

# **METODĂ FUZZY-CLUSTERING DE CLASIFICARE A GOLURILOR DE TENSIUNE TRIFAZATE DIN REȚEAUA ELECTRICĂ**

Teză destinată obținerii  
titlului științific de doctor inginer  
la  
Universitatea Politehnica Timișoara  
în domeniul INGINERIE ENERGETICĂ  
de către

**ing. Monica Mirela Molnar-Matei**

Președinte:

Conducător științific:

Referenți științifici:

Prof.univ.dr.ing. Ștefan KILYENI

Prof.univ.dr.ing. Flavius Dan ȘURIANU

Prof.univ.em.dr.ing. Mircea EREMIA

Prof.univ.dr.ing. Ioan FELEA

Prof.univ.dr.ing. Mihai MOGA

Ziua susținerii tezei: 28.III.2014

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- |   |  |
|---|--|
| 1. Automatică                               | 9. Inginerie Mecanică                      |
| 2. Chimie                                   | 10. Știința Calculatoarelor                |
| 3. Energetică                               | 11. Știința și Ingineria Materialelor      |
| 4. Ingineria Chimică                        | 12. Ingineria sistemelor                   |
| 5. Inginerie Civilă                         | 13. Inginerie energetică                   |
| 6. Inginerie Electrică                      | 14. Calculatoare și tehnologia informației |
| 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații | 15. Ingineria materialelor                 |
| 8. Inginerie Industrială                    | 16. Inginerie și Management                |

Universitatea Politehnica Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul Școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2014

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității Politehnica Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,  
Tel./fax 0256 403823  
e-mail: editura@edipol.upt.ro

## Cuvânt înainte

Teza de doctorat reprezintă rezultatul activității mele de documentare și cercetare din cadrul Departamentului de Electroenergetică al Universității Politehnica Timișoara.

Pașii realizării acestei cercetări i-am efectuat sub îndrumarea domnului Prof. univ.dr.ing. Flavius Dan ȘURIANU, care mi-a oferit privilegiul de a colabora în vederea elaborării acestei lucrări și ale cărui sfaturi extrem de competente și înțelepte au fost esențiale atât în viața științifică, cât și în viața particulară, astfel doresc, pe această cale, să-i transmit sincere mulțumiri pentru încrederea și sprijinul acordat pe tot parcursul cercetărilor și studiilor doctorale.

Recunoștința mea se îndreaptă spre colectivul Departamentului de Electroenergetică, pentru suportul permanent, și colaborarea avută în elaborarea mai multor lucrări științifice în domeniul tezei. Speciale mulțumiri se aduc domnului Prof.univ.dr.ing. Stefan KILYENI care a dat dovadă de o capacitate organizatorică deosebită.

Cu deosebită considerație și stimă, doresc să mulțumesc domnului director dr.ing. Nicolae CHIOSA, C.N.T.E.E. Transelectrica S.A., pentru disponibilitatea dânsului și pentru arhiva de măsurători, aceasta fiind esențială în elaborarea acestei teze.

De asemenea mulțumirile mele se adresează și echipei din cadrul proiectului Burse Doctorale UPT 2010 care au facilitat condițiile financiare pentru a putea să îmi desfășor activitatea în această perioadă de trei ani.

Se aduc mulțumiri domnilor profesori Prof.univ.em.dr.ing. Mircea EREMIA (Universitatea Politehnică București), Prof.univ.dr.ing. Ioan FELEA (Universitatea Politehnică Oradea) și Prof.univ.dr.ing. Mihai MOGA (Universitatea Politehnică Timișoara) pentru onoarea care mi-au făcut-o acceptând să facă parte din comisia de analiză a tezei mele de doctorat, precum și pentru observațiile și comentariile făcute pentru îmbunătățirea acestei lucrări.

Pentru efortul, sprijinul necondiționat acordat, îndrumarea competentă și recomandări valoroase făcute cu înalt profesionalism țin să-i ofer caldele mele mulțumiri fratelui meu, dr.ing. Florin MOLNAR care mi-a oferit cel mai prețios ajutor în tot acest timp. De asemenea se cuvin mulțumiri colegului dr.ing. Alexandru BĂLOI pentru sprijinul oferit în această perioadă.

Mulțumesc în mod deosebit familiei mele pentru încurajarea, susținerea și motivarea pe care mi le-au acordat pe parcursul realizării prezentei teze de doctorat. Toată dragostea mea soțului meu, Seba, pentru răbdarea acordată și înțelegerea necondiționată.

Timișoara, martie 2014

Molnar-Matei Monica Mirela

Molnar-Matei, Monica Mirela

**Metodă fuzzy-clustering de clasificare a golurilor de tensiune trifazate din rețeaua electrică**

Teze de doctorat ale UPT, Seria 13, Nr. 7, Editura Politehnica, 2014, 198 pagini, 115 figuri, 18 tabele.

ISSN: 2069-8208

ISBN: 978-606-554-817-6

Cuvinte cheie: gol de tensiune, clasificare fuzzy- clustering, generator de goluri, baze de date, prelucrare semnale digitale

Rezumat:

În prezent când termenul „globalizare” este tot mai des auzit, nici domeniul energetic nu putea fi ocolit, iar analiza calității energiei electrice a fost extinsă la nivel mondial, existând organizații care au ca rol, definirea calității energiei furnizate consumatorului.

În urma studiilor efectuate de către membrii acestor organizații s-a ajuns la concluzia că golurile de tensiune determină mai mult de jumătate din pierderile economice datorate calității energiei electrice.

Prezenta temă de cercetare propune analiza și dezvoltarea unei proceduri de caracterizare și clasificare a golurilor de tensiune trifazate din rețeaua electrică, procedură testată și validată ulterior pe un set de date reale înregistrate în ultimii ani în rețeaua de transport a SC TRANSELECTRICĂ SA, zona de Vest.

În vederea obținerii unui set de date extins în această teză se prezintă un generator software de goluri de tensiune trifazate care va fi utilizat pentru generarea tuturor golurilor necesare.

Teza își propune de asemenea realizarea unei sistem de management a datelor compus dintr-o bază de date a cărei structură va respecta prevederile standardelor din domeniu, precum și o aplicație software de gestiune care va fi capabilă să preia informații din diferite tipuri de fișiere; prin intermediul acestui sistem se vor putea compara măsurători din diverse zone ale rețelei.

Teza își propune și dezvoltarea unei metode noi de determinare a tipului golului de tensiune conform unei clasificări consacrate, folosind tehnici de inteligență artificială, validarea acestei metode realizându-se prin testarea acesteia pe un set de 1890 de goluri de tensiune trifazate obținute cu ajutorul generatorului de goluri de tensiune dezvoltat.

În contextul progresului tehnicii de calcul, studiul teoretic și practic realizat în cadrul tezei de doctorat conduce la recomandarea privind utilizarea procedurii de caracterizare și clasificare a golurilor de tensiune în realizarea unei baze de date de dimensiuni naționale.

# Cuprins

<b>CUPRINS .....</b>	<b>5</b>
<b>LISTA DE FIGURI.....</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE TABELE .....</b>	<b>12</b>
<b>1. INTRODUCERE .....</b>	<b>13</b>
<b>2. ASPECTE ACTUALE PRIVIND GOLURILOR DE TENSIUNE DIN REȚELE ELECTRICE .....</b>	<b>17</b>
2.1. DEFINIREA GOLURILOR DE TENSIUNE.....	17
2.2. FORMA GOLURILOR DE TENSIUNE .....	19
2.3. PARAMETRII CARACTERISTICI AI GOLURILOR DE TENSIUNE .....	20
2.3.1. <i>Amplitudinea golului de tensiune.....</i>	<i>20</i>
2.3.2. <i>Durata golului de tensiune .....</i>	<i>22</i>
2.3.3. <i>Saltul unghiului de fază / Defazaj.....</i>	<i>23</i>
2.3.4. <i>Punctele de pe undă de început și sfârșit ale golului de tensiune .....</i>	<i>24</i>
2.4. GOLURILE DE TENSIUNE ÎN SISTEME TRIFAZATE.....	26
2.4.1. <i>Clasificarea ABC .....</i>	<i>27</i>
2.4.2. <i>Clasificarea după metoda componentelor simetrice .....</i>	<i>30</i>
2.4.3. <i>Clasificarea Thakur .....</i>	<i>32</i>
2.5. ANALIZA DIRECȚIILOR DE CERCETARE ÎN DOMENIUL GOLURILOR DE TENSIUNE .....	33
2.5.1. <i>Încadrarea temei de cercetare în domeniul golurilor de tensiune.....</i>	<i>34</i>
2.5.2. <i>Încadrarea temei de cercetare în direcția particulară de detectare, calcul parametrii și clasificare a golurilor de tensiune .....</i>	<i>37</i>
2.5.3. <i>Utilizarea tehnicilor de inteligență artificială în analiza golurilor de tensiune.....</i>	<i>46</i>
2.6. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE.....	49
<b>3. MANAGEMENTUL ȘI PRELUCRAREA DATELOR PRIMARE.....</b>	<b>51</b>
3.1. IMPORTANȚA DATELOR ÎN STUDIILE DE CERCETARE .....	51
3.2. GENERATOR DE GOLURI DE TENSIUNE.....	52
3.2.1. <i>Modelul matematic al generatorului de goluri de tensiune .....</i>	<i>55</i>
3.2.2. <i>Implementarea aplicației în C# .....</i>	<i>63</i>
3.2.4. <i>Analiza semnalelor generate.....</i>	<i>66</i>
3.3. STOCAREA DATELOR ÎN BAZĂ DE DATE SPECIALIZATĂ.....	70
3.3.1. <i>Standarde de organizare, salvare și transfer a valorilor înregistrate în regimuri tranzitorii.....</i>	<i>72</i>
3.3.2. <i>Realizarea bazei de date .....</i>	<i>76</i>
3.3.3. <i>Aplicație pentru accesul și controlul bazei de date.....</i>	<i>83</i>
3.4. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE.....	85
<b>4. CLASIFICAREA GOLURILOR DE TENSIUNE UTILIZÂND TEHNICA FUZZY-CLUSTERING .....</b>	<b>87</b>

4.1.	METODE DE DETERMINARE A TIPULUI GOLULUI DE TENSIUNE CONFORM CLASIFICĂRII ABC	87
4.1.1.	<i>Metoda Leborgne</i> .....	87
4.1.2.	<i>Metoda Bollen</i> .....	89
4.1.3.	<i>Algoritmul Molnar</i> .....	91
4.2.	UTILIZAREA TEHNICII CLUSTERING PENTRU ÎMBUNĂȚĂȚIREA METODELOR DE CLASIFICARE.	92
4.2.1.	<i>Noțiuni teoretice privind tehnica de Clustering</i> .....	93
4.2.2.	<i>Aplicarea algoritmului k-Means pentru metoda Leborgne</i> .....	94
4.2.3.	<i>Aplicarea algoritmului k-Means pentru metoda Bollen</i> .....	96
4.2.4.	<i>Analiza calității metodelor Leborgne și Bollen îmbunătățite cu tehnica de Clustering</i> .....	97
4.3.	NOȚIUNI TEORETICE PRIVIND LOGICA FUZZY .....	101
4.4.	CLASIFICAREA GOLURILOR UTILIZÂND LOGICA FUZZY .....	105
4.4.1.	<i>Definirea mărimilor de intrare</i> .....	105
4.4.2.	<i>Definirea seturilor fuzzy</i> .....	107
4.4.2.2.	<i>Definirea seturilor Fuzzy pentru a doua grupă de mărimi</i> .....	111
4.4.2.3.	<i>Definirea seturilor Fuzzy pentru variația amplitudinii fazelor</i> .....	113
4.4.2.4.	<i>Definirea seturilor Fuzzy pentru variația unghiurilor fazelor</i> .....	114
4.4.3.	<i>Definirea regulilor</i> .....	115
4.4.4.	<i>Testarea metodei Fuzzy-Clustering de clasificare a golurilor de tensiune</i> . .....	117
4.5.	CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE.....	118
<b>5.</b>	<b>IDENTIFICAREA CARACTERISTICILOR GOLURILOR DE TENSIUNE UTILIZÂND VDIPPREMIUM.....</b>	<b>121</b>
5.1.	COLECTAREA DATELOR.....	121
5.2.	PRELUCRAREA PRIMARĂ A DATELOR.....	124
5.2.1.	<i>Determinarea frecvenței reale</i> .....	125
5.2.2.	<i>Determinarea valorilor efective și a unghiurilor de fază ale tensiunilor prin aplicarea transformatei Fourier discretă</i> .....	127
5.2.3.	<i>Segmentarea</i> .....	130
5.3.	DETECTAREA CARACTERISTICILOR MONOFAZATE ALE GOLURILOR DE TENSIUNE.....	132
5.3.1.	<i>Amplitudinea golului de tensiune</i> .....	132
5.3.2.	<i>Durata golului de tensiune</i> .....	133
5.3.3.	<i>Saltul unghiului de fază</i> .....	133
5.3.4.	<i>Punctele de pe curbă de început și sfârșit a golului de tensiune</i> .....	134
5.4.	DETERMINAREA CARACTERISTICILOR TRIFAZATE .....	136
5.4.1.	<i>Amplitudinea și durata trifazată a golului de tensiune</i> .....	136
5.4.2.	<i>Tipul golului conform clasificării ABC</i> .....	136
5.4.3.	<i>Testarea metodei Fuzzy-Clustering pe date reale</i> .....	139
5.5.	ANALIZA STATISTICĂ A INFORMAȚIILOR DIN BAZA DE DATE .....	142
5.6.	CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE.....	147
<b>6.</b>	<b>CONCLUZII .....</b>	<b>149</b>
	<b>ANEXE .....</b>	<b>153</b>
	<b>BIBLIOGRAFIE .....</b>	<b>181</b>

## LISTA DE FIGURI

<b>Nr. crt.</b>	<b>Numărul figurii</b>	<b>Titlul figurii</b>
1.	Fig.2.1.	Definirea fenomenelor staționare de calitate a energiei electrice.
2.	Fig.2.2.	Exemple de goluri de tensiune.
3.	Fig.2.3.	Parametrii caracteristici pe curba valorii efective ai golurilor de tensiune.
4.	Fig.2.4.	Parametrii caracteristici pe sinusoidă ai golurilor de tensiune.
5.	Fig.2.5.	Determinarea punctului de pe curbă de inițiere a golului de tensiune.
6.	Fig.2.6.	Tipurile golurilor de tensiune pentru clasificarea conform componentelor simetrice.
7.	Fig.2.7.	Extinderea clasificării conform componentelor simetrice.
8.	Fig.2.8.	Distribuția anuală a numărului de articole care conțin unul dintre cei doi termeni care denumesc un gol de tensiune.
9.	Fig.2.9.	Distribuția anuală a numărului de articole care conțin în titlu unul dintre cei doi termeni care denumesc un gol de tensiune.
10.	Fig.2.10.	Statistică privind numărul de articole publicate anual în funcție de scopul acestora.
11.	Fig.2.11.	Dimensiunea direcțiilor de cercetare în domeniul golurilor de tensiune.
12.	Fig.2.12.	Statistică privind tehnicile de inteligență artificială utilizate în analiza golurilor de tensiune.
13.	Fig.3.1.	Principiul de funcționare al generatorului de goluri de tip transformator.
14.	Fig.3.2.	Principiul de funcționare al generatorului de goluri de tip comutare de impedanță.
15.	Fig.3.3.	Principiul de funcționare al generatorului de goluri de tip generator real.
16.	Fig.3.4.	Principiul de funcționare al generatorului de goluri de tip amplificator de putere.
17.	Fig.3.5.	Semnal afectat de zgomot și semnal normal pentru regimurile normale și gol de tensiune, folosind distorsiuni armonice de modelare a zgomotului.
18.	Fig.3.6.	Formă de undă în timpul unui gol de tensiune obținut cu generatorul de semnale de goluri de tensiune.
19.	Fig.3.7.	Semnalul afectat de zgomot și semnalul normal pentru regimurile normale și gol de tensiune, prin suprapunerea a două sinusoide de modelare a zgomotului.
20.	Fig.3.8.	Semnalul de tranziție între regimul ante-perturbație și regimul

<b>Nr. crt.</b>	<b>Numărul figurii</b>	<b>Titlul figurii</b>
		perturbat.
21.	Fig.3.9.	Semnalul de tranziție între regimul perturbat și regimul post-perturbație.
22.	Fig.3.10.	Structură logică aferentă generator gol de tensiune monofazat.
23.	Fig.3.11.	Curba de tensiune pentru primul caz generat.
24.	Fig.3.12.	Curba de tensiune pentru al doilea caz generat.
25.	Fig.3.13.	Curba de tensiune pentru al treilea caz generat.
26.	Fig.3.14.	Structură logică generator gol de tensiune trifazat.
27.	Fig.3.15.	Arhitectura aplicației.
28.	Fig.3.16.	Parametri inițiali.
29.	Fig.3.17.	Parametri variabili.
30.	Fig.3.18.	Etapa setare perturbații.
31.	Fig.3.19.	Afișare grafice.
32.	Fig.3.20.	Salvarea datelor în format Excel.
33.	Fig.3.21.	Semnal în timpul golului de tensiune obținut cu generatorul de goluri de tensiune.
34.	Fig.3.22.	Distribuția golurilor în funcție de tipul golului de tensiune.
35.	Fig.3.23.	Distribuția defazajului grupate pe diferite intervale.
36.	Fig.3.24.	Distribuția perechilor amplitudine-durată gol de tensiune.
37.	Fig.3.25.	Schema XML pentru formatul COMFEDE.
38.	Fig.3.26.	Structura de bază a schemei XML pentru formatul COMFEDE.
39.	Fig.3.27.	Structura bazei de date inițială.
40.	Fig.3.28.	Manipularea datelor.
41.	Fig.3.29.	Clasă de interfațare bază de date.
42.	Fig.3.30.	Structura bazei de date.
43.	Fig.3.31.	Structura tabelii Events.
44.	Fig.3.32.	Structura tabelii DataRefs.
45.	Fig.3.33.	Structura tabelii Locations.
46.	Fig.3.34.	Structura tabelii Records.
47.	Fig.3.35.	Structura tabelii VoltageDips.
48.	Fig.3.36.	Filtrarea datelor din baza de date.
49.	Fig.3.37.	Generarea rapoartelor grafice.
50.	Fig.3.37.	Generarea rapoartelor tabelare.
51.	Fig.4.1.	Graficul curbelor caracteristice pentru metoda Leborgne.
52.	Fig.4.2.	Graficul curbelor caracteristice pentru goluri monofazate conform metodei Bollen.
53.	Fig.4.3.	Graficul curbelor caracteristice pentru goluri bifazate conform metodei Bollen.
54.	Fig.4.4.	Algoritmul de determinare a tipului golului de tensiune utilizând tehnica de Clustering și metoda Leborgne.
55.	Fig.4.5.	Plotarea pe graficul lui Leborgne a tuturor punctelor existente în intervalul golului de tensiune.



Nr. crt.	Numărul figurii	Titlul figurii
56.	Fig.4.6.	Plotarea pe graficul lui Leborgne a punctului obținut în urma aplicării tehnicii de Clustering.
57.	Fig.4.7.	Plotarea pe graficul lui Bollen a tuturor punctelor existente în intervalul golului de tensiune.
58.	Fig.4.8.	Plotarea pe graficul lui Bollen a punctului obținut în urma aplicării tehnicii de Clustering.
59.	Fig.4.9.	Rezultatele obținute pentru variația amplitudinii tensiunii utilizând tehnica de Clustering și metoda Leborgne.
60.	Fig.4.10.	Rezultatele obținute pentru variația amplitudinii tensiunii utilizând tehnica de Clustering și metoda Bollen
61.	Fig.4.11.	Rezultatele obținute pentru variația unghiului uneia dintre tensiunile de fază utilizând tehnica de Clustering și metoda Leborgne
62.	Fig.4.12.	Rezultatele obținute pentru variația unghiului uneia dintre tensiunile de fază utilizând tehnica de Clustering și metoda Bollen
63.	Fig.4.13.	Definirea numerelor Fuzzy: a) număr Fuzzy triunghiular; b) număr Fuzzy trapezoidal; c) număr Fuzzy gaussian; d) număr Fuzzy clopot generalizat.
64.	Fig.4.14.	Structura unui sistem Fuzzy.
65.	Fig.4.15.	Structura sistemului Fuzzy pentru clasificarea golurilor de tensiune.
66.	Fig.4.16.	Seturile Fuzzy aferente unei mărimi de intrare.
67.	Fig.4.17.	Seturile Fuzzy aferente primei grupe de mărimi de intrare.
68.	Fig.4.18.	Seturile Fuzzy aferente celei de-a doua grupe de mărimi de intrare în cazul golurilor monofazate.
69.	Fig.4.19	Seturile Fuzzy aferente celei de-a doua grupe de mărimi de intrare în cazul golurilor bifazate.
70.	Fig.4.20.	Seturile Fuzzy aferente variației amplitudinii tensiunilor de fază.
71.	Fig.4.21.	Seturile Fuzzy aferente variației unghiurilor tensiunilor de fază.
72.	Fig.4.22.	Algoritmul de alocare dinamică a mărimilor de intrare.
73.	Fig.4.23.	Rezultatele obținute pentru variația amplitudinii tensiunilor de fază utilizând tehnica de Fuzzy-Clustering.
74.	Fig.4.24.	Rezultatele obținute pentru variația unghiului tensiunilor de fază utilizând tehnica de Fuzzy-Clustering.
75.	Fig.5.1.	Încărcarea în baza de date a informațiilor existente în fișiere de tip COMTRADE.
76.	Fig.5.2.	Încărcarea în baza de date a informațiilor existente în fișiere de tip COMFEDE.
77.	Fig.5.3.	Etapele prelucrării unui semnal trifazat.
78.	Fig.5.4.	Curbele valorilor momentane ale tensiunii pe durata unui gol de tensiune.
79.	Fig.5.5.	Trei semnale de tensiune generate cu frecvențe diferite.
80.	Fig.5.6.	Determinare frecvență reală pentru cele trei semnale de tensiune

<b>Nr. crt.</b>	<b>Numărul figurii</b>	<b>Titlul figurii</b>
		generate cu frecvențe diferite.
81.	Fig.5.7.	Determinare frecvență reală pentru fișierul cu date reale.
82.	Fig.5.8.	Frecvență reală pentru fișierul cu date reale după aplicarea metodei corective.
83.	Fig.5.9.	Curbele valorilor efective ale tensiunilor de fază.
84.	Fig.5.10.	Calcularea pasului de rotație a unui fazor de tensiune.
85.	Fig.5.11.	Unghiurile tensiunilor de fază raportate la axa origine de fază.
86.	Fig.5.12.	Unghiurile tensiunilor de fază raportate la axa origine de fază corectate cu noua frecvență.
87.	Fig.5.13.	Variația tensorilor unghiurilor pentru semnalul analizat.
88.	Fig.5.14.	Segmentarea curbei de tensiune
89.	Fig.5.15.	Valorile efective ale tensiunilor aferente segmentului de gol de tensiune.
90.	Fig.5.16.	Reprezentarea grafică a momentelor de început și sfârșit a golurilor de tensiune.
91.	Fig.5.17.	Reprezentarea grafică modificării defazajelor tensiunilor de fază în timp.
92.	Fig.5.18.	Reprezentarea grafică a sumelor momentane ale tensiunilor.
93.	Fig.5.19.	Captură a curbelor de tensiune în zona de inițiere a golului de tensiune.
94.	Fig.5.20.	Captură a curbelor de tensiune în zona de sfârșit a golului de tensiune.
95.	Fig.5.21.	Plotarea pe graficul lui Bollen a punctului de clustering.
96.	Fig.5.22.	Plotarea pe graficul lui Leborgne a punctului de clustering.
97.	Fig.5.23.	Reprezentarea setului fuzzy pentru tipul G conform primei grupe de mărimi de intrare.
98.	Fig.5.24.	Reprezentarea setului fuzzy pentru tipul C conform primei grupe de mărimi de intrare.
99.	Fig.5.25.	Reprezentarea setului fuzzy pentru tipul G conform celei de-a doua grupe de mărimi de intrare.
100.	Fig.5.26.	Reprezentarea setului fuzzy pentru tipul C conform celei de-a doua grupe de mărimi de intrare.
101.	Fig.5.27.	Reprezentarea setului fuzzy pentru variația defazajului dintre tensiuni.
102.	Fig.5.28.	Reprezentarea setului fuzzy pentru variația amplitudinilor tensiunilor.
103.	Fig.5.29.	Analiza goluri de tensiune pentru care metodele Bollen și Leborgne dau rezultate identice sau diferite.
104.	Fig.5.30.	Analiza goluri de tensiune pentru care metodele Bollen și Leborgne dau rezultate diferite raportate la rezultatele obținute cu metoda proprie.
105.	Fig.5.31.	Prezentarea tipurilor de goluri între care metoda Bollen face confuzii.
106.	Fig.5.32.	Prezentarea tipurilor de goluri între care metoda Leborgne face

---

<b>Nr. crt.</b>	<b>Numărul figurii</b>	<b>Titlul figurii</b>
		confuzii.
107.	Fig.5.33.	Distribuția golurilor de tensiune în funcție de tipul corespunzător clasificării ABC.
108.	Fig.5.34.	Distribuția golurilor de tensiune în funcție amplitudinea lor.
109.	Fig.5.35.	Distribuția golurilor de tensiune în funcție de durata lor.
110.	Fig.5.36.	Distribuția golurilor de tensiune în funcție durata lor grupate în intervale de durată apropiată.
111.	Fig.5.37.	Distribuția golurilor de tensiune în funcție de amplitudine și durată pe varianta restrânsă a curbei ITIC, cu evidențierea celor acceptabile conform acestui standard.
112.	Fig.5.38.	Distribuția golurilor de tensiune în funcție regiunea unde au fost înregistrate.
113.	Fig.5.39.	Distribuția golurilor de tensiune în funcție regiunea unde au fost înregistrate și tipul golului de tensiune.
114.	Fig.5.40.	Distribuția golurilor de tensiune în funcție regiunea unde au fost înregistrate și amplitudinea lor.
115.	Fig.5.41.	Distribuția golurilor de tensiune în funcție de amplitudine și durată pe varianta restrânsă a curbei ITIC, în funcție de regiunea unde au fost înregistrate.

## LISTA DE TABELE

<b>Nr. crt.</b>	<b>Numărul tabelului</b>	<b>Titlul tabelului</b>
1.	Tabelul 2.1.	Definirea amplitudinii și duratei golului de tensiune în diferite standarde.
2.	Tabelul 2.2.	Reprezentarea fazorială și relațiile matematice pentru tipurile A, B, C și D.
3.	Tabelul 2.3.	Tipul golului de tensiune pe partea secundară a transformatoarelor.
4.	Tabelul 2.4.	Reprezentarea fazorială și relațiile matematice pentru tipurile E, F și G.
5.	Tabelul 2.5.	Reprezentarea fazorială pentru tipurile H și I.
6.	Tabelul 2.6.	Determinare parametrilor conform clasificării componentelor simetrice.
7.	Tabelul 2.7.	Statistică privind numărul de articole publicate anual în funcție de scopul acestora.
8.	Tabelul 3.1.	Valori setate pentru parametri de intrare.
9.	Tabelul 3.2.	Parametrii de intrare pentru cele trei cazuri.
10.	Tabelul 3.3.	Interval de valori pentru parametri de intrare.
11.	Tabelul 3.4.	Parametrii unui gol de tensiune de tip C.
12.	Tabelul 3.5.	Gol de tensiune trifazat de tipul "E" – parametrii generați aleatoriu.
13.	Tabelul 3.6.	Gol de tensiune trifazat de tipul "E" – Armonici și interarmonici generate aleatoriu.
14.	Tabelul 3.7.	Gol Câmpuri obligatorii în formatul C37.232-2007.
15.	Tabelul 3.8.	Structura tabelii EventSources.
16.	Tabelul 3.9.	Structura tabelii Equipments.
17.	Tabelul 5.1.	Analiza corectitudinii metodelor Bollen și Leborgne.
18.	Tabelul 5.2.	Statistică privind numărul de goluri în funcție de curba de acceptabilitate ITIC

# 1. INTRODUCERE

În prezent când termenul „globalizare” este tot mai des auzit, nici domeniul energetic nu putea fi ocolit, iar analiza calității energiei electrice a fost extinsă la nivel mondial, existând organizații care au ca rol, definirea calității energiei furnizate consumatorului.

În 2007, ERGEG (European Regulators Group for Electricity and Gas) propune actualizarea standardelor din domeniu, analizând astfel prevederile standardului EN 50160 [EN50160], standard care reglementează problemele referitoare la calitatea energiei electrice. În urma discuțiilor, în raportul final s-a propus monitorizarea calității energiei electrice în fiecare țară membră UE și definirea unor limite pentru principalii indicatori ai calității energiei electrice în funcție de performanțele sistemului electroenergetic al fiecărei țări [ERGEG2007].

Un aspect important este faptul că responsabilitatea de a asigura condițiile necesare păstrării parametrilor de calitate a energiei electrice, de la producător la consumatorul final, revine întregului sistem, deci fiecare participant în acest lanț își asumă responsabilități asupra calității energiei, a păstrării acesteia în parametrii optimi și are obligația de a monitoriza permanent indicatorii calității. Din acest sistem fac parte: producătorii, transportatorii, distribuitorii, consumatorii mari și individuali, fiecare fiind obligat să respecte anumite condiții ce au scop menținerea calității energiei electrice.

În ianuarie 2009, CEER a semnat o convenție de cooperare cu European Committee for Electrotechnical Standardisation (CENELEC), care are scopul cooperării în domeniul standardizărilor din domeniul energiei electrice. Aceste două organizații au ajuns la concluzia că este imperios necesar revizuirea și îmbunătățirea standardului EN 50160 [EN50160].

În cadrul întâlnirii cu titlul „Joint CEER - EURELECTRIC Workshop on Voltage Quality Monitoring” care a avut loc la Brussels în 18 Noiembrie 2009 s-au prezentat câteva concluzii privind îmbunătățirea standardului EN 50160. În deschiderea acestei întâlniri, Bollen Math [Bollen2009] a prezentat o analiză a noilor probleme legate de calitatea energiei electrice, datorate reconsiderării structurii sistemelor electroenergetice, produsă de utilizarea tot mai accentuată a generării distribuite. Acest lucru a condus la transformarea din structura de tip Generare-Transport/Distribuție-Consum într-o structură de tip Rețea-Clienți unde, prin Clienți (clienți pentru rețea) se înțelege atât producătorii de energie electrică, cât și consumatorii. În urma studiilor realizate în domeniu s-a ajuns la concluzia că într-o primă etapă se pot utiliza prevederile standardului internațional IEC 61000-4-30 [IEC61000-4-30], privind metodele de monitorizare a calității energiei electrice. Totodată s-a propus utilizarea a două metode de monitorizare:

- folosirea sistemelor de monitorizare realizate conform standardului IEC 61000-4-30 și interpretarea rezultatelor;
- realizarea de noi sisteme de monitorizare (din punct de vedere hardware cât și software).

În [Brekke2009] se prezintă o sinteză a problemelor generate de lipsa calității energiei electrice, în care se afirmă că la nivel European costurile

consumatorilor datorate problemelor de calitate a energiei electrice se ridică la aproximativ 151,7 miliarde EURO, dintre care *mai mult de jumătate (86,5 miliarde EURO) se datorează golurilor de tensiune*, respectiv întreruperilor de scurtă durată, *motiv pentru care s-a ales propunerea acestei teme de cercetare*. Totodată se precizează că monitorizarea la nivel național a calității energiei electrice este o problemă destul de delicată, deoarece acest proces a luat amploare în Europa abia în 2006. Din acest punct de vedere, situația la nivelul UE este următoarea:

- doar 6 țări au un sistem de monitorizare de dimensiuni naționale și au furnizat informații privind datele obținute;
- 11 țări au anunțat că au pus în aplicare scheme de monitorizare;
- există o problemă gravă referitoare la compararea datelor obținute, datorită sistemelor de monitorizare diferite.

În urma analizelor realizate în țările care dețin date obținute pe baza programelor de monitorizare (Italia [Villa2009], Norvegia [Fadum2009], Portugalia [Melo2009], Ungaria [Tersztyanszky2009] și Franța [Scoffoni2009]), s-a ajuns la următoarele concluzii relevante pentru tema propusă în cadrul acestei cercetări:

1. informațiile oferite de sistemele de monitorizare sunt foarte importante în luarea deciziilor de asigurare a calității energiei electrice;
2. este necesar ca monitorizarea să se realizeze în cât mai multe noduri electrice, ceea ce presupune implicarea consumatorilor și a producătorilor de energie în acest proces;
3. trebuie găsite soluții de monitorizare astfel încât datele obținute în diferite zone să poată fi comparate;
4. trebuie impuse noi cerințe sistemelor de monitorizare, cu privire la informațiile furnizate.

Deoarece dezvoltarea de noi sisteme de monitorizare este strâns legată de dezvoltarea de noi standarde, în prezenta temă de cercetare se propune analiza și dezvoltarea unei proceduri de caracterizare și clasificare a golurilor de tensiune din rețeaua electrică. Prin intermediul acestei proceduri se vor rezolva câteva dintre problemele prezentate anterior și anume:

- se va realiza o bază de date a cărei structură va respecta prevederile standardelor din domeniu, și care va fi capabilă să preia informații din diferite tipuri de fișiere; prin intermediul acestei baze de date se vor putea compara măsurători din diverse zone ale rețelei, atingându-se problema prezentată anterior la a treia concluzie;
- se va dezvolta o nouă metodă de determinare a tipului golului de tensiune conform unei clasificări consacrate; prin intermediul acestei metode se atinge problema prezentată anterior la a patra concluzie.

Metodologia de analiză presupune dezvoltarea unei noi proceduri, a unor noi metode, noi instrumente care au drept scop caracterizarea și clasificarea golurilor de tensiune, iar în final stocarea tuturor informațiilor într-o bază de date realizată în conformitate cu prevederile standardelor în vigoare din domeniul calității energiei electrice.

Teza de doctorat, extinsă pe 198 pagini, este structurată pe 6 capitole, 3 anexe și o listă bibliografică, și conține 115 figuri și 18 tabele. Lista bibliografică reunește 206 titluri de articole și cărți reprezentative publicate în țară sau străinătate. Se menționează și cele 8 lucrări proprii ale autoarei elaborate în calitate de autor sau coautor.

Capitolul 1 are un caracter introductiv. El cuprinde actualitatea și justificarea tematicii care constituie obiectul tezei de doctorat, în contextul preocupărilor existente pe plan mondial și național, continuând cu prezentarea pe scurt a conținutului fiecărui capitol. În încheiere se evidențiază modul de valorificare a rezultatelor cercetărilor efectuate în cadrul tezei de doctorat, a perspectivelor și direcțiilor cercetărilor ulterioare din acest domeniu.

Capitolul 2 prezintă câteva aspecte legate de definirea, caracterizarea și clasificarea golurile de tensiune. Prezentarea definirii golului de tensiune continuă cu descrierea principalilor parametri ai unui gol de tensiune, atât cei generali (tensiunea și durata), cât și cei particulari (saltului unghiului de fază și punctele de pe curbă de inițiere, respectiv de finalizare a unui gol de tensiune). Capitolul continuă cu prezentarea caracterizării golurilor de tensiune ca fiind un singur eveniment. Una dintre cele mai importante caracteristici ale analizei trifazate este clasificarea acestora după anumite criterii. A doua parte a capitolului prezintă un studiu bibliografic referitor la problematica golurilor de tensiune. În cadrul studiului bibliografic se prezintă principalele direcții de cercetare în domeniul golurilor de tensiune, precum și o prezentare a importanței acordate la nivel mondial acestui domeniu. Studiul bibliografic se finalizează cu încadrarea temei de cercetare atât în direcția generală, cât și în problematica particulară de cercetare a clasificării golurilor de tensiune trifazate.

Capitolul 3 conține o soluție de management și prelucrare a datelor primare. La începutul capitolului s-a prezentat importanța datelor în dezvoltarea de noi metode și algoritmi. În cazul golurilor de tensiune, colectarea unui set satisfăcător de măsurători care conțin goluri de tensiune este o problemă dificilă datorită caracterului aleatoriu al acestora. Din acest motiv, în continuarea capitolului se prezintă un generator software de goluri de tensiune trifazate care va fi utilizat pentru generarea tuturor golurilor necesare testării noilor metode ce se vor dezvolta în această teză. A doua parte a capitolului conține o bază de date realizată în conformitate cu cele mai noi standarde din domeniu. Această bază de date permite citirea măsurătorilor din diverse fișiere realizate în conformitate cu standarde internaționale precedente și actuale. În plus baza de date permite accesarea sa de către diverse aplicații de prelucrare a informațiilor. În urma acestor prelucrări, din baza de date se pot extrage atât datele primare în fișiere care respectă cele mai noi standarde din domeniu, cât și rapoarte statistice sub formă grafică sau tabelară.

Capitolul 4 tratează mai amănunțit problema clasificării golurilor de tensiune conform clasificării ABC. În prima parte se prezintă detaliat principalele metode și algoritmi folosite pentru determinarea tipului golului de tensiune conform acestei clasificări. Ținând cont de deficiențele acestor metode s-a ales dezvoltarea unei noi metode. Primul pas este reprezentat de implementarea tehnicii de Clustering pentru realizarea unei grupări optime a punctelor determinate în urma analizei fișierelor cu date. Capitolul se continuă cu analiza deficiențelor, pe care le au principalele două metode de clasificare existente în literatură, prin intermediul tehnicii de Clustering dezvoltată. Pe baza concluziilor obținute se dezvoltă o nouă metodă originală de determinarea a tipului golului de tensiune, metodă care are la bază logica Fuzzy. În finalul capitolului se prezintă validarea noii metode dezvoltate prin testarea acesteia pe un set de 1890 de goluri de tensiune trifazate obținute cu ajutorul generatorului de goluri de tensiune dezvoltat în capitolul 3. Se face precizarea că același set de

goluri de tensiune a fost utilizat și pentru testarea metodelor prezentate la începutul acestui capitol.

Capitolul 5 este dedicat integral unei proceduri proprii de caracterizare și clasificare a golurilor de tensiune trifazate obținute din măsurători reale. Pentru dezvoltarea acestei proceduri s-a pornit de la instrumentele software, modelele matematice și concluziile dezvoltate în capitolele anterioare. Procedura propusă decurge astfel: se convertesc datele stocate în fișiere cu diverse formate în formatul internațional standardizat denumit COMFEDE pe baza căruia a fost realizată baza de date; se realizează o prelucrare primară a semnalelor, prelucrare care constă în determinarea frecvenței reale, determinarea amplitudinii și duratei golului pentru fiecare fază în parte, precum și o segmentare a semnalului pentru o analiză ulterioară; se determină caracteristicile monofazate ale golurilor (amplitudine, durată, saltul unghiului de fază, respectiv punctele de pe curbă de inițiere și de finalizare a golului); se determină caracteristicile trifazate ale golului de tensiune (amplitudine și durată); se determină tipul golului de tensiune conform clasificării ABC prin aplicarea metodei dezvoltate, iar apoi se efectuează o validare a acestei metode pe date reale; ulterior se salvează în baza de date toate informațiile obținute. În finalul capitolului se prezintă o analiză statistică a datelor obținute cu ajutorul procedurii dezvoltate, pentru un set de date reale înregistrate în ultimii ani în rețeaua de transport a SC TRANSELECTRICA SA, zona de Vest.

Capitolul 6 cuprinde concluziile generale ale tezei și prezentarea sistematizată a contribuțiilor originale ale autoarei, precum și trasarea direcțiilor și perspectivelor oferite de lucrarea de față pentru continuarea cercetărilor și aplicarea rezultatelor obținute.

Cea mai mare parte a rezultatelor obținute în cadrul tezei au fost publicate în cadrul a 8 lucrări științifice dintre care: 3 sunt prezentate la conferințe naționale [Iovan2011], [Iovan2013a], [Iovan2013b]; 2 au fost publicate într-o revistă și o conferință indexate în baze de date internaționale [Moga2010], [Molnar2011a]; 3 au fost publicate în volumul unor conferințe internaționale dintre care [Molnar2013c] este indexată ISI, iar [Iovan2014] și [Băloi2014] sunt în curs de indexare ISI.

În contextul progresului tehnicii de calcul, studiul teoretic și practic realizat în cadrul tezei de doctorat conduce la recomandarea privind utilizarea procedurii de caracterizare și clasificare a golurilor de tensiune în realizarea unei baze de date de dimensiuni naționale. Procedura dezvoltată poate fi utilizată ca și instrument software de analiză pentru un set de echipamente de monitorizare realizate cu costuri scăzute, care să aibă implementate doar funcțiile de detecție a apariției golului de tensiune și de salvare a valorilor momentane ale tensiunilor de fază. Acest lucru este posibil și datorită dezvoltării din ultimul timp a rețelelor de calculatoare din punct de vedere al capacității de transfer de date. Realizarea unei baze de date naționale care să conțină toate informațiile prezentate în cadrul tezei de doctorat poate conduce la realizarea unor noi cercetări în domeniu, precum și la identificarea unor metode optime de protejare a consumatorilor și chiar a întregului sistem electroenergetic împotriva perturbațiilor de tip gol de tensiune.



## 2. ASPECTE ACTUALE PRIVIND GOLURILOR DE TENSIUNE DIN REȚELE ELECTRICE

Acest capitol are un caracter mai teoretic, iar în cadrul lui se vor prezenta câteva aspecte teoretice legate de golurile de tensiune. Capitolul începe cu definirea acestui fenomen și continuă cu prezentarea principalelor caracteristici care definesc un gol de tensiune considerat unitar. Partea teoretică se continuă cu prezentarea caracteristicilor, precum și a clasificărilor, atunci când golurile de tensiune trifazate sunt considerate ca fiind un singur eveniment. În continuarea acestui capitol se abordează un studiu mai practic și anume analiza bibliografică cu scop de evidențiere a importanței temei de cercetare. Studiul bibliografic pornește de la identificarea direcțiilor de cercetare în domeniul particular al golurilor de tensiune și se continuă cu prezentarea mai detaliată a realizărilor pe direcția de cercetare abordată în această lucrare. Capitolul se finalizează cu prezentarea concluziilor studiului bibliografic și cu evidențierea principalelor probleme care trebuie rezolvate în continuare.

### 2.1. Definirea golurilor de tensiune

Modul în care se definește fenomenul „goluri de tensiune” este foarte important pentru analiza acestuia. În plus, în literatura de specialitate acest tip de eveniment denumit gol de tensiune are mai multe denumiri în limba engleză:

- voltage sag – în engleza americană care se poate traduce cu expresia „cădere de tensiune”;
- voltage dip – în engleza britanică care se poate traduce cu expresia „coborâre a tensiunii”;
- voltage drop – care poate fi tradus cu expresia „scădere a tensiunii” termen utilizat de categorii de cercetători care nu analizează în general acest tip de fenomen.

Totuși până în prezent nu există o definiție unanim acceptată. Trebuie precizat că utilizarea termenului „voltage drop” este improprie pentru denumirea golului de tensiune. Acest termen se folosește pentru definirea unei scăderi a tensiunii, chiar dacă valoarea cu care scade tensiunea nu este atât de mare încât să poată fi considerată gol de tensiune. Se mai face precizarea că în toate documentele realizate în limba engleză am ales folosirea denumirii „voltage dip”.

Definirea fenomenului „gol de tensiune” diferă de la autor la autor, dar în general exprimă același lucru. Spre exemplu, în [Eurelectric2002] se prezintă următoarea definiție: „*un gol de tensiune reprezintă o perturbație electromagnetică în două dimensiuni, al cărui nivel este dat atât de valoarea tensiunii, cât și de valoarea duratei*”. Această definiție este preluată din [IEC61000-2-8]. În [Dugan2003] se oferă următoarea definiție „*un gol de tensiune reprezintă o scurtă reducere (tipic în intervalul 0.5 ... 30 cicluri) a valorii efective cauzată de scurtcircuite în sistemul electric și de pornirea consumatorilor mari, cum ar fi*

*motoarele electrice*". În [Fuchs2008] nu există o definiție concretă dar se face precizarea că „*golurile de tensiune sunt reduceri de scurtă durată a valorii efective în intervalul 0.1 ... 0.9 u.r.*” Totodată se mai face precizarea că „*durata poate fi considerată în intervalul 0.5 cicluri până la 1 minut*”. În [Bollen2006] se folosește o definiție foarte scurtă „*un gol de tensiune este o reducere de scurtă durată a amplitudinii tensiunii*”. Ultima definiție prezentată este regăsită în [Baggini2008]: „*un gol de tensiune reprezintă o reducere bruscă a tensiunii într-un punct particular al unui sistem electric, sub o valoare de prag (cu o durată nu mai mică de 10ms), urmată de o revenire după un interval scurt de timp*”.

În România problema definirii golului de tensiune este de asemenea discutată. Spre exemplu în [Șurianu2007] se definește golul de tensiune ca fiind „*scăderea bruscă a amplitudinii sau a valorii efective a tensiunii într-un anumit nod de rețea până la o valoare de minimum 20% din tensiunea nominală și care durează maximum 3 sec*” O altă definiție românească a golurilor de tensiune se găsește în [Buta2001], referință în care se precizează că „*prin gol de tensiune se înțelege o scădere bruscă, de scurtă durată, a amplitudinii sau a valorii efective a tensiunii, într-un interval cuprins între două șocuri de tensiune consecutive de sens contrar, interval în care tensiunea este în permanență inferioară valorii sale nominale*”.

După cum se observă și din cele prezentate anterior, unii autori oferă direct din definiție limitele amplitudinilor și duratelor pentru care o scădere a amplitudinii tensiunii este considerată gol de tensiune. Dacă se analizează și prevederile standardelor din domeniu, limitele acestor doi parametri care caracterizează golul de tensiune diferă foarte mult. O analiză comparativă a prevederilor standardelor internaționale din domeniu calității energiei electrice este prezentată în Tabelul 2.1 preluat din [Baggini2008].

Tabelul 2.1. Definirea amplitudinii și duratei golului de tensiune în diferite standarde.

<b>Standard</b>	<b>Amplitudine</b>	<b>Durata minimă</b>	<b>Durată maximă</b>
IEC 1000-2-1	10-100% din $U_N$	0.5 din perioadă	Câteva secunde
IEC 1000-2-2	10-100% din $U_N$	10 ms	3 s
IEC 1000-2-5	10-99% din $U_N$	10 ms	Câteva secunde
IEC 61000-2-12	10-99% din $U_N$	10 ms	3 s
EN 61000-4-11	10-95% din $U_N$	0.5 din perioadă	Câteva secunde
IEC 1000-6-1	10-95% din $U_N$		
IEC 1000-6-2	10-95% din $U_N$		
EN 50160	10-99% din $U_N$	10 ms	1 min
UNIPEDA	10-99% din $U_N$		
UIE	10-99% din $U_N$	10 ms	1 min
IEC 61000-4-30	Toate pragurile pot fi considerate în funcție de problema tratată		
IEEE Std. 1159-1995	10-90%	0.5 din perioadă	1 min
CENELEC	10-90%	10 ms	1 min
EPRI	< 95%	1 perioadă	1 min
Brazilian	10-90%	1 perioadă	1 min

Ținând cont de cele prezentate anterior se poate spune că un gol de tensiune reprezintă o perturbație electromagnetică care face parte din categoria fenomenelor staționare aferente problemelor de calitate a energiei electrice. Aceste fenomene staționare sunt caracterizate de doi parametri și anume: valoarea tensiunii efective pe durata fenomenului și durata fenomenului. Încadrarea acestor

fenomene staționare în problemele de calitate a energiei electrice, precum și încadrarea golurilor de tensiune în această categorie se pot observa în Fig.2.1.

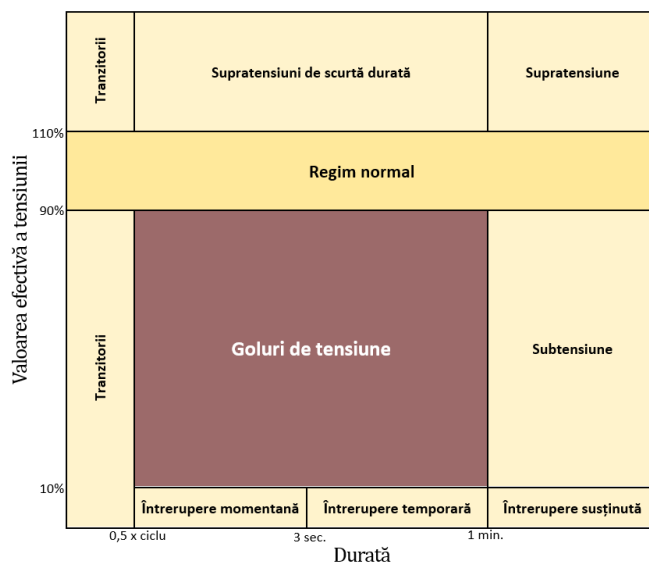


Fig. 2.1- Definierea fenomenelor staționare de calitate a energiei electrice

Alegerea modului în care se definește un gol de tensiune, precum și modul de stabilire al pragurilor de tensiune și al duratei de timp, determină modul de folosire al mărimilor caracteristice. În această lucrare s-a ales definiția golului de tensiune astfel: „Un gol de tensiune este o reducere între 10% și 90% a valorii efective a tensiunii ( $U_N$ ) pe o durată scurtă de timp ( de la jumătate de perioadă până la 1 minut)” [Bollen2006].

