrow \begin{pmatrix} \rightarrow 1 & 0 & 2 \leftarrow \\ 2 & 1 & 0 \leftarrow \\ 0 & 2 & 1 \leftarrow \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 0 \end{pmatrix} = [G_9] \rightarrow
 \end{aligned} \tag{5.4}$$

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

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:

$$\begin{aligned}
 G_1 = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \end{pmatrix} &\rightarrow 2 \cdot \begin{pmatrix} \rightarrow 2 & 1 & 0 \leftarrow \\ 0 & 2 & 1 \leftarrow \\ 1 & 0 & 2 \leftarrow \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 2 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 2 \end{pmatrix} = \\
 &\left[2 \cdot \left[G_1 \right] \right] \downarrow = G_{11}
 \end{aligned} \tag{5.5}$$

Capitolul 5

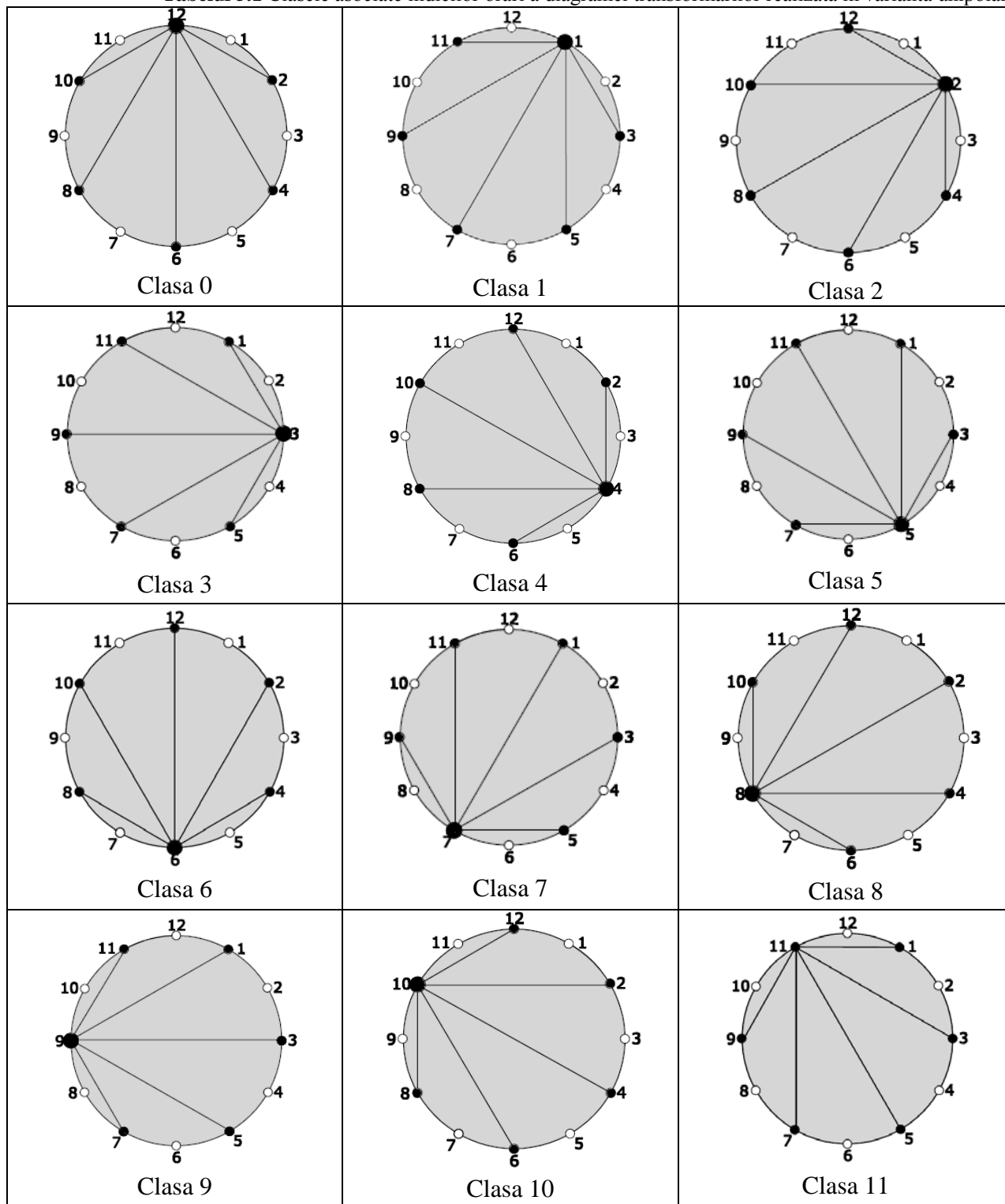
CONTRIBUȚII LA DIAGRAMA TRANSFORMĂRILOR ÎN VARIANTA UNIPOLARĂ

5.2 REPREZENTAREA DIAGramei TRANSFORMĂRILOR ÎN VARIANTĂ UNIPOLARĂ

Diagrama transformărilor cu secvențe în evantai este constituită din douăsprezece clase asociate indicilor orari (tabelul 5.1).

Fiecare clasă 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 [225], [228], [229], [230], [232].

Tabelul 5.1 Clasele asociate indicilor orari a diagramei transformărilor realizată în varianta unipolară



În fig. 5.1 este prezentat un exemplu în legătură cu clasa 1 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 indicilor, 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: (— — —).

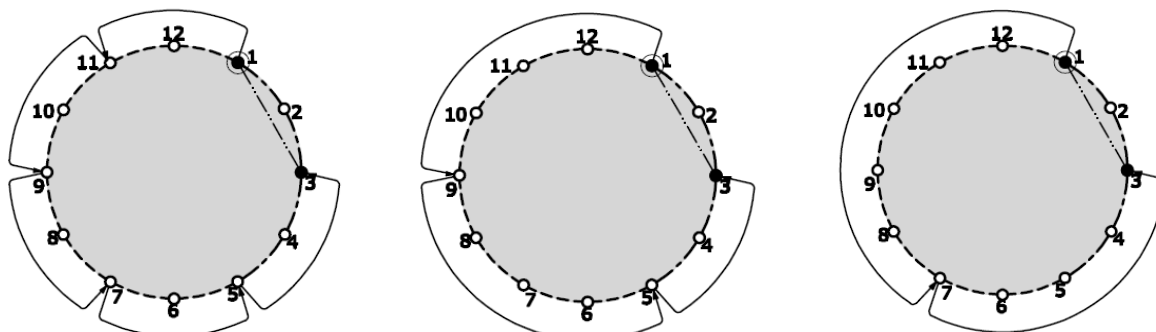


Fig. 5.1 Diagrama transformărilor clasei 1 secvența 1-3

1. Conversia 1 → 3 pe traseul rectiliniu este:

$$G_1 = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \end{pmatrix}^T \rightarrow \begin{pmatrix} 2 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 2 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 2 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 0 \end{pmatrix} = \left[\left[G_1 \right]^T \right] = G_3 \quad (5.1)$$

2. Conversia 1 → 3 pe traseul curbiliniu scurt este:

$$G_1 = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \end{pmatrix} \rightarrow 2 \cdot \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 2 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 0 \end{pmatrix} = 2 \cdot [G_1] \uparrow = G_3 \quad (5.2)$$

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.

$$\begin{aligned} G_1 &= \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \end{pmatrix} \rightarrow 2 \cdot \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 2 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 2 \end{pmatrix} = G_{11} \\ 2 \cdot \begin{pmatrix} 2 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 2 \end{pmatrix} &\rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 0 \end{pmatrix} = G_9 \rightarrow 2 \cdot \begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 0 \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} 1 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 2 \\ 2 & 0 & 1 \end{pmatrix} &= G_7 \rightarrow 2 \cdot \begin{pmatrix} 1 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 2 \\ 2 & 0 & 1 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \end{pmatrix} = G_5 \\ 2 \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \end{pmatrix} &\rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 2 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 0 \end{pmatrix} = G_3 = 2 \cdot \left[2 \cdot \left[2 \cdot \left[2 \cdot \left[2 \cdot \left[2 \cdot [G_1] \downarrow \right] \right] \right] \right] \right] = G_3 \end{aligned} \quad (5.3)$$

4. 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.

$$\begin{aligned}
 G_1 = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \end{pmatrix} &\rightarrow \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ \uparrow & 0 & 2 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 0 \end{pmatrix} = G_9 \\
 \begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 0 \end{pmatrix} &\rightarrow \begin{pmatrix} 1 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \end{pmatrix} = G_5 \rightarrow 2 \cdot \begin{pmatrix} \rightarrow & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 0 \\ \leftarrow & 0 & 2 & \leftarrow \end{pmatrix} \\
 &\rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 2 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 0 \end{pmatrix} 2 \cdot \left[\left[\left[\left[G_1 \right] \right] \right] \right] \downarrow = G_3
 \end{aligned} \tag{5.4}$$

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

$$G_1 = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \end{pmatrix} \rightarrow 2 \cdot \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 1 \\ \uparrow & 0 & 2 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 2 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 0 \end{pmatrix} = 2 \cdot \left[\left[\left[G_1 \right] \right] \right] = G_3 \tag{5.5}$$

Capitolul 6

APLICAȚIE INFORMATICĂ PENTRU IMPLEMENTAREA DIAGRAMEI TRANSFORMĂRILOR INDICELUI ORAR LA TRANSFORMATOARELE ELECTRICE TRIFAZATE

6.2 IMPLEMENTAREA APLICAȚIEI INFORMATICE PENTRU UTILIZAREA DIAGRAMEI TRANSFORMĂRILOR INDICILOR ORARI

Plecând de la cele două variante a diagramei transformărilor, prezentate în capitolele 4 și 5, aplicația realizată în LabView tratează toate variantele posibile de conversie dintr-un indice orar într-altul.

Aplicația realizată are un panou frontal ce cuprinde, în partea de sus două controale, ”Indice orar inițial” și ”Indice orar final”, pentru selectarea indicilor orari ce urmează a fi convertiți.

Câmpurile ”Matricea de cod II” și ”Matricea de cod FI” vor afișa matricele de cod aferente celor doi indici orari selectați de către utilizator. După afișarea matricelor de cod aferente celor doi indici orari, va fi ales traseul prin care se dorește conversia, selectând din fereastra pop-up una din variantele de transformare.

Un exemplu de realizare a transformării dintr-un indice orar într-altul este prezentat în figura 6.2. Așa cum se poate observa trecerea de la indicele orar 7 la indicele orar 3 pe traseul curbiliniu lung în varianta 3 (transformare din indicele orar 7 în indicele orar 11, urmată de transformarea din

indicele orar 11 în indicele orar 3), se realizează prin două permutări în sens direct a legăturilor la bornele transformatorului pe partea de înaltă tensiune.

Conform literaturii de specialitate, [106], [109], [185], 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.