## 2.2. Forma golurilor de tensiune

Tensiunea variază în timpul unui gol de tensiune după o curbă complicată, diferită de la un gol la altul, iar alura acestei variații determină o nouă caracteristică calitativă a golului și anume forma golului de tensiune. Forma golului de tensiune este dependentă de mai mulți factori, cum ar fi: natura fenomenelor generatoare, modul de lucru și performanțele protecțiilor, automatizărilor și echipamentelor de comutație, configurația și parametrii rețelei, natura și mărimea surselor și a sarcinilor etc. S-au putut distinge trei forme distincte, care pot fi folosite în descrierea matematică a acestor goluri [Șurianu2007] și [Buta2001]:

- goluri de tensiune dreptunghiulare, Fig.2.2.a, specifice scurtcircuitelor eliminate prin protecții simple și caracterizate prin menținerea tensiunii practic constantă pe durata golului;
- goluri de tensiune exponențiale, Fig.2.2.b, specifice pornirii prin conectare directă la rețea a motoarelor de mare putere, magnetizării transformatoarelor și anclanșării fiderelor de distribuție a energiei electrice. Ele sunt caracterizate printr-un salt brusc al tensiunii la începutul golului și printr-o revenire practic exponențială a acesteia;
- goluri de tensiune de formă complexă, Fig.2.2.c, provocate de funcționarea în trepte a protecțiilor care elimină defectul, și caracterizate prin nivele diferite de tensiune.

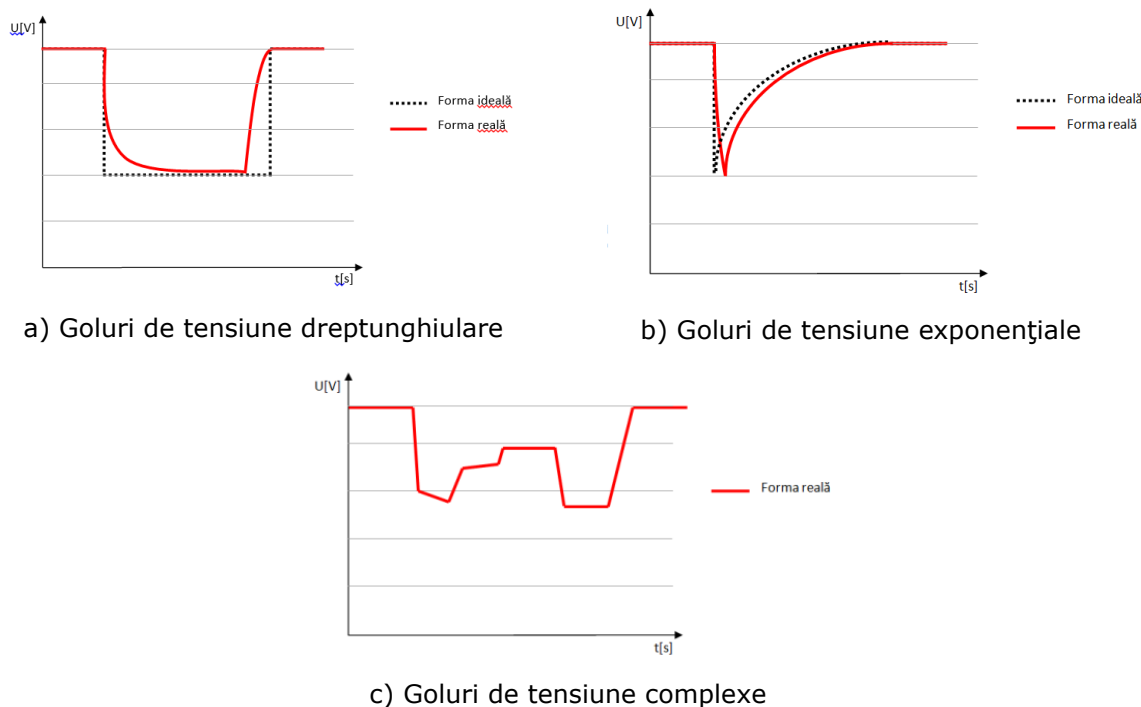


Fig. 2.2 - Exemple de goluri de tensiune

Conform statisticilor existente în domeniu, majoritatea golurilor de tensiune înregistrate sunt cele de formă dreptunghiulară. Acest lucru se explică și prin faptul că cele de formă exponențială pot fi ușor eliminate prin diverse tehnici cum ar fi pornirea lentă a motoarelor de puteri mari. Golurile de tensiune de tip complex sunt mai rar întâlnite deoarece ele apar în momentul în care un defect nu este eliminat de protecția cea mai apropiată, acesta propagându-se în rețeaua electrică. Din aceste motive, majoritatea cercetărilor prezentate în continuare se referă la golurile de tensiune de formă dreptunghiulară.

## 2.3. Parametrii caracteristici ai golurilor de tensiune

Cunoașterea valorilor parametrilor caracteristici ai golurilor de tensiune este utilă pentru optimizare rețelelor electrice în vederea eliminării cauzelor, cât și a efectelor golurilor de tensiune, în special a celor efecte care au impacte economice. Principalii parametrii caracteristici ai golurilor sunt durata și amplitudinea, care se folosesc și pentru procesul de standardizare în tot ceea ce înseamnă studiul acestui fenomen. Totuși, mai există doi parametri, numiți saltul unghiului de fază și punctele de inițiere, respectiv sfârșit al golului de tensiune care influențează mult comportarea anumitor consumatori, precum și comportarea sistemelor de protecție împotriva golurilor de tensiune.

### 2.3.1. Amplitudinea golului de tensiune

Amplitudinea golului de tensiune (Fig.2.3) reprezintă unul dintre cei doi parametrii importanți care caracterizează golurile de tensiune. De multe ori terminologia de amplitudine a golului de tensiune creează confuzii în interpretarea corectă a semnificației sale. O parte din cercetătorii din domeniu folosesc termenul

de amplitudine pentru exprimarea lipsei de tensiune pe durata golului (un gol cu o amplitudine de 30% semnifică un regim în care tensiunea a scăzut cu 30% din valoarea nominală). O altă categorie de cercetători definesc amplitudinea golului de tensiune ca fiind valoarea remanentă a tensiunii (un gol de 0.7 u.r. semnifică un regim pe durata căruia tensiunea este 70% din tensiunea nominală) [Dugan2003]. În prezent, pentru a nu se crea confuzii în interpretarea rezultatelor, mulți cercetători au ales să utilizeze a doua exprimare, de multe ori aceștia precizând suplimentar că valoarea exprimată înseamnă tensiune remanentă [Bollen2006]. În aceste condiții amplitudinea golului de tensiune este considerată ca fiind valoarea minimă a tensiunii atinsă în timpul golului.

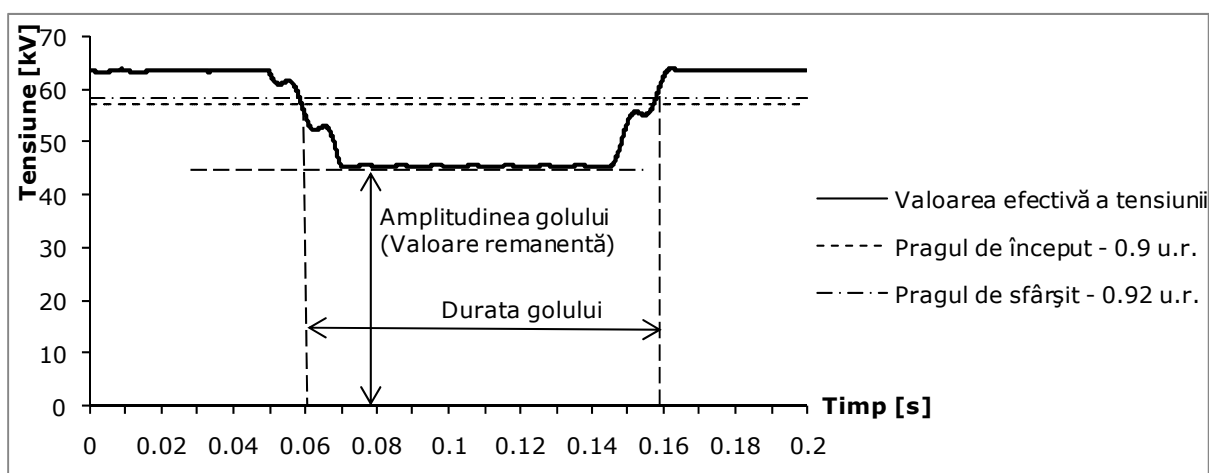


Fig. 2.3 - Parametrii caracteristici prezentați pe curba valorii efective a tensiunii de fază.

O altă problemă care influențează valoarea amplitudinii golului de tensiune o reprezintă valoarea tensiunii la care se raportează aceasta. În unele standarde se prezintă că amplitudinea golului de tensiune se raportează la valoarea nominală a tensiunii în nodul respectiv, alte normative raportează golul de tensiune la valoarea prescrisă pentru nodul respectiv. În plus unii cercetători recomandă raportarea amplitudinii la tensiunea măsurată înaintea apariției golului de tensiune.

Valoarea efectivă a tensiunii se poate obține prin mai multe metode de calcul. În literatura de specialitate se propun diverse soluții de calcul a valorii efective a tensiunii. Există multe metode de prelucrare semnale cu ajutorul cărora se pot obține și valorile efective ale tensiunii, dar dintre acestea cea mai utilizată este cea clasică și anume, calcularea valorii medii pătratice pe un anumit interval de timp (relația (2.1)). De asemenea și la utilizarea acestei metode există mai multe posibilități de calcul care cresc sau scad precizia de determinare a amplitudinii golului de tensiune.

$$U_{ef}(k) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=k-N+1}^k u_i^2} \quad (2.1)$$

unde  $N$  reprezintă numărul de eșantioane consecutive,  $u_i$  reprezintă funcția tensiunii în timp, iar  $k$  reprezintă momentul de timp în care se calculează valoarea efectivă.

O primă diferență între valorile obținute este determinată de intervalul de timp pe care se calculează tensiunea, și anume: se poate calcula pe o perioadă a frecvenței fundamentale, rezultatul fiind mai precis; se poate calcula pe o jumătate de perioadă a frecvenței fundamentale, rezultatul nefiind atât de precis, în schimb se obține într-un timp mai scurt. Calculul pe o perioadă a frecvenței fundamentale se folosește în general în sistemele de monitorizare a calității energiei electrice, iar

calculul pe o jumătate de perioadă a frecvenței fundamentale se folosește în sisteme de protecție sau de control a dispozitivelor de reducere a efectelor golurilor de tensiune asupra consumatorilor.

O altă abordare în calcularea valorii efective a tensiunii o reprezintă intervalul de recalculare a valorii efective. Din acest punct de vedere există de asemenea două metode. Prima metodă (recomandată în standardul IEC 61000-4-30) presupune calcularea valorii efective prin utilizarea unei perioade a frecvenței fundamentale cu recalculare a acesteia la fiecare jumătate de perioadă (într-o secundă se calculează 100 de valori efective). Această metodă consumă mai puține resurse de calcul, dar curba valorii efective este formată din trepte de tensiune. Ea se aplică în general în sistemele de monitorizare care dețin memorii de date de capacitate reduse. A doua metodă, o reprezintă calcularea valorii efective cu o frecvență mai mare decât cea la jumătate de perioadă fundamentală, putându-se ajunge până la maxim frecvența de eșantionare (la o frecvență de eșantionare de 4kHz se calculează într-o secundă 4000 de valori efective). Această metodă poartă denumirea de metoda ferestrei alunecătoare. Curba tensiunii efective este continuă în timp, determinându-se cu o precizie ridicată momentul apariției unui gol de tensiune. Totuși această metodă consumă resurse importante ale sistemului de calcul. De obicei acest algoritm se implementează hardware în sisteme de control în timp real a echipamentelor de protecție împotriva golurilor de tensiune.

Din punct de vedere al prezentului studiu se va folosi calculul valorii efective a tensiunii pe durata unei perioade a frecvenței fundamentale, utilizând metoda ferestrei alunecătoare. Amplitudinea golului se va calcula prin raportarea tensiunii pe durata golului la valoarea tensiunii dinaintea apariției acestuia.

### **2.3.2. Durata golului de tensiune**

Durata golului de tensiune (Fig.2.3) reprezintă intervalul de timp cuprins între momentul apariției golului de tensiune până în momentul revenirii din golul de tensiune. În vederea determinării acestor momente de timp se stabilește o valoare de prag a tensiunii efective. Când valoarea efectivă a tensiunii scade sub pragul stabilit se consideră că începe un gol de tensiune, iar când tensiunea crește peste pragul stabilit atunci se consideră că s-a finalizat golul de tensiune. Dacă se ține cont de caracterul variabil al tensiunii efective în timp, unii cercetători [Bollen2006] propun utilizarea a două valori de prag și anume una pentru începutul golului de tensiune (de obicei 90% din valoarea nominală) și alta pentru sfârșitul golului de tensiune (de obicei 92% din valoarea nominală). Acest lucru este prevăzut și în standardul [IEC61000-4-30]. Prin utilizarea a două nivele de prag diferite se elimină înregistrarea mai multor goluri de tensiune de durată mai scurtă în timpul unui gol cu tensiune remanentă în jur de 0.9 u.r.

Totuși unii cercetători [Bollen2006], [Djokic2007] consideră că o abordare mai corectă în calcularea duratei golului de tensiune este oferită de utilizarea punctelor de pe curbă de inițiere și finalizare a unui gol de tensiune. Tot ei precizează că până în prezent această metodă nu poate fi utilizată datorită incertitudinii algoritmilor utilizați pentru determinarea acestor puncte.

Duratele golurilor de tensiune sunt determinate de performanțele echipamentelor de protecție, automatizări și comutație care fac posibilă revenirea tensiunii normale. Valorile corespunzătoare ale acestora, determinate în rețeaua electrică a Sistemului Energetic Național la nivelele de 110kV, respectiv 220kV, se pot vedea în [Buta2001]. Echipamentele moderne utilizate în rețelele electrice

permit o durată minimă de eliminare a defectelor de 0,08 s (o perioadă pentru relee și trei perioade pentru întreruptoare).

Ca și tensiunile reziduale, durata golurilor de tensiune are o mare influență asupra comportării receptoarelor sensibile la astfel de perturbații. Spre exemplu în [Molnar2011a] se poate observa influența duratei golului de tensiune asupra amplitudini curentului absorbit de către un consumator echivalent la nivelul de 110kV.

Din punctul de vedere al prezentei lucrări durata golului de tensiune va fi determinată conform prevederilor standardului [IEC61000-4-30].

### 2.3.3. Saltul unghiului de fază / Defazaj

Fenomenul denumit saltul unghiului de fază (phase angle jump – [Bollen2006]) sau modificare defazaj (phase shift – [Djokic2006], [IEC61000-4-30]) reprezintă modificarea instantanee a unghiurilor fazelor afectate, mai concret fiind diferența dintre unghiul de fază al tensiunii pe durata golului și unghiul de fază al tensiunii înainte de eveniment. Termenul de *salt al unghiului de fază* este folosit corect în situațiile în care ne interesează valoarea medie a defazajului pe durata golului de tensiune. Termenul de *modificare a defazajului* este folosit corect în condițiile în care se calculează valoarea instantanee a defazajului.

Acest fenomen însoțește tot timpul un gol de tensiune, iar el poate fi observat în Fig.2.4. El se datorează modificării parametrilor electrici, mai concret al raportului  $X/R$  văzut în nodul în care se înregistrează tensiunea.

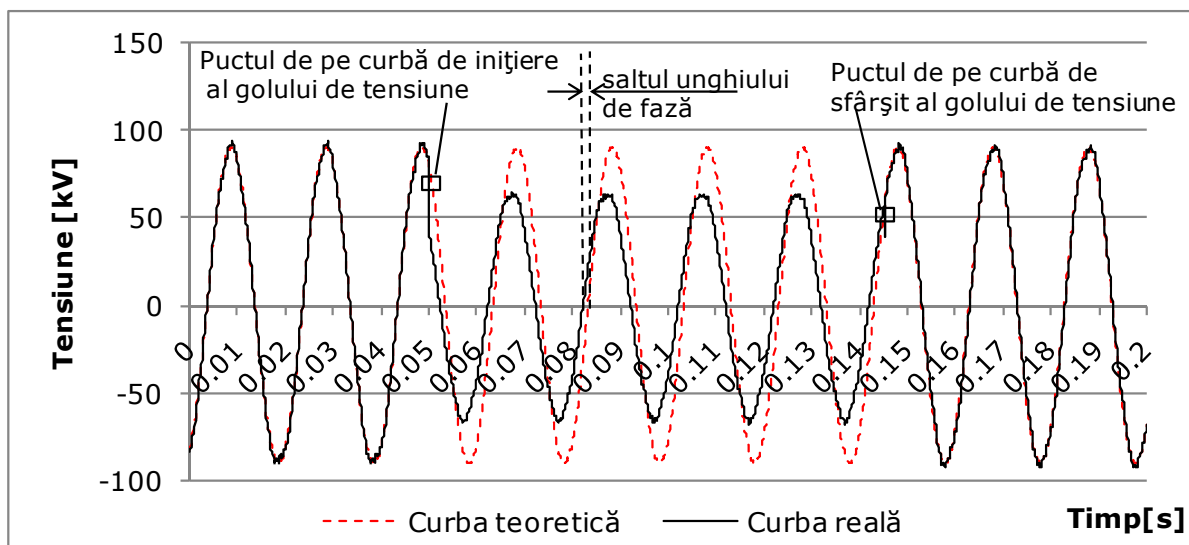


Fig. 2.4 - Parametrii caracteristici pe sinusoidă ai golurilor de tensiune

Conform [Djokic2006] se poate folosi și expresia *saltul unghiului de fază pe durata golului*, care sugerează că valoarea exprimată a fost înregistrată pe durata golului de tensiune. Unii cercetători folosesc acest termen pentru că există și posibilitatea modificării defazajului (față de cel inițial) și după dispariția golului de tensiune. În această situație se folosește expresia *saltul unghiului de fază după finalizarea evenimentului*. Practic dacă la finalizarea evenimentului sistemul electric revine la starea inițială, saltul unghiului de fază este nul, iar dacă sistemul va avea o nouă configurație (prin deconectarea unor linii, surse sau consumatori) atunci saltul unghiului de fază va avea valori tipic în intervalul 1-2% [Djokic2006]. Un studiu



detaliat care analizează saltul unghiului de fază după finalizarea evenimentului se găsește în [Bollen2003a].

O altă problemă legată de analiza saltului unghiului de fază o reprezintă metoda de calcul al acestuia. În literatura de specialitate se propun două variante:

- determinarea unei valori unice calculată ca și valoarea medie sau ca diferență dintre unghiul de fază al tensiunii pe durata golului și cel dinaintea de gol, cu precizarea că indiferent de metoda aleasă calculul să cuprindă doar intervalul stabilizat al golului de tensiune;
- determinarea unei curbe de valori, prin calcularea mărimilor instantanee, utilizând aceleași proceduri prezentate la calculul valorilor efective ale tensiunii. În această situație se folosește în general tehnica ferestrei alunecătoare.

Calcularea valorilor saltului unghiului de fază se poate realiza prin mai multe metode dintre care se disting două metode mai importante. Prima metodă are la bază tehnica determinării trecerilor prin zero a sinusoidelor. Cu ajutorul acestei metode se poate determina o valoare a saltului unghiului de fază ca și diferență dintre două treceri prin zero. Trecerile prin zero nu trebuie să fie consecutive pentru a se permite trecerea regimului tranzitoriu. A doua metodă presupune calcularea în fiecare moment a unghiului tensiunii, în final putându-se obține fie o curbă de valori cu saltul unghiurilor de fază, fie o valoare unică prin calcularea diferenței dintre două unghiuri amplasate la o distanță de timp egală cu multiplu al perioadei frecvenței reale.

Înregistrarea sau calcularea saltului unghiului de fază ca și parametru al golurilor de tensiune are importanță datorită efectelor negative pe care le are acesta în funcționarea contactoarelor electrice [Djokic2004] și a sistemelor de reglare a turației motoarelor electrice [Bollen2000a].

Așa cum s-a precizat anterior saltul unghiului de fază apare datorită modificării raportului  $X/R$  văzut în punctul de măsură. Acest raport are două componente de bază. Prima este o componentă ce poate fi calculată cu relații matematice, ea fiind dată de tipul defectului care a produs golul de tensiune (scurtcircuite FN, 2FN, 2F, 3F, 3FN) și de elementele de rețea (în special conexiunea transformatoarelor) de la locul de defect până la punctul de măsură. Această componentă este preponderentă în valoarea saltului unghiului de fază, iar un studiu complet privind determinarea ei se regăsește în [Bollen2000b]. A doua componentă are caracter aleatoriu și ea este dată de către caracteristicile consumatorilor existenți în rețeaua electrică. Această componentă este greu de calculat și ar presupune cunoașterea exactă și detaliată a consumatorilor înainte și în timpul golului de tensiune.

În continuarea acestei lucrări se va folosi termenul de *salt al unghiului de fază* pentru a exprima o singură valoare obținută ca diferență dintre unghiul tensiunii pe durata golului și unghiul tensiunii înainte de apariția golului.

#### **2.3.4. Punctele de pe undă de început și sfârșit ale golului de tensiune**

Pe unda de tensiune asociată unui gol există două puncte care pot fi considerate caracteristici ale golului de tensiune. Primul punct este punctul de pe curba de tensiune în care apare golul. De fapt, acest punct este dat de unghiul tensiunii la momentul apariției golului de tensiune. Al doilea punct este reprezentat de punctul de pe curba de tensiune în care se finalizează golul de tensiune. Acest



punct este dat de unghiul tensiunii la momentul finalizării golului de tensiune [Djokic2007]. Aceste puncte pot fi observate în Fig.2.4.

Totuși, până în prezent, normativele din domeniu care includ și golurile de tensiune nu specifică necesitatea monitorizării sau identificării acestor parametri. Acest lucru se datorează și problemelor reale de determinare corectă a acestor puncte. Totuși unele normative cum ar fi [IEC61000-4-30], prezintă o metodă posibilă de identificare a acestor două puncte. Metoda presupune generarea a două curbe de tensiune din care prima va avea amplitudinea și frecvența reală din sistem înregistrate înainte să apară golul de tensiune, iar a doua va avea aceeași frecvență dar o amplitudine cu 10% mai mică. Punctul de pe curbă la care apare un gol de tensiune este punctul în care curba reală de tensiune va părăsi spațiul delimitat de cele două curbe (Fig.2.5).

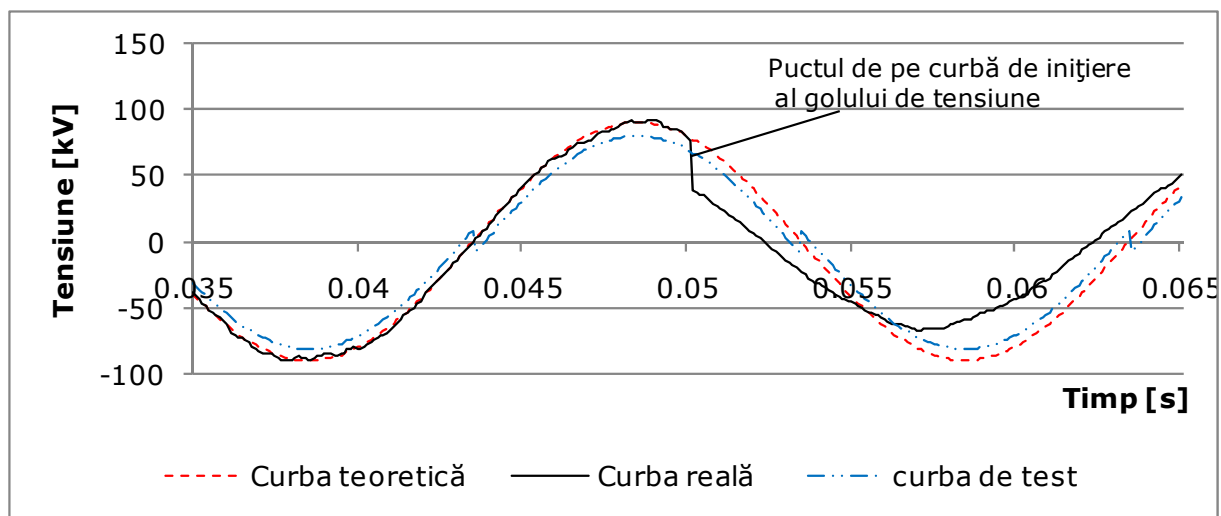


Fig. 2.5 – Determinarea punctului de pe curbă de inițiere al golului de tensiune.

Identificarea punctelor de pe undă de început și sfârșit ale unui gol de tensiune se poate realiza suficient de corect prin inspecție vizuală. Totuși când se dorește realizare automată a acestui lucru problema devine foarte complicată. În [Djokic2007] autorii susțin că algoritmi care vor modela comportamentul uman de inspecție vizuală vor obține rezultate satisfăcătoare.

În literatura de specialitate sunt prezentate și câteva valori posibile pentru acest parametru. De exemplu în [Djokic2007] se precizează că datorită momentului de pe undă de curent în care apare în general un scurtcircuit, se așteaptă ca punctul de pe undă de început al golului de tensiune să fie cuprins într-unul din intervalele  $[30^\circ - 90^\circ]$  sau  $[210^\circ - 270^\circ]$ . Aceste intervale sunt valabile doar în cazul în care se identifică golul de tensiune la nivelul de tensiune în care a avut loc scurtcircuitul. În cazul în care monitorizarea se realizează în puncte ale rețelei care sunt separate de locul de defect prin intermediul transformatoarelor, atunci valoarea punctului de pe curbă la inițierea golului de tensiune se modifică cu  $30^\circ$  la fiecare trecere prin transformator [Bollen2000b].

Referitor la punctul de pe curbă de sfârșit al golului de tensiune, acesta este și mai greu de determinat, deoarece revenirea din defect nu este atât de bruscă ca și inițierea unui defect. Mai mult, în cazul golurilor de tensiune de formă exponențială, nici nu se poate determina un punct de pe curbă la care să se considere că golul de tensiune s-a finalizat [Bollen2006].

Tot în [Bollen2006] se precizează că până în prezent nici o metodă propusă pentru determinarea punctelor de pe curbă de inițiere și de sfârșit ale unui gol de tensiune nu sunt suficient de precise. Din acest motiv, standardele nu solicită monitorizarea acestui parametru al golului de tensiune.

Totuși monitorizarea acestui parametru este importantă datorită efectelor sale asupra consumatorilor electrici. În primul rând, punctele de pe curbă de inițiere și sfârșit ale golurilor de tensiune au efecte negative asupra comportării contactoarelor electrice [Djokic2004], dar și a echipamentelor electrice pe care acestea le deservește cum ar fi: transformatoarelor electrice [Guash2002], respectiv motoarele electrice [Guash2004]. Punctele de pe curbă de inițiere și sfârșit ale unui gol de tensiune au influențe asupra tuturor echipamentelor care folosesc în funcționare principiul comutației statice [Djokic2005a].

În final se poate spune că în momentul în care punctele de pe curbă de inițiere și sfârșit ale unui gol de tensiune vor putea fi determinate cu precizie, acestea se vor introduce în standarde ca parametru obligatoriu de monitorizat, și probabil se vor folosi pentru determinarea duratei golului de tensiune așa cum s-a precizat în paragraful 2.3.2.

## 2.4. Golurile de tensiune în sisteme trifazate

În sistemele trifazate, analiza golurilor de tensiune ridică câteva probleme de interpretare. O primă interpretare a fost aceea de analiză individuală a fiecărei faze în parte. Această abordare practic nu consideră interdependența dintre fazele sistemului electric, ci analizează fiecare fază independent. Practic conform acestei abordări, un gol de tensiune în sistemul trifazat este analizat ca și trei goluri de tensiune monofazate. Legătura cu sistemul trifazat era realizată prin precizarea numărului de faze afectate (goluri mono, bi sau trifazate) și prin precizarea faptului că golul de tensiune este simetric sau nesimetric. Ulterior s-a analizat un nou principiu și anume considerarea unui gol de tensiune trifazat ca și un singur eveniment. Bineînțeles, pentru respectarea acestui considerent, golul de tensiune trebuie caracterizat de o singură amplitudine și o singură durată. Din acest punct de vedere, în [Bollen2000b] s-a stabilit că amplitudinea unui gol de tensiune reprezintă cea mai mică amplitudine (valoare remanentă) dintre amplitudinile celor trei faze; durata unui gol de tensiune se consideră ca fiind egală cu diferența de timp dintre momentul în care tensiunea oricărei faze scade sub valoarea de prag și momentul în care ultima tensiune de fază crește peste valoarea de prag.

În aceste condiții, pentru a se putea asigura legătura dintre cele trei faze, în [Bollen2000b] s-a pornit de la noțiuni teoretice de comportare a rețelei electrice la diferite tipuri de scurtcircuite și s-a propus realizarea unei clasificări a golurilor de tensiune trifazate denumite *Clasificarea ABC*. Ulterior, același autor, dar în lucrarea [Zhang2000] propune o nouă clasificare care este mult mai apropiată de măsurătorile efectuate în sistemul electroenergetic. Această clasificare poartă denumirea de *Clasificarea conform componentelor simetrice*. Autorii celor două clasificări chiar precizează că pentru realizarea de studii teoretice prin calcule matematice sau prin simulare se recomandă utilizarea primei clasificări, iar pentru întocmirea de statistici, precum și pentru efectuarea de analize cu măsurători reale se recomandă a doua clasificare. O comparație completă între cele două clasificări se găsește în [Bollen2003c] și [Bollen2006]. Abia în 2013 a mai apărut o nouă clasificare [Thakur2013a], care clasifică golurile de tensiune în funcție de numărul de faze afectate și de prezența sau lipsa componentei de secvență homopolară.

În literatura de specialitate există mai multe tipuri de clasificări a golurilor de tensiune. Totuși așa cum se arată și în [Djokic2005b] restul clasificărilor propuse clasifică golurile după principii legate de durată și amplitudine fără a face nici o legătură cu sistemul trifazat. Acestea sunt de cele mai multe ori clasificări statistice.

### 2.4.1. Clasificarea ABC

O prima metodă de clasificare a golurilor de tensiune trifazate a fost propusă de către Bollen în 1997 [Bollen1997]. Această metodă caracterizează golurile de tensiune trifazate nesimetrice, bazându-se pe ideea că impedanțele secvențelor pozitive și negative sunt identice, acestea fiind grupate în patru grupe, numite tipul golului de tensiune A, B, C sau D. Prezentarea grafică a fazorilor celor patru tipuri de goluri, însoțite de relațiile matematice care le determină se prezintă în Tabelul 2.2.

Tabelul 2.2. Reprezentarea fazorială și relațiile matematice pentru tipurile A, B, C și D.

Tipul golului	Reprezentare fazorială	Calculul tensiunilor de fază
A		$\underline{U}_R = hU$ $\underline{U}_S = -\frac{1}{2}hU - j\frac{\sqrt{3}}{2}hU$ $\underline{U}_T = -\frac{1}{2}hU + j\frac{\sqrt{3}}{2}hU$
B		$\underline{U}_R = hU$ $\underline{U}_S = -\frac{1}{2}U - j\frac{\sqrt{3}}{2}U$ $\underline{U}_T = -\frac{1}{2}U + j\frac{\sqrt{3}}{2}U$
C		$\underline{U}_R = hU$ $\underline{U}_S = -\frac{1}{2}U - j\frac{\sqrt{3}}{2}hU$ $\underline{U}_T = -\frac{1}{2}U + j\frac{\sqrt{3}}{2}hU$
D		$\underline{U}_R = hU$ $\underline{U}_S = -\frac{1}{2}hU - j\frac{\sqrt{3}}{2}U$ $\underline{U}_T = -\frac{1}{2}hU + j\frac{\sqrt{3}}{2}U$

Unde:

$U$  - tensiunea efectivă pe faza R din regimul ante-perturbație

$h$  - amplitudinea golului de tensiune în u.r.

Se observă că a fost aleasă faza R ca fiind de referință, în același mod obținându-se valorile tensiunilor dacă se alege ca și referință faza S sau T.

Reprezentările fazoriale din Tabelul 2.2 au fost realizate pentru goluri de tensiune trifazate cu o amplitudine de 0.5 u.r.

Semnificația celor patru tipuri de goluri de tensiune este următoarea:

- tipul A reprezintă golurile trifazate simetrice, având aceeași scădere a tensiunii pe toate cele trei faze;
- tipul B reprezintă golurile monofazate care au nulul legat rigid la pământ. În această situație doar o fază este afectată de scăderea tensiunii, iar la celelalte două faze, tensiunea rămâne neschimbată;
- tipul C reprezintă golurile de tensiune bifazate generate de scurtcircuite bifazate. Acest tip de gol este însoțit și de o scădere a tensiunii pe cea de a treia fază la care se adaugă și o creștere a defazajelor fazelor afectate față de faza sănătoasă;
- tipul D reprezintă golurile monofazate calculate în rețele care nu au nulul legat la pământ. La această categorie de goluri, fazele sănătoase au o mică scădere în amplitudine, dar în schimb defazajul lor față de faza afectată va fi mai mic decât cel standard de 120°.

Totodată trebuie menționat că aceste tipuri de goluri de tensiune au fost calculate pornind de la relații teoretice pentru conexiunea stea a sistemului de monitorizare. În cazul în care la rețea sunt conectați consumatori în conexiune delta atunci aceste relații trebuie adaptate printr-o transformare stea-triunghi.

În anul 2000 tot Bollen [Bollen200b] propune extinderea clasificării, incluzându-se de data aceasta și situațiile de evenimente bifazate cu punere la pământ, precum și propagarea golurilor prin transformatoare cu conexiune Yd sau Dy. În aceste condiții au mai apărut 3 tipuri de goluri denumite E, F și G.

*Tipul E*, reprezintă goluri bifazate date de către defecte bifazate cu punere la pământ. În această situație fazele afectate suferă o scădere cu aceeași valoare a tensiunii, tensiunea de pe faza neafectată rămâne la valoarea inițială, și nu se înregistrează nici un salt în defazajul lor.

*Tipul F* apare la bornele unui transformator cu conexiune Dy sau Yd, dacă la cealaltă pereche de borne avem un gol de tensiune de tip E. Tipul F este caracterizat de o scădere mai pronunțată a tensiunii pe o fază, însoțită de o scădere mai ușoară pe celelalte două faze. Practic este asemănător cu tipul D, doar că pentru tipul F apare o scădere mai mare a tensiunilor pe cele două faze mai puțin afectate, precum și un salt al unghiurilor de fază mai pronunțat.

*Tipul G* apare dacă în serie cu primul transformator, mai există un transformator tot cu conexiune Yd sau Dy. Acest tip de gol de tensiune apare datorită trecerii printr-un transformator cu conexiunea amintită a unui gol de tip F. El este asemănător cu cel de tip C, diferențele fiind date de o scădere de tensiune mai mare pe faza neafectată și un salt al unghiurilor de fază mai pronunțat.

Propagarea golurilor de tensiune prin transformatoare este determinată de tipul golului de tensiune pe partea primară a transformatorului și de tipul conexiunii transformatorului. Tipurile de goluri de tensiune ce se pot obține pe partea secundară a transformatoarelor sunt prezentate în Tabelul 2.3 [Barrera2011].

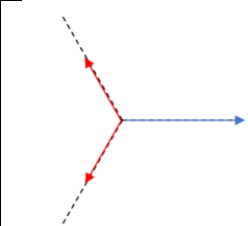
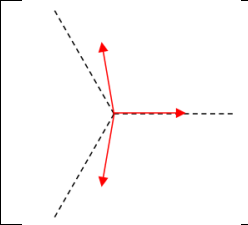
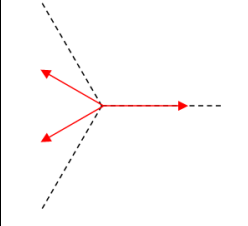
Tabelul 2.3. Tipul golului de tensiune pe partea secundară a transformatoarelor.

Tipul conexiunii transformatorului	Tipul golului de tensiune în înfășurarea primară						
	A	B	C	D	E	F	G
YN/yn	A	B	C	D	E	F	G
Yy; Dd; Dz	A	D	C	D	F	F	G
Dy; Yd; Yz	A	C	D	C	G	G	F

Totuși, transformatoarele nu influențează doar tipul golului de tensiune, ci și fazele afectate. Modificarea fazelor afectate este determinată de grupa de conexiune a transformatorului. Un studiu complet privind propagarea golurilor de tensiune prin transformatoare se prezintă în [Aung2006].

În aceste condiții Tabelul 2.2 poate fi completat cu reprezentările grafice și relațiile matematice pentru noile tipuri de goluri de tensiune (Tabelul 2.4). Astfel, noua clasificare ABC propune șapte tipuri de goluri de tensiune.

Tabelul 2.4. Reprezentarea fazorială și relațiile matematice pentru tipurile E, F și G.

Tipul golului	Reprezentare fazorială	Calculul tensiunilor de fază
E		$\underline{U}_R = U$ $\underline{U}_S = -\frac{1}{2}hU - j\frac{\sqrt{3}}{2}hU$ $\underline{U}_T = -\frac{1}{2}hU + j\frac{\sqrt{3}}{2}hU$
F		$\underline{U}_R = hU$ $\underline{U}_S = -\frac{1}{2}hU - j\frac{1}{\sqrt{12}}(2+h)U$ $\underline{U}_T = -\frac{1}{2}hU + j\frac{1}{\sqrt{12}}(2+h)U$
G		$\underline{U}_R = \frac{1}{3}(2+h)U$ $\underline{U}_S = -\frac{1}{6}(2+h)U - j\frac{\sqrt{3}}{2}hU$ $\underline{U}_T = -\frac{1}{2}(2+h)U + j\frac{\sqrt{3}}{2}hU$

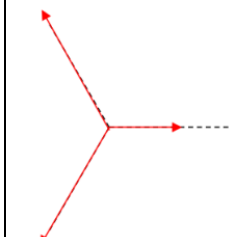
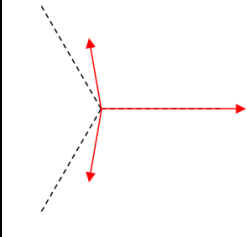
Unde:

$U$  - tensiunea efectivă pe faza R din regimul ante-perturbație

$h$  - amplitudinea golului de tensiune în u.r.

În 2009, în [Ignatova2009] s-a propus îmbunătățirea acestei metode de clasificare prin introducerea a două noi tipuri de goluri de tensiune, notate H și I. Autorii au prezentat doar reprezentările fazoriale care pot fi văzute în Tabelul 2.5.

Tabelul 2.5. Reprezentarea fazorială pentru tipurile H și I.

Tipul golului	Reprezentare fazorială	Tipul golului	Reprezentare fazorială
H		I	

*Tipul H* este dat de un defect monofazat și este caracterizat de o scădere mai accentuată a tensiunii pe faza afectată și o creștere a tensiunii pe celelalte două faze.

*Tipul I* este dat de un defect bifazat și este caracterizat de o scădere mai accentuată a tensiunilor pe două faze și o creștere a tensiunii pe a treia fază.

Ținând cont de faptul că la aceste două tipuri apar creșteri de tensiune pe fazele sănătoase, mulți autori nu le iau în considerare, ele reprezentând o combinație între goluri de tensiune și supratensiuni.

#### 2.4.2. Clasificarea după metoda componentelor simetrice

În 2000, în [Zhang2000] se propune o nouă metodă de clasificare folosind componentele simetrice, dorindu-se realizarea unei clasificări a golurilor de tensiune mai aproape de realitate. Această metodă pornește de la descompunerea fazorilor în componente simetrice, considerând că impedanțele secvenței pozitive, respectiv a secvenței negative sunt egale.

Această clasificare împarte golurile de tensiune în șapte clase. Pentru realizarea acestei clasificări se pornește de la sistemul matricial definit de relația (2.2).

$$\begin{bmatrix} U_0 \\ U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_R \\ U_S \\ U_T \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

unde:

$U_0$  – este componenta de secvență homopolară;

$U_1$  – este componenta de secvență directă;

$U_2$  – este componenta de secvență inversă;

$a$  – este coeficientul de rotație al fazorilor definit de relația (2.3).

$$a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \quad (2.3)$$

În continuare se prezintă modul de definire a fiecărui tip de gol de tensiune, cu precizarea că pentru realizarea acestei clasificări nu este luată în considerare tensiunea de secvență homopolară.

În situația în care este afectată tensiunea unei singure faze se introduc goluri de tensiune nesimetrice de *tipul D* (Fig.2.6). În acest caz se pot calcula tensiunile pe fază cu ajutorul relațiilor (2.4).

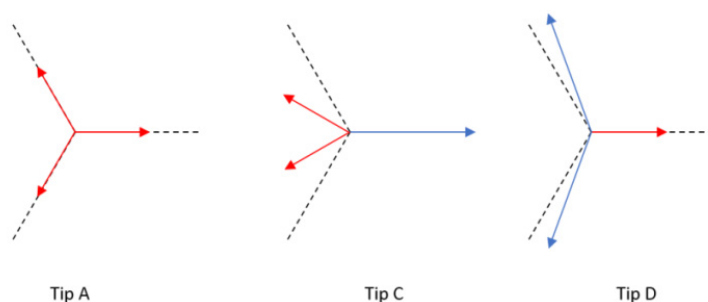


Fig. 2.6 – Tipurile golurilor de tensiune pentru clasificarea conform componentelor simetrice.

$$\begin{aligned}\underline{U}_R &= \underline{V} \\ \underline{U}_S &= -\frac{1}{2}\underline{V} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\underline{F} \\ \underline{U}_T &= -\frac{1}{2}\underline{V} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\underline{F}\end{aligned}\quad (2.4)$$

unde s-a notat cu:

$\underline{V}$ , tensiunea caracteristică – valoarea efectivă a fazorului complex care indică severitatea golului;

$\underline{F}$ , factorul de nesimetrie (PN factor) – definit ca relația dintre impedanța de secvență pozitivă și cea de secvență negativă a sursei.

Tensiunea caracteristică reflectă severitatea evenimentului prin compararea valorii efective a acesteia, cu valoarea efectivă a tensiunii ante-perturbație, pe una dintre faze. Factorul de nesimetrie este un fazor care caracterizează nesimetria golului de tensiune. Tensiunea caracteristică și factorul de nesimetrie, pot fi determinate cu ajutorul componentelor de secvență, ținând cont de tipul golului de tensiune, conform cu Tabelul 2.6.

Tabelul 2.6. Determinare parametrii conform clasificării componentelor simetrice.

Faze afectate	Tip Gol	Tensiune Caracteristică	Factor PN
ST	$C_a$	$\underline{V} = \underline{U}_1 - \underline{U}_2$	$\underline{F} = \underline{U}_1 + \underline{U}_2$
TR	$C_b$	$\underline{V} = \underline{U}_1 - a^2 \underline{U}_2$	$\underline{F} = \underline{U}_1 + a^2 \underline{U}_2$
RS	$C_c$	$\underline{V} = \underline{U}_1 - a \underline{U}_2$	$\underline{F} = \underline{U}_1 + a \underline{U}_2$
R	$D_a$	$\underline{V} = \underline{U}_1 + \underline{U}_2$	$\underline{F} = \underline{U}_1 - \underline{U}_2$
S	$D_b$	$\underline{V} = \underline{U}_1 + a^2 \underline{U}_2$	$\underline{F} = \underline{U}_1 - a^2 \underline{U}_2$
T	$D_c$	$\underline{V} = \underline{U}_1 + a \underline{U}_2$	$\underline{F} = \underline{U}_1 - a \underline{U}_2$

În cazul unor defecte bifazate apare un gol de tensiune de *tip C*, Fig.2.6. Acesta este un gol de tensiune nesimetric având două faze afectate. În acest caz de gol de tensiune se pot calcula tensiune pe faze cu ajutorul expresiei (2.5).

$$\begin{aligned}\underline{U}_R &= \underline{F} \\ \underline{U}_S &= -\frac{1}{2}\underline{F} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\underline{V} \\ \underline{U}_T &= -\frac{1}{2}\underline{F} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\underline{V}\end{aligned}\quad (2.5)$$

În cazul defectelor trifazate apare un gol de tensiune de *tip A*, Fig.2.6. Teoretic acest tip de gol de tensiune este simetric, dar datorită nesimetriei reale a consumatorilor, apare și o nesimetrie între tensiuni pe durata golului. Totuși din punct de vedere teoretic se consideră că acest gol de tensiune este perfect simetric, iar în acest caz tensiunile pe faze se pot calcula cu ajutorul expresiei (2.6).

$$\begin{aligned}\underline{U}_R &= \underline{V} \\ \underline{U}_S &= -\frac{1}{2}\underline{V} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\underline{V} \\ \underline{U}_T &= -\frac{1}{2}\underline{V} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\underline{V}\end{aligned}\quad (2.6)$$

Pasul următor al acestei metode de clasificare a fost extinderea tipurilor de goluri și ținând cont de faza afectată. În această situație tipul C și tipul D este extins la șase tipuri:  $C_a$ ,  $C_b$ ,  $C_c$ ,  $D_a$ ,  $D_b$ ,  $D_c$ , unde indicele tipului reprezintă faza neafectată pentru tipul C, respectiv faza afectată pentru tipul D. Reprezentarea fazorială se poate observa în Fig.2.7.

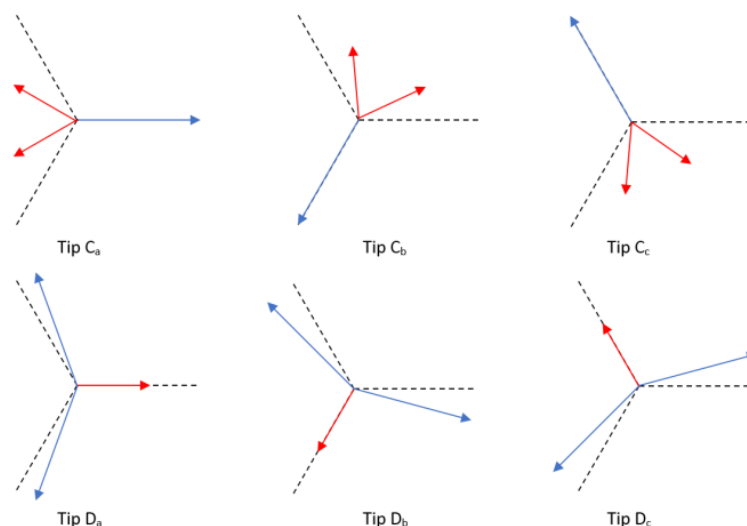


Fig. 2.7 – Extinderea clasificării conform componentelor simetrice.

Această metodă este mult mai apropiată de realitate, factorul de nesimetrie caracterizând mult mai precis nesimetriile introduse de către configurația reală a rețelei electrice. Totuși această metodă nu ține cont și de valoarea tensiunilor homopolare care în cazuri specifice pot avea valori semnificative. O analiză completă a algoritmilor care pot fi utilizați pentru obținerea acestei clasificări se prezintă în [Bollen2003b].

### 2.4.3. Clasificarea Thakur

În [Thakur2013a], se propune o nouă metodă de clasificare a golurilor de tensiune prin intermediul căreia se dorește eliminarea deficiențelor introduse de către metoda componentelor simetrice propusă de Bollen. Această nouă metodă este dezvoltată pornind tot de la componentele simetrice ale tensiunii. Ea conține cinci tipuri de goluri de tensiune și spre deosebire de cea prezentată anterior, ține cont și de componenta de secvență homopolară.

În primul pas se definesc doi indicatori denumiți *indicator de tensiune de fază* (notat  $X$ ) și *indicator de tensiune de linie* (notat  $Y$ ). Acești indicatori sunt definiți de relația (2.7).

$$X = \frac{U_{f \min}}{U_{f \max}} \quad \text{și} \quad Y = \frac{U_{l \min}}{U_{l \max}} \quad (2.7)$$

Bazându-se pe relația dintre acești doi indicatori, s-a modelat o nouă metodă de clasificare care conține 5 categorii de goluri de tensiune.

*Tipul A* este reprezentat de goluri de tensiune trifazate pentru care indicatorii au valorile  $X=1$  și  $Y=1$ .