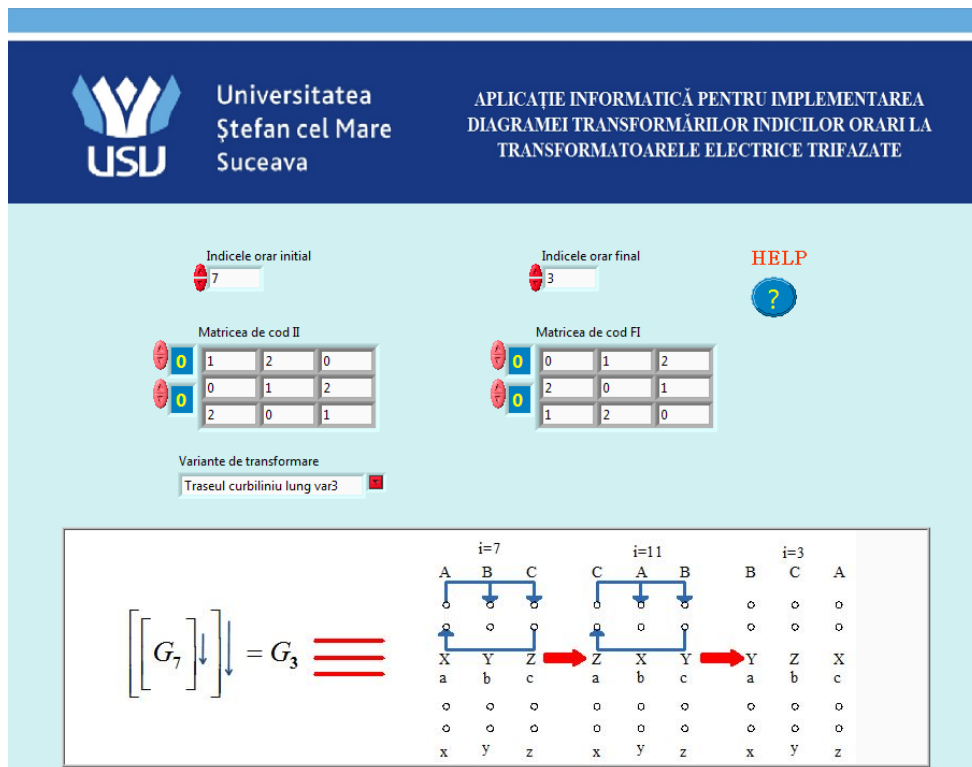


Fig. 6.2 Exemplu de generare a soluției trecerii dintr-un indice orar într-altul

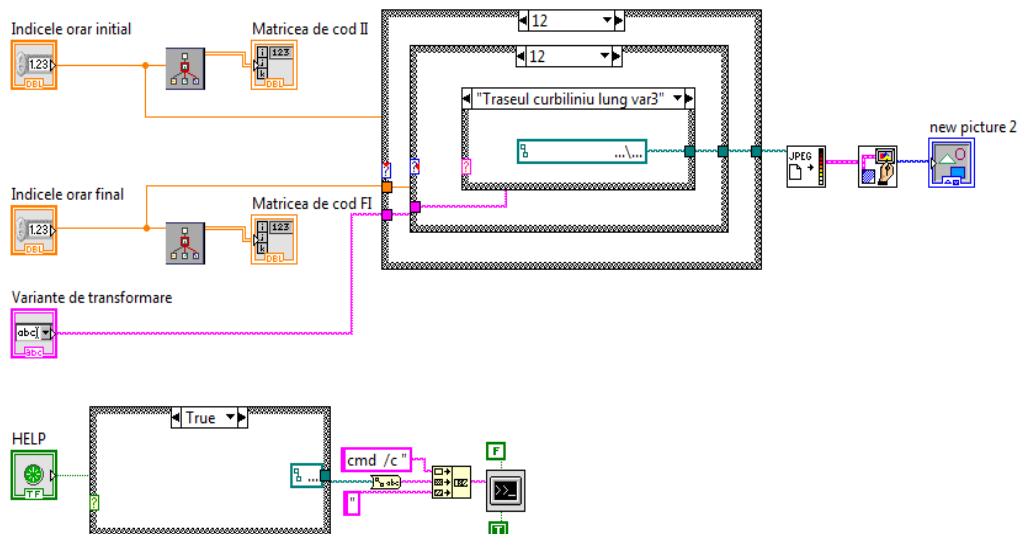


Fig. 6.4 Diagrama bloc a aplicației informatice pentru utilizarea diagramei transformărilor indicilor orari

În figura 6.4 este prezentată diagrama bloc a aplicației pentru conversia indicilor orari.

Fereastra diagramă are la bază trei structuri *Case* în care se tratează toate cazurile de conversie posibile. Două dintre structurile *Case* tratează câte douăsprezece cazuri aferente câmpurilor ”Indice orar inițial” respectiv, ”Indice orar final”, iar a treia structură *Case* întoarce rezultatul selecției din câmpul ”Variante de transformare”. Pe baza datelor obținute la ieșire de la cele trei structuri *Case*, programul concatenează adresa imaginii care urmează a fi afișată.

Capitolul 7

DISPOZITIV PENTRU DETERMINAREA INDICELUI ORAR LA TRANSFORMATOARELE ELECTRICE TRIFAZATE

[25], [135], [156]

7.2 IMPLEMENTAREA DISPOZITIVULUI PENTRU DETERMINAREA INDICILOR ORARI

Așa cum a fost prezentat în capitolul 1, pentru determinarea indicelui orar este necesară determinarea doar a primei linii a matricei de cod, adică utilizând varianta simplificată a metodei alimentării în curent continuu.

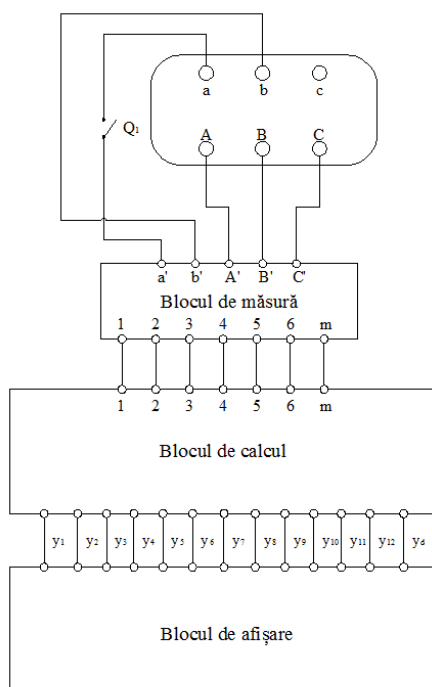


Fig. 7.1. Schema bloc a dispozitivului pentru determinarea indicelui orar

Schema bloc a dispozitivului pentru determinarea indicelui orar este prezentată în figura 7.1. Blocul de măsură este format dintr-o sursă de curent continuu de 5 V care alimentează circuitul secundar al

transformatorului, șase optocuploare, care comandă șase tranzistoare, protejate împotriva supratensiunilor de trei circuite de protecție.

7.3 ÎNCERCĂRI EXPERIMENTALE ALE DISPOZITIVULUI PENTRU DETERMINAREA INDICILOR ORARI

Pentru a verifica funcționarea dispozitivului proiectat, înfășurările unui transformator electric trifazat au fost conectate, astfel încât, să se obțină grupele de conexiuni D_d , Y_y , D_z , Y_d , D_y , Y_z , iar legăturile la borne au fost inversate, permutate, au fost inversate începuturile cu sfârșiturile înfășurărilor, pentru a obține cei doisprezece indici orari.

În figura 7.6 este prezentat standul de încercare a dispozitivului pentru determinarea indicelui orar la transformatoarele electrice trifazate.



Fig. 7.6 Stand experimental pentru verificarea indicelui orar la transformatoarele electrice trifazate

Capitolul 8

CONCLUZII GENERALE

Teza de doctorat „*Contribuții teoretice la diagrama transformărilor asociată studiului indicelui orar al grupei de conexiuni la transformatoarele electrice trifazice*”, reprezintă o continuare a cercetărilor în domeniul grupelor de conexiuni și a modelării matematice a indicelui orar la transformatoarele electrice trifazate în cadrul Centrului de Cercetare EMAD, al Universității ”Ștefan cel Mare ” din Suceava.

Capitolul de față cuprinde principalele concluzii în legătură cu stadiul actual al cercetărilor în domeniul tezei de doctorat, contribuțiile teoretice și experimentale ale autoarei și principalele direcții de cercetare în vederea aprofundării domeniului cercetat.

8.1 CONTRIBUȚIILE TEORETICE ALE LUCRĂRII

✓ Prima dintre contribuțiile teoretice, a tezei de doctorat, este legată de realizarea unui documentat studiu privitor la modelul matematic al indicelui orar reprezentat prin intermediul

funcției signum și prin intermediul algebrei elementelor trivalente, pornind de la metoda alimentării în curent continuu, pentru exprimarea polarității semnalelor în raport cu ambele borne ale înfășurărilor implicate în măsurători.

✓ În cadrul studiului sunt expuse următoarele posibilități de modelare matematică pentru indicele orar:

- matricea de cod;
- ecuația de cod;
- graful de cod;
- reprezentarea grafo-analitică.

✓ În cadrul studiului s-au realizat, având în vedere tema tezei de doctorat, analogii între modelul matematic al indicelui orar exprimat printr-o ecuație matriceală și modelul matematic al indicelui orar exprimat prin intermediul teoriei grafurilor.

✓ Varianta unificată propusă și evaluată de către autoare certifică și validează modelele matematice cercetate de predecesorii săi și totodată clarifică și prezintă detaliat valabilitatea modelului pentru toate posibilitățile de schimbare a unui indice orar în altul, fie că această modificare se face printr-o permutare, inversarea începutului cu sfârșitul, inversarea legăturilor la două borne. De asemenea, varianta unificată analizată și explicată în teză comparativ cu celelalte soluții, prezintă avantajul că este mult mai intuitivă și clar definită.

✓ Autoarea a identificat o formă general-unitară a modelului matematic de definire a indicelui orar, formă valabilă atât în cazul folosirii funcției signum, cât și atunci când este utilizată algebra elementelor trivalente.

✓ Modul de reprezentare prin varianta unificată este definit de coeficienții η_{11} , η_{12} , η_{13} ai ecuației de cod, care în fapt, reprezintă elementele primei linii a matricei de cod și care se regăsesc atât în modelarea prin funcția signum cât și în modelarea algebrei elementelor trivalente.

✓ Printre contribuțiile teoretice, trebuie menționată și identificarea legăturii dintre configurația matricei de cod și configurația conexiunii la bornele unui transformator trifazat, care stau la baza identificării și realizării diagramei transformărilor.

✓ Investigațiile teoretice au cuprins și identificarea ecuațiilor modelului matematic a indicelui orar, corespunzătoare următoarelor modificări ce pot apărea în schema de conexiuni a unui transformator trifazat:

- permutare circulară a legăturilor la înfășurărilor de înaltă sau joasă tensiune;
- inversarea legăturilor la o pereche de borne a înfășurării primare, urmată de inversarea legăturilor de borne a înfășurării secundare;
- modificarea legăturilor din "N" în "Z" sau din "Z" în "N";
- inversarea alimentării transformatorului;
- inversarea de tip 3I (sensului de bobinare, inversarea începutului cu sfârșitul înfășurării, inversarea notațiilor extremităților înfășurării de fază).

✓ În cadrul tezei de doctorat s-au elaborat, realizat și cercetat două variante de construcție a diagramei transformărilor, și anume, varianta cu secvențe paralele numită și diagrama bipolară și varianta cu secvențe în evantai numită și diagrama unipolară.