*Tipul  $G_{1z}$*  este reprezentat de goluri de tensiune monofazate care au și componentă de secvență homopolară, și pentru care relația de interdependență între cei doi indicatori este dată de expresia (2.8).



$$Y = \sqrt{\left(\frac{1}{2 \cdot \sqrt{3}} + \frac{X}{\sqrt{3}}\right)^2 + \frac{1}{4}} \quad (2.8)$$

Tipul  $G_{1z0}$  este reprezentat de goluri de tensiune monofazate pentru care componenta de secvență zero a tensiunii este inexistentă, iar relația de interdependență dintre cei doi indicatori este dată de expresia (2.9).

$$Y = X \left[ 0.33 \cdot \left(1 + \frac{X}{2}\right)^2 + 0.25 \cdot X^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.9)$$

Tipul  $G_{2z}$  este reprezentat de goluri de tensiune bifazate caracterizate de prezența componentei homopolare, pentru care interdependența dintre cei doi indicatori se calculează cu expresia (2.10).

$$Y = \sqrt{\frac{4X^2 - 1}{X^2 + 2}} \quad (2.10)$$

Se recomandă ca această clasificare să fie utilizată, la fel ca metoda ABC, tot în analize teoretice sau în simulări matematice. Corespondență dintre cele două metode este următoarea: tipul A echivalează tipul A de la clasificarea ABC, tipul  $G_{1z}$  echivalează tipul B, tipul  $G_{1z0}$  echivalează tipurile D și F, tipul  $G_{2z}$  echivalează tipul E, iar în final tipul  $G_{2z0}$  echivalează tipurile C și G.

## 2.5. Analiza direcțiilor de cercetare în domeniul golurilor de tensiune

Din analiza publicațiilor existente în literatura de specialitate se poate observa o creștere a interesului în cercetarea fenomenului golurilor de tensiune. Așa cum s-a arătat în paragrafele anterioare, în literatura de specialitate se folosesc doi termeni „voltage sag” și „voltage dip”. Astfel, analizând studiile publicate în baza de date a organizației IEEE, care conțin unul dintre termenii voltage sag/s, voltage dip/s s-au găsit, pe perioada 1949-2013, 3826 de articole (Fig.2.8). Dintre acestea 1266 conțin acești termeni în titlul articolului, iar în Fig.2.9 se prezintă distribuția anuală a acestora. În Fig.2.9 se observă că denumirea „voltage sag” a fost mult mai folosită decât denumirea „voltage dip”.

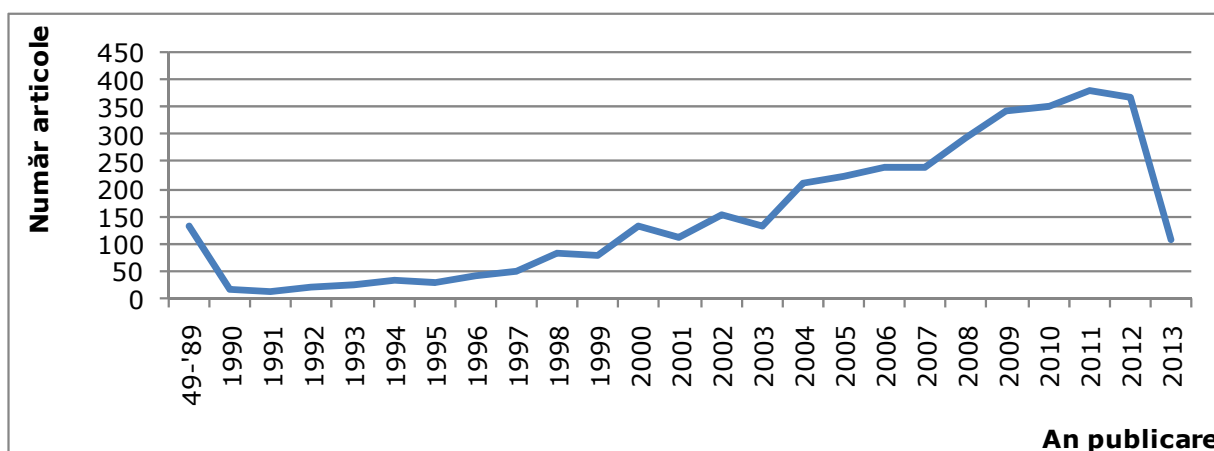


Fig. 2.8 – Distribuția anuală a numărului de articole care conțin unul dintre cei doi termeni care denumesc un gol de tensiune.

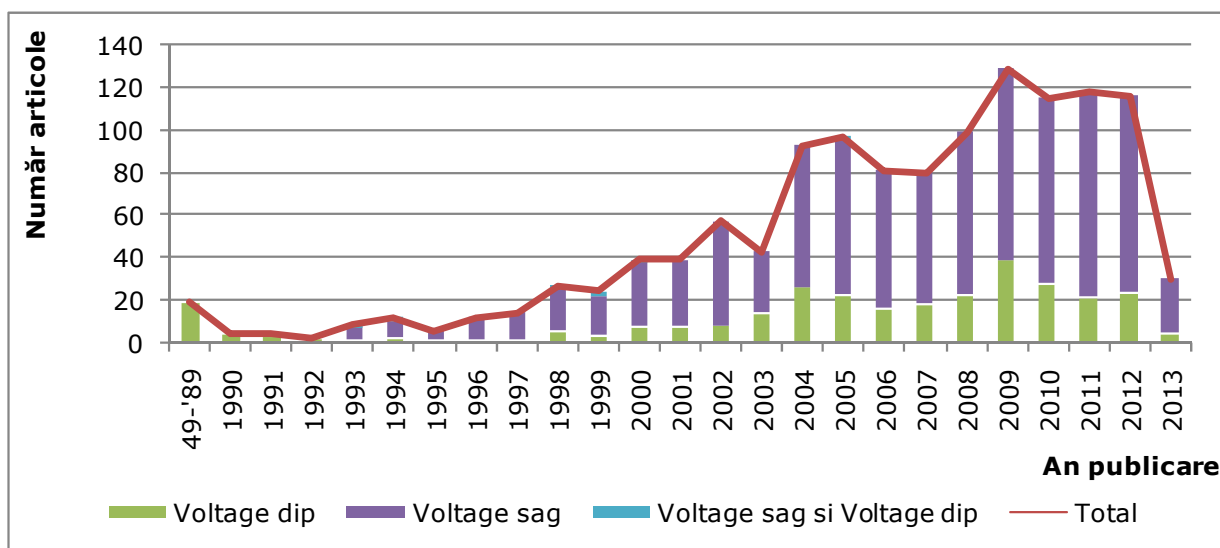


Fig. 2.9 – Distribuția anuală a numărului de articole care conțin în titlu unul dintre cei doi termeni care denumesc un gol de tensiune.

### 2.5.1. Încadrarea temei de cercetare în domeniul golurilor de tensiune

Pentru a se realiza o încadrare a temei de cercetare într-una din direcțiile generale aferente domeniului golurilor de tensiune, în continuare s-au împărțit articolele după mai multe criterii rezultând o clasificare formată din 7 direcții generale, notate în continuare grupe.

Grupa 1 conține articole care tratează componenta financiară și anume: pierderile economice ale consumatorilor din cauza golurilor de tensiune, analize tehnico-economice privind implementarea unor soluții de reducere a efectelor golurilor de tensiune, etc.

Grupa 2 conține articole care propun diverse soluții de generatoare de goluri de tensiune, atât generatoare hardware folosite pentru testarea echipamentelor electrice, cât și generatoare software folosite în simulări.

Grupa 3 conține articole care tratează problema statisticii golurilor de tensiune și anume: propunere de indicatori statistici locali sau globali, precum și a metodelor de obținere a acestora.

Grupa 4 conține articole care analizează efectele golurilor de tensiune asupra elementelor componente ale sistemului electroenergetic. Pe de o parte, în această categorie se încadrează articolele care tratează efectele asupra elementelor de rețea cum ar fi: sursele de energie (generatoare clasice și eoliene, panouri fotovoltaice, etc), linii electrice de transport și distribuție, transformatoare, elemente de comutație (mai ales contactoarele). Pe de altă parte, în această categorie se încadrează articolele care tratează efectele golurilor asupra consumatorilor.

Grupa 5 tratează problematica propagării golurilor de tensiune în rețelele electrice cu scop de determinare a zonei din rețeaua electroenergetică afectată, dar care poate fi aplicabilă și pentru identificarea sursei golurilor de tensiune.

Grupa 6 conține articole care analizează metode, algoritmi și sisteme de protecție împotriva golurilor de tensiune, de reducere a numărului sau a efectelor acestora, respectiv de îmbunătățire a comportării echipamentelor electrice la apariția acestui fenomen.

Grupa 7 conține articole care tratează problemele teoretice de analiză a fenomenului și anume: algoritmi pentru detectarea (identificarea) momentului apariției unui gol de tensiune, propunere de parametri și metode de calcul a acestora, propunere de clasificări însoțite de metode de obținere a acestora. *Se face precizarea că aceasta este grupa în care se încadrează prezenta temă de cercetare.*

În Tabelul 2.7 se prezintă o statistică anuală privind numărul de articole existente în baza de date IEEE, care au în titlul unul din termenii „voltage sag” sau „voltage dip” ordonate după criteriile prezentate mai sus. Pentru o mai bună vizualizare această statistică este prezentată grafic în Fig.2.10.

Tabelul 2.7. Statistică privind numărul de articole publicate anual în funcție de scopul acestora.

An	Analiza economică și financiară a efectelor golurilor de tensiune	Generatoare de goluri de tensiune	Statistici, indicatori și metode de calcul ale acestora	Efecte asupra instalațiilor și echipamentelor electrice	Propagarea golurilor de tensiune în rețelele electrice sau identificarea sursei golurilor de tensiune	Metode de protecție împotriva golurilor, de reducere a acestora, de îmbunătățire a comportării instalațiilor și echipamentelor la goluri de tensiune	Detectare-identificare, calcul parametrii caracteristici, clasificare	Total
49-'89	0	0	0	9	0	6	4	<b>19</b>
1990	0	0	0	2	0	0	2	<b>4</b>
1991	0	0	0	2	0	2	0	<b>4</b>
1992	0	0	0	0	0	1	1	<b>2</b>
1993	0	0	0	3	3	0	2	<b>8</b>
1994	0	0	0	7	2	2	1	<b>12</b>
1995	0	0	0	2	1	2	0	<b>5</b>
1996	0	0	2	4	3	2	1	<b>12</b>
1997	0	0	2	6	1	3	2	<b>14</b>
1998	0	0	2	3	3	13	6	<b>27</b>
1999	1	0	1	10	6	2	4	<b>24</b>
2000	0	0	3	6	7	17	6	<b>39</b>
2001	2	0	1	8	10	12	6	<b>39</b>
2002	2	3	0	11	7	19	15	<b>57</b>
2003	2	1	1	9	9	12	9	<b>43</b>
2004	3	1	5	27	15	31	11	<b>93</b>
2005	2	1	3	26	21	25	19	<b>97</b>
2006	4	0	8	20	13	30	6	<b>81</b>
2007	5	0	6	15	14	27	13	<b>80</b>
2008	1	1	9	22	18	36	12	<b>99</b>
2009	11	5	15	23	13	41	21	<b>129</b>
2010	6	5	12	29	13	28	22	<b>115</b>
2011	4	1	9	31	17	43	13	<b>118</b>
2012	1	5	9	29	12	41	19	<b>116</b>
2013	0	3	2	6	4	8	6	<b>29</b>
<b>TOTAL</b>	<b>44</b>	<b>26</b>	<b>90</b>	<b>310</b>	<b>192</b>	<b>403</b>	<b>201</b>	<b>1266</b>

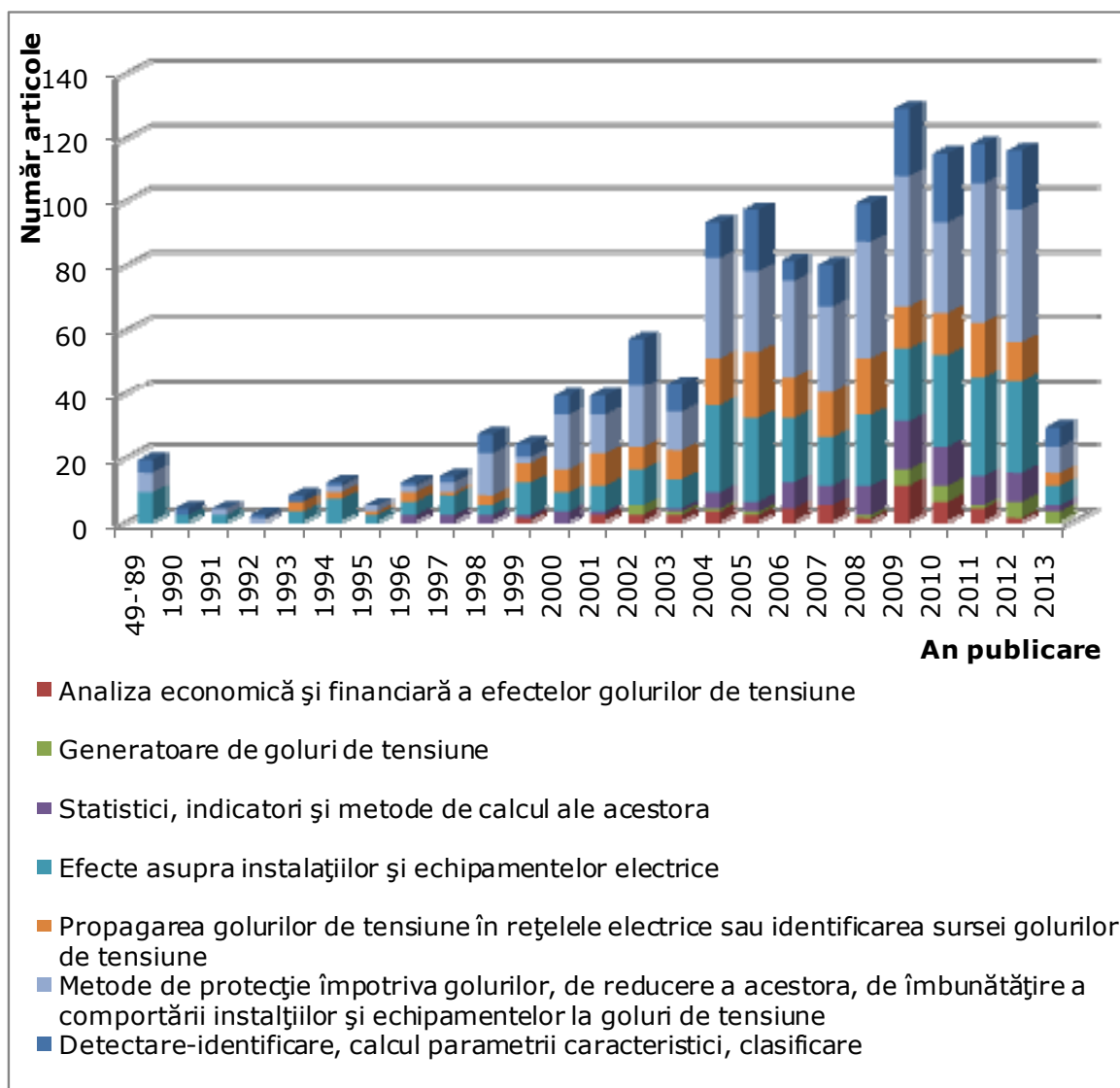


Fig. 2.10 – Statistică privind numărul de articole publicate anual în funcție de scopul acestora.

Din analiza Tabel 2.7 și Fig.2.10 se observă că cea mai studiată problemă legată de acest fenomen este aceea de dezvoltare și implementare a soluțiilor de protecție a elementelor de rețea împotriva efectelor acestui fenomen. De exemplu pentru protecția generatoarelor eoliene la goluri de tensiune în [Salles2012] se propune o soluție de control a comenzii convertorului DC-DC cu scop de compensare a fluxului din stator pentru reducerea curenților induși. Totuși cele mai multe studii se referă la protecția consumatorilor pentru care cea mai analizată variantă de protecție este aceea de compensare a pierderii de tensiune la bornele consumatorului folosind diverse tehnici cum ar fi: supercapacitoare [Ajay2013], baterii de acumulare întâlnite pentru consumatori mici sub formă de UPS (Uninterruptible power supply) sau chiar variante industriale cum se poate observa în [Hussien2005], volante cu inerție mărită [Long2009] sau combinații ale acestora [Kato2007]. O altă variantă aplicabilă în protecția consumatorilor împotriva golurilor de tensiune este aceea de reconfigurare a rețelei electrice și anume: comutarea

consumatorului pe altă sursă de alimentare (în cazul consumatorilor care au alimentare dublă); reconfigurarea rețelei de distribuție, astfel încât consumatorii mai sensibili la goluri de tensiune să fie alimentați de la surse de tensiune care sunt mai puțin afectate de goluri de tensiune [Tapia-Juarez2013]; amplasarea optimă a surselor distribuite de energie (surse regenerabile de energie) [Jahromi2007].

Următoarea problemă ca și importanță, din punct de vedere a numărului de articole publicate, este aceea de analiză a efectelor golurilor de tensiune asupra diverselor echipamente din care este format sistemul electroenergetic. În această categorie există studii care analizează efectul golurilor de tensiune asupra diverselor echipamente ale rețelei electrice cum ar fi: generatoarelor clasice [Collins2008], asupra generatoarelor eoliene [Mohseni2011], asupra transformatoarelor electrice [Pedra2005], contactoare [Djokic2004]. Totuși multe studii analizează efectele golurilor de tensiune asupra diverselor forme de consumatori cum ar fi: motoare asincrone [Pedra2007], invertoare [Yamashita2012], consumatorilor de joasă tensiune [Hardi2010]. Există și articole care analizează consumatorii la nivel general cum ar fi: consumatori echivalenți la nivel de înaltă tensiune [Molnar2011a], consumatori industriali [Goswami2012] sau consumatori casnici [Bollen2012]. Toate aceste studii au condus la definirea unor curbe de acceptabilitate cum ar fi: CBEMA (*Computer and Business Equipment Manufacturers Association*), ITIC (*Information Technology Industry Council*) și SEMI (*Semiconductor Equipment and Materials International Group*).

A treia grupă ca importanță, din punct de vedere al numărului de articole publicate este aceea în care se analizează fenomenul în sine. Deoarece direcția de cercetare abordată se încadrează în această grupă, în următorul paragraf se va face o analiză mai detaliată a domeniilor particulare pe care le cuprinde această grupă.

### 2.5.2. Încadrarea temei de cercetare în direcția particulară de detectare, calcul parametri și clasificare a golurilor de tensiune

Așa cum se poate vedea din Fig.2.11 direcția generală de detectare, calcul parametri și clasificare a golurilor de tensiune reprezintă 16% din totalul articolelor publicate în baza de date IEEE care conțin denumirea de gol de tensiune în titlu.

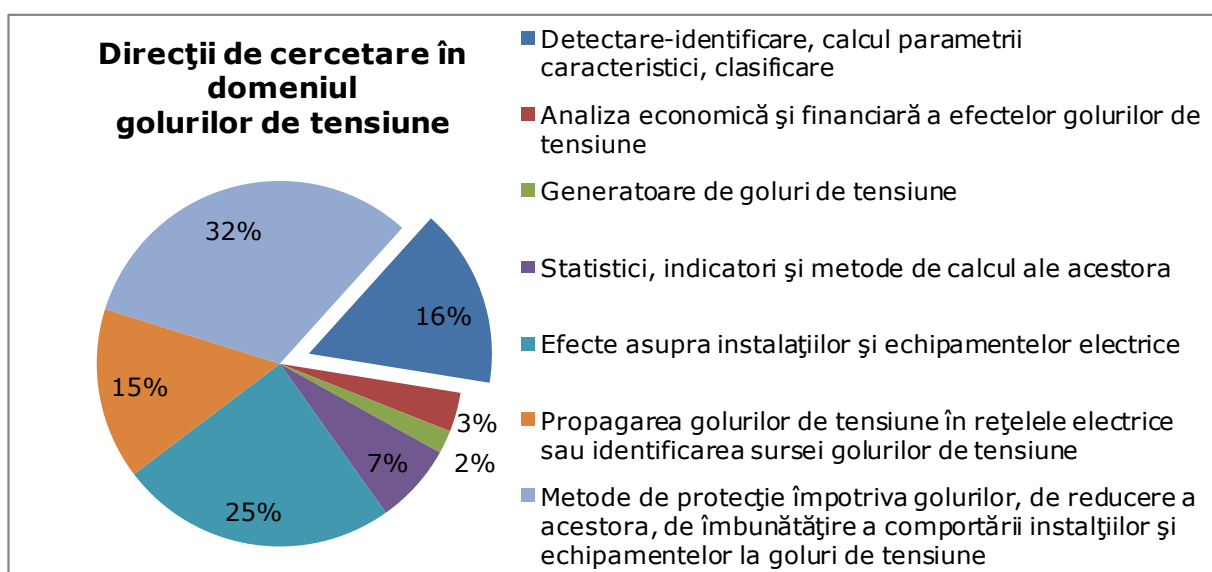


Fig. 2.11 – Dimensiunea direcțiilor de cercetare în domeniul golurilor de tensiune.

Această direcție particulară de cercetare în domeniul golurilor de tensiune cuprind mai multe categorii de analize după cum urmează:

- propunere de noi parametri și clasificări, atât pentru goluri de tensiune considerate în sistem monofazat, cât și pentru goluri de tensiune considerate în sistem trifazat. Această categorie a fost prezentată la partea de început a capitolului și cuprinde definiții ale golurilor, parametrii caracteristici, clasificări etc.;
- metode, algoritmi și sisteme de detecție a apariției golurilor de tensiune;
- metode și algoritmi de determinare a parametrilor caracteristici ai golurilor de tensiune monofazate;
- metode și algoritmi de analiză a erorilor introduse de procedurile de detecție a golurilor de tensiune;
- metode și algoritmi utilizate în clasificarea golurilor de tensiune după anumite criterii;
- alte teme mai puțin importante pentru lucrarea de față cum ar fi: echipamente de monitorizare a golurilor de tensiune.

În continuare se vor analiza pe rând actualitatea existentă în fiecare dintre categoriile prezentate anterior.

#### **2.5.2.1. Metode, algoritmi și sisteme de detecție a apariției golurilor de tensiune**

În cadrul acestei categorii se propun diverse soluții care au ca scop detecția cât mai rapidă a golurilor de tensiune. Se știe că detecția apariției unui gol de tensiune este foarte importantă pentru echipamentele de protecție împotriva golurilor de tensiune. Totuși viteza de detecție este limitată de însăși definiția golului de tensiune și anume o reducere a valorii efective sub o anumită valoare de prag. În aceste condiții limita de detecție a apariției golului de tensiune depinde de metoda aplicată la calculul tensiunii efective.

O primă metodă în determinarea apariției unui gol de tensiune este chiar *calculul valorii efective* utilizând formula standard prezentată în relația (2.1). Această metodă se regăsește în toate normativele din domeniul calității energiei electrice, diferența dintre normative fiind dată de metoda de determinare a valorilor consecutive. Totuși dacă se dorește determinarea cât mai exactă a momentului apariției golului, se va folosi tehnica ferestrei alunecătoare. Această metodă este cea mai lentă metodă de determinare a golului de tensiune. Un studiu care prezintă limitările metodelor bazate pe calculul direct al valorilor efective este [Barros2006a].

Următoarea categorie de metode conține *tehnici avansate de prelucrare semnale*. Astfel în [Styvaktakis2001] se prezintă o metodă de detecție a apariției golurilor de tensiune utilizând un filtru Kalman. În lucrarea se analizează de asemenea influența transformatoarelor electrice asupra corectitudinii de detecție a golurilor de tensiune. Tot filtrul Kalman este utilizat în [Barros2005] și în [Barros2006b]. În a doua lucrare autorii prezintă o metodă de determinare a golurilor de tensiune cu ajutorul a trei filtre Kalman fiecare fiind alocat unei faze. Prelucrarea are la bază prevederile standardului internațional IEC 61000-4-30 care este în momentul de față cel mai important standard pentru monitorizarea variațiilor de tensiune peste limitele normale (goluri de tensiune, supratensiuni și întreruperi). Aceiași autori au continuat studiul pe această problemă și au propus în [Perez2008] utilizarea variantei extinse a filtrului Kalman. Din păcate autorii au comparat acest

nou algoritmul doar cu variantele standard de calcul al valorii efective, și nu au făcut o comparație cu variantele clasice ale filtrului Kalman utilizate anterior.

O altă lucrare [Manmek2006] utilizează metoda celor mai mici pătrate în detecția apariției unui gol de tensiune. În această lucrare autorii propun și soluția de utilizare a acestui detector pentru comanda unui compensator static folosit pentru reducerea efectelor golurilor de tensiune. Autorii propun extragerea părților active și reactive a componentelor de secvență directă și inversă, iar cu ajutorul acestora se va construi semnalul de comandă. O abordare cu ajutorul transformatei Wavelet este prezentată în [Gencer2010]. Autorii au folosit varianta discretă a transformatei Wavelet, iar algoritmul a fost implementat hardware cu ajutorul unui microcontroler special. Totuși autorii nu au comparat metoda lor cu alte metode deja consacrate.

O metodă de detecție a golului de tensiune se găsește în [Florio2004]. Autorii au realizat un algoritmul de detecție a golurilor de tensiune bazat pe analiza tensiunii redresate care are o corectitudine de detecție ridicată și o viteză de detecție de sub 1ms. Acest algoritmul are avantajul că nu necesită spațiu de memorie mare în cazul implementării sale pe platforme cu microcontrolere. Acest lucru se datorează faptului că nu se memorează valorile momentane pe faze.

Există și lucrări în care se prezintă o analiză a diferitelor tehnici de prelucrare a semnalelor digitale. În [Perez2006] se realizează o comparație între viteza și corectitudinea detecției apariției unui gol de tensiune folosind cele mai cunoscute metode din literatură și anume: tehnici bazate pe calculul valorii efective, transformata Fourier discretă, filtru Kalman și transformata Wavelet. Aceștia au comparat metodele amintite prin testarea lor în diferite condiții de perturbație armonică a semnalului, și pentru diferite valori ale amplitudinii, duratei și punctul de pe curbă de inițiere a golului de tensiune. Ulterior aceștia au testat algoritmi și pe date reale înregistrate în rețeaua electrică de distribuție. În [Amaris2008] și în [Amaris2009] se prezintă o comparație între un filtru Kalman, transformata Fourier și transformata Wavelet. În cadrul studiului cele trei tehnici au fost testate și pentru semnale perturbate de zgomot. Concluzia studiului a fost că pentru detectarea golurilor de tensiune filtru Kalman și transformata Fourier au rezultate satisfăcătoare de ordinul a 1ms pentru căderi de tensiuni mai mari și până la 4 ms pentru căderi de tensiuni mai mici. Autorul articolului [Khan2009] prezintă mai multe tehnici de prelucrare a semnalelor pe care le împarte în două categorii: tehnici folosite pentru detecția variațiilor mărimilor electrice și tehnici folosite pentru detecția evenimentului produs. În prima categorie se analizează mai multe tehnici utilizate în determinarea valorii efective a tensiunii încadrându-se aici tehnici pentru calcularea amplitudinii, frecvenței și nesimetriei. În a doua parte se prezintă principalii algoritmi utilizați în literatură: analiză Fourier, transformata Fourier, transformata Wavelet, transformata S, tehnica vectorială a lui Park și filtru Kalman. Autorul clasifică aceste metode din punct de vedere a vitezei de detecție, a sensibilității la perturbații și a complexității de implementare. Din punctul lor de vedere cea mai recomandată metodă este metoda vectorială a lui Park.

Ultima categorie de metode conține *metode de estimare* bazate pe tehnici avansate de prelucrare a semnalelor. Astfel, în [Gu2004] se propune o tehnică care estimează momentul apariției unui gol de tensiune analizând căderea de tensiune pe anumite durate de timp. Practic autorii utilizează o metodă statistică prin care la anumite intervale de timp luate ca procent dintr-o perioadă a frecvenței fundamentale, pot să spună dacă apare un gol de tensiune și care este probabilitatea ca estimarea să fie validă. O altă metodă de estimare a momentului apariției golului de tensiune este metoda statistică bazată pe compararea a două curbe, una reală și una de test [Moschitta2010]. Autorii au comparat metoda cu



variantele standard de calcul al valorii efective a tensiunii. Rezultatele lor sunt satisfăcătoare, dar nici acești autori nu au comparat metoda cu altele mai competitive cum ar fi cele bazate pe filtrul Kalman. O altă metodă de estimare este propusă în [Stanciu2012] în care autorii propun un filtru denumit „filtru de urmărire  $\alpha\beta\gamma$ ”. Acest filtru urmărește curba valorii efective a tensiunii și pe baza unei scăderi de tensiune anticipează posibilitatea apariției unui gol de tensiune. Autorii au comparat acest filtru cu filtrul Kalman și au subliniat următoarele concluzii: filtrul este mai simplu decât Kalman pentru că utilizează coeficienți constanți; dacă coeficienții sunt setați corect acesta estimează golul mai repede decât algoritmi ce folosesc filtrul Kalman. Acest filtru are dezavantajul major în dificultatea de alegere optimă a coeficienților, aceștia fiind setați manual de către utilizator. Totuși în [Molnar2013a] se arată intervalele de selecție a parametrilor pentru care rezultatele sunt satisfăcătoare. Totodată o implementare a acestui algoritm cu ajutorul LabView se prezintă în [Molnar2013b].

O analiză detaliată a metodelor folosite la detectarea golurilor de tensiune se prezintă în [Moschitta2012]. În această lucrare autorii compară mai multe metode de estimare a apariției unui gol de tensiune, bazate pe calcularea valorii efective, filtre Kalman, transformata Wavelet, tensiunea de vârf, lipsa de tensiune și compararea curbilor de tensiune. Toate aceste metode au fost testate pe curbe de tensiune afectate de zgomote. Autorii prezintă o clasificare a calității metodelor testate din punct de vedere a vitezei de detecție și a numărului de estimări false.

Din analiza efectuată se poate observa că există mai multe tehnici de detecție a momentului apariției golului de tensiune. Cele mai performante dintre ele sunt cele care anticipează valoarea următoare în funcție de tendința actuală. Trebuie precizat că majoritatea algoritmilor existenți detectează golul de tensiune ca funcție de valoarea efectivă a tensiunii. Acest lucru se datorează dificultății de determinare a apariției golului de tensiune direct pe curbele sinusoidale, dificultăți care sunt date de diversele zgomote de semnal care deteriorează calitatea algoritmilor.

#### **2.5.2.2. Metode și algoritmi de determinare a parametrilor caracteristici ai golurilor de tensiune monofazate**

Determinarea parametrilor caracteristici ai golurilor de tensiune monofazate se realizează cu ajutorul diverselor tehnici de prelucrare semnale existente în domeniu, iar alegerea acestora depinde de parametrii ce se vor determina.

Așa cum s-a prezentat anterior, majoritatea standardelor internaționale prevăd determinarea doar a amplitudinii și duratei golurilor de tensiune. Există și standarde care stabilesc o anumită metodă utilizată pentru calcularea acestor doi parametri. Cel mai cunoscut standard internațional care se ocupă de această problemă este IEC 61000-4-30 care stabilește utilizarea *calculului direct al valorii efective*. Practic acest standard propune calcularea valorii efective a tensiunii, utilizând lungimea unui ciclu a frecvenței fundamentale și o recalculare a valorii efective la fiecare jumătate de ciclu a frecvenței fundamentale. Analiza acestei metode este tratată în multe articole din care cel mai recent este [Kamble2012]. În [Kamble2012] autorii, prezintă rezultatele obținute prin calcularea valorii efective utilizând medierea valorilor momentane pe o perioadă și pe jumătate de perioadă a frecvenței fundamentale. Totodată recalcularea valorii efective se realizează utilizând tehnica ferestrei alunecătoare. Tot în acest articol autorii prezintă și o metodă de determinare a saltului unghiului de fază utilizând transformata Fourier. În [Gallo2010a] și [Gallo2010b] se prezintă o analiză care dorește să determine corectitudinea mărimilor de ieșire obținute cu acest tip de algoritm, recomandat de



standarde pentru instrumentele de detectare și caracterizare a golurilor de tensiune. Analiza începe cu prezentarea unor prevederi ale standardului utilizat [IEC61000-4-30], după care se prezintă principalii indicatori care se iau în considerare pentru caracterizarea golurilor de tensiune la nivel local și global. Lucrarea se continuă cu analiza efectelor metodei de calcul asupra parametrilor golurilor de tensiune, precum și influența saltului unghiului de fază asupra valorii duratei golului de tensiune. Lucrarea se finalizează cu prezentarea unor simulări numerice și un studiu de caz prin care se validează erorile sistematice introduse de diferite echipamente de monitorizare.

O altă abordare întâlnită în literatură este aceea de utilizare a diverselor tehnici de prelucrarea semnale. Cea mai utilizată tehnică de prelucrare semnale este *transformata Fourier* cu diversele forme ale sale. În [Styvaktakis2000] se utilizează varianta STFT (Short Time Fourier Transform) pentru calcularea amplitudinii și duratei golurilor de tensiune. Autorii folosesc aceste valori pentru a realiza o clasificare a golurilor de tensiune după mai multe criterii. În final autorii prezintă un studiu de caz pe o bază de dată existentă. Transformata Fourier este folosită și în [Kezunovic2001] în care autorul dorește să efectueze o clasificare a evenimentelor caracteristice calității energiei electrice utilizând logica Fuzzy. În [Leborgne2005] se folosește transformata Fourier Discretă pentru calcularea amplitudinii și saltului unghiului de fază. Autorii realizează și o analiză a dinamicii fazorilor tensiunilor de fază pe durata golului. Un studiu mai amănunțit privind utilizarea transformatei Fourier se prezintă în [Tarasiuk2009]. Autorii au efectuat o analiză comparativă a diverselor forme ale transformatei Fourier: varianta rapidă, varianta discretă și varianta lui Bluestein. După toate analizele efectuate autorul prezintă în final de ce varianta lui Bluestein oferă rezultate mai bune.

O altă tehnică de prelucrare semnale este aceea de utilizare a *filtrelor Kalman*. O primă utilizare a filtrului Kalman se găsește în [Styvaktakis2002]. Așa cum s-a arătat anterior în [Styvaktakis2001] autorii au folosit filtrul pentru detecția apariției golurilor de tensiune. În [Styvaktakis2002] autorii au folosit filtrul pentru calcularea valorii efective a tensiunii, realizarea segmentării curbei de tensiune și calculul duratei golului de tensiune. Aceste informații au fost utilizate ulterior pentru realizarea unui sistem expert de clasificare a golurilor de tensiune care reprezintă o continuare a lucrării [Styvaktakis2001]. În [Barros2004] autorii au folosit trei filtre Kalman (câte unul pentru fiecare fază) pentru monitorizarea golurilor de tensiune într-o rețea electrică. Aceștia au monitorizat rețeaua pe durata a câtorva luni, au utilizat filtrul pentru calcularea amplitudinii și a duratei golurilor de tensiune, iar în final au folosit aceste rezultate pentru analiza efectelor golurilor de tensiune asupra consumatorilor electrici. Aceiași autori au folosit filtrul Kalman pentru calcularea amplitudinii și duratei golului de tensiune și în [Barros2006b]. În [Gabe2009] autorii folosesc filtrul Kalman pentru calcularea valorilor efective de secvență directă și inversă care vor fi aplicate la un sistem de compensare a pierderii de tensiune.

Tot un filtrul Kalman se utilizează și în [Wiltshire2007]. Autorii folosesc acest filtru pentru prelucrarea semnalelor și determinarea tuturor problemelor de calitate a energiei electrice, inclusiv cele legate de goluri de tensiune. De asemenea filtrul Kalman este utilizat și în [Chen2010] pentru separarea armonicilor și determinarea celorlalte probleme de calitate a energiei electrice cum ar fi: nesimetrii, flicker, goluri de tensiune și supratensiuni.

O altă tehnică folosită este aceea de utilizare a *transformatei Wavelet*. Astfel, unul dintre primele articole care utilizează această transformată pentru analiza golurilor de tensiune este [Pillay1996]. Lucrarea prezintă modul în care poate fi utilizată transformata Wavelet în analiza problemelor de calitate a energiei

electrice. Autorii prezintă doar care sunt setările recomandate pentru diverse probleme de calitate a energiei, printre care și golurile de tensiune, fără a prezenta eventuale avantaje ale acestei tehnici în comparație cu altele. O utilizare mai amănunțită a transformatei Wavelet în probleme de calitate a energiei electrice se găsesc în [Zhang2003]. Autorii folosesc rezultatele obținute pentru a efectua o clasificare a acestor categorii de evenimente. Utilizarea transformatei Wavelet se găsește și în [Faiz2007]. Autorii utilizează această transformată pentru calcularea amplitudinii și duratei golurilor de tensiune, iar ulterior folosesc aceste date pentru predicția apariției golurilor de tensiune în diverse puncte ale rețelei electrice. O combinație a transformatei Wavelet cu rețele neuronale se găsește în [Sushama2009a]. Autorii folosesc de asemenea transformata Wavelet pentru determinarea caracteristicilor golurilor de tensiune, iar apoi evenimentele sunt clasificate cu ajutorul rețelei neuronale. O altă variantă a transformatei Wavelet se folosește în [Gaouda2009], în care autorii au rezolvat problema selectării optime a formei mame a transformatei. Aceștia au folosit în acest scop o tehnică denumită fereastra lui Kaiser. Autorii precizează că această tehnică poate fi folosită și pentru anticiparea apariției golurilor de tensiune. În [Manjunath2010] se compară mai multe variante ale transformatei Wavelet și anume: discretă, staționară, transformata S și a doua generație a transformatei. În urma analizei autorii concluzionează că în general a doua generație a transformatei dă rezultate mai bune, dar în schimb celelalte variante pot da rezultate mai bune pentru cazuri particulare.

Multe articole compară diverse tehnici avansate de prelucrare semnale. Astfel în [Barros2005] pe lângă analiza capacităților de detecție a golurilor de tensiune, se realizează o comparație între filtrul Kalman și transformata Wavelet și din punct de vedere al calculului amplitudinii. La fel și în [Perez2006] pe lângă analiza capacităților de detecție a golurilor de tensiune, se realizează o comparație între metodele valorilor efective, transformata Fourier discretă, filtrul Kalman și transformata Wavelet și din punct de vedere al calculului amplitudinii și a duratei golului de tensiune.

În final în [Nunez2008] se analizează o procedură de determinare a caracteristicilor golurilor de tensiune. Autorii prezintă structurat procedura care trebuie urmărită pentru efectuarea unei analize corecte. Procedura începe cu definirea obiectivelor care se urmăresc (analiza golurilor de tensiune, determinarea cauzelor care a produs golul de tensiune, identificarea sursei golurilor de tensiune). După stabilirea obiectivelor urmează selectarea, organizarea și prelucrarea primară a datelor. Următoarea etapă este reprezentată de utilizarea tehnicilor de prelucrare a datelor pentru a se obține caracteristicile de interes ale golurilor de tensiune (Amplitudinea, informații referitoare la nesimetrie, componenta tensiunii pe frecvența fundamentală, pierderea de tensiune pe durata perturbației, saltul unghiului de fază etc.). În cea de-a patra etapă se alege metoda care va fi folosită pentru a se putea atinge obiectivul stabilit la început (este bine cunoscut că orice obiectiv are posibilitatea să fie atins prin mai multe metode). Dacă se selectează mai multe metode, apare și etapa a cincea în care se evaluează rezultatele fiecărei metode în parte pentru a determina soluția cea mai bună.

Și din punct de vedere al calculului parametrilor golurilor de tensiune există mai multe metode care se pot aplica. Din analiza prezentată se poate observa că tehnicile folosite au la bază versiuni ale transformatei Fourier, variante ale filtrului Kalman, precum și variante ale transformatei Wavelet. Totodată nu se poate realiza o clasificare a algoritmilor din punct de vedere al calității determinării parametrilor. Acest lucru se datorează faptului că toate aceste metode trebuie parametrizate

corect pentru a oferi rezultate corecte, iar parametrizarea depinde în unele situații și de configurația rețelei până la punctul de măsurare a tensiunilor.

### **2.5.2.3. Metode și algoritmi de analiză a erorilor introduse de procedurile de detecție a golurilor de tensiune**

Tratarea erorilor care pot apărea pe întregul proces de măsurare a unei mărimi electrice este o problemă foarte importantă pentru tema de cercetare aleasă. Pe parcursul studiului bibliografic s-au identificat mai multe tipuri de erori de care trebuie ținut cont.

Un tip de eroare este acela de *estimare greșită a fazorilor* pe durata perturbațiilor de tensiune. În acest sens, în [Serna2007] se prezintă o metodă care are ca scop reducerea acestor tipuri de erori. Autorul a ales folosirea metodei celor mai mici pătrate, forma generalizată. Lucrarea prezintă și o simulare numerică pentru demonstrarea părții teoretice, dar autorul precizează că tehnica propusă poate fi folosită în orice situație în care se dorește estimarea fazorilor.

Un alt tip de eroare îl reprezintă *determinarea greșită a valorii efective a tensiunii*. Astfel că în [Yuce2007] se prezintă un echipament de măsurare a valorilor efective a mai multor semnale de tensiune. Echipamentul propus de către autori este eficient în special când se dorește calcularea acestor valori pentru semnale cu frecvențe ridicate, iar acest lucru este posibil prin utilizarea tranzistorilor TEC-MOS în locul utilizării rezistorilor și condensatorilor. Pentru validarea părții teoretice autorii au realizat o simulare în PSpice.

Una dintre cele mai importante probleme legate de estimarea erorilor o reprezintă *determinarea și reducerea raportului semnal/zgomot*. Această problemă este foarte complexă foarte mulți autori rezumându-se la netratarea acestei probleme sau la tratarea ei prin utilizarea unui semnal de zgomot alb gaussian. Totuși sunt câteva lucrări care tratează această problemă într-un mod mai diferit. Dintre acestea se pot aminti [Liao2010] care tratează această problemă cu ajutorul algoritmilor genetici din cadrul inteligenței artificiale, precum și [Kruttiventi2010] care chiar dacă tratează o problemă diferită și anume măsurarea exactă a unei temperaturi, metoda aplicată de către autori poate fi folosită pentru orice aplicație care are la bază o tensiune electrică. Aceștia din urmă propun folosirea derivatei în funcție de timp a mărimii de interes pentru reducerea zgomotului de semnal.

O altă problemă importantă o reprezintă *determinarea frecvenței reale a semnalului urmărit*. Pentru orice analiză efectuată pe un semnal este foarte important să știm cu exactitate valoarea frecvenței. În cadrul studiului efectuat s-au urmărit câteva metode de estimare a frecvenței.

În acest sens în [Salcic2009] se propune un algoritm bazat pe o variantă îmbunătățită a metodei de aproximare Taylor. Autorii precizează că metoda are câteva avantaje majore în ceea ce privește determinarea momentelor în care se schimbă valoarea frecvenței, precum și viteza de lucru crescută în raport cu cerințele hardware simple. În lucrare se propune și implementarea algoritmului într-un integrat de tip FPGA. În [HuangC2010] se prezintă o tehnică de determinarea a frecvenței reale a unui semnal utilizând o variantă complexă a filtrului Kalman împreună cu o tehnică din inteligența artificială și anume un controller fuzzy. Avantajul aplicării acestei tehnici este acela că se pot obține rezultate bune pentru estimarea frecvenței în condiții de perturbații mari. Tot o tehnică de estimare a valorii reale a frecvenței este propusă și în [Kusljevic2010]. În acest caz se utilizează două module, unul pentru filtrarea semnalului de intrare și al doilea pentru estimarea frecvenței reale. În acest scop se utilizează două tehnici și anume metoda

celor mai mici pătrate ponderate și un filtru de răspuns finit în impuls. O noutate adusă de această lucrare este aceea că tot procesul se analizează pe un sistem trifazat de tensiuni și nu se rezumă la tratarea independentă a fiecărei faze. Același lucru dar cu o altă tehnică se utilizează și în [Mojiri2010].

Tot în categoria frecvențelor se încadrează și estimare diferenței de fază dintre două sinusoidale regăsită în [Vucijak2010]. Tehnica propusă are o construcție simplă, dar nu poate fi aplicată în cazul sinusoidelor care au o perturbație armonică mai ridicată.

Din această analiză se poate observa că o considerare greșită a frecvenței (fie prin considerarea valorii standard de 50 Hz, fie prin calculul eronat al acesteia), conduce la o estimare greșită a parametrilor caracteristici ai golurilor de tensiune.

#### **2.5.2.4. Metode și algoritmi utilizate în clasificarea golurilor de tensiune după anumite criterii**

Analiza algoritmilor utilizați pentru clasificarea golurilor de tensiune, trebuie efectuată în funcție de tipul de clasificare abordată. Așa cum s-a arătat la partea teoretică a acestei lucrări, în literatura de specialitate există trei metode de clasificare a golurilor de tensiune rectangulare trifazate. Totuși ultima metodă de clasificare [Thakur2013a] este foarte nouă, iar din acest motiv nu au fost dezvoltate până în prezent noi algoritmi care să clasifice golurile conform acestei metode.

Din punct de vedere al *clasificării conform componentelor simetrice* există mai multe articole care analizează diverse probleme legate de acestea. Primul algoritm folosit pentru realizarea acestei clasificări este algoritmul bazat pe calculul componentelor simetrice propus odată cu clasificarea în [Zhang2000]. Acest algoritm are la bază calcul componentelor simetrice utilizând una dintre tehnicile existente în literatură. O dată realizat acest calcul se poate determina tensiunea caracteristică și factorul de nesimetrie utilizând amplitudinile tensiunilor de secvență directă și inversă. Tipul golului de tensiune se determină prin analiza defazajului dintre fazorii tensiunilor de secvență directă și inversă. Un al doilea algoritm a fost propus de către [Bollen2000c] și poartă denumirea de algoritmul celor șase faze. Practic acest algoritm compară amplitudinile tensiunilor de fază și de linie, iar în funcție de care are cea mai mică valoare remanentă se determină și tipul golului de tensiune, precum și faza sau fazele afectate. Bineînțeles, pentru a se putea compara tensiunile de linie cu cele de fază, primele trebuie adaptate prin împărțirea la un coeficient egal cu  $\sqrt{3}$ .

O nouă contribuție la această clasificare a fost realizată de [Madrigal2007]. Autorii lucrării au propus o soluție de determinare a tipului golului de tensiune cu un algoritm care utilizează cele trei tensiuni de fază și unghiurile dintre acestea. Autorii precizează că algoritmul propus de ei nu este așa sensibil la modificări mari ale tensiunilor de fază sau ale unghiurilor dintre acestea față de cele determinate teoretic. Ultima soluție identificată în literatură este propusă în [Thakur2013b]. Autorii acestei lucrări folosesc unghiurile tensiunilor de fază, respectiv amplitudinea și unghiul tensiunii caracteristice. Autorii compară metoda propusă cu celelalte trei metode prezentate anterior.

O variantă de obținere a acestei clasificări se prezintă în [Deihimi2010] unde autorii propun un sistem expert, care utilizează rezultatele obținute cu primele trei metode prezentate pentru a decide care este tipul de gol de tensiune corect.

Și estimarea corectă a tensiunilor de secvență directă și inversă este o problemă importantă. Astfel, în [Flores2003] se utilizează un filtru Kalman pentru estimarea tensiunilor de secvență directă și inversă folosite la clasificarea conform

componentelor simetrice. Autorii arată că această metodă de estimare este mai performantă de cât cele clasice, dând erori mai mici în situația în care curbele de tensiune sunt afectate de armonici și zgomote.

Pornind de la acest tip de clasificare, unii autori propun utilizarea tensiunii caracteristice pentru o analiză mai complexă a golurilor de tensiune trifazate. Astfel, în [Ohrstrom2003] se prezintă un studiu comparativ între cele două variante existente și anume: utilizarea valorii minime a tensiunii pe cele trei faze și utilizarea tensiunii caracteristice conform clasificării componentelor simetrice. Autorii precizează că rezultatele furnizate de către a doua variantă sunt identice cu cele furnizate de prima cu excepția situațiilor în care nesimetriile sunt foarte mari.

De asemenea, pentru a se *clasifica evenimentele înregistrate conform clasificării ABC* au fost propuși mai mulți algoritmi. Primul algoritm a fost propus chiar de către promotorul metodei de clasificare. Astfel, în [Leborgne2004] se prezintă o metodă de detecție a tipului golului de tensiune conform clasificării ABC care utilizează raportul dintre tensiunea minimă de fază și tensiunea minimă de linie. Soluția propusă reprezintă o metodă grafică formată din șapte curbe, câte una pentru fiecare tip de gol de tensiune. Curbele reprezintă dependențele teoretice dintre tensiunea minimă de fază și tensiunea minimă de linie. Identificarea tipului golului de tensiune se realizează prin marcarea unui punct pe grafic dat de către tensiunile reale minimă de fază și minimă de linie, iar apoi determinarea curbei teoretice mai apropiate de acest punct. Această metodă are un dezavantaj major în momentul în care apar diferențe față de valoarea așteptată atât în amplitudinile tensiunilor de fază, cât și în unghiurile dintre faze. Tot un dezavantaj major este și faptul că această metodă nu poate distinge între tipurile A și E. O nouă soluție de detecție a tipului golului de tensiune conform acestei clasificări a fost propusă tot de promotorul clasificării în [Bollen2004]. În această lucrare autorii propun o variantă formată din doi pași. La primul pas se determină numărul de faze afectate prin compararea tensiunilor de fază. În urma acestei etape pot rezulta goluri mono sau trifazate (tipurile A, B, D, F), respectiv goluri bi sau trifazate (tipurile A, C, E, G). O dată determinat numărul de faze afectate, la al doilea pas se efectuează o identificare grafică asemănătoare cu metoda anterioară, doar că la această metodă, autorii trasează curbele date de raportul dintre tensiunea minimă pe fază și tensiunea maximă pe fază. Curbele se trasează doar pentru tipurile care se încadrează la numărul de faze afectate determinat în pasul unu. După analizele efectuate, se poate observa că această metodă dă rezultate mai corecte, ea nefiind influențată de modificările aleatoare ale unghiurilor dintre faze. Și această metodă are două dezavantaje: rezultatul este influențat de modificarea amplitudinilor tensiunilor de fază; metoda nu poate face distincție între tipurile C și E.

În [Jattiem2009] a fost lansată o nouă metodă la care autorii folosesc valorile unghiurilor dintre faze și valorile amplitudinilor tensiunilor de fază pentru determinarea tipului golului de tensiune conform aceleiași clasificări. Totuși acest algoritm propus de ei poate detecta doar dacă golurile de tensiune sunt mono, bi sau trifazate. Practic pentru un gol monofazat cu acest algoritm nu se poate detecta dacă acesta este de tipul B, D sau F, iar pentru un gol bifazat nu se poate detecta dacă este tipul C, G sau E.

O îmbunătățire a metodelor propuse a fost realizată în [Molnar2010a]. În această lucrare autorii propun un algoritm care să detecteze tipul golului de tensiune în doi pași. În primul pas s-a implementat algoritmic metoda propusă în [Leborgne2004] prin calcularea distanței de la punct la curbele teoretice. Dacă în primul pas se obține unul dintre tipurile A sau E, respectiv C sau G, unde metoda amintită dă erori mai mari, se trece la pasul al doilea în care autorii trasează curbe

teoretice date de raportul dintre tensiunea minimă de fază și tensiunea maximă de linie. Analizând algoritmul propus se poate observa că acesta oferă rezultate mai corecte, decât celelalte două metode. Un dezavantaj major este dat de faptul că și acest algoritm este influențat de eventualele modificări aleatoare ale tensiunilor de fază și ale unghiurilor dintre tensiuni.

O altă abordare a acestei clasificări se găsește în [Ignatova2005] în care se propune utilizarea unei metode vectoriale împreună cu analiza componentei de secvență homopolară. Această metodă a fost aplicată ulterior în [Ignatova2009], lucrare în care s-au mai adăugat două tipuri H și I, tipuri care conțin goluri pe unele faze și supratensiuni pe alte faze.

Analizând cele prezentate anterior se poate spune că pentru clasificarea conform componentelor simetrice, algoritmi existenți pentru determinarea golurilor de tensiune sunt suficient de corecți. Totuși pentru clasificarea ABC, fiecare metodă are un defect de identificare a tipului golurilor de tensiune. În general majoritatea metodelor au probleme în selectarea corectă a tipului golului de tensiune în cazul în care acesta este de tip bifazat.

### 2.5.3. Utilizarea tehnicilor de inteligență artificială în analiza golurilor de tensiune

O altă componentă importantă pentru tema de cercetare o reprezintă instrumentele avansate de analiză a golurilor de tensiune. Astfel de instrumente avansate sunt și tehnicile specifice inteligenței artificiale. Analizând aceeași bază de date amintită mai sus se poate observa că și inteligența artificială are un rol important în studierea problemelor legate de analiza golurilor de tensiune. În acest sens în Fig.2.12 se prezintă o statistică privind utilizarea acestor tehnici în analiza golurilor.

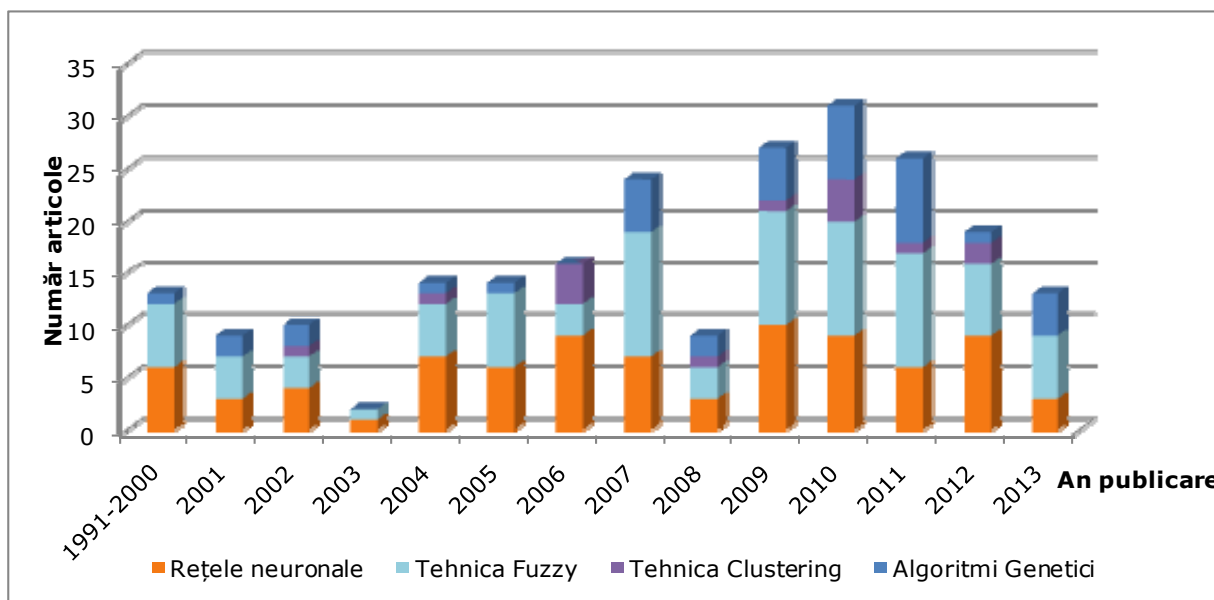


Fig. 2.12 – Statistică privind tehnicile de inteligență artificială utilizate în analiza golurilor de tensiune.

Așa cum se poate observa și în Fig.2.12 în acest tip de analiză se folosesc cu preponderență patru tipuri de tehnici și anume:

- tehnica Clustering;



- tehnica Fuzzy;
- rețele neuronale;
- algoritmi genetici.

Totuși în literatură se mai folosesc și alte tehnici cum ar fi sistemele expert și recunoașterea automată a formelor. În continuare se vor analiza pe rând scopul pentru care au fost folosite fiecare dintre tehnicile de analiză amintite.

*Tehnica Clustering* a fost folosită în [Romero2012] pentru detectarea locului defectului pornind de la înregistrările de goluri de tensiune din rețeaua electrică.

*Tehnica Fuzzy*, cunoscută în literatură sub denumirea de *logica Fuzzy* a fost folosită la început în [Dash1997] pentru clasificarea perturbațiilor electromagnetice apărute pe curba de tensiune. Aceiași problemă a fost rezolvată în [Zhu2004], [Morsi2009] și [Meher2010] prin combinarea logicii fuzzy cu rezultatele obținute cu transformata Wavelet. Și analiza efectelor asupra consumatorilor a fost realizată utilizând logica Fuzzy așa cum se poate observa în [Bonatto1998]. Autorii analizează cu ajutorul acestei tehnici, probabilitatea de oprire a computerelor. Implementarea metodei a pornit de la prevederile standardului care definește curba CBEMA.

O altă aplicație la care se folosește logica Fuzzy este alocarea optimă a aparatelor de monitorizare a golurilor de tensiune într-o rețea electrică. Acest tip de implementare se poate observa în [Haghbin2009]. Totuși, logica Fuzzy este mai folosită în comanda diverselor sisteme de reducere a efectelor golurilor de tensiune așa cum se poate observa în cele mai recente articole publicate [Farsadi2013], [Aryanezhad2013], [Babu2013] sau în cel mai citat articol [Elmitwally2000].

*Sistemele expert* sunt folosite pentru clasificarea diverselor perturbații electromagnetice. Astfel, în [Styvaktakis2001] se folosește un sistem expert pentru a clasifica golurile de tensiune din punct de vedere a formei lor. Practic acest sistem distinge între golurile de tensiune date de scurtcircuite, pornirea consumatorilor mari sau magnetizarea transformatoarelor. Sistemul expert a fost dezvoltat în continuare, iar în [Styvaktakis2002] a fost prezentată o variantă care poate clasifica și alte perturbațiile care afectează curba de tensiune cum ar fi întreruperile de scurtă durată și supratensiunile. Un alt sistem expert se găsește în [Deihimi2010] cu ajutorul cărora autorii realizează clasificarea golurilor de tensiune conform clasificării componentelor simetrice. O altă variantă de sistem expert se găsește în [Yu 2011] în care autorii completează varianta propusă în [Styvaktakis2001], prin separarea golurilor dreptunghiulare în mono, bi și trifazate.

Totuși unul dintre cele mai importante sisteme expert este prezentat în [España2013]. Autorii prezintă un sistem expert care evaluează impactul golurilor de tensiune asupra consumatorilor industriali. Se folosește o rețea probabilistică, denumită diagrama de influență, care are rolul de a genera relații de consecințe între variabilele sistemului. Aplicația astfel creată folosește un motor Bayesian care permite calcularea relațiilor probabilistice, permițând utilizatorului să introducă noi date. Aplicația analizează datele introduse de utilizator cum ar fi costurile, calitatea energiei în fabrică, soluțiile existente de protecție, iar pe baza acestora se creează o evaluare economică a soluțiilor și totodată se poate analiza istoricul fenomenului în companie. Se poate de asemenea analiza cauza golurilor de tensiune și probabilitatea ca acestea să afecteze procesele de producție.

Aplicația creată a fost folosită în analiza a 3 companii de dimensiuni medii, plasate în aceeași zonă geografică.

*Rețelele neuronale* sunt de asemenea folosite în analiza golurilor de tensiune. Trebuie totuși precizat că sunt puține articole care aplică această tehnică strict pentru golurile de tensiune. Majoritatea articolelor utilizează rețelele neuronale pentru detecția și clasificarea evenimentelor legate de calitatea energiei electrice.

Spre exemplu o primă propunere în utilizarea rețelelor neuronale în analiza problemelor de calitate a energiei electrice se regăsește în [Daniels1991]. În [Kaewarsa2007] și [Chandel2008] se utilizează transformata Wavelet pentru analiza preliminară a curbelor de tensiune, iar informațiile obținute cu ajutorul acesteia se introduc într-o rețea neuronală utilizată pentru clasificarea fenomenelor aferente calității energiei electrice. Pentru rezolvarea aceleiași probleme în [Lira2006] și în [Huang2010b] se propune o soluție formată din prelucrarea primară a semnalelor, urmată de o analiză a rezultatelor cu metode de recunoaștere a modelului, iar în final se utilizează rețeaua neuronală pentru clasificarea evenimentelor. Diferența dintre cele două lucrări este dată de faptul că în [Lira2006] procesarea primară se realizează cu ajutorul transformatei discrete Wavelet, iar în [Huang2010] se folosește transformata S. În [Venkatesh2010] se propune tot o combinație între transformata S și rețeaua neuronală, doar că în acest caz autorii clasifică doar golurile de tensiune, supratensiunile și întreruperile.

Totuși în literatura de specialitate există și propuneri de rețele neuronale care sunt utilizate strict doar pentru golurile de tensiune. Astfel, în [Albano2004] se propune utilizarea transformatei Wavelet împreună cu o rețea neuronală, pentru clasificarea golurilor de tensiune în funcție de sursa care le-a produs. Aceeași problemă se rezolvă în [Ganyun2007] prin utilizarea ca și intrare în rețeaua neuronală a saltului unghiului de fază. În [Singh2012] se prezintă o rețea neuronală folosită pentru detecția apariției golului de tensiune. Ieșirea rețelei neuronale se folosește ca și intrare pentru un sistem de compensare a pierderii de tensiune.

O altă problemă analizată cu ajutorul rețelelor neuronale este detecția golurilor de tensiune dintr-o rețea electrică. În [Espinosa2009a] se prezintă o astfel de metodă care are la intrarea rețelei neuronale datele de la o analiză bazată pe metoda de determinare a poziției scurtcircuitului.

*Algoritmii genetici* sunt o componentă de bază în analiza golurilor de tensiune. O problemă pentru care se utilizează astfel de algoritmi este aceea de reducere a efectelor golurilor de tensiune asupra consumatorilor. Astfel, în [Jahromi2007] se propune utilizarea algoritmilor genetici pentru optimizarea alocării surselor distribuite de energie, în scopul reducerii efectelor golurilor de tensiune. Tot o reducere a efectelor golurilor se propune în [Chang2004], [Zhang2007] și [Milanovic2010] unde autorii folosesc algoritmii genetici pentru amplasare optimă a dispozitivelor de tip FACTs utilizate pentru reducere efectelor golurilor de tensiune. O altă abordare este aceea de reconfigurare a rețelei electrice. Această soluție este tratată cu ajutorul algoritmilor genetici în [Bahadoorsingh2007] și [Cebrian2008] unde criteriu de optimizare este dat de pierderile economice generate de golurile de tensiune, în [Espinosa2012] unde criteriu de optimizare este îmbunătățirea indicatorilor de sistem și în [Salman2011] și în [Tapia-Juarez2013] unde criteriu de optimizare este nivelul tensiunilor în noduri.

O altă problemă la care se folosesc algoritmii genetici este amplasarea optimă a echipamentelor de monitorizare a calității energiei electrice. Acest lucru este prezentat în [Cebrian2010] în care autorii aplică algoritmii genetici pe o rețea de distribuție. Tot o astfel de abordare se observă în [Espinosa2009b] în care autorii determină amplasarea optimă a echipamentelor de monitorizare ținând cont și de existența surselor distribuite de energie. În [Espinosa2011] și [Lucio2011], aceiași autori folosesc algoritmii genetici pentru a determina tensiunile în nodurile rețelei buclate în funcție de tensiunile în nodurile în care există sisteme de monitorizare, pe durata golurilor de tensiune.

Totodată s-au identificat și articole care utilizează combinații între diverse tehnici de inteligență artificială. Astfel, în [Choong2005] se propune o soluție



implementată hardware de detectare a problemelor de calitate a energiei electrice. În cadrul acestei soluții se realizează o procesare în trei pași după cum urmează: procesare primară cu Wavelet, procesare de bază cu rețea neuronală și procesare finală cu Fuzzy. Același tip de abordare se regăsește și în [Reaz2007], soluția propusă de aceștia fiind implementată software. O altă combinație a tehnicilor de inteligență artificială se găsește în [Almeida2009], [Almeida2011] și [Hagbin2013] unde se analizează amplasarea optimă a echipamentelor de monitorizare a golurilor de tensiune utilizând algoritmi genetici și logica fuzzy.

Așa cum se poate observa din studiul prezentat rolul tehnicilor de inteligență artificială în analiza problemelor legate de golurile de tensiune este unul important. Ca și concluzii se poate spune că:

- în general tehnica de Clustering se folosește în combinații cu alte tehnici;
- logica Fuzzy se folosește în general pentru controlul anumitor echipamente utilizate la protecția consumatorilor împotriva efectelor golurilor de tensiune;
- sistemele expert se folosesc pentru realizarea diverselor clasificări;
- rețelele neuronale se folosesc pentru clasificarea diverselor probleme de calitate a energiei electrice sau pentru clasificarea golurilor de tensiune în funcție de sursa care le-a produs;
- algoritmi genetici se folosesc pentru amplasarea optimă a sistemelor de monitorizare sau a echipamentelor de reducere a golurilor de tensiune din rețelele electrice.

## 2.6. Concluzii și contribuții personale.

În cadrul acestui capitol au fost prezentate și analizate o serie de noțiuni fundamentale legate de tematica tezei: definirea golurilor de tensiune și prezentarea prevederilor standardelor internaționale; prezentarea parametrilor caracteristici ai golurilor de tensiune atât cei considerați de standardele internaționale (tensiune și amplitudine), cât și cei mai noi analizați în literatură (saltul unghiului de fază și punctele de pe curbă de inițiere și de finalizare a unui gol de tensiune); prezentarea caracterizărilor trifazate a golurilor de tensiune; prezentarea stadiului actual privind analiza golurilor de tensiune.

În mod deosebit, pentru o încadrare cât mai bună a temei de cercetare în domeniul golurilor de tensiune, în acest capitol s-au prezentat concluziile unui vast studiu bibliografic. Așa cum se poate vedea mai sus, acest studiu a fost împărțit pe șapte direcții majore de cercetare. În cadrul studiului s-a pus accentul pe analiza direcției particulare de detectare, calculul parametrilor și clasificarea a golurilor de tensiune. O altă problemă mai intens analizată a fost aceea de analiză a utilizării tehnicilor specifice inteligenței artificiale în analiza golurilor de tensiune.

Concluziile studiului bibliografic sunt:

- golurile de tensiune sunt probleme de calitate a energiei electrice, care produc pagube financiare ridicate;
- majoritatea studiilor din domeniu se concentrează pe realizarea de echipamente sau sisteme de protecție a consumatorilor sau chiar a rețelei electrice împotriva efectelor produse de golurile de tensiune;
- a doua tematică abordată în literatură este aceea de determinare a efectelor golurilor de tensiune asupra echipamentelor electrice;

- a treia tematică, în care se încadrează și această temă de cercetare, este aceea de analiză, detectare, calcul parametrilor și clasificare a golurilor de tensiune;
- în literatura de specialitate există mai multe tehnici de detecție a momentului apariției golului de tensiune, dintre care cele mai performante sunt cele care anticipează valoarea următoare în funcție de tendința actuală; mai nou se încearcă detectarea apariției golului de tensiune direct pe curbele sinusoidale, lucru mai dificil datorită existenței zgomotelor de semnal care deteriorează calitatea analizelor;
- pentru calculul parametrilor golurilor de tensiune există mai multe metode cum ar fi: metode bazate pe versiuni ale transformatei Fourier, metode care utilizează diverse variante ale filtrului Kalman, precum și metode care utilizează diverse variante ale transformatei Wavelet;
- neconsiderarea frecvenței reale în timpul golului de tensiune poate conduce la estimarea greșită a parametrilor caracteristici golurilor;
- pentru clasificarea conform componentelor simetrice, algoritmi existenți pentru determinarea golurilor de tensiune sunt suficient de corecți;
- pentru clasificarea ABC, fiecare metodă prezintă o imperfecțiune de identificare a tipului golurilor de tensiune, cu precizarea că în general majoritatea metodelor au probleme în selectarea corectă a tipului golului de tensiune în cazul în care acesta este de tip bifazat; *aceasta este și una dintre problemele principale ce se vor soluționa în cadrul acestei teme de cercetare;*
- în literatura de specialitate s-au utilizat tehnici de inteligență artificială pentru rezolvarea diverselor probleme; problema clasificării golurilor de tensiune trifazată a fost analizată în câteva lucrări prin utilizarea sistemelor expert;
- logica fuzzy a fost în general utilizată pentru comandarea unor sisteme de protecție a consumatorilor împotriva efectelor golurilor de tensiune.

În continuare se prezintă o sinteză privind contribuțiile personale din cadrul acestui capitol:

- prezentarea într-o manieră personală a principalelor noțiuni privind definirea și standardizarea golurilor de tensiune;
- prezentarea într-o manieră personală a principalelor noțiuni privind caracterizarea și clasificarea golurilor de tensiune;
- sinteza noțiunilor generale și particulare privind golurile de tensiune, realizată printr-un studiu bibliografic de dimensiuni mari având ca suport baza de date IEEE;
- analiza critică a soluțiilor propuse în literatura de specialitate privind studiul golurilor de tensiune din punct de vedere al problemelor direcției de cercetare aleasă, punându-se un accent mai ridicat pe problemele principale ce vor fi analizate în continuarea acestei teze;
- informațiile acumulate pe durata realizării acestui capitol a condus la realizarea articolelor [Moga2010], [Molnar2011a] și [Baloi2014].

### **3. MANAGEMENTUL ȘI PRELUCRAREA DATELOR PRIMARE**

În acest capitol se prezintă posibilitățile de management și prelucrare a datelor primare. În cadrul prezentei teze de doctorat, managementul și prelucrarea datelor primare înseamnă modul prin care se pot obține datele necesare dezvoltării și testării unor algoritmi proprii, metodele de stocare a acestor date pentru a avea un acces cât mai rapid la ele, precum și prelucrarea primară a acestora pentru a le aduce la o formă generală cât mai ușor de utilizat. La începutul capitolului se prezintă o analiză a posibilităților actuale de management și prelucrare a datelor primare folosite în analiza problemelor de calitate a energiei electrice, urmată de dezvoltarea unui algoritm propriu, implementat software, pentru generarea curbelor de tensiune aferente fenomenului analizat în această lucrare și anume golurilor de tensiune trifazate. Capitolul se continuă cu dezvoltarea unei baze de date proprii necesară pentru asigurarea unui acces cât mai facil la datele necesare. Baza de date va fi creată astfel încât să permită introducerea datelor obținute atât din măsurători reale, cât și cele obținute prin intermediul generatorului de goluri de tensiune dezvoltat. Totodată, baza de date va fi accesată direct din toate instrumentele software care vor fi create în continuare. Pe parcursul capitolului se prezintă prin intermediul unor exemple, modul de utilizare a celor două instrumente software create, iar la final se încheie cu prezentarea concluziilor și contribuțiilor proprii din cadrul acestui capitol.

#### **3.1. Importanța datelor în studiile de cercetare**

Prin date, se înțelege măsuri numerice ale fenomenelor ce sunt utilizate în procesul de decizie științifică, iar procesul de colectare a datelor reprezintă unul dintre cei mai importanți pași în vederea realizării unei cercetări științifice pentru că permite obținerea de răspunsuri la întrebările deschise în tema de cercetare, dar de asemenea permite testarea ipotezelor și evaluarea rezultatelor.

Etapa de colectare a datelor de cercetare este comună tuturor domeniilor de cercetare, inclusiv științelor inginerești, ale celor umaniste sau din domeniul afacerilor. Deși metodele de colectare variază în funcție de disciplină, accentul este pus pe asigurarea colectării corecte și a unui volum mare de date utile.

Consecințele colectării datelor într-un mod necorespunzător presupune o mulțime de riscuri printre care se numără:

- incapacitatea de a oferi rezultate precise;
- incapacitatea de a repeta și valida studiul efectuat;
- posibilitatea formării unor teorii greșite.

În domeniul calității energiei validarea anumitor metode de analiză se face de cele mai multe ori prin compararea rezultatelor obținute prin metoda propusă cu alte rezultate obținute prin alte metode. Acest lucru devine dificil sau incorect atunci când nu se folosesc același seturi de date.

De asemenea, după cum reiese din studiul bibliografic, în acest domeniu au început să fie tot mai folosite tehnicile de inteligență artificială, acestea necesitând un volum ridicat de date pentru a putea fi implementate.

În același timp obținerea datelor reprezintă o adevărată provocare, deoarece majoritatea sistemelor de monitorizare sunt concepute să furnizeze informații conform specificațiilor standardelor existente în domeniu, acestea fiind incomplete pentru realizarea de noi cercetări. Mai mult, majoritatea sistemelor de monitorizare nu furnizează datele înregistrate unui sistem centralizat de gestionare a datelor.

Pentru cazul particular al golurilor de tensiune, obținerea datelor este mult mai dificilă și datorită caracterului imprevizibil în ceea ce privește apariția golurilor de tensiune. Practic pentru a obține un set de date concludente, perioada pe care se desfășoară monitorizarea durează de la minim un an, până la câțiva ani.

Totodată folosirea înregistrărilor oferite de sistemele de monitorizare pentru validarea anumitor metode de analiză nu oferă o precizie ridicată, deoarece anumiți parametri caracteristici nu sunt cunoscuți cu exactitate, aceștia fiind aproximați.

În acest context devine utilă folosirea unui generator de goluri în cadrul căruia sunt cunoscuți parametri caracteristici. Avantajul folosirii unui generator în loc de măsurători reale de date este aceea că parametrii golului de tensiune sunt cunoscuți, și astfel poate fi apreciat foarte exact dacă algoritmi specifici utilizați pentru analiza golurilor de tensiune dau rezultate corecte. Un alt avantaj este reprezentat de posibilitatea obținerii unui volum de date suficient de mare pentru sistemele care implementează tehnici de inteligență artificială.

Conform cu cele prezentate, în continuare se propune implementarea unei aplicații software de generare a golurilor de tensiune trifazate, precum și oferirea unei soluții de stocare a datelor astfel obținute. Se face precizarea că soluția de stocare va trebui să aibă un caracter cât mai general, adică să poată stoca date provenite din orice sursă posibilă (măsurători reale sau generatoare de date), respectiv să poată fi ușor accesată de diverse aplicații ce vor fi dezvoltate ulterior.

## **3.2. Generator de goluri de tensiune**

Cu ajutorul generatoarelor de goluri de tensiune, inginerii își pot îmbunătăți cunoștințele despre comportarea echipamentelor la golurile de tensiune, și ulterior pot aduce îmbunătățiri în proiectarea echipamentelor, astfel încât acestea să fie mai rezistente la astfel de evenimente [Lamoree1993], [Saksena2005]. Mai mult decât atât, unele metodologii standard (SEMI F47, ITIC, CBEMA sau IEC6199-4-11) au propus limitele de performanță recomandate pentru răspunsul echipamentelor la goluri de tensiune cu amplitudini și durate specifice.

Există mai multe tipuri de sisteme de generare a golurilor propuse în literatura de specialitate, acestea încadrându-se în 4 mari categorii de generatoare:

- generatoare bazate pe transformatoare [Yan2008], [Zhiyong2002], [Jian2012], [Hu2009], [Nho2010], [Wessels2010], [Senturk2012], [Ma2008];
- generatoare care utilizează comutare de impedanță [Chung2002], [Gabe2011], [Garcia-Gracia2009], [Ausin2008];
- generatoare reale cu tensiuni reglabile [Kumsuwan2009], [Collins1996], [Veganzones2011];
- generatoare de semnal cu amplificatoare de putere [Iyoda2010], [Oranpiroj2009], [Oranpiroj2010], [Dokic2002], [Zeng2010], [Dongyu2010].

*Tipul transformator* (Fig.3.1) este format din trei transformatoare monofazate cu înfășurări secundare diferite (de exemplu 100%, 80% și 60% din tensiunea nominală [Oranpiroj2009]) sau din transformatoare trifazate cu precizarea că acestea din urmă pot genera doar goluri de tensiune simetrice. Varianta cea mai simplă are în componența sa 3 ploturi, care pot genera 3 tensiuni diferite. Dezavantajul major al acestora este faptul că se pot genera doar goluri de tensiune de anumite amplitudini definite de numărul și construcția înfășurărilor secundare. Acest dezavantaj poate fi înlăturat prin folosirea autotransformatoarelor care pot genera orice goluri de tensiune de orice amplitudine, dar în schimb nu se mai poate obține o variație de tip treaptă. Forma de undă a unui gol de tensiune generat cu ajutorul autotransformatoarelor este de tip trapezoidală, acestea putând scădea tensiunea la orice valoare, dar fără a putea face acest lucru brusc.

În cazul generatoarelor care utilizează transformatoare, atât pentru reglarea tensiunii nominale (înainte de gol), cât și a tensiunii pe durata golului se utilizează comutatoare de ploturi. Durata golurilor de tensiune poate fi controlată de către circuitul de control.

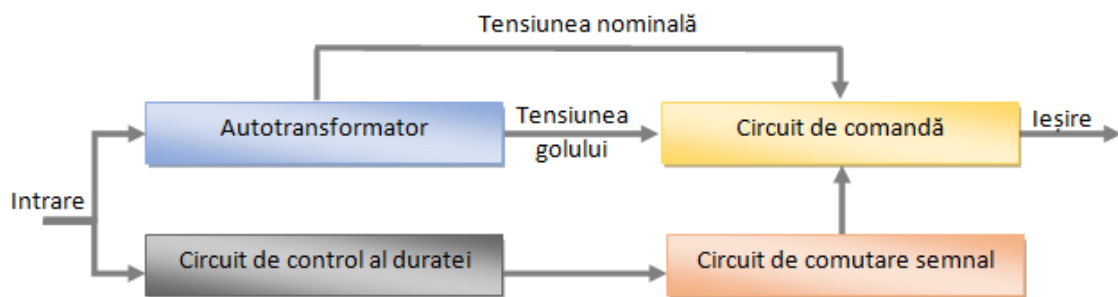


Fig. 3.1 – Principiul de funcționare al generatorului de goluri de tip transformator

Acest tip de generator este potrivit pentru utilizarea în laboratoare datorită costului mai redus, deoarece folosește componente standard, cum ar fi un transformator treaptă și dispozitive de comutare electronice de putere, precum și sisteme de control simple.

Generatoarele de goluri de tensiune bazate pe *comutare de impedanță* (Fig.3.2) creează goluri de tensiune prin conectarea unei impedanțe paralel cu sistemul de alimentare. Curentul prin impedanță, poate fi controlat prin utilizarea electronicii de putere, mai concret prin controlarea unghiului de comandă a tiristoarelor. Fluxul de curent de pe impedanța conectată determină o cădere de tensiune pe aceasta, care conduce la gol de tensiune în circuitul primar.

Un astfel de generator bazat pe conectare de impedanță, format dintr-un șunt și o impedanță serie, prezentat în [Garcia-Gracia2009], este folosit pentru testarea turbinelor eoliene până la o putere de 5 MW.

Acest tip de generator este avantajos pentru testarea echipamentelor în circuite de putere.

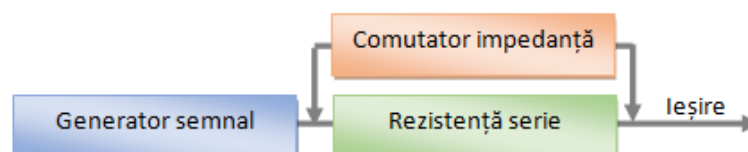


Fig. 3.2 – Principiul de funcționare al generatorului de goluri de tip comutare de impedanță

Tipul *generator real* (Fig.3.3) utilizează un generator sincron pentru a genera goluri de tensiune trifazate. Tensiunea la bornele generatoarelor poate fi controlată atât în amplitudine, cât și în durată prin modificarea excitației generatorului sincron. Dezavantajul acestui tip de generator o reprezintă spațiu mare necesar pentru instalare și prețul acestuia. În general aceste tipuri de generatoare de goluri se construiesc cu ajutorul motoarelor diesel care antrenează un generator sincron [Collins1996].

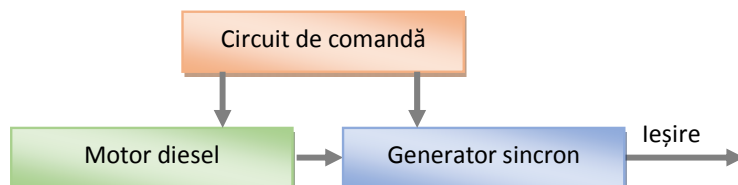


Fig. 3.3 - Principiul de funcționare al generatorului de goluri de tip generator real

Generatoarele de goluri de tensiune de tipul *generatoare de semnal cu amplificatoare de putere* (Fig.3.4) folosesc, de obicei, un generator de undă pentru a genera golurile de tensiune cu caracteristicile dorite.

După definirea semnalului dorit datele sunt transmise amplificatorului de putere, pentru a genera nivelurile necesare ale tensiunii nominale, respectiv ale tensiunii golului.

Avantajul acestui tip, reprezintă controlul mai precis al tuturor caracteristicilor și de asemenea, permite testarea echipamentelor în condiții de variații de frecvență și de distorsiuni armonice.

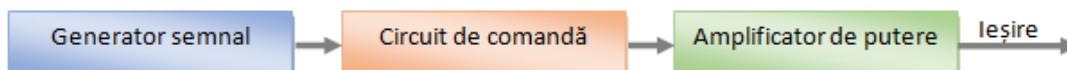


Fig. 3.4 - Principiul de funcționare al generatorului de goluri de tip amplificator de putere

Componenta "Generator semnal" poate fi creată atât electronic, cât și programabil. Cel programabil folosește o sursă de semnal programabilă care poate fi comandată din calculator.

Prin urmare, acest tip de generator este propus în continuare, dezvoltându-se un program care generează undele de semnal pentru o astfel de sursă programabilă.

Din cele prezentate se observă că dezavantajul major al generatoarelor hardware folosite la testarea echipamentelor îl reprezintă costul acestora. Mai mult decât atât, în cazul în care puterea nominală a dispozitivelor crește peste 10kVA costul echipamentelor de testare crește considerabil. Pentru a depăși această problemă, recent, dezvoltatorii de echipamente au început să folosească din ce în ce mai mult simulări ale design-ului, în acest mod, erorile de design putând fi corectate timpuriu, scăzând în acest mod costurile de testare.

Astfel în cadrul simulatoarelor este necesară existența unui volum de date suficient de mare pentru ca echipamentele să poată fi testate în cât mai multe condiții.

Ținând cont de avantajele simulatoarelor software, în continuare se prezintă o soluție de obținere a golurilor de tensiune prin dezvoltarea unui model matematic și implementarea sa în cadrul unei aplicații software.

Avantajele acestei aplicații sunt:

- flexibilitate, putând genera mai multe semnale, atât în situația în care parametri caracteristici sunt setați manual, cât și în situația în care aceștia sunt generați aleator de către aplicație.
- posibilitatea generării de semnale monofazate și trifazate, iar aceste goluri de tensiune vor fi clasificate folosind Clasificarea ABC descrisă în capitolul al 2-lea.

În vederea implementării aplicației se pleacă de la următorul model matematic.

### 3.2.1. Modelul matematic al generatorului de goluri de tensiune

#### 3.2.1.1. Generatorul de semnal monofazat

Din punct de vedere matematic generatorul de goluri construiește o funcție continuă care descrie golul de tensiune apărut între momentele  $t_1$  și  $t_2$  cunoscând caracteristicile a două faze (amplitudinea  $A_1$  și  $A_2$ , frecvența  $f$  și defazajul  $\varphi$ ) [Molnar2013c].

Astfel construcția funcției pornește de la situația ideală, în care cele două semnale sunt neperturbate atât pe perioada regimului normal (3.1) cât și pe cea a regimului golului de tensiune(3.2):

$$y_1(t) = A_1 \cdot \sin(2\pi ft) \quad (3.1)$$

$$y_2(t) = A_2 \cdot \sin(2\pi ft + \varphi) \quad (3.2)$$

unde  $A_2 < A_1$ .

Ținând cont de cele descrise mai sus, funcția care descrie golul de tensiune este dată de relațiile (3.3).

$$y(t) = \begin{cases} y_1(t) & , t \leq t_1 \\ y_2(t) & , t_1 < t \leq t_2 \\ y_1(t) & , t_2 < t \end{cases} \quad (3.3)$$

Funcția nefiind continuă în  $t_1$ , implică faptul că tranziția dintre două regimuri să fie imposibilă. Cea mai simplă tranziție o reprezintă tranziția liniară de durată  $\theta$ .

În acest caz, funcția care descrie golul de tensiune în cazul ideal este reprezentată în (3.4).

$$y(t) = \begin{cases} y_1(t) & , t \leq t_1 \\ j_1(t) & t_1 < t \leq t_1 + \theta \\ y_2(t) & , t_1 + \theta < t \leq t_2 \\ j_2(t) & t_2 < t \leq t_2 + \theta \\ y_1(t) & , t_2 + \theta < t \end{cases} \quad (3.4)$$

Înlocuind funcțiile  $y_i(t)$  și  $j_i(t)$  cu expresiile corespunzătoare, relația (3.4) poate fi rescrisă ca și în relația (3.5).

$$y(t) = \begin{cases} A_1 \cdot \sin(2\pi ft) & , t \leq t_1 \\ a_1 t + b_1 & t_1 < t \leq t_1 + \theta \\ A_2 \cdot \sin(2\pi ft + \varphi) & , t_1 + \theta < t \leq t_2 \\ a_2 t + b_2 & t_2 < t \leq t_2 + \theta \\ A_1 \cdot \sin(2\pi ft) & , t_2 + \theta < t \end{cases} \quad (3.5)$$

Impunând-se ca funcția să fie continuă, coeficienții prezentați anterior sunt obținuți în (3.6):



$$\begin{aligned}
 a_1 &= \frac{y_2(t_1 + \theta) - y_1(t_1)}{\theta} \\
 b_1 &= y_1(t_1) - t_1 a_1 \\
 a_2 &= \frac{y_1(t_2 + \theta) - y_2(t_2)}{\theta} \\
 b_2 &= y_2(t_2) - t_2 a_2
 \end{aligned} \tag{3.6}$$

În realitate însă, semnalul care reprezintă golul de tensiune nu este niciodată o sinusoidă perfectă, aceasta fiind afectată de perturbații pe durata tuturor fazelor componente: regimul normal, regimul golului de tensiune precum și perioadelor de tranziție. Dacă se presupune că forma de undă este periodică, distorsiunea poate fi reprezentată matematic ca o sumă de unde sinusoidale (3.7) de o amplitudine  $A_{ih}$  (care este o fracțiune din valoarea amplitudinii pe durata regimului normal), o anumită frecvență multiplu al frecvenței fundamentale,  $f_{ih}$  și un anumit defazaj  $\varphi_{ih}$ . Suma distorsiunilor armonice originale în sistemul de energie electrică este în mod normal mică. Contribuția principală la distorsiunea armonică de tensiune este cauzată de sarcini neliniare. O mare parte a consumatorilor sunt alimentați prin convertoare electronice de putere determinând un curent nesinusoidal. Componentele armonice de curent determină componente armonice de tensiune, iar datorită acestora o tensiune nesinusoidală în sistem. Distorsiunea armonică de tensiune este în mod normal limitată la câteva procente.

$$N(t) = 1 + \sum_i \frac{A_{ih}}{A_1} \cdot \sin(2\pi f_{ih} t + \varphi_{ih}) \tag{3.7}$$

În cazul următor se prezintă folosirea unei singure perturbații armonice descrisă cu relația (3.8).

$$N(t) = 1 + \frac{A_{1h}}{A_1} \cdot \sin(2\pi f_{1h} t + \varphi_{1h}) \tag{3.8}$$

Astfel, pentru regimurile afectate de zgomot, folosind (3.8) sunt obținute următoarele expresii:

$$\begin{aligned}
 Y_1(t) &= A_1 \cdot N(t) \cdot \sin(2\pi f t) \\
 Y_2(t) &= A_2 \cdot N(t) \cdot \sin(2\pi f t + \varphi)
 \end{aligned} \tag{3.9}$$

Intuitiv, în Fig.3.5, sunt prezentate semnalul afectat de zgomot, respectiv semnalul normal atât pentru regimul normal de funcționare, cât și pentru regimul de gol de tensiune.

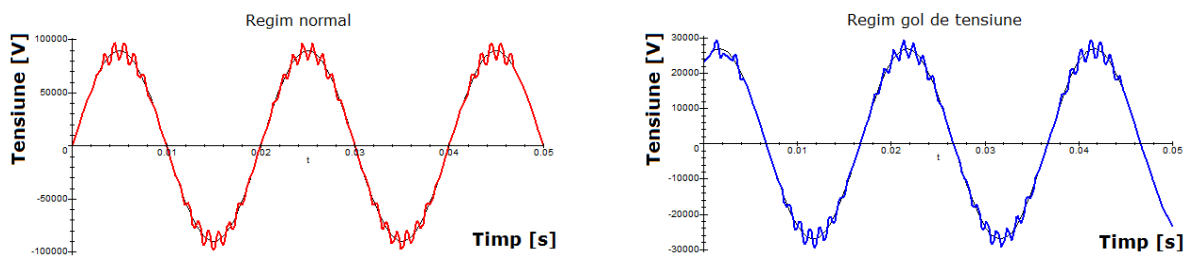


Fig. 3.5 – Semnal afectat de zgomot și semnal normal pentru regimurile normale și gol de tensiune, folosind distorsiuni armonice de modelare a zgomotului

Coeficienții din regimul tranzitoriu  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $a_2$ ,  $b_2$  vor avea expresii similare cu cele descrise mai sus, putându-se astfel reprezenta noile forme ale funcțiilor  $y_1(t)$  și  $y_2(t)$ . Bineînțeles că și perioada tranzitorie poate fi afectată de zgomot, deci același



coeficient  $N(t)$  trebuie aplicat și acestor funcții. Rezultatul va fi de asemenea o funcție continuă dată de (3.10).

$$y(t) = \begin{cases} Y_1(t) & , t \leq t_1 \\ N(t) \cdot j_1(t) \cdot \frac{Y_2(t_1 + \theta) - Y_1(t_1)}{j_1(t_1 + \theta) - j_1(t_1)} & t_1 < t \leq t_1 + \theta \\ Y_2(t) & , t_1 + \theta < t \leq t_2 \\ N(t) \cdot j_2(t) \cdot \frac{Y_1(t_2 + \theta) - Y_2(t_2)}{j_2(t_2 + \theta) - j_2(t_2)} & t_2 < t \leq t_2 + \theta \\ Y_1(t) & , t_2 + \theta < t \end{cases} \quad (3.10)$$

Unele echipamente produc componente de curent cu o frecvență care nu este un multiplu întreg al frecvenței fundamentale. Exemple sunt cyclo-convertoare și unele tipuri de controlere de încălzire. Aceste componente ale curentului sunt denumite în continuare „componentele interarmonice”. Amplitudinea lor este în mod normal suficient de mică pentru a nu produce nici o problemă. O altă sursă de distorsiuni interarmonice sunt cuptoarele cu arc electric. Aceste tipuri de perturbații pot fi modelate prin adăugarea la coeficientul de zgomot a produsului mai multor semnale sinusoidale, ce au o amplitudine comună, dar de frecvențe și defazaje diferite.

Acest lucru poate fi descris de către (3.11).

$$N(t) = 1 + \frac{A_n}{A_1} \cdot \prod_i \sin(2\pi f_{jn} t + \varphi_{jn}) \quad (3.11)$$

Ecuția (3.12) descrie un caz particular de semnal perturbator, obținut prin suprapunerea a două sinusoidale care au aceeași amplitudine dar frecvențe și defazaje diferite.

$$N(t) = 1 + \frac{A_n}{A_1} \cdot \sin(2\pi f_{1n} t + \varphi_{1n}) \cdot \sin(2\pi f_{2n} t + \varphi_{2n}) \quad (3.12)$$

Această expresie a coeficientului de perturbație determină o descriere grafică a golului de tensiune precum cea din Fig.3.6, unde graficul reprezentat cu roșu reprezintă regimul normal, cu verde este reprezentat regimul golului, iar cu albastru sunt reprezentate perioadele de tranziție între cele două regimuri.

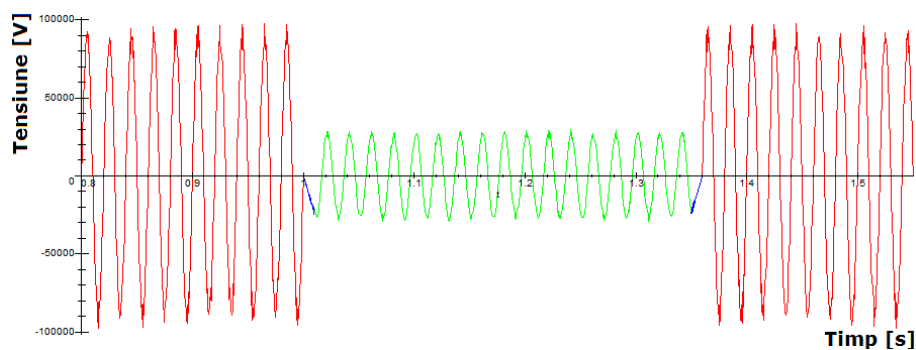


Fig. 3.6 - Formă de undă în timpul unui gol de tensiune obținut cu generatorul de semnale de goluri de tensiune

În final, folosind (3.13) se poate obține formula completă a perturbației. În aceasta relație se consideră că unda este afectată de perturbații obținute prin ambele metode prezentate anterior.

$$N(t) = 1 + \sum_i \frac{A_{in}}{A_1} \cdot \sin(2\pi f_{in} t + \varphi_{in}) + \frac{A_n}{A_1} \cdot \prod_i \sin(2\pi f_{jn} t + \varphi_{jn}) \quad (3.13)$$

Mai mult se pot specifica diferiți coeficienți de perturbații pentru fiecare parte a undei (unul pentru regimul normal, unul pentru regimul golului de tensiune și unul pentru segmentele tranzitorii).

Un zgomot de tip produs de sinusoidă se poate observa atât pentru regimul normal, cât și pentru regimul de gol de tensiune în Fig.3.7. În aceste grafice s-a trasat și semnalul sinusoidal fără perturbații.

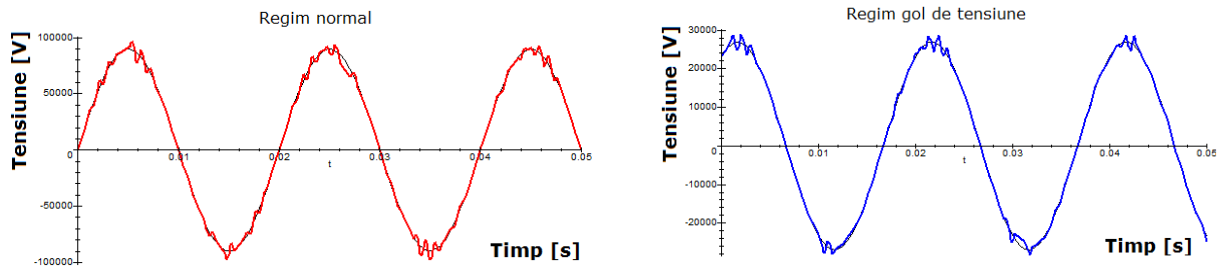


Fig. 3.7 - Semnalul afectat de zgomot și semnalul normal pentru regimurile normale și gol de tensiune, prin suprapunerea a două sinusoidă de modelare a zgomotului

O privire mai detaliată a tranziției dintre cele două regimuri se poate observa în Fig.3.8 și Fig.3.9.

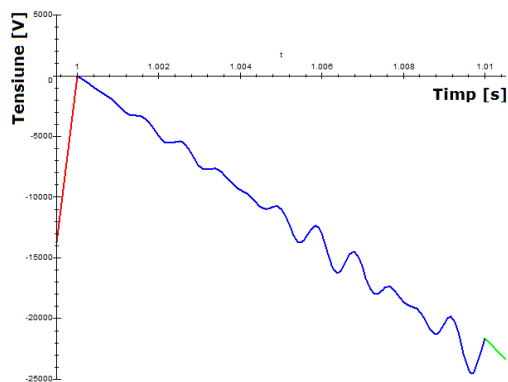


Fig. 3.8 - Semnalul de tranziție între regimul ante-perturbație și regimul perturbat.

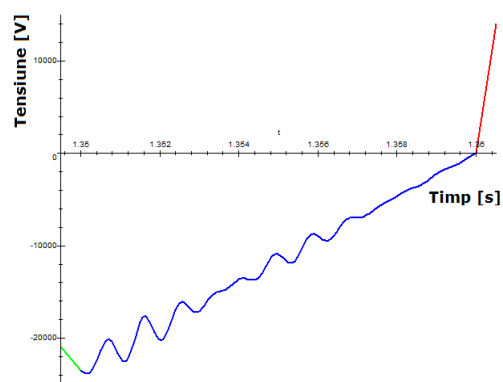


Fig. 3.9 - Semnalul de tranziție între regimul perturbat și regimul post-perturbație.

În cazul prezentat anterior se arată o tranziție mai lentă, dar durata acesteia poate fi configurată de către utilizator în aplicație prin introducerea altei valori corespunzătoare duratei  $\theta$ . De exemplu, o tranziție foarte rapidă se poate obține prin setarea duratei  $\theta$  ca fiind identică cu valoarea duratei dintre două eșantioane.

Pentru toate figurile prezentate anterior s-au utilizat datele prezentate în Tabelul 3.1.

Tabel 3.1 – Valori setate pentru parametri de intrare

Parametru	Valoare	Parametru	Valoare
$A_1$ [V]	89653	$timestep$ [s]	0.001
$A_2$ [V]	$0.3 \cdot 89653$	$A_{1n}$ [V]	8700
$f$ [Hz]	50	$f_{1n}$ [Hz]	1063
$\varphi$ [rad]	$\text{Pi}/3$	$f_{2n}$ [Hz]	123
$t_1$ [s]	1	$\varphi_{1n} = \varphi_{2n}$ [rad]	0
$t_2$ [s]	1.35	$\theta$ [s]	0.013

Pe baza modelului matematic, se creează structura logică (Fig.3.10) ce urmează a fi folosită pentru implementarea aplicației software.