✓ Autoarea, prin configurația și componența celor două diagrame, a prezentat toate posibilitățile de modificare a indicelui orar survenite prin orice tip de modificare realizat la bornele transformatorului.

✓ Ipoteza trecerii de la un indice orar la altul, a fost investigată, pe trei trasee distincte și anume: un traseu rectiliniu corespunzător segmentului ce unește indicii orari între care se realizează conversia, un traseu curbiliniu scurt și un traseu curbiliniu lung, care, reprezintă în fapt arcele de cerc situate între cei doi indici orari aflați în conversie.

✓ Diagrama transformărilor, fie ea în variantă unipolară sau în variantă bipolară, a fost realizată respectând regula că doi indici orari pot fi convertiți unul într-altul, doar dacă aparțin aceleiași grupe (grupa indicilor orari impari și grupa indicilor orari pari).

✓ Diagrama bipolară, realizată pe principiul secvențelor paralele evidențiază existența a șase clase de conversie caracterizate, fiecare, prin existența a doi poli principali, plasați pe cercul indicilor orari în poziții diametral opuse, ce sunt uniți prin intermediul unei axe polare.

Diagrama bipolară identificată este completată pentru fiecare clasă de conversie și cu cinci secvențe care unesc, fiecare, doi indici orari ce pot fi convertiți unul într-altul. Aceste cinci secvențe sunt reprezentate grafic prin niște linii paralele între ele și perpendiculare pe axa polară a clasei.

✓ Configurația diagramei transformărilor în cea de-a doua variantă de realizare, pornește de la existența unui pol radiant, plasat pe cercul indicilor orari de la care pleacă mai multe trasee rectilinii către indicii orari în care poate fi convertit indicele plasat pe polul radiant.

✓ Având la bază această ipoteză de conversie autoarea tezei de doctorat a identificat existența a douăsprezece clase de conversie, șase clase de conversie aferente indicilor orari impari și șase clase corespunzătoare indicilor orari pari.

✓ Pe baza celor două variante constructive ale diagramei transformărilor, autoarea a constatat că această diagramă reflectă fidel toate proprietățile grupelor de conexiuni a transformatoarelor electrice trifazate și recomandă utilizarea ei în vederea studiului posibilităților de modificare a grupelor de conexiuni având în vedere că una din condițiile existențiale pentru cuplarea în paralel a două sau mai multe transformatoare electrice trifazate o constituie egalitatea indicelui orar a grupelor de conexiuni a transformatoarelor implicate în cuplaj.

8.2 CONTRIBUȚIILE EXPERIMENTALE ALE LUCRĂRII

✓ Pe baza rezultatelor teoretice obținute, autoarea tezei de doctorat, și-a extins contribuțiile și în partea experimentală a domeniului de studiu, realizând o aplicație în mediul de programare LabView, pentru studiul posibilității de modificare a grupelor de conexiuni.

✓ Aplicația LabView realizată, valorifică contribuțiile teoretice ale autoarei prin faptul că, prin intermediul unei interfețe simple și intuitive, permite utilizatorului care poate fi electrician, specialist în energetică și instalații electrice, inginer, student, cercetător, să obțină rezultatul dorit atunci când face o conversie a indicelui orar și îi permite să afle care sunt modificările necesare pentru intervenția asupra schemei de conexiuni.

✓ Aplicația realizată de autoare permite utilizatorului acesteia, printr-un meniu special conceput, găsirea rapidă a unei soluții practice pentru a egaliza într-un timp relativ redus indicele orar a două transformatoare trifazate.

✓ Aportul teoretic adus de autoare în domeniu a fost transpus practic și prin proiectarea, realizarea și experimentarea unui dispozitiv destinat determinării facile a indicelui orar.

✓ Dispozitivul destinat determinării indicelui orar a transformatoarelor electrice trifazate, funcționează utilizând metoda alimentării în curent continuu și prezintă avantajul

conectării directe la bornele transformatorului investigat, oferind într-un timp scurt informații necesare pentru stabilirea indicelui orar.

✓ Dispozitivul proiectat respectă fidel pașii caracteristici diagramei transformărilor identificată în cercetările teoretice întreprinse de către autoare.

8.3 DIRECȚII DE CERCETARE PENTRU VIITOR

Având la bază rezultatele obținute în urma cercetărilor întreprinse de autoarea tezei de doctorat, s-au evidențiat următoarele direcții de cercetare în domeniu:

- Inițierea unui studiu privind diagnosticarea defectelor la transformatoarele electrice trifazate, pornind de la analiza semnalelor ce intră în componența codurilor aferente indicilor orari.
- Conceperea unui algoritm de modelare pentru diagnosticarea erorilor de montaj și a defectelor în realizarea conexiunilor transformatoarelor electrice utilizând codificarea numerică.
- Îmbunătățirea designului, facilităților, proprietăților și tehnicii utilizate în cadrul dispozitivului destinat determinării indicelui orar.