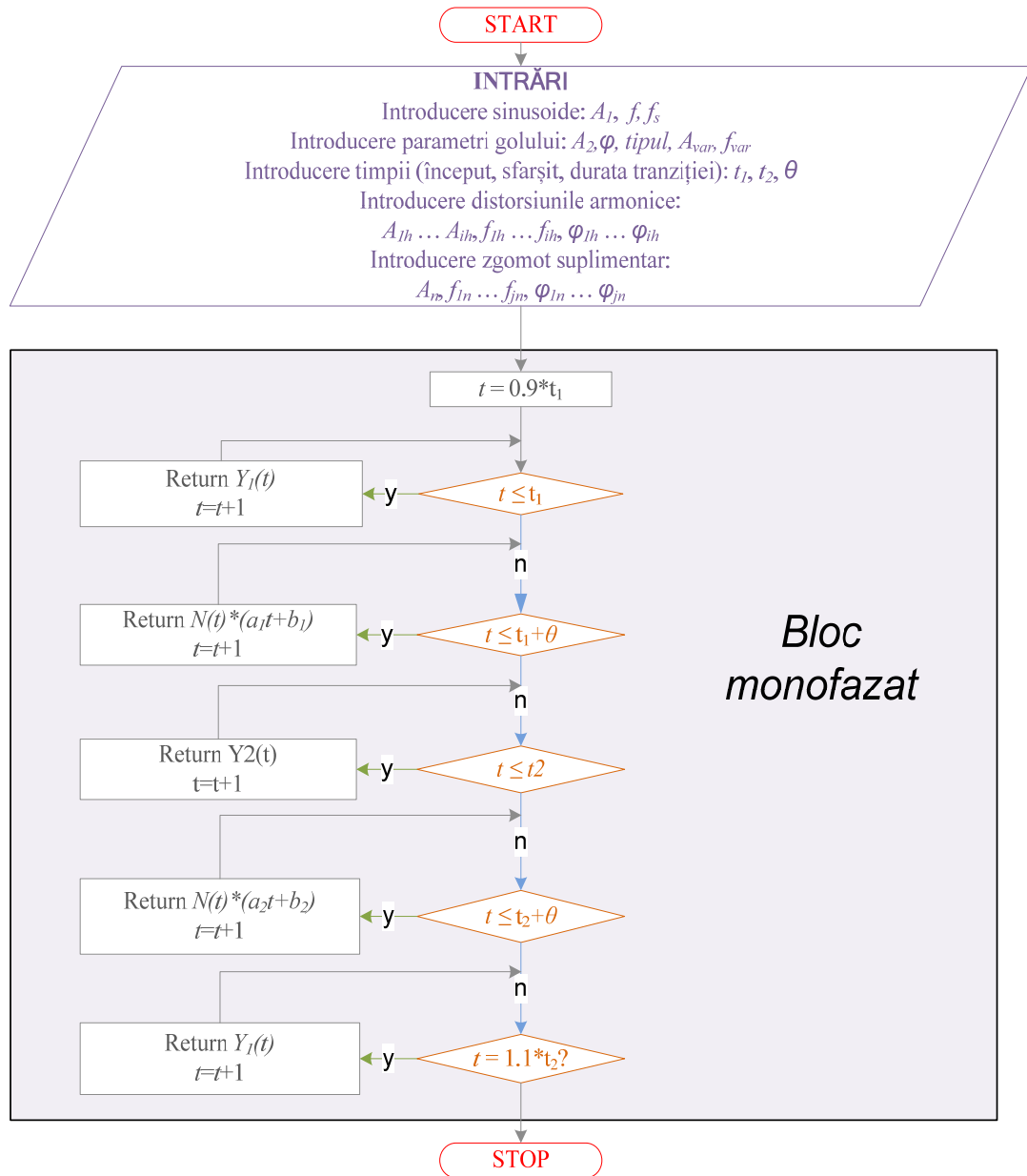


Fig. 3.10 - Structură logică aferentă generator gol de tensiune monofazat

Pentru o mai bună exemplificare a funcționării acestui algoritm, în continuare vor fi prezentate trei cazuri diferite. Parametrii utilizați pentru cele trei cazuri sunt prezentați în Tabelul 3.2.

Toate cele trei cazuri utilizează aceleași valori (Tabelul 3.1) pentru parametrii  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $f$  și  $\varphi$  folosiți pentru generarea undelor sinusoidale (fără perturbații), atât pentru regimul normal, cât și pentru regimul de gol de tensiune. Diferențele dintre aceste trei cazuri sunt date de setarea punctelor de inițiere și sfârșit a golului de tensiune, durata semnalelor de tranziție, precum și de nivelul și

tipul de perturbații ale semnalului luate în considerare. În continuare se vor prezenta concluziile referitoare la fiecare fenomen analizat.

Tabel 3.2 – Parametrii de intrare pentru cele trei cazuri

Parametru	Caz1	Caz2	Caz3	Parametru	Caz1	Caz2	Caz3
$A_{1h}$ [V]	8700	0	8700	$A_{1n}$ [V]	0	8965	8965
$A_{2h}$ [V]	8700	0	8700	$f_{1n}$ [Hz]	0	123	123
$A_{1h}$ [V]	8700	0	8700	$f_{2n}$ [Hz]	0	1063	1063
$f_{1h}$ [Hz]	150	0	150	$\varphi_{1n}$ [rad]	0	0.5	0.5
$f_{2h}$ [Hz]	250	0	250	$\varphi_{2n}$ [rad]	0	1.5	1.5
$f_{2h}$ [Hz]	350	0	350	$t_1$ [s]	1.000	0.954	1.007
$\varphi_{1h}$ [rad]	1	0	1	$\theta$ [s]	0.0001	0.001	0.010
$\varphi_{2h}$ [rad]	3	0	3	<i>timestep</i> [s]	0.001	0.001	0.001
$\varphi_{2h}$ [rad]	2	0	2				

Se face precizarea că în Fig.3.11, Fig.3.12 și Fig.3.13 peste curbele de tensiune generate s-a trasat o curbă de tensiune perfect sinusoidală generată cu parametrii tensiunii dinaintea apariției golului de tensiune. În aceste figuri cu culoare roșie s-a trasat curba de tensiune generată pe durata regimului normal, cu culoare albastră s-a trasat cuba pe durata tranziției, cu culoare verde s-a trasat curba pe durata regimului de gol de tensiune, iar cu culoare neagră s-a trasat curba de tensiune perfect sinusoidală.

Din punct de vedere al perturbației semnalului sinusoidal, primul caz (Fig.3.11) prezintă o situație în care perturbația semnalului sinusoidal a fost calculată utilizând doar perturbație armonică formată din trei armonici de ordin impar (3, 5, 7) care au aceeași amplitudine, dar faze diferite. În al doilea caz (Fig.3.12), perturbația semnalului sinusoidal a fost calculată utilizând doar produs de două interarmonici de frecvențe diferite și de faze diferite. În final, al treilea caz (Fig.3.13), prezintă o situație în care perturbația semnalului sinusoidal a fost calculată prin utilizarea ambelor tipuri de perturbații folosite la cazurile anterioare, utilizând același număr de frecvențe, precum și aceleași valori pentru parametrii.

În ceea ce privește punctul de inițiere a golului de tensiune (marcat pe grafic cu un pătrat negru), cele trei cazuri prezintă situații diferite. Primul caz (Fig.3.11) prezintă situația când golul de tensiune se inițiază la un unghi de aproximativ 0 grade, în cazul al doilea (Fig.3.12) golul de tensiune apare aproape la cea mai de jos parte a sinusoidelor (-90 grade), iar în al treilea caz (Fig.3.13) golul de tensiune apare aproape la cel mai ridicat punct al sinusoidelor (90 grade). Setarea în cadrul generatorului a punctului de inițiere a golului de tensiune se poate face prin alegerea corespunzătoare a timpului de pornire a golului ( $t_1$ ). Același lucru se poate stabili și pentru punctul de pe curbă când se încheie golul de tensiune, cu precizarea că pentru setarea acestuia trebuie ales corespunzător momentul de timp  $t_2$ .

În ceea ce privește segmentul de tranziție (marcat pe grafic cu o încercuire de tip oval), acesta se poate seta la cea mai mică valoare, ca și în Fig.3.11, egală cu durata de eșantionare a semnalului. În această situație semnalul apare ca și cum ar fi discontinuu în timp. Acesta se poate seta la o valoare medie ca și în Fig.3.12, situație în care semnalul are o tranziție rapidă, sau se poate seta la o valoare mai mare ca în Fig.3.13, situație în care semnalul are o tranziție mai lentă. Acest lucru se poate realiza prin setarea corespunzătoare a parametrului  $\theta$ .

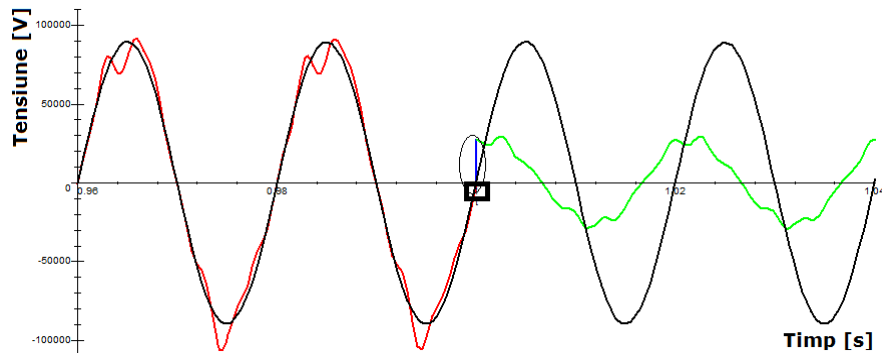


Fig. 3.11 - Curba de tensiune pentru primul caz generat.

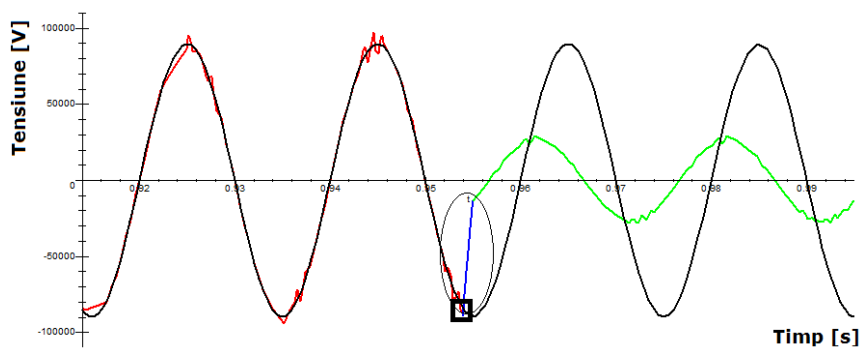


Fig. 3.12 - Curba de tensiune pentru al doilea caz generat.

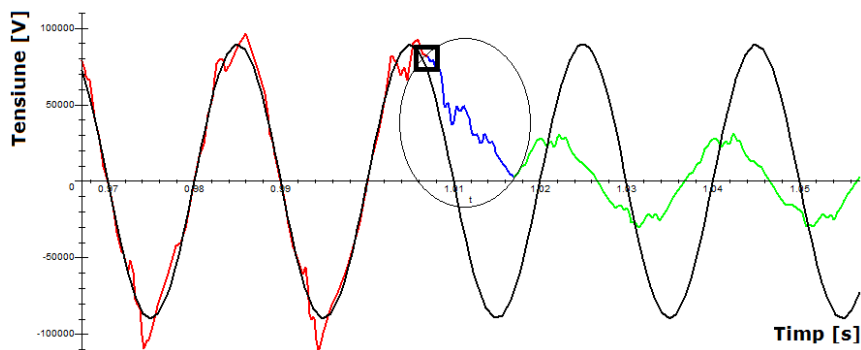


Fig. 3.13 - Curba de tensiune pentru al treilea caz generat.

În final, independent de durata segmentului de tranziție, se poate seta saltul unghiului de fază prin setarea corectă a defazajului semnalului pe durata golului de tensiune.

### 3.2.1.2. Generatorul de semnal trifazat

În cazul în care se dorește o analiză unitară a unui gol de tensiune trifazat, generatorul de goluri trebuie să genereze curbe de tensiune cât mai apropiate de realitate. Pentru a se realiza acest lucru se pornește de la clasificarea ABC, prezentată în capitolul 2. Conform acestei clasificări, dacă se cunoaște amplitudinea și tipul golului de tensiune se poate calcula amplitudinea tensiunii și defazajul pentru fiecare fază în parte.

Pentru a se obține curbe de tensiune cât mai apropiate de realitate, acestea pot fi modificate prin însumarea cu o valoare aleatoare (pozitivă sau negativă) generată într-un interval de valori calculat ca și procent din valoarea existentă (spre exemplu pentru amplitudine se poate aplica o corecție de  $\pm 5\%$ ). În final, cele trei perechi de amplitudini-defazaaje se aplică succesiv la intrarea generatorului monofazat de goluri de tensiune generându-se curbele de tensiune pentru fiecare fază în parte. Algoritmul generatorului de goluri trifazate este prezentat în Fig.3.14, [Iovan2013a].

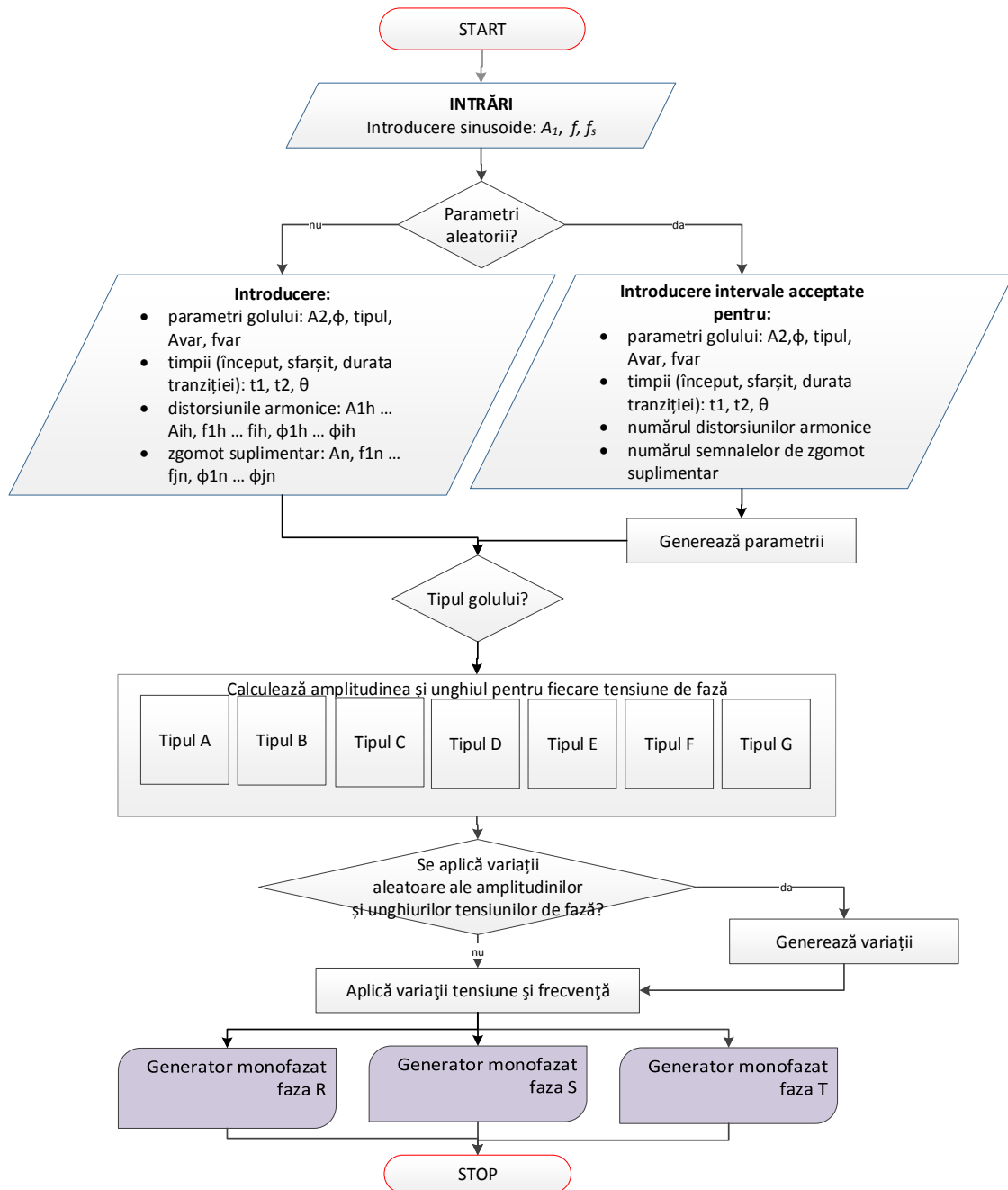


Fig. 3.14 - Structură logică generator gol de tensiune trifazat

Fiecare fază a semnalului final va fi apoi compusă din 5 segmente după cum urmează: regimul normal, segment de tranziție, regimul golului de tensiune, segment de tranziție, regim normal, fiecare dintre aceste segmente având propriul interval de timp, respectiv proprii parametrii caracteristici [Iovan2013a].

### 3.2.2. Implementarea aplicației în C#

#### 3.2.2.1. Arhitectura aplicației

Pornind de la structura logică a aplicației se va construi un model arhitectural bazat pe componente, fiecare componentă asigurând o funcționalitate specifică. Componentele au fost grupate în funcție de rolul fiecăreia în 4 nivele ierarhice (Fig.3.15). Cel mai de jos nivel reprezintă nivelul de stocare al înregistrărilor, din această categorie făcând parte baza de date și mediile de stocare ale fișierelor specifice.

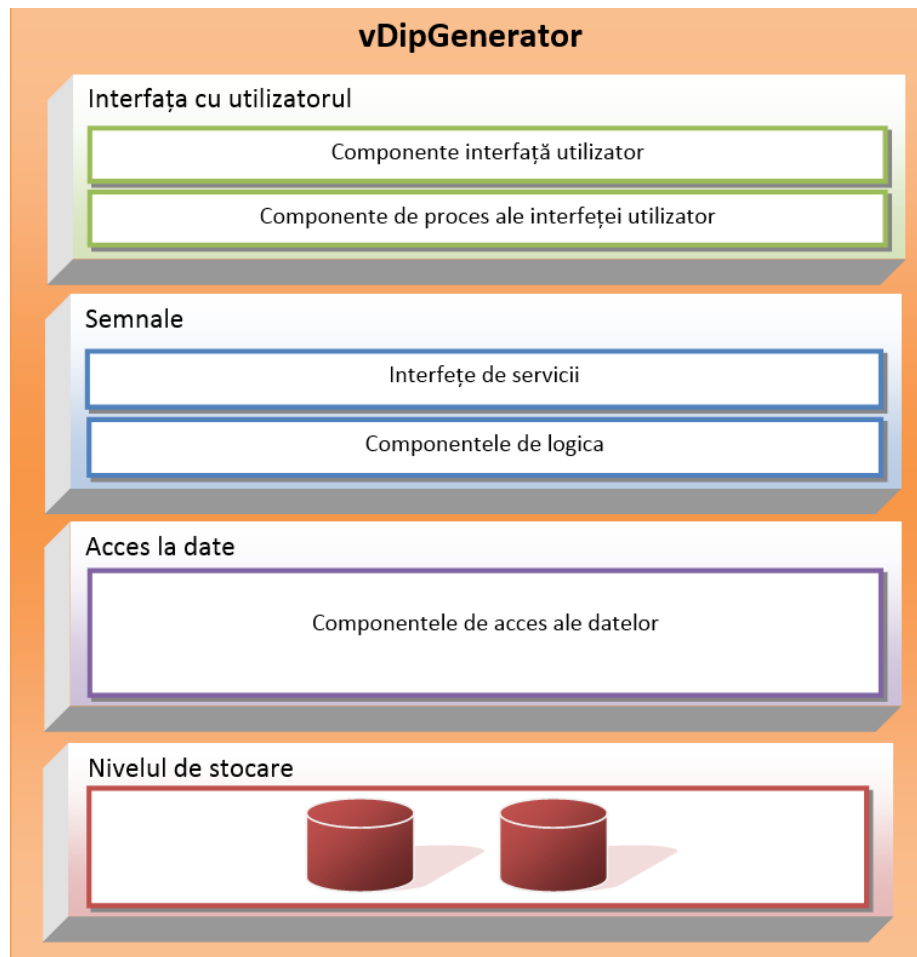


Fig. 3.15 - Arhitectura aplicației

Nivelul al doilea, *Data Access*, reprezintă nivelul de acces al datelor, care are rol de a crea legături între mediile externe aplicației și componentele aplicației. În cadrul acestui nivel are loc accesarea și manipularea datelor, precum și transformarea acestora în formate specifice mediului în care vor fi stocate.

În cadrul nivelului *Signals*, se încapsulează practic logica aplicației. Funcțiile aplicației se implementează folosind componente logice, iar acestea în general sunt

accesate prin intermediul interfețelor de servicii. Acestea au rol de a ascunde complexitatea componentelor logice.

Ultimul nivel este reprezentat de interfața cu utilizatorul, care bineînțeles are rol de a permite utilizatorilor să introducă și să extragă datele necesare.

Acest tip de arhitectură a fost aleasă pentru a permite extinderea ușoară a aplicației și integrarea acesteia în cadrul altor aplicații.

### 3.2.2.2. Interfața aplicației

Datele sunt introduse în aplicație folosindu-se de o secvență de ferestre (wizard) care conduce utilizatorul printr-o serie de etape bine definite.

Astfel, prima etapă este introducerea datelor inițiale (Fig.3.16), moment în care se stabilesc parametrii semnalului de bază: tensiunea, frecvența, frecvența de eșantionare și numărul de faze.

În momentul apăsării butonului „Next” se trece la etapa următoare care constă în introducerea sau generarea parametrilor specifici golului de tensiune (Fig.3.17). Astfel aplicația va cere utilizatorului configurarea parametrilor care vor fi generați automat de către aplicație, respectiv setarea datelor pentru care se dorește stocarea unor valori constante.

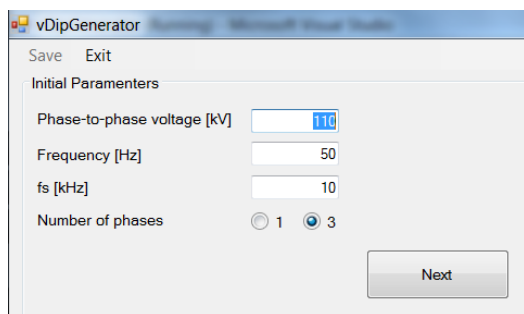


Fig. 3.16 - Parametri inițiali.

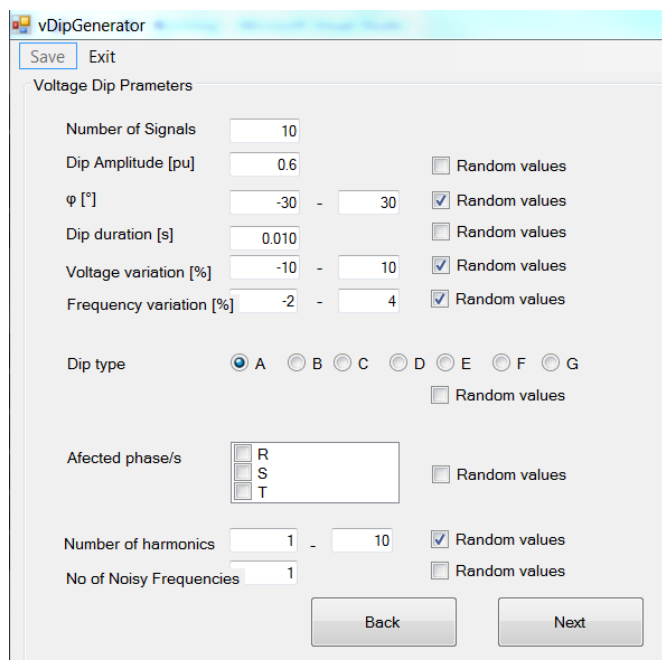


Fig. 3.17 - Parametri variabili.

În situația în care se dorește setarea manuală a parametrilor de intrare căsuțele denumite „Random values” sunt dezactivate, iar dacă se dorește generarea unor valori aleatoare ale acestora căsuțele denumite „Random values” sunt activate. Fiecare parametru, generat aleator, poate lua valori într-un interval asociat. Un exemplu în care se poate observa modul de selectare a intervalelor de variație a diversilor parametri este prezentat în Tabelul 3.3. Toți parametri și intervalele asociate pot fi modificate, în funcție de necesitate.

Tabel 3.3 - Interval de valori pentru parametri de intrare

Amplitudinea golului [pu]	0.6 - 0.8	<b>Armonici</b>
---------------------------	-----------	-----------------



$\varphi$ [°]	-30 – 30	Amplitudine [%]	0 – 5
Durata golului [s]	0.01 – 1	$\varphi$ [°]	0 – 360
Variația tensiunii [%]	-10 – 10	f [Hz]	150,250,..., 1250
Variația frecvenței [%]	-2 – 4	<b>Frecvențe de zgomot</b>	
Tipul golului	a, b, c, d, e, f, g	Amplitudine	0 – 5
Număr de armonici	0 – 10	$\varphi$ [°]	0 – 360
Număr de frecvențe de zgomot	0 – 10	f [Hz]	0 – 10000

Dacă cel puțin una dintre opțiunile „Number of harmonics”, respectiv „Number of Interharmonics” nu sunt generate aleator se introduce o etapă suplimentară necesară setării parametrilor specifici perturbațiilor (Fig.3.18).

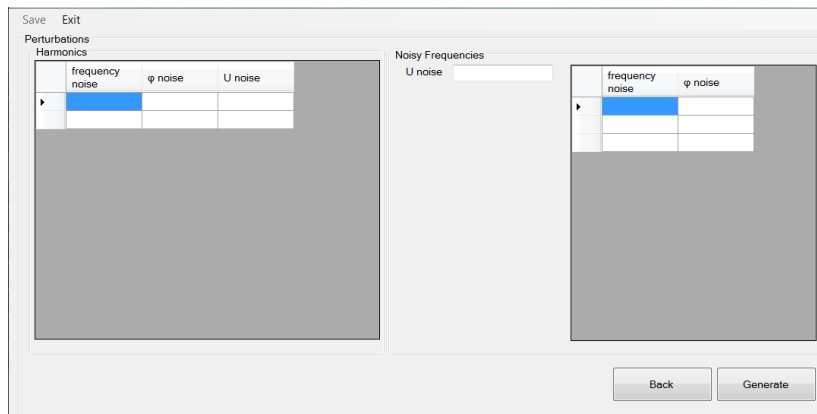


Fig. 3.18 - Etapa setare perturbații

Ultima etapă a aplicației este generarea semnalelor și afișarea acestora într-o listă de selecție. Se pot detalia grafic caracteristicile unui anumit semnal (Fig.3.19) prin selectarea acestuia din lista de semnale.

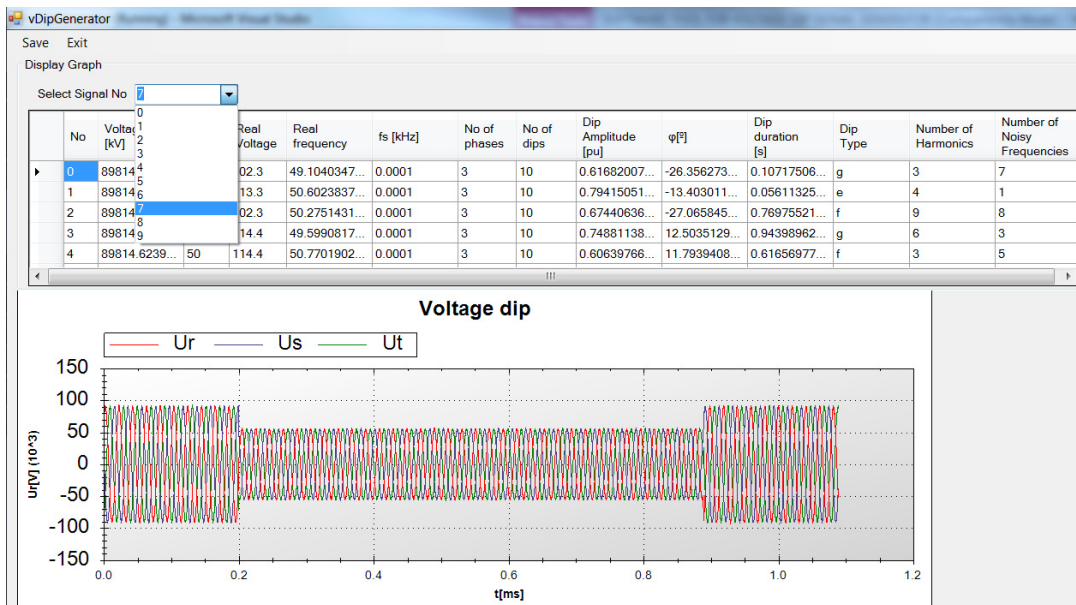


Fig. 3.19 - Etapa finală - Afișare grafice

Datele astfel generate pot fi salvate, pentru utilizare ulterioară, în format Excel sau în baza de date anexată, așa cum se poate observa în Fig.3.20.

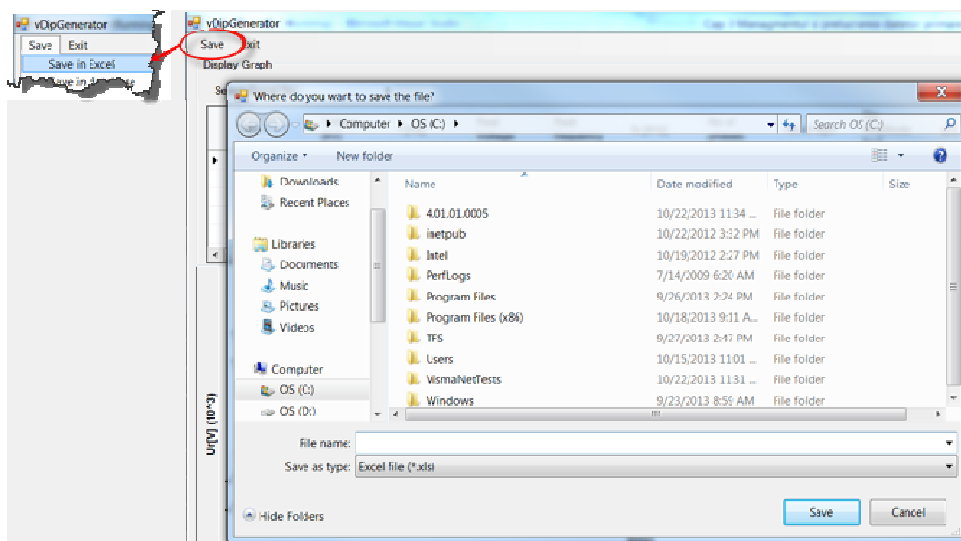


Fig. 3.20 - Salvarea datelor în format Excel.

Alegându-se opțiunea de *Save in Excel* este necesară introducerea destinației și a numelui fișierului/fișierelor folosite în salvarea datelor. Pentru fiecare semnal generat se vor salva două fișiere Excel, unul conținând parametrii utilizați în generarea semnalului (ex. voltageDip\_parameters1.xls) și unul cuprinzând valorile tensiunii pe cele 3 faze ale sistemului (voltageDip1.xls). Numărul din denumirea fișierului reprezintă al câtelea semnal a fost generat.

### 3.2.4. Analiza semnalelor generate

Pentru testarea generatorului se vor analiza trei situații distincte. Astfel se generează:

- un semnal trifazat care are toți parametrii setați manual;
- 10 semnale trifazate ce conțin goluri de tipul „E” având o tensiune nominală de 110kV și o frecvență de 50Hz. Rata de eșantionare este 10kHz;
- 100 de semnale în care toți parametrii sunt aleși aleatoriu.

În cadrul *primului exemplu* se generează un semnal trifazat care are toți parametrii setați manual de către utilizator, conform cu Tabelul 3.4. Rezultatul reprezentat sub formă de grafic obținut de aplicație este prezentat în Fig.3.21.

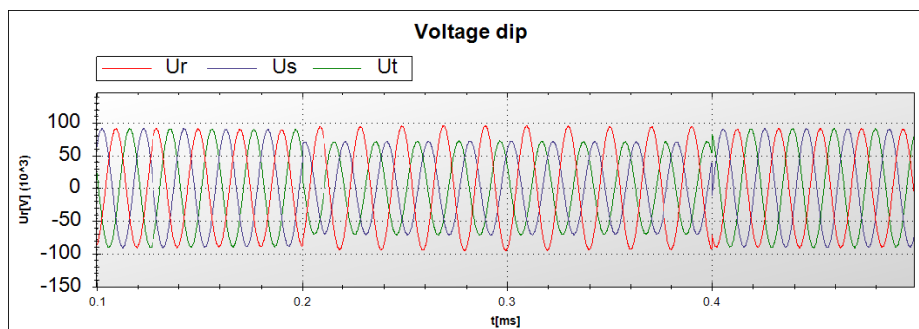


Fig. 3.21 – Semnal în timpul golului de tensiune obținut cu generatorul de goluri de tensiune

Tabel 3.4 - Parametri unui gol de tensiune de tip C

Tensiunea de linie [kV]	110	Amplitudinea golului [pu]	0.5	<b>Armonici</b>		
f [Hz]	50	$\varphi$ [°]	30	f [Hz]	$\varphi$ [°]	U[V]
Tensiunea reală [kV]	115.5	Durata golului [s]	0.2	850	6	2300
Frecvența reală [Hz]	49.5	Tipul golului	c	350	245	3500
Număr de faze	3	Număr de armonici	2	<b>Inter armonici</b>		
		Număr de frecvențe de zgomot	1	f [Hz]	$\varphi$ [°]	U[V]
				1000	180	6800

În cadrul *celui de-al doilea test* s-au generat 10 semnale trifazate de tipul „E”, având o tensiune nominală de 110kV și o frecvență de 50Hz. Pentru acest caz s-a stabilit ca restul parametrilor să fie generați aleatoriu. În aceste condiții parametrii generați aleatoriu sunt prezentați în Tabelul 3.5.

Tabel 3.5 - Gol de tensiune trifazat de tipul „E” – parametrii generați aleatoriu.

Nr	Tensiune reală [kV]	Frecvența reală [Hz]	Amplitudine gol [u.r.]	$\varphi$ [°]	Durata golului [s]	Număr de armonici	Număr de inter-armonici
1	112.2	50.496	0.692	-14.50	0.523	8	9
2	113.3	49.493	0.647	3.33	0.848	7	3
3	99.0	50.274	0.685	17.34	0.038	5	3
4	103.4	50.992	0.624	-17.76	0.020	7	8
5	117.7	49.382	0.643	19.25	0.110	6	8
6	110.0	49.772	0.662	-3.75	0.200	5	5
7	118.8	49.207	0.740	-13.94	0.165	8	4
8	111.1	49.598	0.759	23.06	0.255	7	3
9	104.5	49.988	0.779	0.07	0.345	6	3
10	118.8	50.379	0.798	-22.98	0.435	5	6

Tot în categoria parametrilor generați aleator se încadrează și cei specifici armonicilor și interarmonicilor generate. Ținând cont de numărul de armonici și interarmonici luate în calcul (număr care a fost generat aleator), în Tabelul 3.6 se prezintă amplitudinile, frecvențele și defazajele generate aleator pentru fiecare armonică și interarmonică luate în considerare în construirea perturbației.

Tabel 3.6 - Gol de tensiune trifazat de tipul „E” – Armonici și interarmonici generate aleator.

	Armonici			Interarmonici		
	U[V]	f [Hz]	$\varphi$ [°]	U[V]	f [Hz]	$\varphi$ [°]
1	77.39	1150	230	4482.81	9565	194
	1912.68	1250	248	2003.72	3595	43
	129.64	850	69	2486.28	5483	256
	547.37	950	74	682.14	2123	204
	2113.64	1050	322	757.84	9342	78
	1861.38	450	310	266.23	5157	48
	674.42	550	43	3692.59	5175	273
				2784.46	8923	195
				4528.59	8305	130
2	1257.40	350	59	115.99	7126	15
	1598.16	950	335	3284.08	8675	4
	3112.87	850	82	916.63	5820	156
	2716.37	550	150			
	2361.45	650	172			

## 68 Managementul și prelucrarea datelor primare - 3

	3751.77	450	66			
	3372.73	550	187			
3	1726.38	1150	10	3935.68	2610	226
	148.97	250	199	2908.16	9358	131
	4261.72	150	342	3869.37	6017	134
	2995.97	1050	34			
	2391.55	950	248			
4	1847.41	1050	334	3559.07	5085	212
	3686.27	850	199	319.43	8230	89
	1226.37	350	339	2442.17	1932	213
	1764.37	950	190	2599.21	4142	127
	3268.50	1050	221	674.13	946	16
	80.11	750	298	2273.86	40	299
	4128.41	650	305	3055.96	3761	22
				4188.01	9814	295
5	4327.26	850	129	617.46	574	124
	2961.67	1050	311	3888.62	9530	271
	1800.79	1250	109	2602.02	6002	26
	1904.17	1250	132	4430.36	8720	258
	3283.55	1250	79	4442.52	161	54
	1154.09	550	312	3710.66	8311	199
				4242.80	3038	135
				1007.06	4046	57
6	2316.39	650	284	1000.35	9055	286
	2237.08	150	63	3508.22	2653	327
	2375.21	850	238	3482.20	3975	331
	2043.97	350	74	33.04	3774	322
	3298.60	150	297	1192.26	5509	304
7	2558.44	650	212	4245.31	1796	25
	330.21	1250	62	3163.70	580	235
	795.23	150	233	3460.07	7877	185
	4071.49	150	26	1334.42	8764	246
	561.75	450	243			
	4061.01	550	15			
	1699.83	450	33			
	3359.26	750	76			
8	547.57	450	7	2327.11	6557	185
	4096.34	350	174	1547.41	9568	322
	1369.66	950	2	4516.54	7369	280
	4211.29	350	328			
	576.80	650	101			
	644.26	350	28			
	1424.43	1250	108			
9	3027.42	250	163	2555.97	5084	314
	3371.75	550	286	2044.45	1002	245
	1944.08	650	132	3442.86	7340	259
	4351.09	650	270			
	591.85	750	319			
	1718.25	150	42			
10	1016.55	1250	318	4321.31	1562	70
	2647.15	850	38	1221.40	7163	156
	2518.51	250	262	2160.03	5447	304
	0.17	950	212	1323.33	5112	195
	606.90	950	177	3311.31	945	11
			3103.24	5933	328	

*Ultimul test* prezentat conține două seturi de semnale de câte 100 de goluri de tensiune generate cu toți parametri considerați aleatoriu. În ANEXA 1 se prezintă parametrii pentru fiecare semnal din primul set de 100 de goluri. În Fig.3.22, se prezintă distribuția golurilor generate aferente celor două seturi, în funcție de tipul golului de tensiune. În Fig. 3.23 se prezintă distribuția golurilor de tensiune pentru cele două seturi generate, ca și funcție de defazaj (salt al unghiului de fază). Valorile acestuia sunt grupat pe diferite intervale.

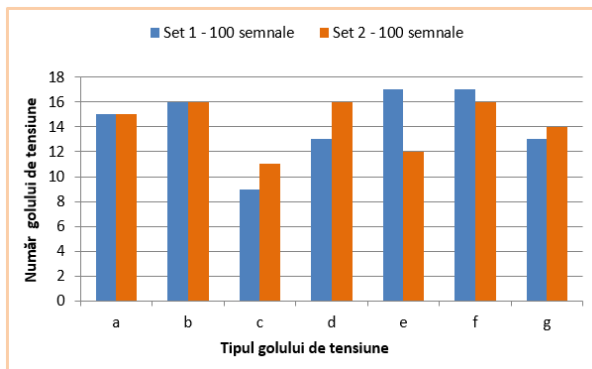


Fig. 3.22 – Distribuția golurilor în funcție de tipul golului de tensiune.

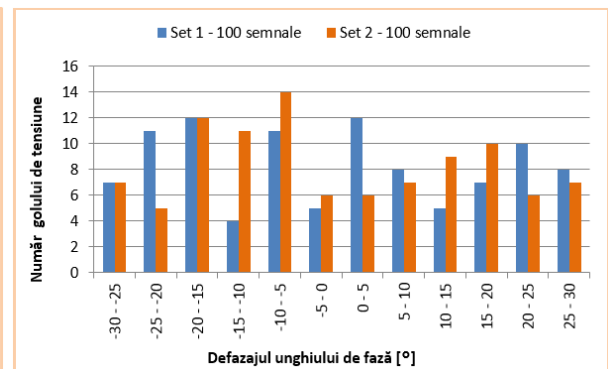


Fig. 3.23 - Distribuția defazajului grupate pe diferite intervale

În final, în Fig.3.24 se prezintă distribuția perechilor amplitudine-durăță gol de tensiune. Cele două seturi de date sunt comparate, ilustrându-se distribuția perechilor amplitudine gol-durata gol.

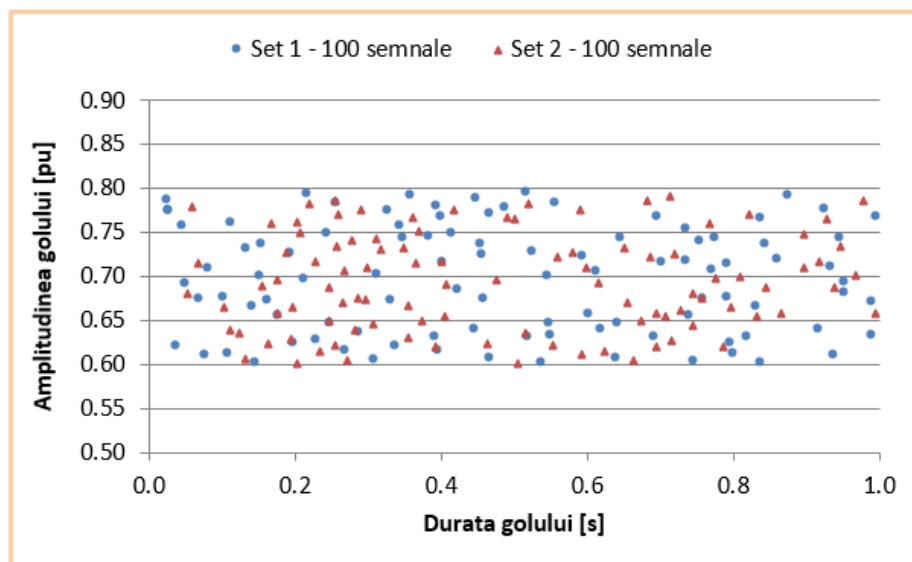


Fig. 3.24 - Distribuția perechilor amplitudine-durăță gol de tensiune.

Compararea celor două seturi de date se putea realiza după mult mai multe criterii, dar totuși scopul acestei prezentări este acela de a demonstra capacitatea acestui generator de goluri de tensiune trifazate de a genera seturi de date complet diferite.

Ca și o concluzie finală a acestor teste se poate spune că generatorul de goluri de tensiune trifazate este funcțional și acesta poate fi folosit pentru generarea datelor necesare pentru testarea algoritmilor ce vor fi dezvoltați în continuare.

### 3.3. Stocarea datelor în bază de date specializată

Datorită efectelor negative pe care le produce lipsa de calitate a energiei electrice, în prezent, se dorește o monitorizare continuă a indicatorilor acesteia, în special în cazul golurilor de tensiune care trebuie monitorizate permanent, pe o durată foarte lungă. Acest lucru determină acumularea de informații care trebuie apoi analizate de către experții din domeniu. Totodată și noile tehnici de analiză, folosind spre exemplu inteligența artificială, necesită prelucrarea unui volum ridicat de date, dar și înregistrarea a cât mai multor parametrii caracteristici ai evenimentelor. Odată colectate, informațiile trebuie stocate și analizate, iar modul în care acestea sunt gestionate joacă un rol important în analiza și evaluarea calității. În această situație devine necesară stocarea acestor date în cadrul unei baze de date specializată.

În literatura de specialitate nu se găsesc baze de date specializate pentru stocarea tuturor informațiilor referitoare la goluri de tensiune. Există totuși câteva baze de date de dimensiuni mari care stochează informații referitoare la durata și amplitudinea golurilor de tensiune. Acest lucru se datorează normativelor internaționale din domeniu care cer înregistrarea doar a acestor doi parametri.

Totuși în literatura de specialitate există câteva propuneri de baze de date pentru stocarea evenimentelor de calitate a energiei electrice, domeniu care conține și golurile de tensiune. Un prim studiu care a propus realizarea unei astfel de baze de date se găsește în [Dabbs1995], în care autorii au realizat o bază de date cu evenimente din domeniul calității energiei electrice. Baza de date era realizată în SQL și permitea încărcarea evenimentelor din diverse surse. Aceasta a fost creată astfel încât informațiile să poată fi accesate după mai multe criterii. Dezavantajul acestei baze de date este cel de populare cu evenimente, deoarece evenimentele trebuie alocate la anumite domenii de către utilizator. Cu alte cuvinte în cadrul acestei baze de date nu se realiza o clasificare automată a evenimentelor.

În [Gunther2006] se propune realizarea unui format de transfer a fișierelor cu înregistrări de calitate a energiei electrice bazat pe organizarea datelor sub formă de directoare, având o structură asemănătoare cu o bază de date. Bineînțeles că această soluție este foarte simplă de utilizat de către orice persoană, dar este foarte dificil de utilizat în cazul cantităților însemnate de date, neputându-se implementa funcții de clasificare sau generare a unor rapoarte.

O bază de date realizată pentru o companie de distribuție din Tailanda a fost prezentată în [Waraphok2007], în care autorii au descris modul de colectare a informațiilor de la 50 de echipamente de monitorizare. Această bază de date a fost concepută pentru a putea converti și stoca două formate de fișiere obținute de la două tipuri de echipamente de monitorizare. Acest lucru asigură și limitarea bazei de date propusă.

Una dintre cele mai mari baze de date realizate este amintită în [Elphick2008] și [Elphick2010]. Probabil la ora actuală este cea mai mare bază de date cu evenimente din domeniul calității energiei electrice, iar realizarea ei a pornit de la un proiect amplu prin intermediul căruia s-a realizat monitorizarea calității energiei electrice în peste 500 de noduri din sistemul energetic australian, monitorizarea fiind realizată pe o perioadă de 5 ani. O problemă reală a realizării acestei baze de date a fost și modul de colectare a informațiilor de la mai multe tipuri de echipamente. Perturbațiile care au fost monitorizate sunt: variațiile de tensiune, nesimetria tensiunilor și poluarea armonică a tensiunilor. Din punct de

vedere al managementului bazei de date au fost realizate trei nivele de grupare și interpretare a informațiilor:

- nivelul 1 reprezintă managementul la nivel de locație de monitorizare în care informațiile sunt foarte detaliate (la acest nivel se realizează și prelucrarea datelor primare);
- nivelul 2 reprezintă managementul la nivel de rețea, pentru care se face o analiză a celor mai importante date furnizate din punctele de monitorizare componente;
- nivelul 3 reprezintă managementul la nivel de sistem; la acest nivel se face o selecție a informațiilor furnizate de la nivelul 2.

În [Kucuk2010a] se prezintă modul de realizare a unei baze de date care permite înregistrarea datelor de la orice echipament de monitorizare cu sau fără intervenția asupra codului sursă. Baza de date descrisă se află sub administrația „Sistemului de transport al energiei din Turcia”. Majoritatea măsurătorilor au fost realizate în mai multe noduri cu echipamente de monitorizare mobile. Toate informațiile au fost colectate în baza de date. Pentru vizualizarea lor s-a realizat un o aplicație web (cu scop de procesor de interogare) bazată pe SQL și care a fost dezvoltată în Apache's Tomcat web server. Informațiile pot fi vizualizate sub forma de date și sub formă de grafice. În final autorii au scos încă o dată în evidență structura bazei de date și anume: baza de date propriu-zisă, procesorul de întrebări și interfața vizuală. În [Kucuk2010b] autorii au scos în evidență și realizarea pentru prima dată pentru o bază de date cu evenimente de calitate a energiei electrice a funcție care permite vizualizarea datelor în mai multe limbi.

Ținând cont de necesitatea unei astfel de baze de date, în cadrul departamentului de Electroenergetică de la Timișoara s-a realizat o bază de date [Molnar2010b] dezvoltată ulterior în [Molnar2011b], bază de date ce se bazează pe formatul COMTRADE. Dezavantajul acestei baze de date este dat de faptul că odată cu conectarea acesteia la simulatorul de goluri de tensiune, aceasta a crescut în dimensiuni, crescând astfel și timpul de acces la date, iar per total performanțele acesteia scăzând considerabil.

Așa cum se observă din studiile prezentate mai sus, în literatura de specialitate există baze de date de calitate a energiei electrice care încorporează și informații despre golurile de tensiune. Dintre dezavantajele pe care le au aceste baze de date se enumeră:

- bazele de date nu sunt realizate în formate standard, prin urmare dacă se dorește preluarea informațiilor din baza de date, trebuie cunoscut protocolul după care a fost realizată; unele baze de date permit exportul informațiilor sub formă de fișiere;
- din punct de vedere al golurilor de tensiune informațiile memorate sunt doar amplitudinea și durata, conform prevederilor standardelor în domeniu;
- majoritatea dintre bazele de date amintite, nu stochează informația primară (valorile momentane ale tensiunilor pe fază pe durata evenimentului), deoarece acest lucru ar crește considerabil dimensiunea bazei de date, și prin urmare dimensiunea mediului de stocare a acesteia.