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- [23]. CERNOMAZU, D. *Avariile transformatoarelor electrice – Colecție de fotografii realizate la URTAE Roman în perioada 1970-1990.*
- [44]. CERNOMAZU, D. *Contribuții la realizarea unor transformatoare pentru reglarea continuă a tensiunii sub sarcină – Teză de doctorat.* Iași: Institutul Politehnic Iași, Facultatea de Electrotehnică, 1992, p.28, p.176-177.
- [45]. CERNOMAZU, D.; PEREBICEANU, M.; UNGUREANU-MATEOAEA, C. *Considerații asupra posibilităților de modificare a indicelui orar al grupelor de conexiuni la transformatoarele trifazate prin inversarea legăturilor la borne.* In: Tehnologii de produse noi în construcția de mașini. Secțiunea V. Inginerie și Management Industrial. Tehnomus II, Suceava: Universitatea „Ștefan cel Mare” Suceava, Facultatea de Inginerie Mecanică, 4-6 iunie, 1993, p.347-353.
- [48]. CERNOMAZU, D.; MANDICI, L.; MĂCINCĂ, I.; et al. *Cercetări privind metodele pentru verificarea indicelui orar al grupelor de conexiuni la transformatoarele electrice – Studiul comparativ al metodelor pentru verificarea indicelui orar al grupelor de conexiuni.* Suceava: Universitatea “Ștefan cel Mare”, Facultatea de Inginerie Electrică, Contract de Cercetare Nr. 1096B/1993, Faza 1, Beneficiar: Ministerul Cercetării și Tehnologiei, 1993.
- [50]. CERNOMAZU, D.; MANDICI, L.; COJOCARIU, I.; et al. *Cercetări privind verificarea indicelui orar al grupelor de conexiuni la transformatoarele electrice – Identificarea grupelor de conexiuni și posibilitățile de modificare a acestora.* Suceava: Universitatea “Ștefan cel Mare”, Facultatea de Inginerie Electrică, Contract de Cercetare Nr.1096B/1994, Faza 2, Beneficiar: Ministerul Cercetării și Tehnologiei, 1994.
- [51]. CERNOMAZU, D.; MANDICI, L.; POPA, C. *Influența comutatoarelor de prize asupra fiabilității transformatoarelor de medie putere.* Suceava: Universitatea „Ștefan cel Mare”, Facultatea de Inginerie Electrică, Contract de Cercetare Științifică Nr.6E/1994, Beneficiar: RENEL, F.R.E. Piatra-Neamț, 1994.
- [52]. CERNOMAZU, D.; MANDICI, L.; GRAUR, A.; et al. *Aparat pentru verificarea indicelui orar, al grupei de conexiuni, la transformatoarele trifazate.* Brevet RO Nr.109900.
- [53]. 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: Coordonateur: le professeur Philippe Delarue, 1995.
- [54]. 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.
- [91]. FOȘALĂU, C. *Introducere în instrumentația virtuală* Iași: Editura CERMI, 2010.
- [136]. POIENAR, N.; CREȚU, N. C.; CRAP, G.; et. al. *Model demonstrativ.* Cerere de Brevet de Invenție nr. A/00494 din 27.06.2006, OSIM București.
- [137]. POIENAR, N.; CREȚU, C.; GUGOASA, M. et. al. *Indicator de succesiune a fazelor.* Brevet de invenție RO nr. 122939 B1. 30.04.2010, OSIM București.
- [141]. POIENAR, N. ; PRODAN, Cr.; CREȚU, N.C.; et. al. *The particularity study about „Y- connection with unequal bracket”.* In: International Symposium on Electrical Engineering and Energy Converters, Suceava, 27-28 september, 2007.
- [142]. POIENAR, N. *Stadiul actual al soluțiilor în domeniul conexiunilor speciale ale transformatoarelor.* Proiect de cercetare științifică pentru promovarea în programul de cercetare științifică la doctorat. Suceava, 2007.
- [143]. POIENAR, N. *Studiu privind stadiul actual al soluțiilor în domeniul conexiunilor și grupelor de conexiuni speciale la transformatoarele electrice.* Referat I în cadrul stagiului de pregătire pentru doctorat. Suceava, 2008.
- [144]. POIENAR, N. *Contribuții teoretice și experimentale preliminare în domeniul conexiunilor și grupelor de conexiuni speciale la transformatoarele electrice.* Referat II în cadrul stagiului de pregătire pentru doctorat. Suceava, 2008.
- [145]. POIENAR, N.; PRODAN, Cr. *Studiul influenței configurației sistemului magnetic al transformatoarelor electrice trifazate asupra codului indicelui orar al grupei de conexiuni.* In: *ELSTUD'2008 Sesiune de comunicări științifice studențești – Suceava 2008.* Suceava, România, Volum1, Număr 2, Mai, 2008.
- [146]. POIENAR, N.; PRODAN, Cr.; CRETU, N.C.; OLARIU, E. D.; CERNOMAZU, D. *Considerations upon the connections established between the dependent variables associated to the clock hour figures that are possible at the three-phases transformer* În: *Buletinul Institutului Politehnic Iași, Tomul LIV (LVIII), Fasc.4. Electrotehnică, Energetică, Electronică. 5-th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICAL AND POWER ENGINEERING- EPE 2008, Iași, România, 03-05 Octombrie, 2008, p.833-838. ISSN:1223-8139.*
- [147]. POIENAR, N. *Stabilirea modelului matematic al indicelui orar prin intermediul algebrei elementelor trivalente.* In: *ELSTUD'2009 Sesiune de comunicări științifice studențești – Suceava 2009.* Suceava, România, Volum1, Număr 3, Mai, 2009.
- [148]. POIENAR, N.; CRETU, N.C.; OLARIU, E. D. CERNOMAZU, D.; *The algebra applications of trivalent elements for the three-phases transformer clock hour figure.* În: *7- th International Conference On Electromechanical and Power Systems, vol. II. Iași, România: october 8-9, 2009, p. 266-269. ISBN 978-606-520-623-6.*

Contribuții teoretice la diagrama transformărilor asociată studiului indicelui orar al grupelor de conexiuni la transformatoarele electrice trifazice