În aceste condiții în continuare se propune rezolvarea acestor neajunsuri prin luarea următoarelor măsuri:

- realizarea bazei de date pornind de la prevederile standardelor din domeniu;



- arhivarea tuturor informațiilor referitoare la golurile de tensiune, chiar dacă acestea nu sunt prevăzute în standardele internaționale;
- stocarea valorilor momentane ale tensiunilor pe durata golurilor, lucru posibil datorită faptului că baza de date stochează doar goluri de tensiune (nu și alte probleme de calitate a energiei electrice).

Într-o primă etapă, pornindu-se de la baza de date realizată anterior în cadrul departamentului [Molnar2010b] s-au implementat noi soluții pentru creșterea performanței acesteia. Noua bază de date a fost prezentată în [Iovan2011]. Ulterior s-a propus realizarea unei noi baze de date pornind de la noi standarde existente în domeniu, dar care să aibă capacitatea de a prelua și informațiile stocate în baza de date existentă.

În aceste condiții, în continuare se vor prezenta prevederile standardelor existente în domeniu, iar apoi baza de date propriu-zisă.

### 3.3.1. Standarde de organizare, salvare și transfer a valorilor înregistrate în regimuri tranzitorii

Analiza datelor prelevate de la sistemele de monitorizare devine dificilă în momentul în care acestea nu salvează datele într-un format comun. În vederea prevenirii acestei probleme organizația IEEE a propus diverse standarde începând cu formatul COMTRADE (*COMmon format for TRAnsient Data Exchange*) propus în 1991 [C37.111-1991] și modificat în 1999 [C37.111-1999]. Ulterior, acest standard a fost completat de către standardul IEEE [C37.232-2007] cu rol de denumire a fișierelor care conțin informații înregistrate de echipamente de monitorizare. În 2010 a fost lansat standardul IEEE C37.239-2010 [C37.239-2010] care propune formatul denumit COMFEDE (*COMmon Format for Data Exchange*), care a înlocuit versiunea COMTRADE.

#### 3.3.1.1. Standardul de realizare al fișierelor – IEEE Std C37.232-2007

În 2007 IEEE Standards Association, creează primul standard din lume ce are ca și scop crearea unei proceduri folosită la determinarea denumirilor fișierelor produse de către sistemele de monitorizare.

Acest standard corectează limitările standardului IEEE Std C37.111-1999, în care denumirea fișierelor poate fi greu de interpretat. În numele fișierelor se vor include astfel informații cheie cum ar fi numele dispozitivului circuitului și substația de înregistrare, precum și data și ora evenimentului. Acest standard are la bază un set de reguli:

- caractere interzise: ? " / \ < > \* | : ; [ ] \$ % { };
- set de caractere folosite: UTF-7 bit ASCII sau varianta extinsă UTF-8 bit ASCII (American Standard Code for Information Interchange);
- număr maxim de caractere: 253.

Limitarea acestui standard apare în momentul în care fișierele astfel create sunt copiate pe CD sau sunt arhivate cu ajutorul aplicațiilor de arhivare.

Denumirea fișierului este formată din trei componente: câmpurile obligatorii (Tabelul 3.7), câmpurile opționale și extensia. Câmpurile sunt separate între ele de către „,“, acest lucru făcând interpretarea denumirii fișierelor mai ușoară conform regulii „*Start Date, Start Time, Time Code, Station ID, Device ID, Company Name, User 1, User 2, User 3,..., Usern.Extension*”. Trebuie menționat că ordinea câmpurilor obligatorii trebuie respectată.

În denumirea fișierelor pot fi folosite și trei câmpuri opționale, după cum urmează: durata, tipul evenimentului și coordonatele geografice.



Tabel 3.7 - Câmpuri obligatorii în formatul C37.232-2007.

Start date	(yyymmdd)	yy->(00-99) mm->(1-12) dd->(1-31)	Data la care a fost înregistrat primul eșantion
Start time	(hhMMssmmuuu)	hh-> (00-23) MM-> (00-59) ss-> (00-59)	Ora la care a fost înregistrat primul eșantion
Time code	(xxxxxxx)	+10h30t	
StationIdentifier			Codul stației unde se găsește dispozitivul de monitorizare (cod unic per companie).
DeviceIdentifier			Codul de identificare al echipamentului
Company Name			Codul de identificare al companiei

### 3.3.1.2. Standardul COMFEDE – IEEE Std C37.239-2010

Formatul oferit de acest standard este denumit Common Format for Data Exchange (COMFEDE) și a fost creat în 2010 pentru a standardiza formatul fișierelor care stochează evenimentele înregistrate de sistemele de monitorizare, înlocuind astfel formatul COMTRADE oferit de standardul IEEE Std C37.111-1999.

Acesta dorește sprijinirea analizei datelor provenite de la diverse evenimente înregistrare cu echipamente de monitorizare din întreaga lume, precum și îmbunătățirea fiabilității rețelelor Smart Grid.

Extensia fișierelor este *.CED*, iar formatul acestora are următoarele caracteristici:

- conține un set de fișiere de scheme XML identificate cu extensie XSD
- Spațiul principal web nume de schemă este [www.pes-prc.org/Subcommittee/H/COMFEDE](http://www.pes-prc.org/Subcommittee/H/COMFEDE)
- formatul este capabil să stocheze informațiile referitoare la:
  - rapoarte privind succesiunea evenimentelor (SOE)
  - rapoarte de sinteză ale perturbațiilor
  - jurnale IEC 61850
- formatul include un mecanism de extensie care permite ca acest format să fie extins într-un mod formal

Setul de fișiere de scheme XML conține 4 fișiere *.xsd* prezentate în Fig.3.25.

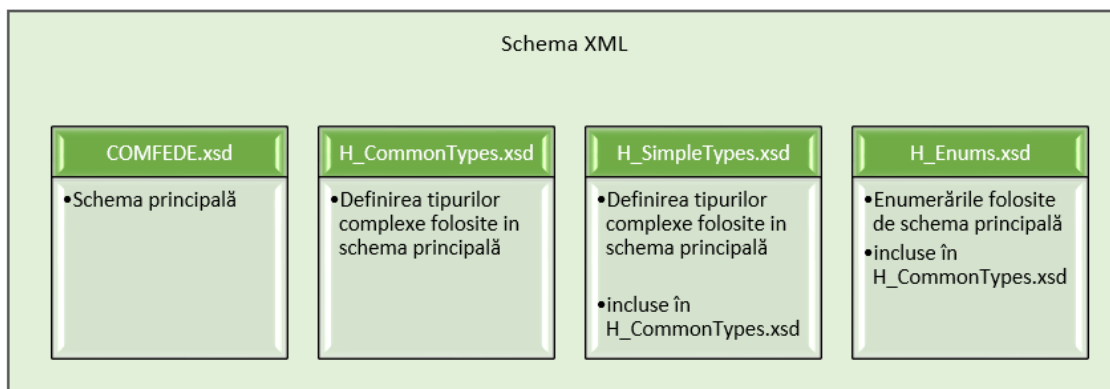


Fig. 3.25 - Schema XML pentru formatul COMFEDE.

Structura informațiilor conținute în schema COMFEDE este descrisă în Fig3.26.

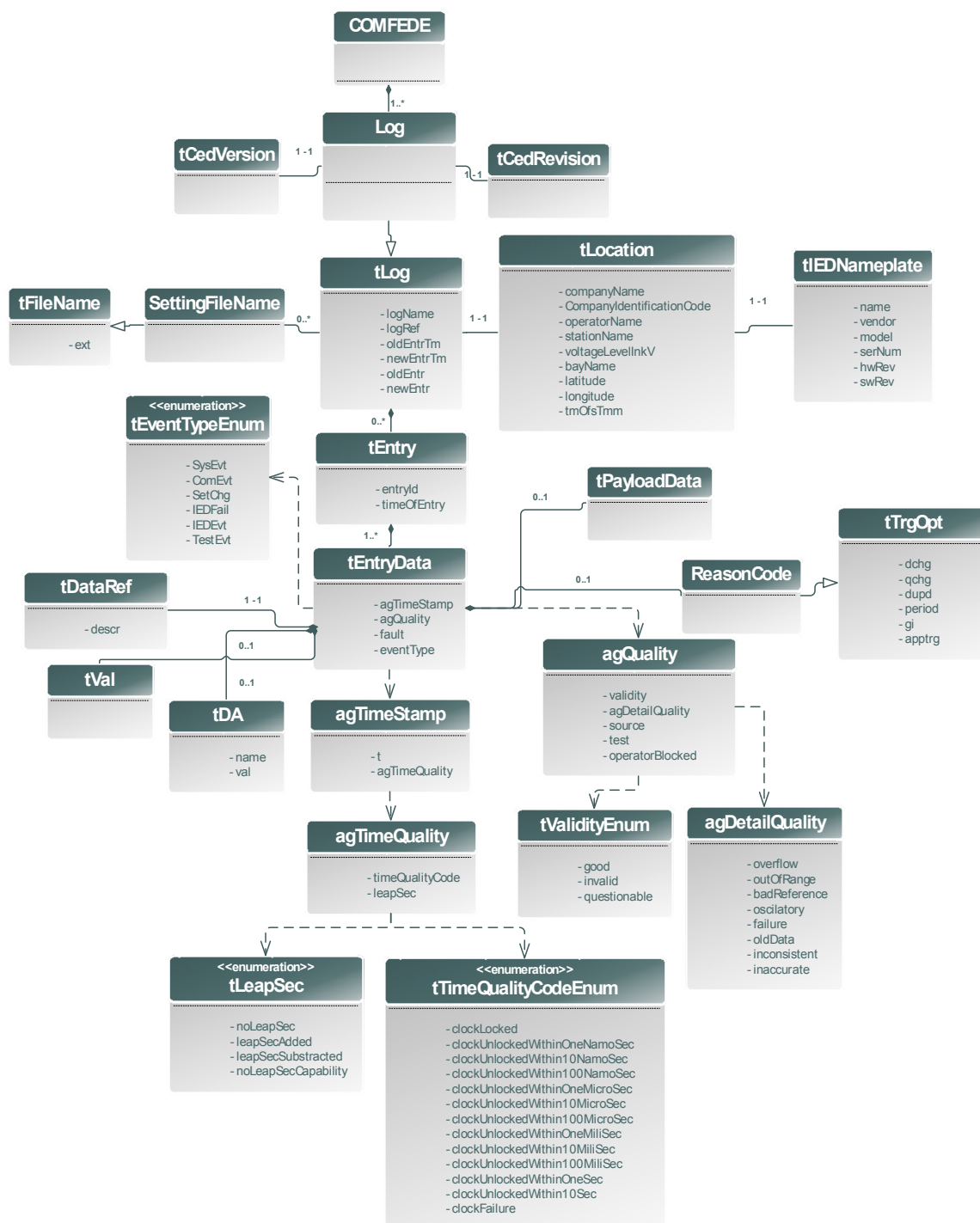


Fig. 3.26 – Structura de bază a schemei XML pentru formatul COMFEDE.

Un element COMFEDE conține un număr nelimitat de elemente *Log*. Elementul *Log* conține două atribute obligatorii:

- versiunea formatului utilizat;
- revizia formatului;

Elementul *Log* conține următoarele câmpuri:

- numele log-ului;
- referința lui;
- momentul ultimei modificări;
- momentul primei modificări;
- codul ultimului element Entry introdus;
- codul primului element Entry introdus.

Elementul *Log* conține următoarele elemente și subelemente:

- locația care conține următoarele câmpuri:
  - numele companiei care deține stația;
  - codul de identificare al companiei;
  - numele companiei care se ocupă de funcționarea stației;
  - numele stației;
  - nivelul de tensiune în kV;
  - latitudinea și longitudinea poziției dispozitivului;
  - diferența de fus orar față de UTC.
- Intrarea conține cel puțin un element *EntryData*:
  - un cod unic;
  - timpul și informații despre exactitatea timpului oferit de dispozitiv;
  - informații despre precizia cu care înregistrează dispozitivul;
  - informații legate de modul în care evenimentul a apărut (defect sau nu);
  - tipul evenimentului (valoare aleasă din cele posibile în Log);
  - momentul în care acest obiect a fost adăugat în Log;
  - descrierea tipului de eveniment în raportul SOE;
  - motivul pentru care a fost inclus evenimentul în Log;
- setarea numelui fișierului prin corelarea acestuia cu setările în vigoare ale aparatului din momentul când a fost extras raportul, și setarea extensiei fișierului în conformitate cu extensiile permise în cadrul acestui standard.

Elementul *locație* mai conține un element, denumit *IEDNameplate* și care este folosit pentru identificarea dispozitivului care a înregistrat evenimentul. Acesta conține următoarele câmpuri:

- numele dispozitivului care a creat fișierul COMFEDE;
- numele producătorului echipamentului;
- modelul;
- numărul de inventar;
- revizia hardware;
- revizia firmware.

Elementul *Intrare* mai conține un subelement denumit *PayloadData* și care conține următoarele câmpuri:

- numele fișierului;
- măsurătorile înregistrate înainte, în timpul și după eveniment;
- frecvența în momentul evenimentului;
- alte informații legate de defectul apărut.

Cu ajutorul acestui standard se pot construi bazele de date necesare stocării tuturor categoriilor de date cum ar fi înregistrări de mărimi normale care pot fi folosite pentru decontări de energie, precum și înregistrări pe durata unor defecte.

### 3.3.2. Realizarea bazei de date

Sistemul de baze de date trebuie implementat astfel încât acesta să permită accesarea unor sisteme de monitorizare în timp real, înregistrarea offline a datelor provenite de la sisteme de monitorizare, dar și a datelor provenite de la diferite surse de generatoare de goluri de tensiune. În același timp, pentru sistem trebuie utilizat un număr finit de resurse (procesor, memorie, spațiu de stocare, etc.).

În cazul în care sistemul nu este foarte performant, din cauza configurației hardware sau a software-ului folosit, aplicațiile care folosesc acest sistem nu pot rula sau au o viteză de lucru mică. Într-o lume ideală sistemul ar avea toate resursele necesare, dar în viața reală acest lucru nu este posibil, fie din cauza unor considerente de cost sau din cauza altor constrângeri, cum ar fi limite de sistem de operare sau aplicații care au nevoie de multe resurse.

*Tuning* de performanță este o metodă de a oferi modul optim de utilizare a resurselor de sistem, pentru a permite aplicațiilor să ruleze la cea mai mare viteză posibilă și la prețul cel mai mic posibil. [Shasha2003].

Pentru a crea o bază de date cu informații înregistrate în timpul golurilor de tensiune, este necesar să se obțină măsurători în diferite puncte ale sistemului electroenergetic cu ajutorul echipamentelor de monitorizare. Toate datele care au fost introduse în baza de date sunt clasificate în funcție de locația echipamentului de monitorizare și în funcție de momentul în care a avut loc evenimentul. Pentru fiecare eveniment, măsurătorile vor fi analizate pentru a obține informații suplimentare, cum ar fi: amplitudinea golului, durata golului, tipul golului, precum și alte caracteristici ale acestora.

#### 3.3.2.1. Cerințele bazei de date

Cel mai important pentru o bază de date este să stocheze datele nealterate și consecvente, în situația de față acest lucru fiind foarte important deoarece datele provin de la surse diferite, în formate diferite, acestea urmând a fi apoi comparate și analizate. În aceste condiții, datele de intrare ale bazei de date sunt formate din:

- detaliile generale legate de evenimentele înregistrate, cum ar fi echipamentul care a înregistrat evenimentul respectiv, data și ora evenimentului;
- tensiunea pe cele trei faze înregistrate de sistemul de monitorizare;
- parametri caracteristici golului de tensiune.

Datele de ieșire sunt reprezentate de:

- datele colectate de la dispozitivele de monitorizare sau de la generatoarele de goluri de tensiune;
- diferite rapoarte de analiză prezentate sub formă de grafic sau tabelar;
- extragerea datelor în diferite formate standard.

Se dorește de asemenea stocarea datelor colectate anterior în cadrul altor studii. Baza de date a fost creată în standardul COMTRADE, având structura descrisă în Fig.3.27 și a fost prezentată în [Iovan2011]. Ea conține următoarele informații:

- informațiile generale despre evenimentul înregistrat;
- informații referitoare la canalele de înregistrare;
- datele obținute prin procesul de achiziție.

În momentul apariției unui eveniment se introduce locația de apariție, codul de identificare al dispozitivului de înregistrare, numărul de canale analogice și digitale, după care se adaugă informațiile în tabela *Records*. Pentru fiecare canal analogic/digital, se stochează următoarele informații: numărul canalului, numele

canalului, unitatea de măsură, valoarea de multiplicare și de offset, precum și valorile minime și maxime care pot fi înregistrate pe acel canal de măsurare.

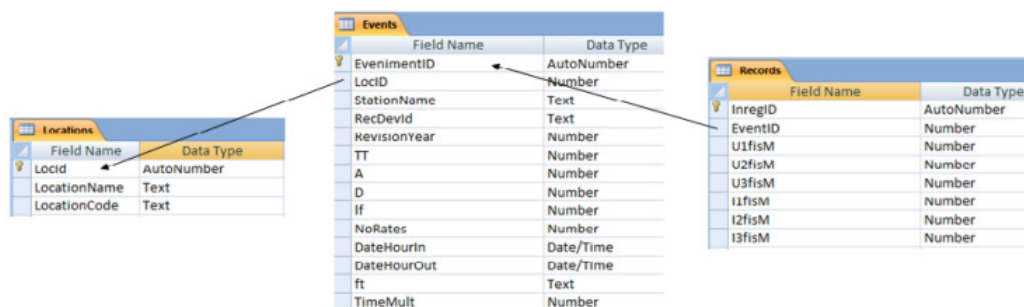


Fig. 3.27 – Structura bazei de date inițială.

În vederea optimizării performanțelor baza de date a fost inițial recreată pe o structură de baze de date Oracle. Ulterior aceasta s-a rearanjat astfel încât să permită stocarea datelor obținute cu ajutorul fișierelor în format standard COMFEDE. Tabelele bazei de date au fost ulterior modificate/extinse pentru a putea stoca cât mai multe din informațiile oferite de fișierele COMFEDE, dar au fost de asemenea create și alte tabele suplimentare.

În continuare se prezintă baza de date **VDip** în forma actuală. Se precizează că datele existente în variantele inițiale ale acestei baze de date au fost migrate pe noua structură.

### 3.3.2.2. Manipularea datelor

Depinzând de formatul în care se obțin datele, acestea trebuie mai întâi prelucrate, în vederea eliminării informațiilor din antet. După ce datele au fost pregătite, acestea sunt importate în tabelele bazei de date, iar o aplicație atașată acesteia oferă informații generale referitoare la evenimentele existente. Există de asemenea posibilitatea extragerii acestor date sub forma unor fișiere format COMFEDE, al altor tipuri de formate sau sub forma unor rapoarte grafice. Acest proces de manipulare este descris grafic în Fig. 3.28.

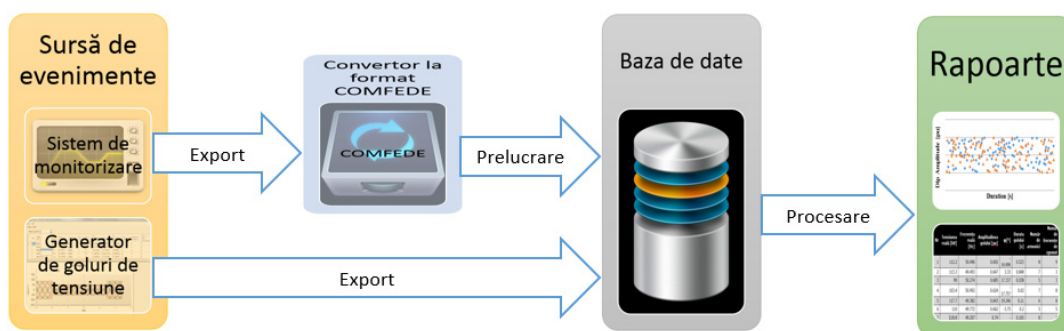


Fig. 3.28 – Manipularea datelor.

Din punctul de vedere al bazei de date, introducerea, prelucrarea și extragerea datelor se realizează prin intermediul unei clase (Fig. 3.29), care are rolul de a face legătura între baza de date și mediul extern, precum și de a gestiona toate operațiile asupra acesteia.

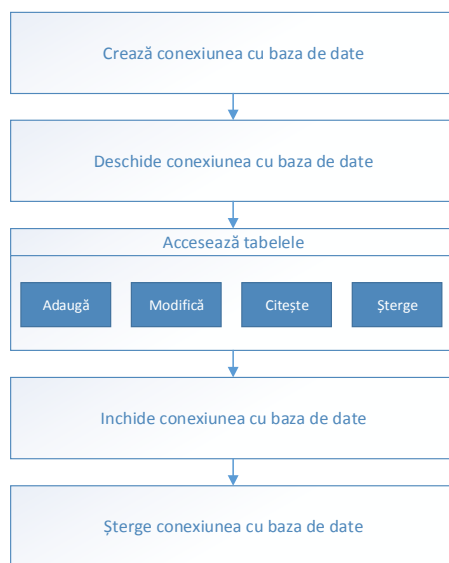


Fig. 3.29 – Clasă de interfață bază de date.

### 3.3.2.3. Proiectarea bazei de date

Pasul de proiectare a bazei de date este cel mai important pas, deoarece doar o proiectare optimă poate oferi o stocare și un management eficient al datelor. Astfel plecând de la cerințele bazei de date s-a creat structura din Fig.3.30.

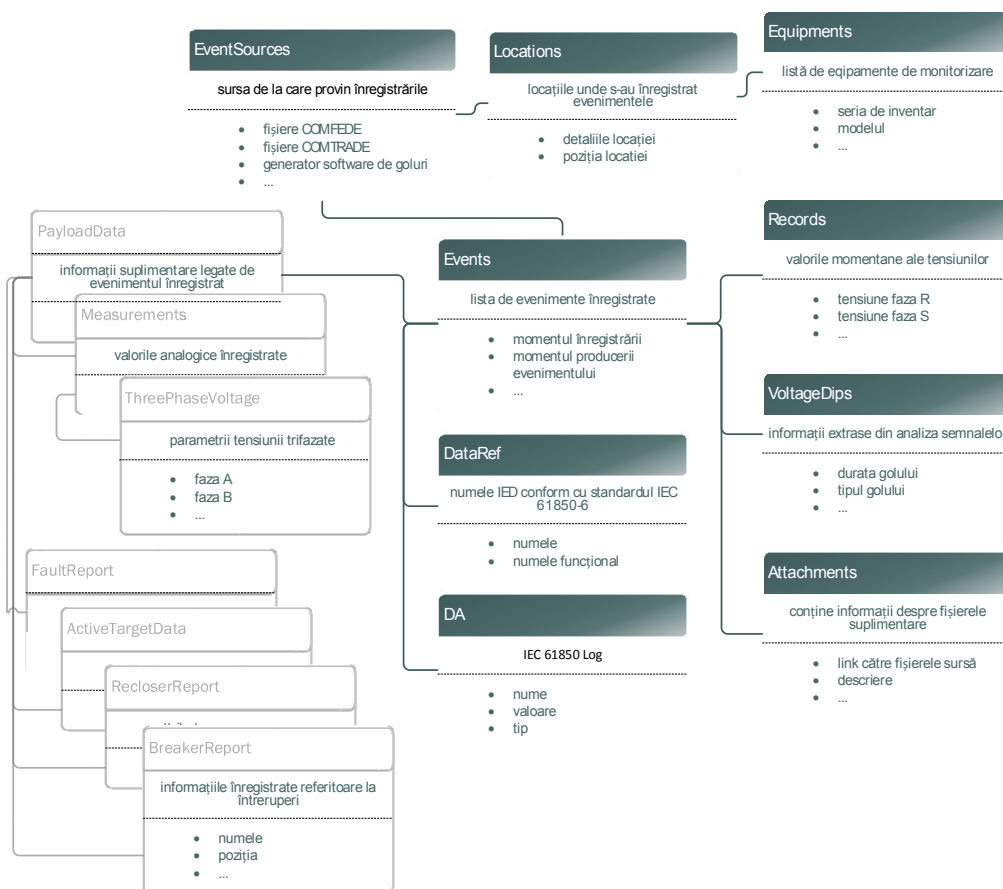


Fig. 3.30 – Structura bazei de date.

### 3.3.2.4. Implementarea bazei de date

Tabela **Events** reprezintă piesa centrală a bazei de date. Aceasta are rolul de a gestiona și a conecta toate informațiile legate de un eveniment înregistrat de un sistem de monitorizare sau generate de un generator de goluri, software sau hardware. Aceasta reprezintă cea mai mare tabelă a bazei de date având 24 de coloane (Fig.3.31).

EVENTS						
COLUMN NAME	DATA TYPE	NULLABLE	DATA DEFAULT	COLUMN ID	PK	COMMENTS
EVENTID	NUMBER(4,0)	No	null	1	1	null
EVENTSOURCE	NUMBER	No	null	2	null	null
TIMEOFENTRY	DATE	Yes	null	3	null	null
DATAREF	NUMBER	Yes	null	4	null	null
VAL	NUMBER(10,4)	Yes	null	5	null	null
DA	NUMBER	Yes	null	6	null	null
REASONCODE	VARCHAR2(50 CHAR)	Yes	null	7	null	null
TIMEOFEVENT	DATE	Yes	null	8	null	null
TIMEQUALITYCODE	VARCHAR2(50 CHAR)	Yes	null	9	null	null
LEAPSEC	VARCHAR2(50 CHAR)	Yes	null	10	null	null
OVERFLOW	NUMBER(1,0)	Yes	null	11	null	null
OUTOFRANGE	NUMBER(1,0)	Yes	null	12	null	null
BADREFERENCE	NUMBER(1,0)	Yes	null	13	null	null
OSCILLATORY	NUMBER(1,0)	Yes	null	14	null	null
FAILURE	NUMBER(1,0)	Yes	null	15	null	null
OLDDATA	NUMBER(1,0)	Yes	null	16	null	null
INCONSISTENT	NUMBER(1,0)	Yes	null	17	null	null
INACCURATE	NUMBER(1,0)	Yes	null	18	null	null
AGQVALIDITY	VARCHAR2(50 CHAR)	Yes	null	19	null	null
AGQSOURCE	VARCHAR2(100 CHAR)	Yes	null	20	null	null
AGQTEST	VARCHAR2(100 CHAR)	Yes	null	21	null	null
AGQOPERATORBLOCKED	VARCHAR2(100 CHAR)	Yes	null	22	null	null
FAULTTRIGGER	NUMBER(1,0)	Yes	null	23	null	null
EVENTYPE	VARCHAR2(20 BYTE)	Yes	null	24	null	null

Fig. 3.31 – Structura tabelii Events.

*EventID* are rol de cheie unică a tabelii, aceasta fiind generată automat în momentul inserării unui rând nou în tabela. În momentul în care se salvează unul sau mai multe rânduri în tabelă un trigger declanșează o funcție care verifică în cadrul unei secvențe ultima valoare asignată, după care actualizează această secvență cu noua sa valoare.

```

CREATE OR REPLACE TRIGGER Event_ID_Trg
  BEFORE INSERT ON Events
  FOR EACH ROW
  DECLARE
  BEGIN
    IF( :new.EventID IS NULL )
    THEN
      :new. EventID := Event_ID_Seq.nextval;
    END IF;
  END;

CREATE SEQUENCE Event_ID_Seq
  INCREMENT BY 1
  START WITH 1;

```

Coloana *EventSource* face legătura dintre evenimentele înregistrate și tabela *EventSource*. Astfel se pot accesa detaliile legate de locația evenimentului,



echipamentul care a înregistrat acest eveniment, precum și modul în care informația a fost transferată de la dispozitivul de monitorizare/generator la baza de date.

```
CONSTRAINT "Events_EventSources_FK1" FOREIGN KEY ("EventSource")
REFERENCES "EventSources" ("EventSourceID") ENABLE
```

Celelalte elemente au următoarele semnificații și roluri:

- În *TimeOfEntry* se stochează data și ora la care evenimentul a fost adăugat fișierului de transfer al măsurătorilor înregistrate;
- *DataRef* face legătura cu tabela *DataRefs*;
- *Val* poate lua una dintre următoarele valori: *boolean*, *integer*, *double*, *base64Binary*, *normalizedString*;
- *DA* face legătura cu tabela *DAs*;
- *ReasonCode* conține motivul pentru care evenimentul a fost înregistrat;
- *TimeOfEvent* conține momentul în care evenimentul a avut loc.
- *TimeQualityCode* și *LeapSec* furnizează informații despre calitatea sursei de timp al dispozitivului de înregistrare, din momentul evenimentului;
- *Overflow*, *OutOfRange*, *BadReference*, *Oscillatory*, *Failure*, *OldData*, *Inconsistent*, *Inaccurate*, pot lua doar valoarea 0 și 1, acestea semnificând fals sau adevărat așa cum se arată mai jos.

```
CONSTRAINT "Events_CHK10" CHECK ("INACCURATE" in (1,0)) ENABLE
```

Următoarele coloane dețin detaliile despre calitatea informațiilor care descriu evenimentul, astfel:

- *agqValidity* - valorile permise sunt bune, invalide, discutabile;
- *agqsource* - informațiile referitoare la originea valorii: proces sau substituit;
- *agqtest* - când este setat la true, indică că valoarea respectivă este o valoare de test și nu poate fi utilizată în scopuri operaționale;
- *agqoperatorBlocked* - când este setat la true, indică faptul că valoarea a fost blocată de către un operator și nu există nici o modificare suplimentară a valorii.

Ultimele două coloane, *faultTrigger* și *eventType*, indică dacă înregistrarea evenimentului a fost declanșată de către un defect, respectiv tipul evenimentului înregistrat.

Tabela **DataRefs** trebuie să conțină numele și descrierea unui IED după cum sunt definite în IEC 61850-6 (Fig.3.32).

DATAREFS						
COLUMN_NAME	DATA_TYPE	NULLABLE	DATA_DEFAULT	COLUMN_ID	PK	COMMENTS
DATAREFID	NUMBER(10,0)	No	null	1	1	null
DESCRIPTION	VARCHAR2(200 CHAR)	No	null	2	null	null
FUNCFNAME	VARCHAR2(200 CHAR)	Yes	null	3	null	null

Fig. 3.32 – Structura tabelii DataRefs.

Tabela **EventSources** conține informații despre sursa evenimentelor și modul de transmitere al datelor stocate în baza de date. Structura acesteia se poate observa în Tabelul 3.8.

Tabel 3.8 – Structura tabelii EventSources.

Coloana	Tip date	Descriere
EventSourceID	Number (4,0)	Cheie primară
FormatVersion	Number (4,0)	Versiunea formatului
FormatRevision	VarChar2 (5 char)	Revizia formatului
LogName	VarChar2 (100 char)	Numele Log-ului
LogRef	VarChar2 (100 char)	Valoare unică a log-ului
OldEntrTm	Data	Momentul creării log-ului
NewEntrTm	Data	Momentul ultimei modificări
OldEntr	Number (3,0)	ID-ul primului eveniment înregistrat
NewEntr	Number (3,0)	ID-ul ultimului eveniment înregistrat
LocationID	Number (4,0)	Legătura către tabela Locations

Fiecare sursă de evenimente are asignată o locație, stocată în tabela **Locations** (Fig.3.33). La fel ca în cazul tabelilor descrise mai sus și această tabelă conține o cheie unică, *LocationID*, care este generată automat cu ajutorul unui trigger. Detaliile companiei, numele și codul de identificare, sunt stocate în coloana *CompanyName*, respectiv *CompanyID*. Următoarele coloane conțin informații legate de stația unde este instalat echipamentul: numele stației în *StationName*, nivelul de tensiune (în kV) în *VoltageLevel*, latitudinea și longitudinea în *Latitude*, respectiv *Longitude*, diferența de fus orar față de UTC (valori cuprinse în intervalul [-720; 720]) în coloana *TmOfsTmm* și nu în ultimul rând legătura către tabela Equipments.

COLUMN_NAME	DATA_TYPE	NULLABLE	DATA_DEFAULT	COLUMN_ID	PK	COMMENTS
LOCATIONID	NUMBER(4,0)	No	null	1	1	null
COMPANYNAME	VARCHAR2(200 CHAR)	No	null	2	null	null
COMPANYID	VARCHAR2(20 CHAR)	Yes	null	3	null	null
OPERATORNAME	VARCHAR2(150 CHAR)	Yes	null	4	null	null
STATIONNAME	VARCHAR2(100 CHAR)	No	null	5	null	null
VOLTAGELEVEL	NUMBER(10,4)	Yes	null	6	null	null
BAYNAME	VARCHAR2(200 CHAR)	Yes	null	7	null	null
LATITUDE	NUMBER(10,4)	Yes	null	8	null	null
LONGITUDE	NUMBER(10,4)	Yes	null	9	null	null
TMOFSTMM	NUMBER(10,0)	Yes	null	10	null	null
EQUIPMENT	NUMBER	No	null	11	null	null

Fig. 3.33 – Structura tabelii Locations.

Tabela **Equipments** conține detaliile echipamentelor de înregistrare cum ar fi: numele echipamentului, producătorul, modelul, seria de inventar, precum și reviziile hardware și software. Structura acesteia este prezentată în Tabelul 3.9.

Tabel 3.9 – Structura tabelii Equipments.

Coloana	Tip date	Descriere
EquipmentID	Number	Cheie primară
Name	VARCHAR2(200 CHAR)	Numele echipamentului
Vendor	VARCHAR2(150 CHAR)	Numele producătorului echipamentului
Model	VARCHAR2(100 CHAR)	Modelul echipamentului
serialNo	VARCHAR2(50 CHAR)	Numărul de inventar
hwRev	VARCHAR2(10 CHAR)	Revizia echipamentului
swRev	VARCHAR2(10 CHAR)	Revizia softului echipamentului

În cazul evenimentelor provenite de la generatoare software, în această tabelă se introduc: numele aplicației, versiunea acesteia, producătorul.

Din punctul de vedere al valorilor măsurate de dispozitivul de monitorizare, acestea se stochează în tabela **Records** (Fig.3.34). Tabela conține puține coloane, dar ea prezintă o provocare datorită numărului ridicat de linii, ținând cont că fiecare eveniment aduce câteva zeci de mii de rânduri noi acestei tablele.

RECORDS							
COLUMN NAME	DATA TYPE	NULLABLE	DATA DEFAULT	COLUMN ID	PK	COMMENTS	
RECORDID	NUMBER(10,0)	No	null	1	1	null	
VOLTAGEDIP	NUMBER(10,0)	No	null	2		null	null
EVENT	NUMBER	Yes	null	3		null	null
PHASEA	NUMBER(10,0)	Yes	null	4		null	null
PHASEB	NUMBER(10,0)	Yes	null	5		null	null
PHASEC	NUMBER(10,0)	Yes	null	6		null	null

Fig. 3.34 – Structura tablei Records.

Datele din baza de date obținute de la "sursele de evenimente" (valorile instantanee ale celor trei tensiuni) sunt preluate de diverse aplicații externe, iar rezultatele obținute se scriu în baza de date în câmpurile din tabela **VoltageDips** (Fig.3.35).

VOLTAGEDIPS							
COLUMN NAME	DATA TYPE	NULLABLE	DATA DEFAULT	COLUMN ID	PK	COMMENTS	
VOLTAGEDIPID	NUMBER	No	null	1	1	null	
EVENT	NUMBER	No	null	2		null	null
AMPLITUDE1	NUMBER	Yes	null	3		null	null
AMPLITUDE2	NUMBER	Yes	null	4		null	null
AMPLITUDE0	NUMBER	Yes	null	5		null	null
DURATION1	NUMBER	Yes	null	6		null	null
DURATION2	NUMBER	Yes	null	7		null	null
DURATION0	NUMBER	Yes	null	8		null	null
PHI1	NUMBER	Yes	null	9		null	null
PHI2	NUMBER	Yes	null	10		null	null
PHI0	NUMBER	Yes	null	11		null	null
PONW11	NUMBER	Yes	null	12		null	null
PONW12	NUMBER	Yes	null	13		null	null
PONW10	NUMBER	Yes	null	14		null	null
PONWF1	NUMBER	Yes	null	15		null	null
PONWF2	NUMBER	Yes	null	16		null	null
PONWF0	NUMBER	Yes	null	17		null	null
AMPLITUDEDIP	NUMBER	Yes	null	18		null	null
DURATIONDIP	NUMBER	No	null	19		null	null
TYPEABC	VARCHAR2(1 BYTE)	Yes	null	20		null	null
TYPECS	VARCHAR2(2 BYTE)	Yes	null	21		null	null

Fig. 3.35 – Structura tablei VoltageDips.

Caracteristicile obținute din analiză sunt:

- caracteristici monofazate:
  - amplitudinile golului pe fiecare fază în parte;
  - duratele golului pe fiecare fază în parte;
  - saltul unghiului de fază pentru fiecare fază în parte;

- punctele de inițiere și de sfârșit al golului de tensiune pentru fiecare fază în parte;
- caracteristici trifazate:
  - amplitudinea trifazată a golului de tensiune;
  - durata golului de tensiune;
  - tipul golului conform clasificării ABC;
  - tipul golului conform clasificării Componentelor Simetrice.

Baza de date poate fi extinsă în conformitate cu prevederile formatului COMFEDE prin implementarea funcției *PayLoad*. Aceasta are rolul de a înregistra toate datele necesare pentru facturarea energiei la client în țări în care furnizorul de energie plătește despăgubiri dacă nu asigură o calitate a energiei. În România nu există un astfel de sistem implementat, dar baza de date a fost astfel concepută încât să permită și analiza golurilor de tensiune provenite de la alte sisteme de monitorizare externe. Tabelele ce vor fi utilizate pentru această funcție sunt: *PayLoadData*, *Measurements*, *ThreePhaseVoltages*, *FaultReports*, *ActiveTargetDatas*, *RecoserReports* și *BreakerReports*.

Din cauza cantității de informații care este stocată în baza de date timpul de citire/căutare poate crește foarte mult. Pentru a optimiza timpul necesar pentru interogarea în baza de date au fost create 3 tipuri de indecși:

- indecși pentru cheile primare ale fiecărei table:

```
CREATE UNIQUE INDEX "VDIPU"."EVENTS_PK" ON "VDIPU"."EVENTS" ("EVENTID")
PCTFREE 10 INITRANS 2 MAXTRANS 255 COMPUTE STATISTICS
STORAGE(INITIAL 65536 NEXT 1048576 MINEXTENTS 1 MAXEXTENTS 2147483645
PCTINCREASE 0 FREELISTS 1 FREELIST GROUPS 1 BUFFER_POOL DEFAULT
FLASH_CACHE DEFAULT CELL_FLASH_CACHE DEFAULT)
TABLESPACE "VDIP_DATA" ;
```

- indecși pentru constrângerile de tip tabelă copil - părinte:
- indecși de optimizare pentru căutările frecvente:

În domeniul de cercetare al bazelor de date se încearcă o optimizare continuă. Sistemele de baze de date Oracle oferă posibilitatea numită „optimizare de interogare”, ceea ce este important pentru eficiența și flexibilitatea sistemului.

### 3.3.3. Aplicație pentru accesul și controlul bazei de date

Introducerea evenimentelor în baza de date este permisă în mai multe moduri:

- format COMFEDE;
- format COMTRADE;
- format Excel;
- generator goluri de tensiune.

În cazul formatului COMTRADE funcționalitatea de încărcare a evenimentelor a fost preluată de la aplicație existentă în cadrul catedrei.

În cazul formatului COMFEDE se folosește standardul descris anterior pentru introducerea informațiilor generale, iar apoi se introduc fișierele cu măsurătorile înregistrate în timpul evenimentului. În acest caz se filtrează pentru evenimente de tip gol de tensiune.

În cazul generatorului de goluri de tensiune, acesta este conectat direct la baza de date, datele generate, precum și parametrii caracteristici ai golului de tensiune putând fi salvate automat.

Următorul pas în analiza golurilor este prelucrarea datelor înregistrate anterior în vederea obținerii parametrilor caracteristici ai golurilor de tensiune.

Partea de prelucrare a informațiilor primare au fost preluate din aplicațiile anterioare. Partea de prelucrare avansată care s-a realizat în cadrul cercetării desfășurate va fi descrisă în capitolele următoare.

Atât modulul de inserare a evenimentelor în baza de date cât și modulele de prelucrare a acestor date fac parte din aplicația de management al golurilor de tensiune, denumită **vDipPremium**.

Un alt modul al acestei aplicații este reprezentat de modul de statistici. Modulul permite filtrarea datelor după diverși parametrii, lista acestora putând fi ușor extinsă în funcție de necesitate. Un exemplu de filtrare a datelor se poate observa în Fig.3.36. În urma filtrărilor datelor, informațiile referitoare la evenimentele înregistrate în baza de date pot fi vizualizate sub formă grafică (Fig.3.37) sau sub formă tabelară (Fig.3.38). În aplicație există și posibilitatea exportării datelor în vederea prelucrării lor cu metode statistice avansate.

The screenshot shows a 'Filters' dialog box with two main sections:

- Filters:** A list of parameters that can be used to filter data, including: Company name, Operator name, Station name, Voltage level [kV], Bay name, Equipment name, Equipment vendor, Equipment model, Serial no, Hw revision, Sw revision, Source format, Format version, Format revision, File creation date, File modification date, Sw revision, Dip amplitude, Dip duration, Dip phase angle jump, Dip type ABC, Dip type CS, and Clear all.
- Source format:** A dropdown menu with three options: Comfede (selected), Comtrade, and Generator.

Fig. 3.36 – Filtrarea datelor din baza de date.

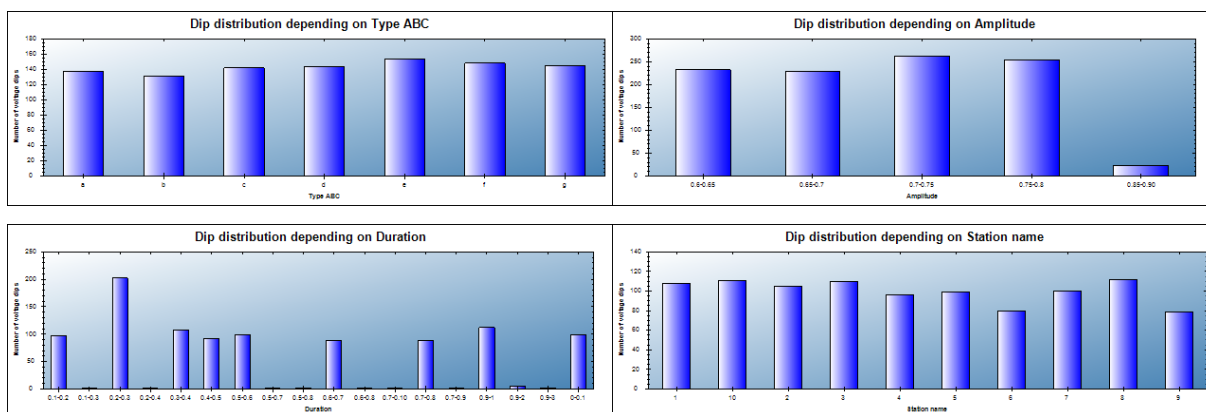


Fig. 3.37 – Generarea rapoartelor grafice.

id	Format revision	Creation date	Modificatio date	Sw revision1	Amplitude	Duration	Phase angle jump	Type ABC	Type CS
	A	38532	38544	4	0.6-0.65	0.3-0.4	-17.456	c	1
	A	38557	38567	1	0.7-0.75	0.5-0.6	22.114	d	3
	A	36785	36797	2	0.7-0.75	0.2-0.3	21.641	e	4
	A	40293	40295	4	0.75-0.8	0.1-0.2	21.404	c	4
	A	38542	38551	3	0.75-0.8	0-0.1	21.168	g	6
	A	39008	39018	4	0.7-0.75	0.2-0.3	-25.406	c	1
	A	37615	37626	1	0.7-0.75	0.1-0.2	-25.643	g	4
	A	36945	36953	4	0.75-0.8	0-0.1	-25.879	e	5
	A	36948	36955	5	0.6-0.65	0.3-0.4	0.974	c	4

Fig. 3.38 – Generarea rapoartelor tabelare.

În final se poate spune că baza de date realizată are o structură dinamică, care poate prelua date primare din diverse surse existente, poate interacționa cu diverse aplicații pentru a se prelucra datele și a se înscrie rezultatele în locațiile special create în baza de date, poate genera diverse rapoarte concepute direct de utilizator și în final poate exporta datele în diverse formate cum ar fi COMTRADE, COMFEDE, .txt și .csv.

### 3.4. Concluzii și contribuții personale

În cadrul acestui capitol s-a tratat problema asigurării informațiilor necesare testării unor algoritmi și metode de obținere a informațiilor referitoare la golurile de tensiune. În urma studiilor efectuate, dar și în urma eforturilor depuse pentru obținerea unor înregistrări care conțin curbele tensiunilor pe durata unor goluri de tensiune s-a ajuns la concluzia necesității dezvoltării unui generator software de goluri de tensiune. Această necesitate este susținută și de faptul că majoritatea echipamentelor de monitorizare a calității energiei electrice respectă prevederile standardelor internaționale și memorează doar amplitudinea și durata golurilor de tensiune.

Următorul pas realizat a fost acela de documentare privind existența unor generatoare de goluri de tensiune, precum și a metodelor de realizare a acestora. În urma studiului efectuat s-a ajuns la concluzia că majoritatea generatoarelor realizate au o structură hardware fiind utilizate la testarea unor echipamente electrice. Pe baza acestei analize s-a trecut ulterior la implementarea unui generator software de goluri de tensiune.

La proiectarea generatorului software s-a pornit de la realizarea modelului matematic pentru un gol de tensiune monofazat. Pe baza modelului matematic și ținând cont de metodele de clasificare a golurilor de tensiune trifazate s-a realizat modulul de generare a golurilor de tensiune trifazate. În spatele algoritmului generatorului trifazat se află prevederile clasificării ABC.

Avantajul major pe care îl are generatorul de tensiune este acela că semnalele generate pot fi folosite și la analize software spre deosebire de cele hardware care pot fi folosite doar pentru testarea echipamentelor care funcționează la nivelele de tensiune pentru care au fost realizate. Mai mult, deoarece parametrii folosiți pentru generarea golurilor de tensiune mono și trifazate se cunosc, testarea unor noi algoritmi este mult mai corectă. Cu alte cuvinte rezultatele obținute cu ajutorul unor noi algoritmi sau metode sunt comparate direct cu valorile cu care au fost generate golurile de tensiune, iar dacă se dorește compararea cu alți algoritmi sau alte metode se poate determina cu exactitate care dintre metode a fost precisă.

După finalizarea generatorului software de goluri de tensiune datele generate au fost încărcate într-o bază de date care a fost creată anterior. În timpul



utilizării acestora au apărut dificultăți de accesare. Acest lucru s-a datorat cantității mari de informații obținute cu ajutorul generatorului de goluri, dar și modului de construcție a bazei de date. Ținând cont de toate acestea s-a trecut la analiza bazelor de date existente în literatura de specialitate. În urma acestui studiu s-a ajuns la concluzia că trebuie refăcută baza de date după principii noi, iar aceasta trebuie construită în așa fel încât să fie cât mai dinamică. Totodată s-au identificat și standardele care reglementează principiile de stocare și transmisie a datelor înregistrate pe durata studierii problemelor de calitate a energiei electrice.

În urma tuturor analizelor efectuate s-a ales implementarea unei baze de date utilizând mediul de dezvoltare Oracle. Această bază de date este concepută după structura prevăzută de standardul CONFED. Ea are capacitatea de a prelua informații de la diverse surse (diverse echipamente de monitorizare, generatoare de goluri și fișiere de date) care utilizează diverse formate (COMFEDE, COMTRADE, fișiere .txt, fișiere .xls). Din baza de date se pot exporta informații în aceleași formate amintite mai sus. Un alt avantaj major al acestei baze de date este acela că se poate interconecta ușor cu diverse aplicații care au ca scop prelucrarea informațiilor primare.

În final s-a realizat și o interfață grafică care permite accesul la informațiile din baza de date. Practic cu această interfață se pot construi diverse rapoarte care pot fi prezentate sub formă de grafice sau sub formă tabelară.

Contribuțiile personale din acest capitol sunt:

- analiza critică a studiilor existente în domeniul generatoarelor de goluri de tensiune și a studiilor care prezintă baze de date utilizate în domeniul calității energiei electrice;
- analiza prevederilor standardelor internaționale de realizare a bazelor de date, de salvare a informațiilor în fișiere și a modului de stabilire a denumirilor fișierelor de date;
- dezvoltarea unui *model matematic original și a algoritmului unui generator monofazat* de goluri de tensiune, precum și implementarea în C# a acestuia; modelul matematic și testarea acestuia a fost publicat în [Molnar2013c] – lucrare indexată ISI;
- dezvoltarea unui *model matematic original și a algoritmului unui generator trifazat de goluri de tensiune*, precum și implementarea în C# a acestuia; modelul matematic și testarea acestuia a fost publicat în [Iovan2013a]; pe baza generatorului de goluri de tensiune s-a dezvoltat și articolul [Iovan2014];
- realizarea unei *baze de date dinamice proprii*, utilizând mediul de dezvoltare Oracle, care are la bază prevederile standardului internațional C37.239-2010; o primă versiune a bazei de date a fost publicată în [Iovan2011];
- realizarea unei interfețe grafice care permite accesul la informațiile din baza de date, iar apoi permite crearea și generarea de rapoarte sub formă grafică sau tabelară.