- [149]. POIENAR, N.; NEGRU, M.B.; CREȚU, N. C. *Indicator de sens*. Brevet de Invenție RO nr. 122938 B1, 30.04.2010, OSIM București.
- [150]. POIENAR, N.; CREȚU, N.C.; OLARIU, E. D.; CERNOMAZU, D. *The contribution concerning the algebra applications of trivalent elements in the study of possibilities for modifying the clock hour figure to the connection group*, In: 3rd International Symposium on Electrical Engineering and Energy Converters ELS 2009. Suceava, România, 23-24 septembrie 2009, p.
- [151]. POIENAR, N.; CREȚU, N. C.; CERNOMAZU, D.; *Introducing the mathematical model of the clock hour figure through trivalent elements algebra*. In: 7th International Conference on Electromechanical and Power Systems – SIELMEN 2009, ISBN 978- 606-520-623-6, Iași, 8th - 9th of October 2009, p. 284 - 287.
- [152]. POIENAR, N.; CREȚU, N.C.; OLARIU, E. D. CERNOMAZU, D.; *The graphical representation of clock hour figure mathematical model through the algebra trivalent elements*, În: 7-th International Conference on Electromechanical and Power Systems SIELMEN 2009 vol. II, Iași, România: october 8-9, 2009, p. 280-283. ISBN 978-606- 520-623-6.
- [156]. PRODAN, Cr. *Contribuții teoretice și experimentale privind conexiunile și grupele de conexiuni la transformatoarele electrice de forță – Teză de doctorat*. Suceava: Universitatea “Ștefan cel Mare”, Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor, 2008.
- [157]. PRODAN, Cr. *Contribuții teoretice și experimentale preliminare privind conexiunile și grupele de conexiuni la transformatoarele electrice trifazate - Referat III în cadrul stagiului de pregătire pentru doctorat*. Suceava: Universitatea “Ștefan cel Mare”, Facultatea de Inginerie Electrică, 2005.
- [158]. PRODAN, Cr. *Stadiul actual al metodelor și mijloacelor pentru măsurarea raportului de transformare și pentru identificarea indicelui orar la transformatoarele electrice de forță - Referat II în cadrul stagiului de pregătire pentru doctorat*. Suceava: Universitatea “Ștefan cel Mare”, Facultatea de Inginerie Electrică, 2004.
- [159]. PRODAN, Cr. *Realizări și tendințe actuale în construcția transformatoarelor electrice cu referiri speciale la înfășurări, conexiuni și grupe de conexiuni - Referat I în cadrul stagiului de pregătire pentru doctorat*. Suceava: Universitatea “Ștefan cel Mare”, Facultatea de Inginerie Electrică, 2004.
- [160]. PRODAN, Cr. *Studiul conexiunilor și al grupelor de conexiuni la transformatoarele trifazate - Referat de Cercetare Științifică pentru concursul de admitere la doctorat*. Suceava: Universitatea “Ștefan cel Mare”, Facultatea de Inginerie Electrică, octombrie, 2001.
- [161]. PRODAN, Cr.; SAVU, E.; NEGRU, M. B.; et al. *Contribution sur la détermination de l'indice horaire d'un transformateur triphasé par la méthode du courant continu*. In: *Proceedings of the 6th International Conference on Development and Application Systems*. Suceava, 23 – 25 May, 2002, p.158 – 163.
- [162]. PRODAN, Cr.; DAVID, V. C. *Aparat pentru identificarea indicelui orar la transformatoarele electrice. - Cerere de brevet de invenție nr. A/01155/2006*, În: B.O.P.I. nr. 6, 2006, OSIM București, p.41.
- [163]. PRODAN, Cr. *Aparat pentru determinarea indicelui orar al grupei de conexiuni. - Cerere de Brevet de Invenție nr. A/00182/2006*, În: B.O.P.I. nr.10, 2006, OSIM București, p.30.
- [164]. PRODAN, Cr. *Grupometru. - Cerere de Brevet de Invenție nr. A/00374/2006*, În: B.O.P.I. nr.10, 2006, OSIM București, p.31.
- [165]. PRODAN, Cr. *Decalor de unghi. - Cerere de Brevet de Invenție nr. A/00793/2006*, În: B.O.P.I. nr.3, 2007, OSIM București, p.35.
- [166]. PRODAN, Cr. *Transformator de separație. - Cerere de Brevet de Invenție nr. A/00794/2006*, În: B.O.P.I. nr.3, 2007, OSIM București, p.31.
- [167]. PRODAN, Cr.; CERNOMAZU, D.; UNGUREANU, C. *Contributions to perfecting an graphic – analytical variant of the method of continuous current destined to the identification of the hour index of a three – phase transformer*. In: *ELS 2005 – SYMPOSIUM ON UNCONVENTIONAL ELECTRICAL MACHINES*. Suceava, 22 – 23 September, 2005, p.7-9.
- [168]. PRODAN, Cr.; CERNOMAZU, D.; UNGUREANU, C. *The mathematical pattern of the hour index at the three-phase transformers. Considerations on the dephasing matrix*. In: *5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTROMECHANICAL AND POWER SYSTEMS – SIELMEN 2005*. Chișinău, Republic of Moldova, October 6 - 8, 2005, p.417 – 419.
- [169]. PRODAN, Cr.; OLARIU, E. D.; CERNOMAZU, D.; et al. *Contribution concerning oscilloscopic method for checking the index of hours at three-phased electric transformers*. In: *5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTROMECHANICAL AND POWER SYSTEMS – SIELMEN 2005*. Chișinău, Republic of Moldova, October 6-8, 2005, p.420 – 423.
- [170]. PRODAN, Cr.; OLARIU, E. D.; CERNOMAZU, D.; et al. *Contribution concerning errors identification for performing the connections at three-phased electric transformers*. In: *5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTROMECHANICAL AND POWER SYSTEMS – SIELMEN 2005*. Chișinău, Republic of Moldova, October 6-8, 2005, p.424 – 427.
- [171]. PRODAN, Cr. *Aparat pentru identificarea indicelui orar la transformatoarele electrice de forță. - Cerere de Brevet de Invenție nr. A/00373/2006*, În: B.O.P.I. nr.10, 2006, OSIM București, p.31.
- [172]. PRODAN, Cr. *Comutator multiplu cu 12 poziții – Cerere de brevet de invenție nr. A/ /2008*. OSIM București.
- [173]. PRODAN, Cr. *Aparat pentru identificarea indicelui orar la transformatoare electrice de forță*. București: Dosar OSIM nr. a 2005 00055 A2, Rezumat B.O.P.I. nr.9, 2006, p.21.
- [174]. PRODAN, Cr.; CERNOMAZU, D.; POIENAR, N. *The particularity study about „Y – connection with unequal bracket”*. In: *6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTROMECHANICAL AND POWER SYSTEMS – SIELMEN 2007*. Chișinău, Republic of Moldova, October 4- 6, 2007, p. 97 – 100.
- [175]. PRODAN, Cr.; POIENAR, N. *Contribuții la adaptarea metodei alimentării în curent continuu, pentru tratarea punctului „0”*. In: *ELSTUD'2008 Sesiune de comunicări științifice studențești – Suceava 2008*. Suceava, România, Volum 1, Număr 2, Mai, 2008.