## 4. CLASIFICAREA GOLURILOR DE TENSIUNE UTILIZÂND TEHNICA FUZZY-CLUSTERING

În acest capitol se prezintă o nouă metodă de detecție a tipului golului de tensiune conform clasificării ABC. La începutul capitolului se vor prezenta principalele metode utilizate pentru detecția tipului golului în conformitate cu clasificarea analizată. Capitolul se continuă cu prezentare unei noi soluții care aduce o îmbunătățire primelor două metode analizate. Această nouă soluție va consta în aplicarea tehnicii de Clustering pentru determinarea optimă a punctului care definește tipul golului de tensiune. Deoarece această soluție poate doar îmbunătăți calitatea detecției, dar nu poate elimina erorile sistematice, în a doua parte a acestui capitol se prezintă o nouă metodă de detecție a tipului golului conform clasificării ABC, utilizând logica Fuzzy. La finalul lucrării se analizează noua metodă propusă, iar capitolul se încheie cu prezentarea concluziilor și contribuțiilor proprii din cadrul acestui capitol.

### 4.1. Metode de determinare a tipului golului de tensiune conform clasificării ABC

În literatura de specialitate există mai multe metode cu ajutorul cărora datele reale obținute din măsurători pot fi clasificate conform clasificării ABC. Aceste metode au fost prezentate în capitolul 2 acestea fiind: metoda propusă de Leborgne prezentată în [Leborgne2004], metoda propusă de Bollen prezentată în [Bollen2004], metoda propusă de Jattiem prezentată în [Jattiem2009], algoritmul propus de Molnar prezentat în [Molnar2010a] și algoritmul propus de Ignatova prezentat în [Ignatova2005]. Dintre aceste metode în continuare se vor prezenta metodele care au aceeași structură de bază și anume: metoda Leborgne, metoda Bollen și algoritmul Molnar.

#### 4.1.1. Metoda Leborgne

Autorii studiului [Leborgne2004] oferă o metodă grafică de clasificare a golurilor de tensiune pornind de la clasificarea ABC propusă de Bollen. Pentru aceasta el utilizează tensiunile efective de fază și de linie.

El propune identificarea tipului golurilor prin poziția unor curbe teoretice specifice pentru fiecare tip de gol de tensiune pe un grafic, denumit în continuare „graficul curbelor caracteristice” (Fig.4.1). Graficul conține 6 linii caracteristice, definite pentru fiecare tip de gol în parte de către o relație de tipul  $U_{l\_min}=f(U_{f\_min})$ . Se face precizarea că există doar șase curbe de tensiune deoarece cu această metodă există o suprapunere a curbelor pentru tipurile A și E. Cu alte cuvinte această metodă introduce o eroare sistematică și anume că nu va putea face distincția dintre tipurile A și E.

Pentru ridicarea acestor curbe caracteristice s-a definit un set de funcții. Pentru fiecare fază în parte s-a obținut câte o funcție, pornindu-se de la relațiile matematice de caracterizare a golurilor de tensiune, corespunzătoare clasificării ABC (Tabelul 2.2 și Tabelul 2.4).

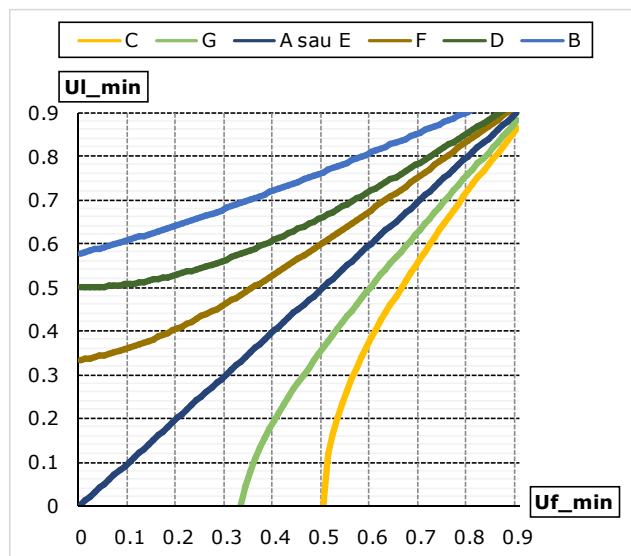


Fig. 4.1 – Graficul curbelor caracteristice pentru metoda Leborgne.

Funcțiile matematice obținute pentru fiecare tip în parte sunt prezentate în relațiile: (4.1) pentru tipul A, (4.2) pentru tipul B, (4.3) pentru tipul C, (4.4) pentru tipul D, (4.5) pentru tipul E, (4.6) pentru tipul F, (4.7) pentru tipul G.

$$U_{L-\min A} = U_{F-\min} \quad (4.1)$$

$$U_{L-\min B} = \sqrt{\left(\frac{1}{2\sqrt{3}} + \frac{U_{F-\min}}{\sqrt{3}}\right)^2} + \frac{1}{4} \quad (4.2)$$

$$U_{L-\min C} = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot U_{F-\min}^2 - \frac{1}{3}} \quad (4.3)$$

$$U_{L-\min D} = \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{3}{4} \cdot U_{F-\min}^2} \quad (4.4)$$

$$U_{L-\min E} = U_{F-\min} \quad (4.5)$$

$$U_{L-\min F} = \sqrt{\frac{\left(2 + \frac{1}{3}\right) \cdot U_{F-\min}^2 + \frac{1}{3} \cdot U_{F-\min} + \frac{1}{3}}{3}} \quad (4.6)$$

$$U_{L-\min G} = -0.0707 + \frac{\sqrt{3.112 \cdot U_{F-\min}^2 - 0.327}}{1.556} \quad (4.7)$$

După reprezentarea grafică a celor șase linii caracteristice se determină un punct care are ca și coordonate cea mai mică tensiune de fază înregistrată ( $U_{F-\min}$ ) și cea mai mică tensiune de linie înregistrată ( $U_{L-\min}$ ). Acest punct se adaugă la graficul curbelor caracteristice, iar tipul golului de tensiune este determinat de distanța minimă a acestui punct față de o curbă caracteristică.

Ținând cont că din măsurătorile sistemelor de monitorizare se obțin valorile momentane ale tensiunilor pe faze, tensiunile de linie momentane se pot calcula cu

ajutorul relației (4.8). Urătoarea etapă presupune calcularea valorilor efective utilizând una dintre tehnicile consacrate în literatură.

$$\begin{aligned} u_{RS}(t) &= \frac{u_R(t) - u_S(t)}{\sqrt{3}} \\ u_{ST}(t) &= \frac{u_S(t) - u_T(t)}{\sqrt{3}} \\ u_{TR}(t) &= \frac{u_T(t) - u_R(t)}{\sqrt{3}} \end{aligned} \quad (4.8)$$

În cazul în care de la echipamentele de monitorizare se obțin valorile efective ale tensiunilor pe faze, tensiunile de linie pot fi calculate tot cu relația (4.8).

Avantajele metodei:

- este foarte simplă;
- determinarea tipului golului de tensiune este foarte rapidă.

Dezavantaje:

- metoda determină doar tipul golului de tensiune, fără a determina celelalte caracteristici ale acestuia;
- metoda este neconcludentă pentru goluri în care tensiunea remanentă pe fază sau pe linie, ia valori foarte scăzute sau în situațiile în care apar salturi ale unghiurilor tensiunilor de fază;
- metoda introduce o eroare sistematică pentru că nu face distincție între tipurile A și E.

#### 4.1.2. Metoda Bollen

Metoda Bollen [Bollen2004], reprezintă tot o metodă grafică de clasificare bazată pe clasificarea ABC. În acest caz însă autorul folosește doar valorile tensiunilor de fază, calculând tensiunile minime și maxime de fază, respectiv determinând relațiile dintre aceste valori pentru fiecare tip de gol în parte. Metoda este formată din două etape. Într-o primă etapă se determină numărul de faze afectate, iar în a doua etapă se determină tipul golului de tensiune, prin analiză grafică.

##### Etapa 1:

Această etapă constă în determinarea numărului de faze afectate. În acest sens, primul pas reprezintă ordonarea crescătoare a valorilor tensiunilor măsurate conform relației  $U_x \leq U_y \leq U_z$ . Următorul pas îl reprezintă formarea a 3 categorii de goluri de tensiune, în funcție de numărul fazelor afectate astfel:

- cădere de tensiune cu aceeași valoare pe toate cele 3 faze, această categorie determinând automat tipul A, nefiind necesară altă prelucrare;
- a doua categorie o reprezintă golurile cu căderi de tensiune mai mari pe două faze, categorie în care se încadrează tipurile C, E și G;
- ultima categorie o reprezintă golurile de tensiune cu căderi de tensiune mai mari pe o singură fază, categorie în care se încadrează tipurile B, D și F.

Apartenența unui gol de tensiune la o categorie se face pe baza relațiilor:

$U_z - U_y < U_y - U_x$  – grup care conține căderi de tensiune pe o fază sau pe trei faze;

$U_z - U_y > U_y - U_x$  – grup care conține căderi de tensiune pe două faze sau pe trei faze.

După împărțirea acestora pe categorii se trece la determinarea mărimilor de fază. Practic autorii acestei metode au propus ca în cazul în care se analizează un

gol cu cădere de tensiune mai mare pe o fază, atunci tensiunea maximă de fază să fie calculată ca medie a celorlalte două tensiuni (medie și maximă) cu ajutorul relației (4.9). În cazul în care se analizează goluri cu căderi majore de tensiune pe două faze, atunci tensiunea minimă de fază se calculează ca medie a celor două tensiuni mai mici (mică și medie), cu ajutorul relației (4.10).

$$U_{F-\max} = \frac{\max(U_R, U_S, U_T) + \text{med}(U_R, U_S, U_T)}{2} \quad (4.9)$$

$$U_{F-\min} = \frac{\min(U_R, U_S, U_T) + \text{med}(U_R, U_S, U_T)}{2} \quad (4.10)$$

### Etapa 2:

Această etapă constă în desenarea curbelor caracteristice și a punctului golului de tensiune pe un grafic. Datorită împărțirii în etapa 1 a golurilor de tensiune în monofazate și bifazate, în etapa 2 se vor ridica două grafice care conțin curbe caracteristice: unul pentru cazul monofazat pe care apar curbele pentru tipurile A, B, D și F (Fig.4.2); al doilea pentru cazul bifazat pe care apar curbele pentru tipurile A, C, E și G (Fig.4.3). După cum se observă mai sus, tipul A corespunzător golurilor de tensiune trifazate apar pe ambele grafice. Acest lucru se datorează faptului că un gol de tensiune trifazat are o valoare mai mare pe una dintre faze caz în care el va fi clasificat în prima etapă ca și bifazat, sau are o valoare mai mare pe două faze caz în care va fi clasificat în prima etapă ca și monofazat.

Pe baza relațiilor prezentate anterior se creează două grafice, unul pentru căderi de tensiune pe o fază Fig. 4.2.a, respectiv unul pentru căderi de tensiune pe două faze Fig. 4.2.b.

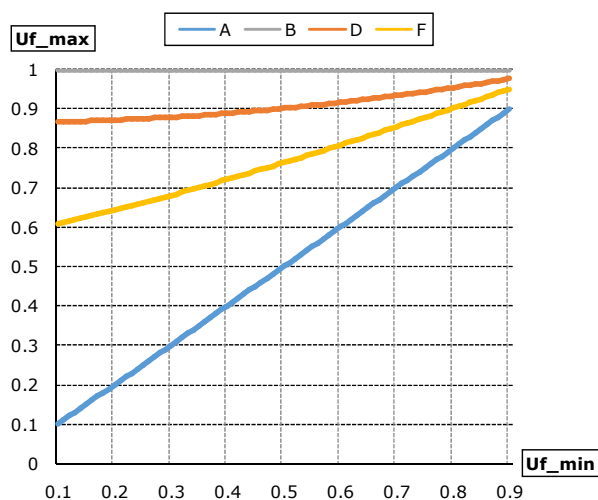


Fig. 4.2 – Graficul curbelor caracteristice pentru goluri monofazate conform metodei Bollen.

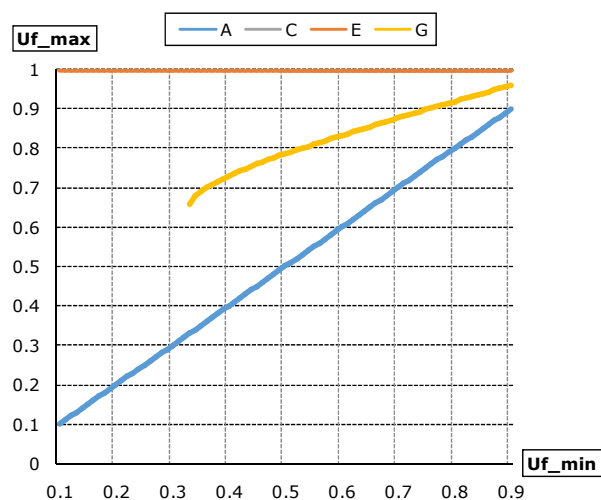


Fig. 4.3 – Graficul curbelor caracteristice pentru goluri bifazate conform metodei Bollen.

Funcțiile matematice obținute pentru fiecare tip în parte, conform acestei metode, sunt prezentate în relațiile: (4.11) pentru tipul A, (4.12) pentru tipul B, (4.13) pentru tipul C, (4.14) pentru tipul D, (4.15) pentru tipul E, (4.16) pentru tipul F, (4.17) pentru tipul G. De asemenea și aceste funcții au fost determinate pornind de la relațiile matematice care caracterizează fiecare tip de gol în parte.

$$U_{F-\max A} = U_{F-\min} \quad (4.11)$$

$$U_{F-\max B} = 1 \quad (4.12)$$

$$U_{F-\max C} = 1; \quad U_{F-\min} \geq 0.5 \quad (4.13)$$

$$U_{F-\max D} = \sqrt{\frac{3}{4} + \frac{1}{4} \cdot U_{F-\min}^2} \quad (4.14)$$

$$U_{F-\max E} = 1 \quad (4.15)$$

$$U_{F-\max F} = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot U_{F-\min}^2 + \frac{1}{3} \cdot U_{F-\min} + \frac{1}{3}} \quad (4.16)$$

$$U_{F-\min} = \sqrt{3 - 9 \cdot U_{F-\max G} + 7 \cdot U_{F-\max G}^2}; \quad U_{F-\min} \geq \frac{1}{3} \quad (4.17)$$

Tipul golului de tensiune este determinat de caracteristica care are distanța minimă dintre curbă și punctul de coordonate tensiunea efectivă minimă de fază, tensiune efectivă maximă de fază  $X(U_{f-\min}, U_{f-\max})$ .

Avantajele metodei sunt:

- metoda nu este sensibilă la salturi ale unghiurilor tensiunilor de fază;
- în general dă rezultate mai corecte decât varianta propusă anterior;

Dezavantaje metodei sunt:

- este mai complexă deoarece folosește determinarea în două etape;
- este sensibilă la variația tensiunilor pe faze;
- metoda introduce o eroare sistematică pentru că nu face distincție între tipurile C și E.

### 4.1.3. Algoritmul Molnar

Algoritmul Molnar [Molnar2010a] are la bază metoda de identificare grafică a golurilor de tensiune propus de Leborgne, doar că în această situație identificarea grafică a fost înlocuită cu un algoritm. Algoritmul se execută în două etape.

#### Etapa 1:

În etapa 1 se calculează tensiuni de linie minime (teoretice) conform cu relațiile (4.1)-(4.7) prezentate la metoda Leborgne. Următorul pas constă în determinarea tipului golului de tensiune prin compararea punctelor reale de tensiune de linie minime cu tensiunile de linie minime teoretice.

Un lucru important în această etapă este faptul că în cadrul acestui algoritm se analizează toate punctele determinate pe durata golului de tensiune. Numărul acestora depinde de rata de eșantionare a echipamentului de măsură. Se face precizarea că precedentele două metode iau în considerare un singur punct determinat chiar de valoarea minimă pe faza cea mai afectată.

#### Etapa 2:

În cazul în care în prima etapă se determină unul dintre tipurile A, C, E sau G, în a doua etapă se distinge între acestea. Practic erorile de determinare apar în general între tipurile A și E, respectiv C și G. Pentru rezolvarea acestei probleme se determină tensiunile maxime de linie conform relațiilor (4.18) pentru tipul A, (4.19) pentru tipul C, (4.20) pentru tipul E și (4.21) pentru tipul G. Etapa se continuă cu determinarea tipului golului de tensiune prin comparare punctelor reale, determinate de tensiunea maximă de linie înregistrată, cu tensiunile maxime de linie teoretice pentru fiecare tip de gol amintit mai sus.

$$U_{L-\max A} = U_{F-\min} \quad (4.18)$$

$$U_{L-\max C} = \sqrt{\frac{2 + U_{F-\min}^2}{3}} \quad (4.19)$$

$$U_{L-\max E} = \sqrt{\frac{1 + U_{F-\min} + U_{F-\min}^2}{3}} \quad (4.20)$$

$$U_{L-\max G} = \sqrt{\frac{1 + U_{F-\min G} + U_{F-\min G}^2}{3}} \quad (4.21)$$

Avantajele algoritmului sunt:

- fiind un algoritm și nu o metodă grafică, acesta se poate implementa pe orice sistem de calcul pentru determinarea automată a tipului golului de tensiune;
- este un algoritm mai puțin sensibil la variațiile de amplitudine a tensiunilor de fază;
- oferă în general rezultate mai corecte datorită considerării tuturor punctelor care pot fi identificate pe durata golului de tensiune;
- nu introduce erori sistematice, putând distinge oricare dintre cele șapte tipuri de goluri de tensiune.

Dezavantajele acestui algoritm sunt:

- algoritmul este mai complex având două etape de detecție și fiind necesară calcularea suplimentară a valorilor maxime ale tensiunilor de linie;
- poate introduce erori în cazul în care apare o modificare accentuată în defazajele tensiunilor de fază.

## 4.2. Utilizarea tehnicii Clustering pentru îmbunătățirea metodelor de clasificare

În urma analizei metodelor prezentate, se poate observa că acestea pot să introducă erori ajungându-se chiar la rezultate contradictorii în cazul în care apar situații mai dificile. Practic se observă că algoritmul Leborgne, introduce o eroare sistematică dată de imposibilitatea selectării între tipurile A și E. În plus are dificultăți la determinarea tipurilor C și G. Algoritmul Bollen, introduce o eroare sistematică dată de imposibilitatea selectării între tipurile C și E. Totodată întâmpină dificultăți la selectarea golurilor de tensiune bifazate. Algoritmul propus de Molnar obține de cele mai multe ori rezultate corecte dar totuși detectează greșit la salturi mari ale unghiului tensiunii de fază. În plus acest algoritm necesită o cantitate de calcul mult mai ridicată decât precedentele.

Analizând mai mult rezultatele obținute cu cele trei metode amintite se poate observa că eroarea de estimare poate apărea și datorită considerării punctelor reale folosite pentru determinarea tipului golului de tensiune. Metodele Leborgne și Bollen utilizează un singur punct definit de mărimile identificate în punctul de valoare minimă determinat pe curba de tensiune minimă înregistrată. În schimb algoritmul propus de Molnar utilizează toate punctele posibile cuprinse în intervalul de timp în care există goluri de tensiune.

O îmbunătățire a acestor metode se poate realiza prin aplicarea unei tehnici de grupare a punctelor existente. Prin urmare, în continuare se propune îmbunătățirea metodelor Bollen și Leborgne prin considerarea tuturor punctelor

cuprinse în intervalul de timp în care există gol de tensiune și aplicarea tehnicii de Clustering în vederea grupării acestora și a determinării unui singur punct care să fie folosit pentru a stabili tipului golului de tensiune [Iovan2013b].

#### 4.2.1. Noțiuni teoretice privind tehnica de Clustering

*Tehnica de Clustering* poate fi definită ca fiind procesul de organizare a unor obiecte care prezintă caracteristici asemănătoare în grupuri. Un grup este, prin urmare, o colecție de obiecte care sunt "similare" între ele și sunt "diferite" de obiectele aparținând altor grupuri.

Gruparea datelor, clustering, permite formarea de grupuri semnificative într-un mod analitic, ajutând la clasificarea datelor în funcție de asemănări sau de afinități [Hair1999]. Tehnica clustering este o metodă de învățare nesupravegheată, deoarece în cadrul setului de învățare nu sunt incluse și obiectele care se doresc clasificate. Există două tipuri de clustering:

- Hard clustering - fiecare exemplu este plasat într-un grup/clasă, iar acest grup este apoi utilizat pentru a prezice valorile viitoare ale exemplului;
- Soft clustering - în care fiecare exemplu are o probabilitate de a aparține unui grup [Poole2010].

Unul dintre cei mai utilizați algoritmi de Clustering este algoritmul k-Mean. Acest algoritm este un algoritm popular folosit pentru a grupa un set de date într-un număr definit ( $k$ ) de grupe (clusters) [MacQueen1967].

Acest tip de algoritm aparține tipului „hard clustering”, în cadrul căruia se consideră ca intrări pe lângă numărul de grupe, vectorul de training, iar ca ieșire se cere setul de  $k$  grupe. Algoritmul pornește de la un set de obiecte prezentat în (4.22), în cazul de față vorbim de obiecte care au asignate numere reale.

$$\{x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(m)}\} \quad x^{(i)} \in R^N \quad (4.22)$$

unde  $m$  reprezintă numărul de obiecte care trebuie grupate, iar  $n$  reprezintă dimensiunea spațiului.

Primul pas este definirea, pentru fiecare grupă, a centrelor (centroids), care practic sunt centrele de greutate ale grupei. În final, de obicei, centrul unei grupe nu este unul dintre obiectele care formează grupa, ci se găsește între ele în spațiul euclidian respectiv (4.23).

$$\{\mu^{(1)}, \mu^{(2)}, \dots, \mu^{(k)}\} \quad \mu^{(j)} \in R^N \quad (4.23)$$

unde  $k$  reprezintă numărul de grupe definite.

Pentru rezultate mai bune centrele trebuie astfel definite încât între ele să existe distanța maximă posibilă. În cadrul următorului pas se calculează distanțele de la fiecare obiect la fiecare centru și se repartizează fiecare element  $x^{(i)}$ , grupei care are cel mai apropiat centru  $\mu^{(j)}$ .

Nu orice funcție poate fi utilizată ca funcție pentru măsurarea distanței. Se recomandă utilizarea uneia dintre următoarele funcții [Ullman2005]:

- distanța comună ("norma L2"):

$$c^{(i)} = \sqrt{\sum_{l=1}^n (x_l^{(i)} - \mu_l^{(j)})^2} \quad (4.24)$$

- distanța Manhattan ("norma L1"):

$$c^{(i)} = \sum_{l=1}^n (x_l^{(i)} - \mu_l^{(j)}) \quad (4.25)$$

- maximul pe o dimensiune ("norma L $\infty$ ):



$$c^{(i)} = \max_j \|x_i^{(i)} - \mu_j^{(j)}\| \quad (4.26)$$

- centrul de greutate ("norma Ng"):

$$c^{(i)} = \operatorname{argmin}_j \|x_i^{(i)} - \mu_j^{(j)}\|^2 \quad (4.26)$$

După ce fiecare obiect a fost repartizat unui centru, se calculează noul centru cu relația (4.27).

$$\mu^{(j)} = \frac{\sum_{i=1}^m \mathbf{1}\{c^{(i)} = j\} x^{(i)}}{\sum_{i=1}^m \mathbf{1}\{c^{(i)} = j\}} \quad (4.27)$$

Pe măsură ce obiectele sunt asignate la o grupă, centrul acestuia poate migra. Acești ultimi doi pași se repetă până când centrele nu își mai schimbă poziția. Pentru a verifica acest lucru se folosește o funcție de eroare pătratică având formula dată de relația (4.28).

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^k \|x^{(i)} - \mu^{(j)}\|^2 \quad (4.28)$$

Acest algoritm va converge în cele din urmă la un minim local stabil, observându-se că valoarea acestei funcții scade la fiecare iterație de stabilire a centrului și de repartizare a obiectelor unei grupe. Acest algoritm adesea converge în doar câteva iterații, dar nu se poate garanta că converge la un minim global.

Dezavantajul algoritmului k-Means este scala relativă a dimensiunilor, fiind necesară o scală între diferite domenii, astfel încât acestea să poată fi comparate. Modul în care acestea sunt scalate în raport cu celălalt afectează clasificarea lor.

#### 4.2.2. Aplicarea algoritmului k-Means pentru metoda Leborgne

Așa cum s-a arătat în prima parte a acestui capitol, metoda Leborgne de determinare a tipului golului de tensiune în conformitate cu clasificarea ABC, utilizează un singur punct din toate punctele care pot fi definite cu ajutorul măsurărilor reale. Totuși așa cum se observă din inspectarea vizuală a curbelor de tensiune, nu tot timpul punctul în care se atinge valoarea minimă a tensiunii este și cel mai relevant punct pentru determinarea tipului golului de tensiune. În aceste condiții se va aplica algoritmul k-Means pentru gruparea tuturor punctelor care se încadrează în intervalul în care există gol de tensiune, puncte care sunt definite de tensiunea minimă de fază și tensiunea minimă de linie. În această situație se implementează sub formă de algoritm și determinarea distanței de la punctul obținut prin procedeul de Clustering până la valorile teoretice determinate pentru fiecare tip în parte. Algoritm astfel creat este prezentat în Fig.4.4.

Valorile momentane ale tensiunilor sunt introduse în algoritm după o preprocesare a semnalului în vederea obținerii valorilor de interes. Această preprocesare presupune eliminarea zgomotelor existente, calcularea valorilor efective, segmentarea pentru detecția intervalului pe care există gol de tensiune. Toate acestea se realizează cu diverse tehnici de prelucrare a semnalului care vor fi analizate în capitolul următor. În urma acestei preprocesări se determină valorile minime de fază. Cu ajutorul relațiilor (4.8) se determină valorile tensiunilor de linie, iar ulterior se determină valorile minime ale tensiunilor de linie. În acest moment se poate spune că s-au determinat toate punctele formate din perechi de tensiune minimă de fază și tensiune minimă de linie. Aceste puncte vor fi intrările pentru algoritmul k-Means. Deoarece se dorește găsirea unui singur punct care să

reprezintă întregul șir de valori momentane se definește numărul de clustere ca fiind egal cu 1. Totuși dacă se vor analiza goluri de tensiune cu amplitudini diferite, se vor defini mai multe clustere. Pentru determinarea centroidului s-a ales metoda centrului de greutate.

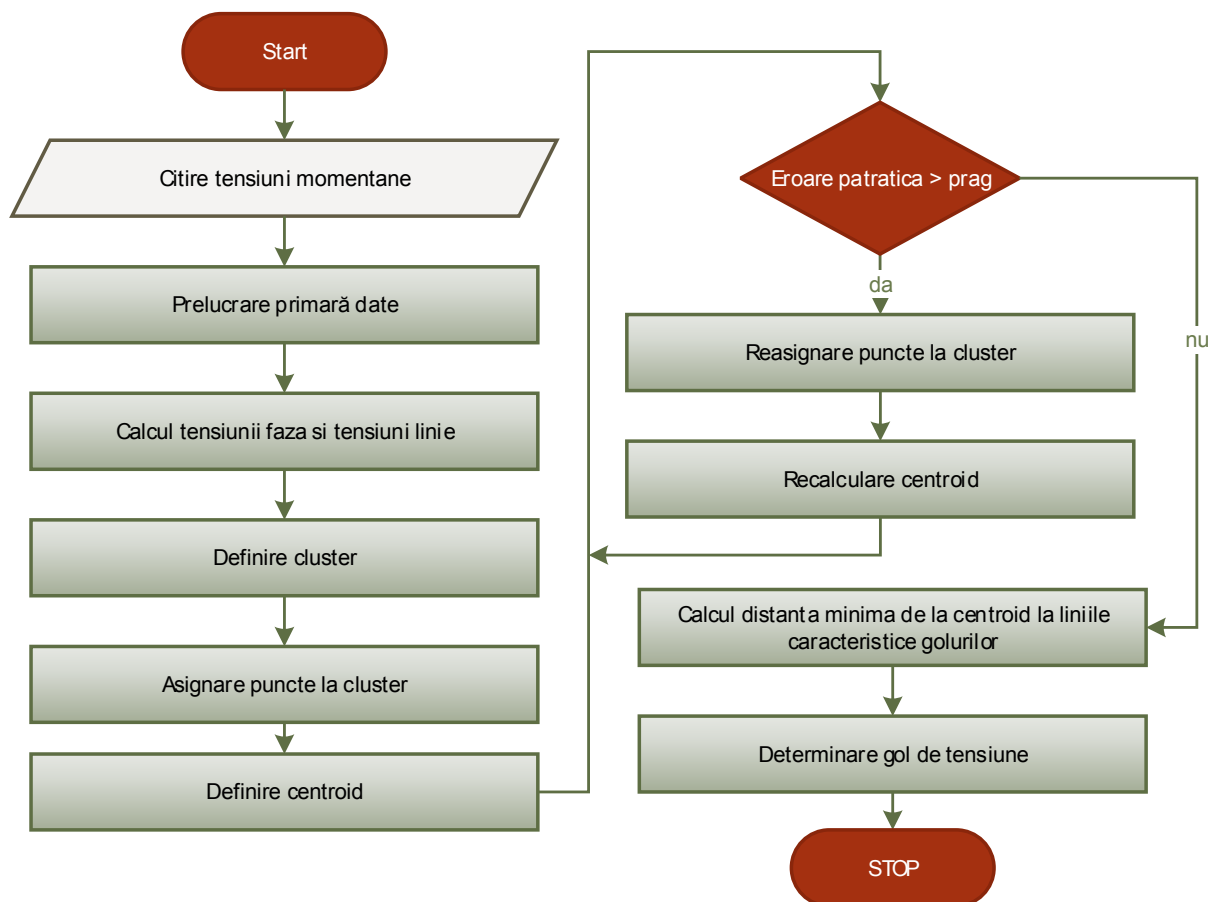


Fig. 4.4 – Algoritm de determinare a tipului golului de tensiune utilizând tehnica de Clustering și metoda Leborgne.

Determinarea clusterului se termină în momentul în care centroidul nu se mai mișcă, acesta returnând coordonatele ultimului centroid. În urma aplicării acestui algoritm coordonatele centroidului vor forma punctul real definit de valorile minime ale tensiunii de fază ( $U_{F-min-cluster}$ ) respectiv tensiunii de linie  $U_{L-min-cluster}$ .

Ulterior, folosind relațiile (4.1)-(4.7) la care tensiunea minimă de fază se va înlocui cu  $U_{F-min-cluster}$ , se vor determina valorile minime ale tensiunii de linie teoretice pentru fiecare tip de gol în parte, corespunzătoare tensiunii de fază minimă determinată. În aceste condiții prin determinarea distanței minime dintre  $U_{L-min-cluster}$  și valorile teoretice, se va determina și tipul golului de tensiune. Relațiile folosite sunt definite de (4.29).

$$Tip_{gol} = Tip\left(\min_{A \leq i \leq G} |U_{L-min}^i(U_{F-min-cluster}) - U_{L-min-cluster}|\right) \quad (4.29)$$

Pentru exemplificarea cât mai precisă a avantajelor pe care le aduce această metodă, în Fig.4.5 se prezintă pe graficul propus de Leborgne toate punctele cuprinse în intervalul pe care există gol de tensiune. Din acest grafic se observă că pentru cea mai mică valoare a tensiunii minime de fază punctul corespunzător este undeva la jumătatea intervalului dintre tipurile B și D. Mai mult, dacă se analizează

toate punctele existente (așa cum se procedează în algoritmul propus de Molnar) se pot observa că majoritatea acestor puncte sunt mai apropiate de tipul B. Prin urmare tipul golului de tensiune este B, lucru care nu este foarte cert aplicând metoda Leborgne. În Fig.4.6 se listează pe graficul lui Leborgne punctul obținut prin aplicarea algoritmului k-Means. În acest caz se observă că acest punct este mai apropiat de tipul B, deci această metodă returnează rezultate mai corecte.

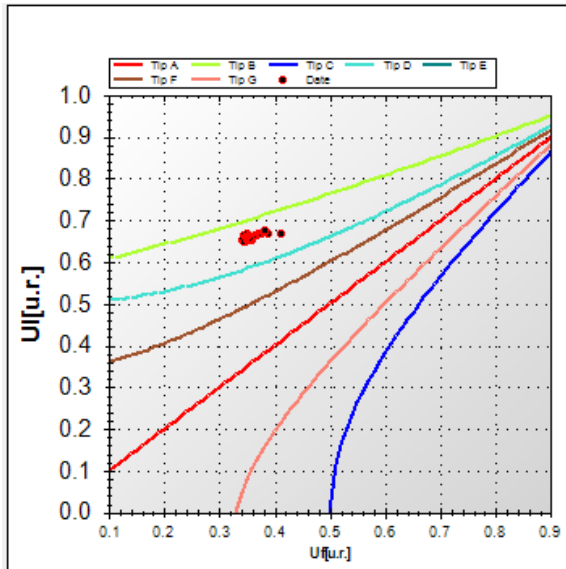


Fig. 4.5 – Plotarea pe graficul lui Leborgne a tuturor punctelor existente în intervalul golului de tensiune.

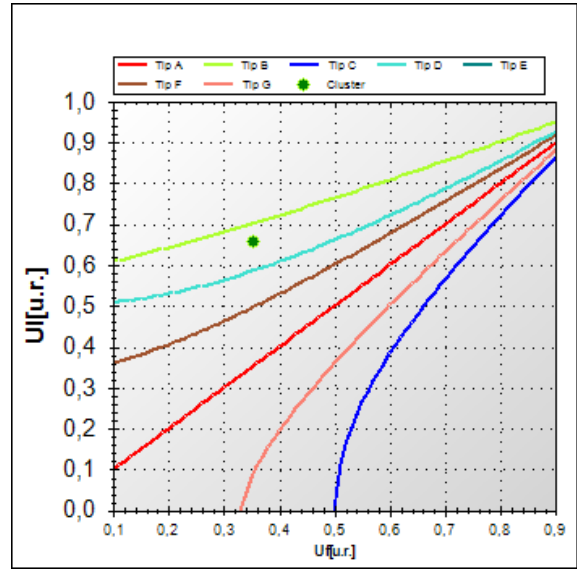


Fig. 4.6 – Plotarea pe graficul lui Leborgne a punctului obținut în urma aplicării tehnicii de Clustering.

Analizând cele două grafice se poate observa că utilizarea tehnicii de Clustering aduce îmbunătățiri acestei metode, dar nu rezolvă principalele deficiențe ale acestei metode.

#### 4.2.3. Aplicarea algoritmului k-Means pentru metoda Bollen

În mod asemănător se aplică același algoritm și pentru metoda Bollen. Pentru aplicarea algoritmului descris în Fig.4.4, se selectează punctele definite de valorile minime pe fază și valorile maxime pe fază. În urma aplicării acestui algoritm coordonatele centroidului vor forma punctul real definit de valoarea minimă de fază ( $U_{F-min-cluster}$ ) și valoarea maximă de fază  $U_{F-max-cluster}$ .

Ulterior, folosind relațiile (4.11)-(4.17) la care tensiunea minimă de fază se va înlocui cu  $U_{F-min-cluster}$ , se vor determina tensiunile maxime de fază teoretice pentru fiecare tip de gol în parte, corespunzătoare tensiunii de fază minimă determinată. În aceste condiții prin determinarea distanței minime dintre  $U_{F-max-cluster}$  și valorile teoretice, se va determina și tipul golului de tensiune. Relațiile folosite sunt definite de (4.30).

$$Tip_{gol} = Tip \left( \min_{A \leq i \leq G} |U_{L-min}^i (U_{F-min-cluster}) - U_{F-max-cluster}| \right) \quad (4.30)$$

Pentru exemplificarea cât mai precisă a avantajelor pe care le aduce această metodă, în Fig.4.7 se prezintă pe graficul propus de Bollen toate punctele cuprinse în intervalul pe care există gol de tensiune. Din acest grafic se observă că pentru cea mai mică valoare a tensiunii minime de fază punctul corespunzător este mai apropiat de tipul D. Mai mult, dacă se analizează toate punctele existente (așa cum

se procedează în algoritmul propus de Molnar) se poate observa că majoritatea acestor puncte sunt mai apropiate de tipul B. Prin urmare tipul golului de tensiune este B, lucru care este determinat greșit în urma aplicării metodei Bollen. În Fig.4.7 se listează pe graficul lui Bollen punctul obținut prin aplicarea algoritmului k-Means. În acest caz se observă că acest punct este mai apropiat de tipul B, deci această metodă returnează rezultate mai corecte.

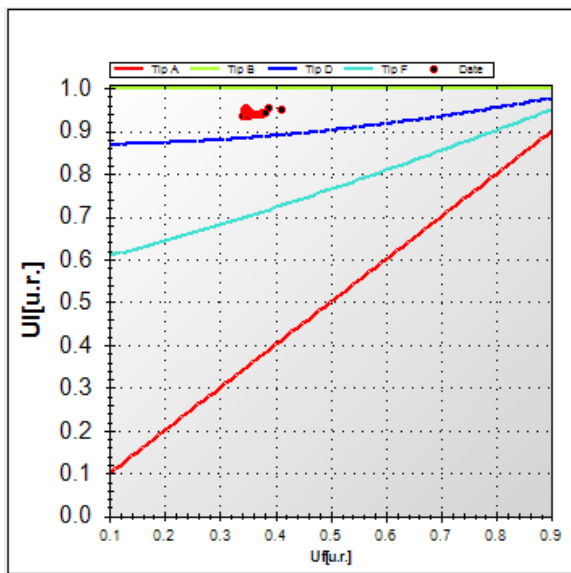


Fig. 4.7 – Plotarea pe graficul lui Bollen a tuturor punctelor existente în intervalul golului de tensiune.

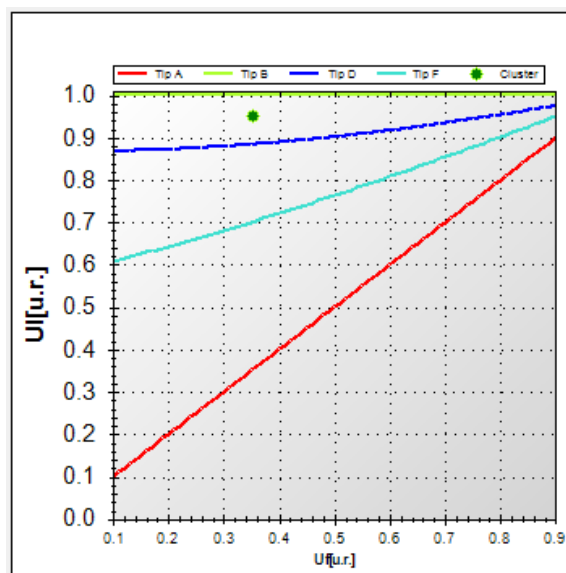


Fig. 4.8 – Plotarea pe graficul lui Bollen a punctului obținut în urma aplicării tehnicii de Clustering.

Analizând cele două grafice se poate observa că în acest caz particular utilizarea tehnicii de Clustering corectează eroarea introdusă de metoda originală. Totuși, nici în acest caz, tehnica de Clustering nu poate înlătura principalele defecte ale metodei originale.

#### 4.2.4. Analiza calității metodelor Leborgne și Bollen îmbunătățite cu tehnica de Clustering

În continuare se va realiza o analiză a celor două metode pentru care s-a utilizat tehnica de Clustering, pentru determinarea zonelor în care rezultatele obținute nu sunt corecte. Pentru a se realiza această analiză, au fost generate cu ajutorul generatorului de goluri, câte șase seturi de date pentru fiecare tip de gol de tensiune. Toate seturile de date au fost generate utilizând aceiași parametrii din punct de vedere al amplitudinii și duratei golului, momentul de început și de sfârșit al acestuia, fără perturbații de tip armonic sau interarmonic. În plus s-a considerat ca pentru golurile monofazate faza afectată să fie faza R, iar pentru golurile bifazate s-a considerat ca fazele afectate să fie S și T. Primele trei seturi au fost generate pentru determinarea efectului modificării valorii efective a unei tensiuni de fază față de cea teoretică. În acest sens fiecare set conține modificarea amplitudinii tensiunii unei faze între -15% și +15% din valoarea ei teoretică. Următoarele trei seturi au fost generate pentru determinarea efectului modificării unghiului unei tensiuni de fază față de unghiul calculat teoretic. În acest sens fiecare set conține modificarea unghiului unei tensiuni de fază între -30° și +30° față de valoarea teoretică. Deci în total s-a generat 42 de seturi de date dintre care 21 sunt pentru amplitudini și

conțin câte 30 de goluri generate pe set, iar 21 seturi sunt pentru unghiuri, fiecare conținând câte 60 de goluri generate. Cu ajutorul acestor 1890 de goluri de tensiune generate s-a putut determina calitatea fiecărei metode de determinare a golurilor de tensiune.

Într-o primă etapă s-a analizat variația amplitudinii golurilor de tensiune între valori de -15% și +15% din valoarea teoretică. Rezultatele aplicării metodei Leborgne se pot observa în Fig.4.9, iar rezultatele obținute cu metoda Bollen se pot observa în Fig.4.10.

		Metoda clasificare Clustering																														
		-16 -15	-15 -14	-14 -13	-13 -12	-12 -11	-11 -10	-10 -9	-9 -8	-8 -7	-7 -6	-6 -5	-5 -4	-4 -3	-3 -2	-2 -1	-1 0	0 1	1 2	2 3	3 4	4 5	5 6	6 7	7 8	8 9	9 10	10 11	11 12	12 13	13 14	14 15
A	R	A sau E																														
	S	A sau E																														
	T	A sau E																														
B	R	B																														
	S	D				B																										
	T	D				B																										
C	R	C																														
	S	G				C										G																
	T	G				C										G																
D	R	D																F														
	S	F				D												D														
	T	F				D												D														
E	R	A sau E																														
	S	A sau E																														
	T	A sau E																														
F	R	D	F																			A/E										
	S	A sau E				F																										
	T	A sau E				F																										
G	R	G																														
	S	A sau E				G										G			A sau E													
	T	A sau E				G										G			A sau E													

Fig. 4.9 – Rezultatele obținute pentru variația amplitudinii tensiunii utilizând tehnica de Clustering și metoda Leborgne.

		Metoda clasificare Clustering																														
		-16 -15	-15 -14	-14 -13	-13 -12	-12 -11	-11 -10	-10 -9	-9 -8	-8 -7	-7 -6	-6 -5	-5 -4	-4 -3	-3 -2	-2 -1	-1 0	0 1	1 2	2 3	3 4	4 5	5 6	6 7	7 8	8 9	9 10	10 11	11 12	12 13	13 14	14 15
A	R	A																														
	S	A																														
	T	A																														
B	R	B																														
	S	D				B																										
	T	D				B																										
C	R	G				E sau C																										
	S	E sau C																														
	T	E sau C																														
D	R	D																														
	S	F		D										B																		
	T	F		D										B																		
E	R	G				E sau C																										
	S	E sau C																														
	T	E sau C																														
F	R	F																														
	S	G		F										D																		
	T	G		F										D																		
G	R	A				G										E sau C																
	S	G																														
	T	G																														

Fig. 4.10 – Rezultatele obținute pentru variația amplitudinii tensiunii utilizând tehnica de Clustering și metoda Bollen.

Analizând graficele din Fig.4.9 și Fig.4.10 se pot trage următoarele concluzii:

- pentru *tipul A*, atât metoda Leborgne, cât și metoda Bollen oferă rezultate corecte;
- pentru *tipul B*, atât metoda Leborgne, cât și metoda Bollen oferă rezultate incorecte dacă pe faza S sau T există o variație cuprinsă între [-8%,-15%]; acest lucru nu se mai poate corecta deoarece la o asemenea variație tipul golului de tensiune se transformă din B în D;
- pentru *tipul C*, în cazul variației amplitudinii tensiunii de pe faza R metoda Leborgne oferă rezultate corecte, iar metoda Bollen oferă rezultate incorecte dacă variația este cuprinsă între [-6%,-15%]. În cazul variației amplitudinii tensiunilor de pe fazele S sau T metoda Bollen oferă rezultate corecte iar Leborgne oferă rezultate incorecte pentru variații în intervalele [-4%,-15%], respectiv [10%,15%];
- pentru *tipul D*, metoda Leborgne oferă rezultate incorecte în cazul variației amplitudinii tensiunilor de pe fazele S sau T dacă variația este cuprinsă între [-4%,-15%], iar pe faza R în intervalul [13%,15%]; metoda Bollen oferă rezultate corecte în cazul variației amplitudinii tensiunii de pe faza R, iar dacă variațiile sunt pe faza S sau T metoda returnează rezultate incorecte dacă variație este cuprinsă între [-12%,-15%], respectiv [9%,15%];
- pentru *tipul E*, în cazul variației amplitudinii tensiunii de pe faza R metoda Leborgne oferă rezultate corecte, iar metoda Bollen oferă rezultate incorecte dacă variația este cuprinsă între [-9%,-15%]. În cazul variației amplitudinii tensiunilor de pe fazele S sau T metoda Leborgne oferă rezultate incorecte dacă variația este cuprinsă între [13%,15%], iar metoda Bollen oferă rezultate corecte;
- pentru *tipul F*, în cazul variației amplitudinii tensiunii de pe faza R metoda Leborgne oferă rezultate incorecte dacă variația este cuprinsă între [14%,15%], pe faza S pe intervalul [-10%,-15%], iar pe faza T pe intervalul [-9%,-15%]. În cazul variației amplitudinii tensiunii de pe faza R metoda Bollen oferă rezultate corecte, iar pe fazele S și T oferă rezultat incorect dacă variația este cuprinsă între [-13%,-15%], respectiv [14%,15%];
- pentru *tipul G*, în cazul variației amplitudinii tensiunii de pe faza R metoda Leborgne oferă rezultate corecte, și totodată returnează rezultate incorecte dacă amplitudinea tensiunii de pe faza S variază în intervalul [-9%,-15%], iar de pe faza T în intervalul [-8%,-15%]. În cazul variației amplitudinii tensiunii de pe faza R metoda Bollen oferă rezultate incorecte pe intervalele [-11%,-15%], respectiv [8%,15%], iar pe fazele S și T oferă rezultat incorect dacă variația este cuprinsă între [-14%,-15%].

În a doua etapă s-a analizat variația unghiului uneia dintre tensiunile de fază între valori de  $-30^\circ$  și  $+30^\circ$  față de valoarea teoretică. Rezultatele aplicării metodei Leborgne se pot observa în Fig.4.11, iar rezultatele obținute cu metoda Bollen se pot observa în Fig.4.12. Analizând cele două grafice se poate spune că metoda Bollen returnează tot timpul rezultate corecte. Acest lucru se datorează faptului că pentru metoda Bollen se utilizează doar valorile tensiunilor de fază care nu sunt influențate de modificări ale unghiurilor tensiunilor de fază. În schimb metoda Leborgne este foarte sensibilă la această categorie de modificări. Practic această metodă returnează rezultate greșite pentru o plajă mare de valori ale unghiurilor tensiunilor de fază. Acest lucru este din cauza că tensiunea minimă de linie se modifică la orice

## 100 Clasificarea golurilor de tensiune utilizând tehnica Fuzzy-Clustering - 4

modificare a unghiului unei tensiuni de fază care o determină. Dacă se modifică unghiul unei tensiuni de fază care nu compune tensiunea minimă de linie se poate forma o nouă tensiune minimă de linie, alta decât cea corectă.

		Metoda de clasificare Clustering																																																													
		-31	-30	-29	-28	-27	-26	-25	-24	-23	-22	-21	-20	-19	-18	-17	-16	-15	-14	-13	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A	R	G														A sau E														G																																	
	S	G														A sau E														G																																	
	T	G														A sau E														G																																	
B	R	F				D										B										D				F																																	
	S	F				D										B										D				F																																	
	T	B														D														F																																	
C	R	A sau E														C																																															
	S	A sau E														C																																															
	T	C														A sau E																																															
D	R	A sau E						F						D						F						A sau E																																					
	S	A sau E						F						D						F						A sau E																																					
	T	D														F														A sau E																																	
E	R	F														A sau E														G																																	
	S	F														A sau E														G																																	
	T	G														A sau E														F																																	
F	R	G		A sau E										F										A sau E				G																																			
	S	G		A sau E										F										A sau E				G																																			
	T	F														A sau E														G																																	
G	R	A sau E														G														C																																	
	S	A sau E														G														C																																	
	T	C														G														A sau E																																	

Fig. 4.11 – Rezultatele obținute pentru variația unghiului uneia dintre tensiunile de fază utilizând tehnica de Clustering și metoda Leborgne.