Rezumatul tezei de doctorat

- [176]. PRODAN, Cr.; POIENAR, N. *Contribuții privind ecuațiile modelului matematic al indicelui orar*. In: *ELSTUD'2008 Sesiune de comunicări științifice studențești – Suceava 2008*. Suceava, România, Volum1, Număr 2, Mai, 2008.
- [177]. PRODAN, Cr.; POIENAR, N. *Contribuții privind ecuațiile de cod folosite pentru identificarea indicelui orar a unui transformator trifazat*. In: *EPE 2008, A 5-a Conferință internațională de inginerie electrică și energetică – Iași 2008*. Iași, România, Octombrie, 2008.

Lista lucrărilor personale publicate în domeniul tezei de doctorat

- [224]. **POIENAR, M.**; ȚANȚA, O. M.; ROMANESCU, A. N.; OLARIU, E. D.; UNGUREANU, C.; NIȚAN, I.; CERNOMAZU, D. *Dispozitiv didactic ajutător*. Cerere de Brevet de Invenție cu depozitul național reglementar în curs de constituire la OSIM.
- [225]. **POIENAR, M.**; GEORGESCU, D. Șt.; ȚANȚA, O. M.; NIȚAN, I.; OLARIU, E. D.; CERNOMAZU, D. *Considerations concerning matrix diagram transformations associated with mathematical model study of a threephase transformer*. In: *Analele Universității „Eftimie Murgu” Reșița, Fascicula de Inginerie, anul XXI, nr. 2, 2014, p. 111 – 122, ISSN : 1453-7397*.
- [226]. **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*.
- [227]. **POIENAR, M.**; ȚANȚA, O. M.; ROMANESCU, A. N.; CERNOMAZU, D. *Contributions concerning the clock hour figure mathematical model graphical defining through the trivalent variable of lagrange matrix*. In: *8th International Conference on Electrical and Power Engineering, 16th – 17th October, 2014, Iași, România*.
- [228]. **POIENAR, M.**; MILICI, D. L.; ȚANȚA, O. M.; OLARIU, E. D. *LabView application for the clock hour number transformation diagram*. In: *13th International Conference on Development and Application Systems, 19th – 21th May, 2016, Suceava, România*.
- [229]. **POIENAR, M.**; ȚANȚA, O. M.; OLARIU, E. D.; NIȚAN, I.; ROMANESCU, A. N.; CENUȘĂ, M. *Considerații privind posibilitatea elaborării unei diagrame a transformărilor asociată modelului matematic al indicelui orar la transformatoarele trifazate*. In: *International Symposium on Electrical Engineering and Energy Converters – ELS 2015, 1 October 2015, Suceava, Romania*.
- [230]. **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: *10th International Conference and Exhibition on Electromechanical and Power System, 8-9 October, 2015, Chișinău, Rep. of Moldova*.
- [231]. **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.
- [232]. **POIENAR, M.** *Contribuții teoretice preliminare privind diagrama transformărilor asociată studiului indicelui orar al grupelor de conexiuni la transformatoarele electrice trifazate – Raport II în cadrul stagiului de pregătire pentru doctorat*. Suceava: Universitatea „Ștefan cel Mare”, Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor, octombrie, 2015.
- [233]. **POIENAR, M.** *Conexiunile și grupele de conexiuni speciale utilizate la transformatoarele electrice de putere - Referat de Cercetare Științifică pentru concursul de admitere la doctorat*. Suceava: Universitatea “Ștefan cel Mare”, Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor, septembrie, 2013.
- [234]. PRODAN, C; **POIENAR, M.**; ȚANȚA, O. M.; ROMANESCU, A. N.; GEORGESCU, D. Șt.; CERNOMAZU, D. *Contributions concerning the clock hour figure utilization for the power transformer diagnostic*. In: *Analele Universității „Eftimie Murgu” Reșița, Fascicula de Inginerie, anul XXI, nr. 2, 2014, p. 145 – 156, ISSN: 1453-7397*.
- [235]. BARBĂ, N.; CERNOMAZU, D.; COJOCARIU, I.; GRAUR, A.; IRIMIA, D.; MANDICI, L.; MĂCINCĂ, I.; MILICI, L. D.; MILICI, M. R.; **POIENAR, M.**; POIENAR, N.; POPA, C.; PRODAN, C. *Modelarea numerică a indicelui orar al transformatoarelor electrice de putere*, București: Editura A.G.I.R., ISBN 978-973-720-6473, august 2016.