		Metoda de clasificare Clustering																																																													
		-31	-30	-29	-28	-27	-26	-25	-24	-23	-22	-21	-20	-19	-18	-17	-16	-15	-14	-13	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A	R	A																																																													
	S	A																																																													
	T	A																																																													
B	R	B																																																													
	S	B																																																													
	T	B																																																													
C	R	C sau E																																																													
	S	C sau E																																																													
	T	C sau E																																																													
D	R	D																																																													
	S	D																																																													
	T	D																																																													
E	R	E sau C																																																													
	S	E sau C																																																													
	T	E sau C																																																													
F	R	F																																																													
	S	F																																																													
	T	F																																																													
G	R	G																																																													
	S	G																																																													
	T	G																																																													

Fig. 4.12 – Rezultatele obținute pentru variația unghiului uneia dintre tensiunile de fază utilizând tehnica de Clustering și metoda Bollen.

Detaliind rezultatele obținute cu metoda Leborgne, care sunt prezentate în Fig.4.11 se pot trage următoarele concluzii:

- pentru *tipul A*, metoda Leborgne returnează tipul G în situația unei variații a unghiului tensiunii de fază cuprinsă în intervalele [-14,-30] și [15,30]. Totodată metoda nu distinge între tipul A și E;
- pentru *tipul B*, metoda Leborgne returnează rezultate incorecte în situația unei variații a unghiul pe una dintre tensiunile de pe fazele R sau S cuprinsă în intervalul [-11,-30]. Totodată returnează rezultate



- incorecte în situația unei variații a unghiului pe una dintre tensiunile de pe fazele R sau T cuprinsă în intervalul [11,30];
- pentru *tipul C*, metoda Leborgne returnează rezultat incorect în cazul unei variații a unghiului tensiunii de pe faza S cuprinsă în intervalul [-6,-30] sau a variației unghiului tensiunii de pe faza T cuprinsă în intervalul [6,30];
  - pentru *tipul D*, metoda Leborgne returnează rezultat incorect în situația unei variații a unghiului pe una dintre tensiunile de pe fazele R sau S cuprinsă în intervalul [-5,-30] sau a unghiului pe una dintre tensiunile de pe fazele R sau T cuprinsă în intervalul [5,30];
  - pentru *tipul E*, metoda Leborgne returnează rezultat incorect în situația unei variații a unghiului uneia dintre tensiunile de pe fazele S sau T cuprinsă în intervalul [-15,-30] sau în intervalul [14,30]. Se face mențiunea că metoda nu distinge între tipul A sau E;
  - pentru *tipul F*, metoda Leborgne returnează rezultate incorecte în situația unei variații a unghiului uneia dintre tensiunile de pe fazele R sau S cuprinsă în intervalul [-9,-30] sau a unghiului uneia dintre tensiunile de pe fazele R sau T pentru intervalul [9,30];
  - pentru *tipul G*, metoda Leborgne returnează rezultate incorecte în situația unei variații a unghiului tensiunii pe faza S cuprinsă într-unul dintre intervalele [-10,-30], respectiv [8,30], iar a unghiului tensiunii pe faza T pentru intervalele [-7,-30], respectiv [10,30].

Așa cum se observă din analiza prezentată, propunerea unei noi metode de determinare a tipului golului de tensiune trebuie să rezolve aceste neajunsuri. Cu alte cuvinte, dacă se determină o modificare a unghiului uneia dintre tensiunile de fază față de valoarea teoretică trebuie considerate corecte rezultatele furnizate de metoda Bollen. În cazul în care se identifică variații ale amplitudinilor tensiunilor de fază, va trebui ca în funcție de faza pe care se determină variația și în funcție de valoarea variației, să se selecteze care metodă furnizează rezultatul corect.

Așa cum s-a arătat în exemplificarea anterioară, tehnica de clustering nu îmbunătățește suficient calitatea celor două metode. În plus, trebuie găsită o soluție corectă care să trateze erorile sistematice ale celor două metode și totodată să crească imunitatea metodelor la modificări accentuate ale saltului unghiurilor și a amplitudinilor tensiunilor de fază. Pentru rezolvarea acestei probleme se propune completarea tehnicii de Clustering cu o procedură de tip logică Fuzzy.

### 4.3. Noțiuni teoretice privind logica Fuzzy

Ținând cont că raționamentul uman nu funcționează pe principiul binar, în 1965, Lotfi A. Zadeh introduce logica fuzzy (vagă) [Zadeh1965].

Ca și definiție se poate spune că mulțimile fuzzy, reprezintă multitudinea perechi formate din obiect și valoarea care indică gradul de apartenență a obiectului la o colecție de obiecte. Funcția care este atașată acestei mulțimi și care determină gradul de apartenență poate avea valori doar în intervalul [0,1] [Mirea2002]. Dacă  $\varphi_A: X \rightarrow [0,1]$ , atunci mulțimea **A** este definită ca fiind  $\mathbf{A} = \{(x, \varphi_A(x)) | x \in X\}$ , unde:  
 $X$  – colecția de obiecte se numește univers de discuție sau univers de discurs  
 $\varphi_A(x)$  – funcția atașată [Chindriș2004].

O altă problemă legată de logica Fuzzy este aceea de *definire a numerelor*. Un număr fuzzy este un număr real definit pe un interval de încredere, dar a cărui funcție caracteristică poate lua orice valoare între 0 și 1 [Chindriș2004]. Numărul

fuzzy **A** este triunghiular (Fig.4.13.a), cu centrul în  $a$  și lățimea stângă  $\alpha > 0$ , lățimea dreapta  $\beta > 0$ , dacă are funcția de apartenență dată de relația (4.31).

$$\varphi_A(x) = \begin{cases} \frac{x - a + \alpha}{\alpha}, & a - \alpha < x \leq a \\ \frac{a + \beta - x}{\beta}, & a < x \leq a + \beta \\ 0, & \text{altfel} \end{cases} \quad (4.31)$$

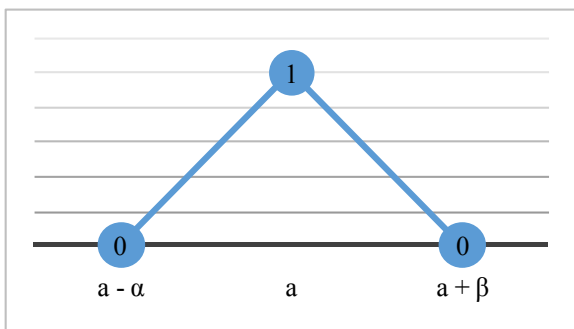
Numărul fuzzy **A** este trapezoidal (Fig.4.13.b), cu interval de toleranță  $[a, b]$  și lățimea stângă  $\alpha > 0$ , lățimea dreapta  $\beta > 0$ , dacă are funcția de apartenență definită de relația (4.32).

$$\varphi_A(x) = \begin{cases} 1 - \frac{a - x}{\alpha}, & a - \alpha < x \leq a \\ 1, & a < x \leq b \\ 1 - \frac{x - b}{\beta}, & b < x \leq b + \beta \\ 0, & \text{altfel} \end{cases} \quad (4.32)$$

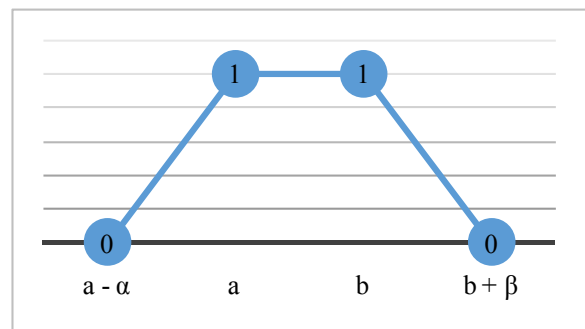
Semnificația acestor numere este „numărul este aproximativ între  $a$  și  $b$ ”.

Numărul fuzzy **A** este gaussian (Fig.4.13.c) cu centrul în  $c$  și lărgimea funcției  $\sigma$ , dacă are funcția de apartenență definită de relația (4.33).

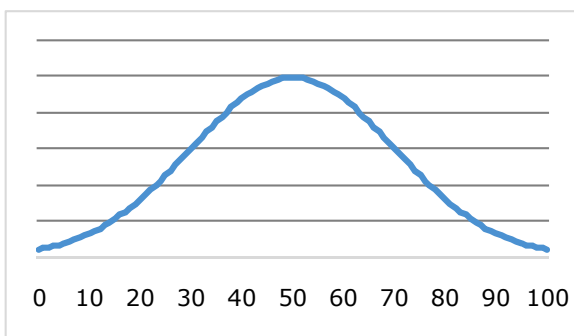
$$\varphi_A(x) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2} \quad (4.33)$$



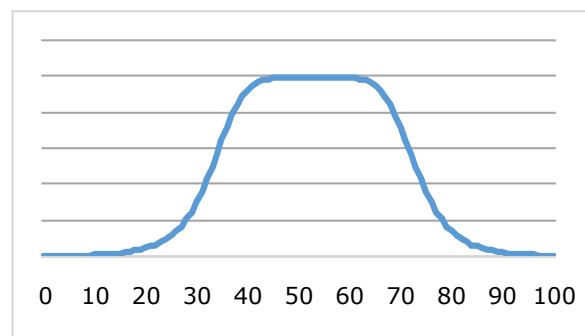
a) număr Fuzzy triunghiular



b) număr Fuzzy trapezoidal



c) număr Fuzzy gaussian



d) număr Fuzzy clopot generalizat

Fig. 4.13 – Definirea numerelor Fuzzy.

Numărul fuzzy **A** este clopot generalizat (Fig.4.13.d) dacă are funcție de apartenență Cauchy definită de relația (4.34).

$$\varphi_A(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2 \cdot b}} \quad (4.34)$$

Funcția este centrată pe dreapta de ecuație  $x=c$ .

Alegerea funcției de apartenență, respectiv a intervalelor fuzzy este subiectivă, fiecare persoană alegând aceste funcții în concordanță cu modul propriu de a exprima conceptele abstracte. În cadrul fiecărei mulțimi se creează intervale fuzzy necesare pentru fiecare tip al mulțimii. Un interval fuzzy este o mulțime fuzzy cu aceleași restricții ca pentru numere fuzzy, cu excepția faptului că nucleul nu mai este restricționat la un singur punct.

În lucrarea de față se folosesc două tipuri de numere fuzzy: numere trapezoidale, acestea acoperă o plajă mai mare de valori și se potrivește în jurul curbelor caracteristice folosite și numere triunghiulare care oferă o plajă de acoperire mai mică fiind folosite pentru zona de intersecție dintre două funcții caracteristice.

După definirea numerelor Fuzzy trebuie stabilite trebuie aleși *operatorii Fuzzy* care vor fi folosiți în realizarea regulilor Fuzzy. Operatorii Fuzzy care pot fi folosiți sunt:

- *ȘI* – reprezintă intersecția mulțimilor fuzzy. Ambele mulțimi participante la operație trebuie să fie definite pe aceeași orizont de discurs  $X$ . Definirea operatorului *ȘI* se face cu relația (4.35);

$$\mu(x) = (\mu_1 \cap \mu_2)(x) = \min(\mu_1, \mu_2), \quad \forall x \in X \quad (4.35)$$

- *SAU* – reprezintă reuniunea mulțimilor fuzzy. Definirea operatorului *SAU* se face cu relația (4.36);

$$\mu(x) = (\mu_1 \cup \mu_2)(x) = \max(\mu_1, \mu_2), \quad \forall x \in X \quad (4.36)$$

- *NOT* – reprezintă negarea funcției. Definirea operatorului *NOT* se face cu relația (4.37);

$$\mu^c(x) = 1 - \mu(x), \quad \forall x \in X \quad (4.37)$$

- *PROD* – reprezintă produsul mulțimilor Fuzzy. Definirea operatorului *PROD* se face cu relația (4.38);

$$\mu(x) = PROD(\mu_1(x), \mu_2(x)) = \mu_1(x) * \mu_2(x), \quad \forall x \in X \quad (4.38)$$

- *SUM* – creează valoarea medie a mulțimilor Fuzzy. Definirea operatorului *SUM* se face cu relația (4.39);

$$\mu(x) = SUM(\mu_1(x), \dots, \mu_n(x)) = \frac{\mu_1(x) + \dots + \mu_n(x)}{n}, \quad \forall x \in X \quad (4.39)$$

- *MIN-MAX* – asigură formarea rezultatului evaluării unor conexiuni prin contribuția ponderată a operatorilor. Definirea operatorului *MIN-MAX* se face cu relația (4.40);

$$\mu(x) = \gamma \cdot MIN(\mu_1(x), \mu_2(x)) + (1 - \gamma) \cdot MAX(\mu_1(x), \mu_2(x)), \quad \forall x \in X, \gamma \in [0,1] \quad (4.40)$$

Un alt termen folosit de logica Fuzzy este reprezentat de *relațiile Fuzzy*. O relație fuzzy este o mulțime de tuple, tupla fiind un ansamblu de elemente ordonate  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ . Funcția de apartenență ia valori tot în intervalul  $[0,1]$ . O relație Fuzzy este definită de ecuația (4.41).

$$R = \int_{x \times y} \frac{\mu_x(x, y)}{(x, y)} \quad (4.41)$$

Pentru implementarea logicii Fuzzy mai trebuie cunoscută *structura unui sistem Fuzzy*. Structura de bază a unui sistem fuzzy constă în următoarele trei

blocuri definite în [Mamdani1977]: fuzzyficare; interferențe; defuzzyficare. Acestea sunt prezentate în Fig.4.14.

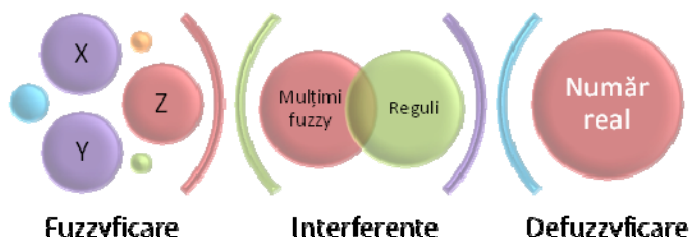


Fig. 4.14 – Structura unui sistem Fuzzy.

Aceste 3 blocuri conțin 3 componente [Frank1999] [Mendel2005]:

- baza de reguli ce conține o colecție de reguli fuzzy "dacă – atunci";
- baza de date (dicționar) în care sunt definite funcțiile de apartenență ale părților de premisă și de concluzie corespunzătoare regulilor fuzzy din baza de reguli;
- mecanismul de inferențe care este procedura prin care se aplică raționamente fuzzy regulilor din baza de reguli activate de faptele ce constituie intrările sistemului fuzzy în scopul deducerii unor concluzii (ieșirile sistemului fuzzy).

În cadrul blocului de fuzzyficare se introduc mărimile de intrare (valori reale), iar acestora li se atribuie o funcție caracteristică, care descrie cel mai bine comportarea reală a mărimii. Acest proces returnează un vector de variabile fuzzy.

Variabilelor fuzzy li se aplica o serie de reguli fuzzy în cadrul blocului de interferență.

Ieșirile furnizate de un sistem fuzzy sunt, de cele mai multe ori, mulțimi fuzzy. Uneori este necesar ca sistemul fuzzy să producă ieșiri exacte, în acest caz fiind necesară o metodă de defuzzyficare pentru a extrage valoarea exactă ce reprezintă cel mai bine mulțimea fuzzy obținută ca ieșire a sistemului fuzzy. Astfel blocul de defuzzyficare se referă la modul în care se asociază unei mulțimi fuzzy o mărime exactă, reprezentativă pentru acea mulțime fuzzy. Există șase modalități, des aplicate în practică, de defuzzyficare a unei mulțimi fuzzy și anume: metoda centrului de greutate; metoda centrului sumelor; metoda de înălțime; metoda primului dintre maxime; metoda ultimului dintre maxime; metoda maximului din mijloc.

*Metoda centrului de greutate* determină abscisa centrului de greutate al suprafeței aflată sub funcția de apartenență combinată. Aplicarea acestei metode se realizează cu ajutorul relației (4.42).

$$u^* = \frac{\int u \cdot \max_k [\mu_{Bu}^k(u)] \cdot du}{\int \max_k [\mu_{Bu}^k(u)] \cdot du} \quad (4.42)$$

*Metoda centrului sumelor* este o metodă asemănătoare cu metoda centrului de greutate. Ea este o metodă mai ușoară pentru că se evită realizarea reuniunii dintre mulțimile fuzzy. Aplicarea acestei metode se realizează cu relației (4.43).

$$u^* = \frac{\int u_i \cdot \sum_{k=1}^n [\mu_{Bu}^k(u_i)] \cdot du}{\int \sum_{k=1}^n [\mu_{Bu}^k(u_i)] \cdot du} \quad (4.43)$$

*Metoda de înălțime* se poate folosi doar pentru ieșiri simetrice. Formula matematică care o definește este prezentată în relația (4.44).

$$u^* = \frac{\sum_{k=1}^n u_k \cdot \mu(u_k)}{\sum_{k=1}^n \mu(u_k)} \quad (4.44)$$

în care  $u_k$  este abscisa vârfului mulțimii  $k$  (pentru mulțimi triunghiulare este abscisa vârfului, iar pentru mulțimi trapezoidale este mijlocul bazei mici).

*Metoda primului dintre maxime* returnează cea mai mică valoare din domeniu cu gradul de apartenență cel mai mare. Formulele matematice care o definesc sunt prezentate în (4.45).

$$u_{IN} = \inf \left\{ \frac{u}{\mu(u)} = \alpha_M \right\} \quad \alpha_M = \sup[\mu(u)] \quad (4.45)$$

*Metoda ultimului dintre maxime* returnează cea mai mare valoare din domeniu cu gradul de apartenență cel mai mare. Formula matematică care o definește este prezentată în (4.46).

$$u_{SF} = \sup \left\{ \frac{u}{\mu(u)} \right\} \quad (4.46)$$

*Metoda maximului din mijloc* returnează media celei mai mici și celei mai mari abscise pentru care funcția de apartenență a domeniului are gradul de apartenență maxim. Relația matematică care o definește este prezentată în (4.47).

$$u_{MIJ} = \frac{u_{IN} + u_{SF}}{2} \quad (4.47)$$

## 4.4. Clasificarea golurilor utilizând logica Fuzzy

Structura sistemului fuzzy folosit pentru clasificarea golurilor de tensiune este prezentată în Fig.4.15. În continuarea acestui capitol se vor analiza pas cu pas toate etapele necesare implementării logicii fuzzy.

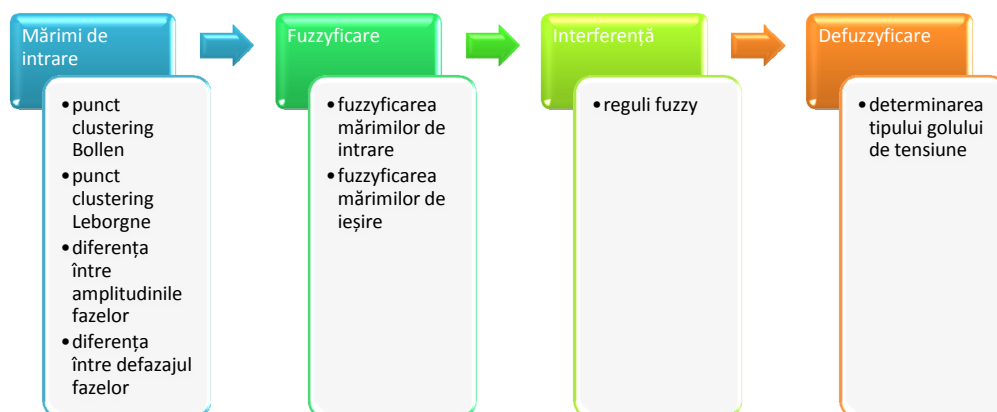


Fig. 4.15 – Structura sistemului Fuzzy pentru clasificarea golurilor de tensiune.

### 4.4.1. Definirea mărimilor de intrare

Pentru rezolvarea corectă a problemei s-a ales utilizarea a două grupe de mărimi de intrare la care se adaugă încă două mărimi suplimentare. Grupele de mărimi de intrare sunt reprezentate de coordonatele  $Y$  ale punctului de clustering,

determinat pentru cele două metode folosite anterior la clasificarea golurilor de tensiune, adică:  $U_{L-min-cluster}$  și  $U_{F-max-cluster}$ .

Prima mărime de intrare suplimentară trebuie să caracterizeze modificarea amplitudinii uneia dintre tensiunile de fază față de valoarea teoretică. Pentru caracterizarea acestei variații se definește un parametru, numit *variația amplitudinilor tensiunilor de fază*, calculat cu expresia (4.48) în cazul golurilor monofazate și cu expresia 4.49 în cazul golurilor bifazate.

$$\Delta V = |V_{F-max} - V_{F-med}| \quad (4.48)$$

$$\Delta V = |V_{F-med} - V_{F-min}| \quad (4.49)$$

unde:

$V_{F-min}$  reprezintă tensiunea fazei cu valoarea cea mai mică a tensiunii;

$V_{F-max}$  reprezintă tensiunea fazei cu valoarea cea mai mare a tensiunii;

$V_{F-med}$  reprezintă tensiunea fazei cu valoare medie a tensiunii;

S-a ales acest mod de definire a coeficientului de variație a amplitudinii tensiunilor de fază deoarece:

- dacă este un gol monofazat atunci pentru orice tip de gol de tensiune (B, D, F), în cazul teoretic, tensiunea maximă de fază trebuie să fie egală cu tensiunea medie de fază. O diferență între aceste tensiuni semnifică de fapt o variație în amplitudine;
- dacă este un gol monofazat atunci o variație a tensiunii minime de fază nu influențează corectitudinea metodei. În situația în care tipul golului de tensiune nu mai corespunde cu cel estimat inițial, acest lucru se datorează faptului că golul de tensiune s-a transformat dintr-un tip în altul;
- dacă este un gol bifazat atunci pentru orice tip de gol de tensiune (C, E, G), în cazul teoretic, tensiunea minimă de fază trebuie să fie egală cu tensiunea medie de fază. O diferență între aceste tensiuni semnifică de fapt o variație în amplitudine;
- dacă este un gol bifazat atunci o variație a tensiunii maxime de fază nu influențează corectitudinea metodei care utilizează tensiunea minimă de linie deoarece aceasta va fi dată tot timpul de cele două faze afectate.

În mod asemănător a doua mărime de intrare suplimentară va caracteriza modificarea unghiului unei tensiuni de fază față de valoarea teoretică. Pentru caracterizarea acestei variații se definește un parametru, numit *variația defazajului tensiunilor de fază*, având expresia (4.50) pentru un gol monofazat și relația (4.51) pentru un gol bifazat.

$$\Delta\varphi = \left| a \cos\left(\frac{V_{F-max}^2 + V_{F-min}^2 - V_{L-min-max}^2}{2 \cdot V_{F-max} \cdot V_{F-min}}\right) - a \cos\left(\frac{V_{F-med}^2 + V_{F-min}^2 - V_{L-min-med}^2}{2 \cdot V_{F-med} \cdot V_{F-min}}\right) \right| \quad (4.50)$$

$$\Delta\varphi = \left| a \cos\left(\frac{V_{F-max}^2 + V_{F-min}^2 - V_{L-min-max}^2}{2 \cdot V_{F-max} \cdot V_{F-min}}\right) - a \cos\left(\frac{V_{F-max}^2 + V_{F-med}^2 - V_{L-med-max}^2}{2 \cdot V_{F-max} \cdot V_{F-med}}\right) \right| \quad (4.51)$$

unde:

$V_{L-min-med}$  reprezintă tensiunea de linie aferentă fazelor care au valori ale tensiunilor mică și medie;

$V_{L-med-max}$  reprezintă tensiunea de linie aferentă fazelor care au valori ale tensiunilor medie și mare;

$V_{L-min-max}$  reprezintă tensiunea de linie aferentă fazelor care au valori ale tensiunilor mică și mare.

S-a ales acest mod de definire a coeficientului de variație a defazajului tensiunilor de fază deoarece:

- dacă este un gol monofazat atunci pentru orice tip de gol de tensiune (B, D, F), în cazul teoretic, unghiul dintre tensiunile de fază de amplitudine minimă și maximă trebuie să fie egal cu unghiul dintre tensiunile de fază de amplitudine minimă și medie. O diferență între acestea înseamnă că unul dintre cei trei fazori ale tensiunilor de fază sunt defazați față de pozițiile teoretice;
- pentru goluri bifazate, în cazul teoretic pentru orice tip de gol (C, E, G), unghiul dintre tensiunile de fază de amplitudine minimă și maximă trebuie să fie egal cu unghiul dintre tensiunile de fază de amplitudine medie și maximă. O diferență între acestea înseamnă că unul dintre cei trei fazori ale tensiunilor de fază este defazat.

Expresiile (4.50) și (4.51) sunt determinate prin aplicarea teoremei generalizate a lui Pitagora în triunghiurile formate de două tensiuni de fază și tensiunea de linie corespunzătoare.

#### 4.4.2. Definirea seturilor fuzzy

Mărimi de intrare vor fi caracterizate cu ajutorul a trei sau cinci seturi fuzzy, în funcție caracteristica mărimii respective. În cazul mărimilor care vor fi caracterizate cu cinci seturi Fuzzy unul va avea funcția atașată trapezoidală, iar restul de patru vor avea funcția atașată o funcție triunghiulară (Fig.4.16). În această categorie se vor încadra o parte din primele două grupe de mărimi de intrare.

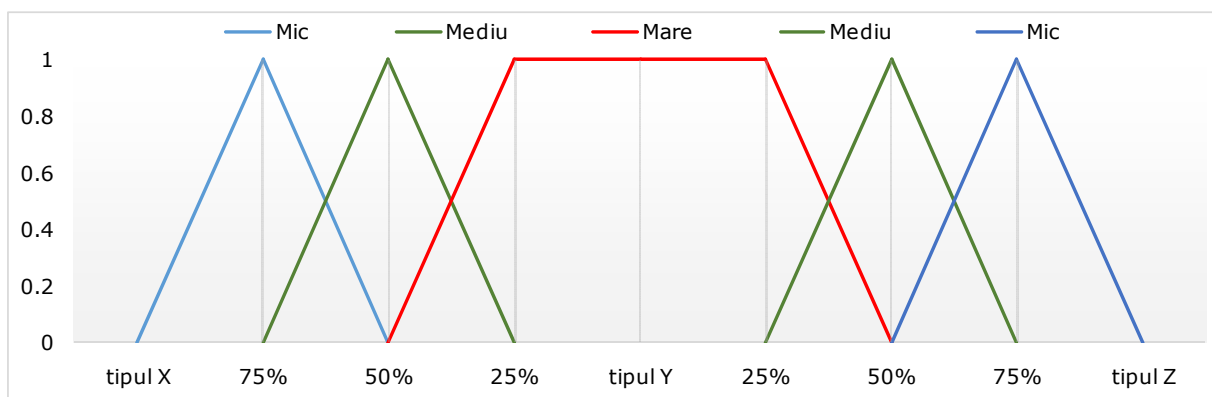


Fig. 4.16 – Seturile Fuzzy aferente unei mărimi de intrare.

În Fig.4.16 se observă că pentru un tip de gol **Y** se va defini mărimea de intrare formată din cele cinci seturi amintite. Practic seturile fuzzy se extind până în drept cu tipurile vecine: tipul **X** în partea dreaptă și tipul **Z** în partea stângă.

O altă parte a mărimilor de intrare împreună cu cele două mărimi de intrare suplimentare sunt caracterizate cu ajutorul a trei seturi fuzzy, unul având funcția atașată trapezoidală, iar celelalte două având funcția atașată o funcție triunghiulară. Practic definirea mărimilor cu trei seturi se face identic ca și în Fig.4.16 cu precizarea că există posibilitatea ca în partea dreaptă să nu mai existe un vecin **X** sau în partea stângă să nu mai existe un vecin **Z**. În această situație, spre partea în care nu mai există vecin se consideră că probabilitatea apartinerii de tipul respectiv este mare și definește lungimea trapezului până la capătul intervalului. Un lucru foarte important care trebuie precizat și care se observă și din Fig.4.16 este acela că *seturile Fuzzy sunt alocate dinamic* ca funcție de o variabilă. Variabila care definește



seturile Fuzzy pentru primele două grupe este coordonata  $X$  returnată de către tehnicile de clustering ( $U_{F-min-cluster}$ )

#### 4.4.2.1. Definirea seturilor Fuzzy pentru prima grupă de mărimi

Prima grupă de mărimi este o grupă care conține cele șapte mărimi de intrare, câte una pentru fiecare dintre cele șapte tipuri de goluri de tensiune caracterizate de tensiunea minimă de linie (aferețe metodei Leborgne). Pentru tipurile A, D, E, F și G se determină cele cinci seturi astfel: unul trapezoidal pentru setul în care probabilitatea de apartenență la tipul respectiv este maximă, două triunghiulare pentru care probabilitatea este medie și două triunghiulare pentru care probabilitatea este mică. Pentru tipurile B și D se definesc cele trei seturi astfel: unul trapezoidal pentru setul în care probabilitatea de apartenență la tipul respectiv este maximă, unul triunghiular pentru care probabilitatea este medie și unul triunghiular pentru care probabilitatea este mică.

Determinarea parametrilor dinamici utilizați pentru definirea seturilor se realizează cu relațiile (4.1)-(4.7), calculându-se valorile funcțiilor caracteristice în coordonata  $X$  a clusterului ( $U_{F-min-cluster}$ ). Valorile astfel obținute se ordonează ascendent conform graficului lui Leborgne (C, G, A sau E, F, D, B), iar apoi se calculează distanțele dintre perechi de câte două puncte vecine cu relația (4.52).

$$d_i = U_i - U_{i-1} \quad (4.52)$$

Următorul pas este reprezentat de obținerea punctelor ce determină funcția atașată. Intervalele triunghiulare cu probabilitate mică la stânga de setul trapezoidal se construiesc folosind expresia (4.53).

$$\varphi_{iL}(x) = \begin{cases} \frac{x - U_{i-1}}{25\% \cdot d_i}, & U_{i-1} < x \leq U_{i-1} + 25\% \cdot d_i \\ \frac{U_{i-1} + 50\% \cdot d_i - x}{25\% \cdot d_i}, & U_{i-1} + 25\% \cdot d_i < x \leq U_{i-1} + 50\% \cdot d_i \\ 0, & \text{altfel} \end{cases} \quad (4.53)$$

Intervalele triunghiulare cu probabilitate medie la stânga de setul trapezoidal se construiesc folosind expresia (4.54).

$$\varphi_{iM}(x) = \begin{cases} \frac{x - U_{i-1} - 25\% \cdot d_i}{25\% \cdot d_i}, & U_{i-1} + 25\% \cdot d_i < x \leq U_{i-1} + 50\% \cdot d_i \\ \frac{U_{i-1} + 75\% \cdot d_i - x}{25\% \cdot d_i}, & U_{i-1} + 50\% \cdot d_i < x \leq U_{i-1} + 75\% \cdot d_i \\ 0, & \text{altfel} \end{cases} \quad (4.54)$$

Intervalele trapezoidale cu probabilitate mare se construiesc folosind expresia (4.55).

$$\varphi_{iH}(x) = \begin{cases} \frac{x - U_{i-1} - 50\% \cdot d_i}{25\% \cdot d_i}, & U_{i-1} + 50\% \cdot d_i < x \leq U_{i-1} + 75\% \cdot d_i \\ 1, & U_{i-1} + 75\% \cdot d_i < x \leq U_i + 25\% \cdot d_{i+1} \\ \frac{U_i + 50\% \cdot d_{i+1} - x}{25\% \cdot d_{i+1}}, & U_i + 25\% \cdot d_{i+1} < x \leq U_i + 50\% \cdot d_{i+1} \\ 0, & \text{altfel} \end{cases} \quad (4.55)$$

Intervalele triunghiulare cu probabilitate medie la dreapta de setul trapezoidal se construiesc folosind expresia (4.56).

$$\varphi_{IM}(x) = \begin{cases} \frac{x - U_i - 25\% \cdot d_{i+1}}{25\% \cdot d_{i+1}}, & U_i + 25\% \cdot d_{i+1} < x \leq U_i + 50\% \cdot d_{i+1} \\ \frac{U_i + 75\% \cdot d_{i+1} - x}{25\% \cdot d_{i+1}}, & U_i + 50\% \cdot d_{i+1} < x \leq U_i + 75\% \cdot d_{i+1} \\ 0, & \text{altfel} \end{cases} \quad (4.56)$$

Intervalele triunghiulare cu probabilitate mică la dreapta de setul trapezoidal se construiesc folosind expresia (4.57).

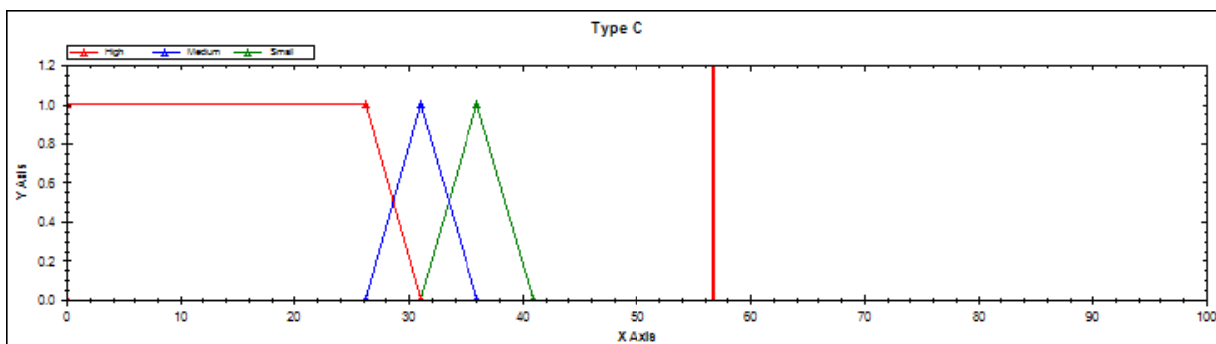
$$\varphi_{iL}(x) = \begin{cases} \frac{x - U_i - 50\% \cdot d_{i+1}}{25\% \cdot d_{i+1}}, & U_i + 50\% \cdot d_{i+1} < x \leq U_i + 75\% \cdot d_{i+1} \\ \frac{U_{i+1} - x}{25\% \cdot d_{i+1}}, & U_i + 50\% \cdot d_{i+1} < x \leq U_{i+1} \\ 0, & \text{altfel} \end{cases} \quad (4.57)$$

Pe baza acestor relații se construiesc seturi fuzzy pentru mărime de intrare corespunzătoare tipurilor G, A sau E, F, D. Mărimea de intrare pentru tipul G se construiește cu relațiile (4.53), (4.54) și (4.58). Mărimea de intrare pentru tipul B se construiește cu relațiile (4.56), (4.57) și (4.59). Toate mărimile de intrare sunt reprezentate în Fig.4.17.

$$\varphi_{iH}(x) = \begin{cases} 1, & 0 < x \leq U_i + 25\% \cdot d_{i+1} \\ \frac{U_i + 50\% \cdot d_{i+1} - x}{25\% \cdot d_{i+1}}, & U_i + 25\% \cdot d_{i+1} < x \leq U_i + 50\% \cdot d_{i+1} \\ 0, & \text{altfel} \end{cases} \quad (4.58)$$

$$\varphi_{iH}(x) = \begin{cases} \frac{x - U_{i-1} - 50\% \cdot d_i}{25\% \cdot d_i}, & U_{i-1} + 50\% \cdot d_i < x \leq U_{i-1} + 75\% \cdot d_i \\ 1, & U_{i-1} + 75\% \cdot d_i < x \leq U_i + 15\% \cdot d_i \\ 0, & \text{altfel} \end{cases} \quad (4.59)$$

Așa cum se poate observa și din graficele prezentate în Fig.4.17, o valoare  $U_{L-min-cluster}$  poate la un moment dat să aparțină doar de două dintre mărimile de intrare aferente acestui grup. Pentru exemplificare, golul luat în considerare în Fig.4.17 poate aparține de mărimea de intrare aferentă tipului A și de mărimea de intrare aferentă tipului F.



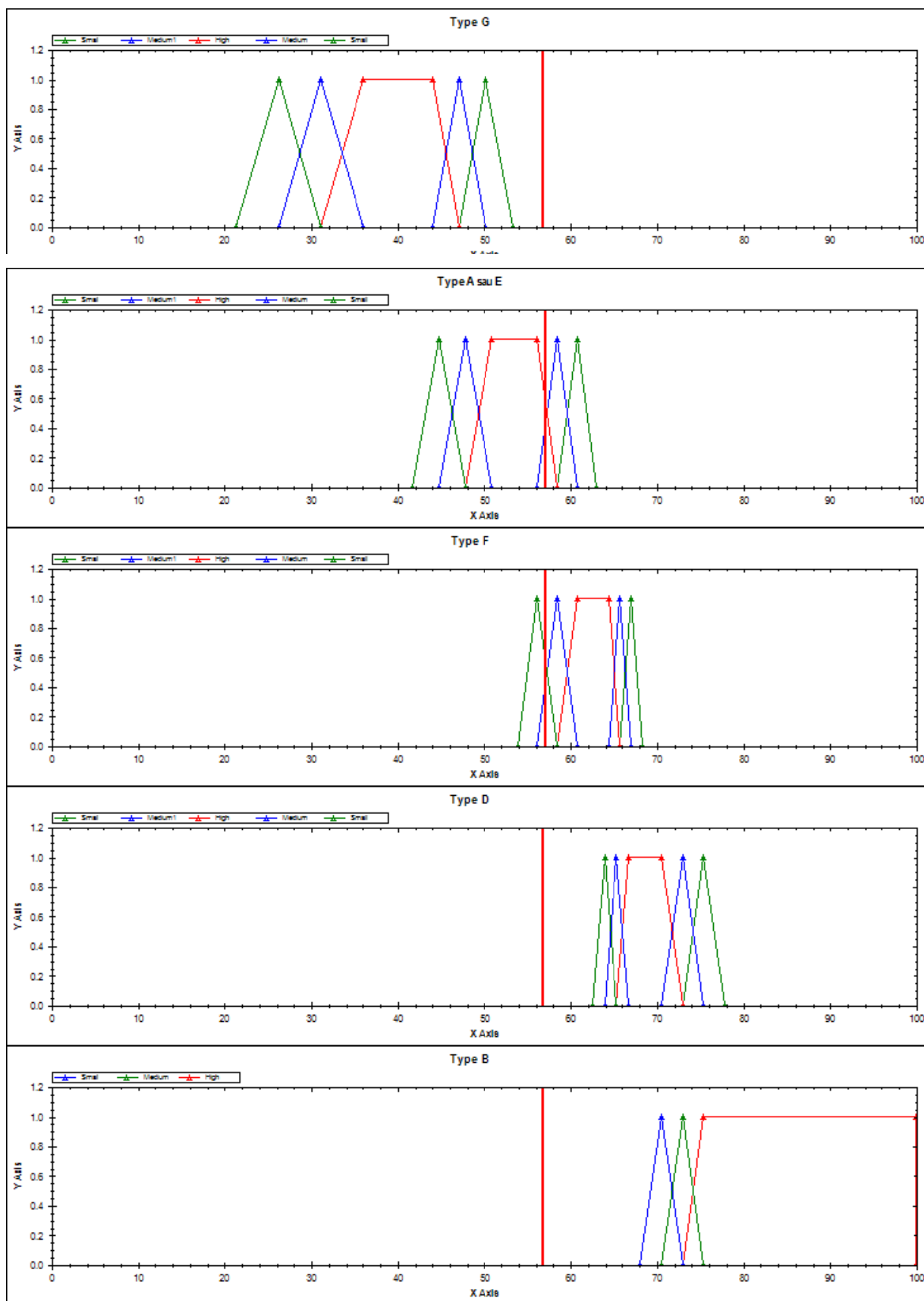


Fig. 4.17 – Seturile Fuzzy aferente primei grupe de mărimi de intrare.

#### 4.4.2.2. Definirea seturilor Fuzzy pentru a doua grupă de mărimi

A doua grupă de mărimi este o grupă care conține cele șapte mărimi de intrare, câte una pentru fiecare tip de gol caracterizate de tensiunea maximă de fază (aferețe metodei Bollen). La definirea seturilor Fuzzy pentru această grupă se ține cont și de împărțirea pe numărul de faze afectate. Astfel pentru goluri de tensiune monofazate se creează seturile pentru tipul A, F, D, și B (Fig.4.18), iar pentru golurile de tensiune bifazate se creează seturile pentru tipul A, G, E și C (Fig.4.19).

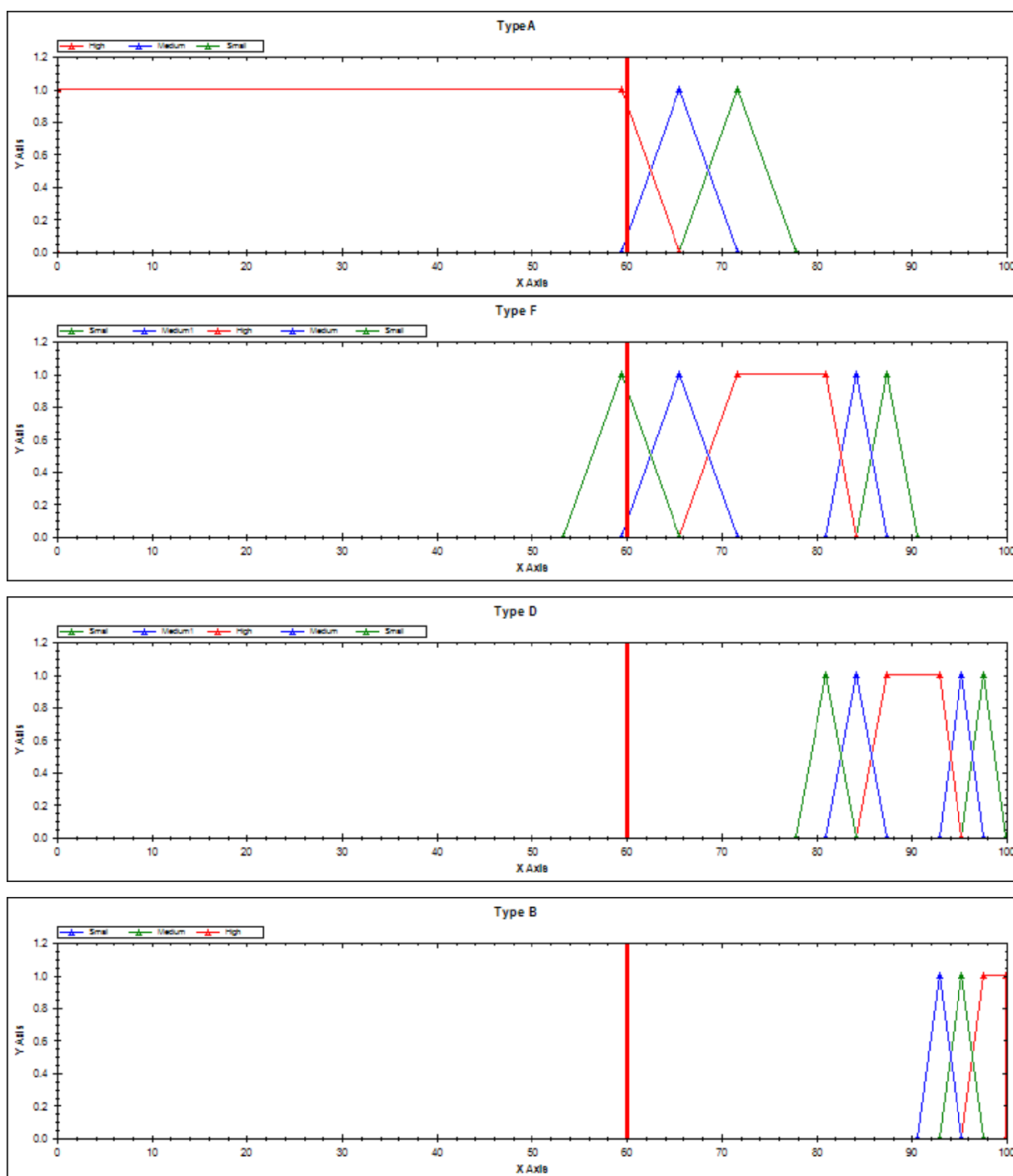


Fig. 4.18 – Seturile Fuzzy aferente celei de-a doua grupe de mărimi de intrare în cazul golurilor monofazate.

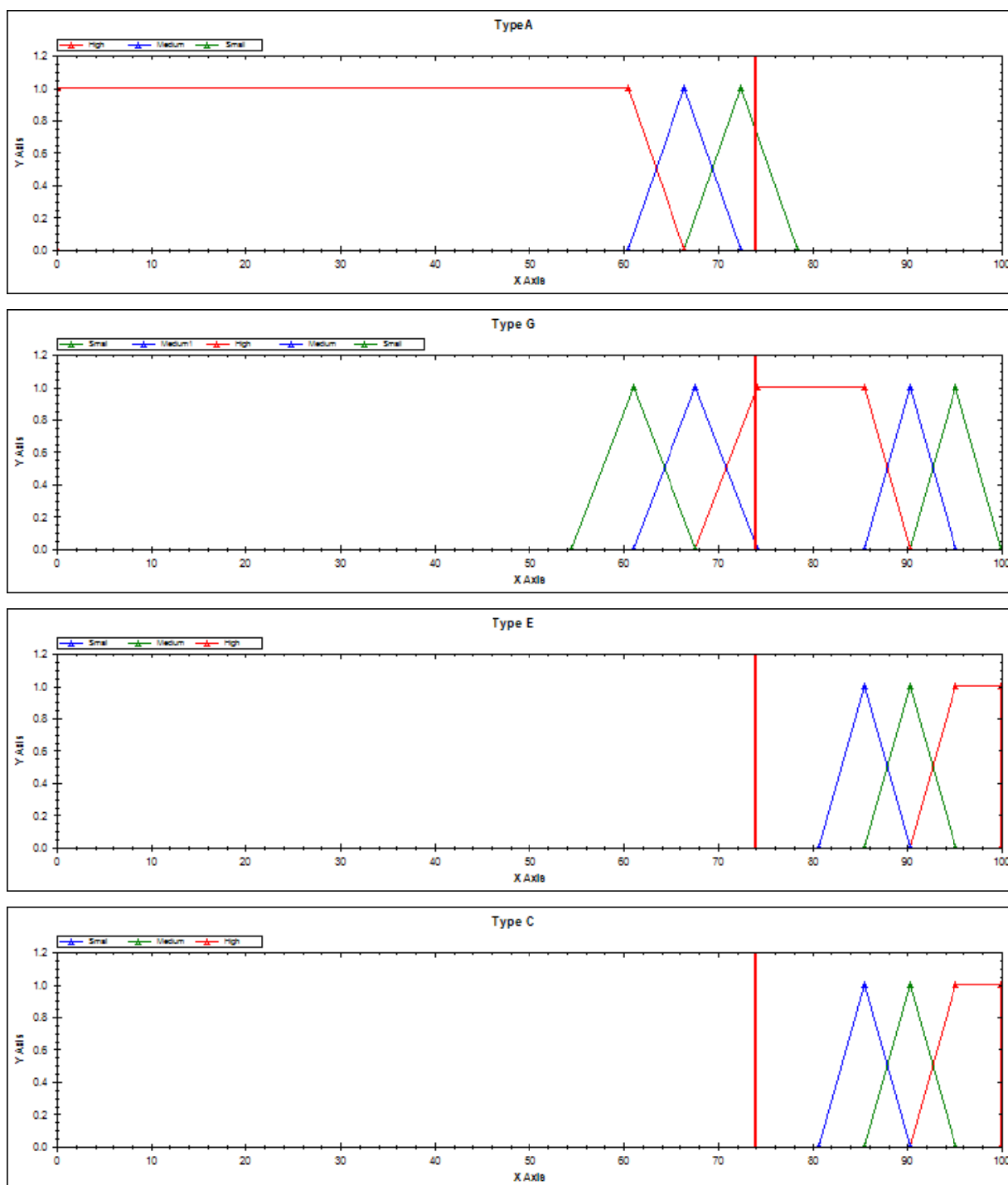


Fig. 4.19 – Seturile Fuzzy aferente celei de-a doua grupe de mărimi de intrare în cazul golurilor bifazate.

În continuare se va detalia modul de definire a seturilor fuzzy pentru fiecare tip de gol. Astfel, pentru tipurile D, F și G se determină cele cinci seturi astfel:

- unul trapezoidal, cu relația (4.55) pentru setul în care probabilitatea de apartenență la tipul respectiv este maximă;
- două triunghiulare pentru probabilitatea medie cu relațiile (4.54) și (4.56);
- 2 triunghiulare pentru probabilitate mică cu relațiile (4.53) și (4.57).

Pentru tipurile B, C și E se definesc cele trei seturi astfel:

- unul trapezoidal cu relația (4.59) pentru setul în care probabilitatea de apartenență la tipul respectiv este maximă;
- unul triunghiular pentru probabilitatea medie cu relația (4.56);
- unul triunghiular pentru probabilitatea minimă cu relația (4.57).

Pentru tipul A se definesc cele trei seturi astfel:

- unul trapezoidal cu relația (4.58) pentru setul în care probabilitatea de apartenență la tipul respectiv este maximă;
- unul triunghiular pentru probabilitatea medie cu relația (4.54);
- unul triunghiular pentru probabilitatea minimă cu relația (4.53).

#### 4.4.2.3. Definirea seturilor Fuzzy pentru variația amplitudinii tensiunilor de fază

Așa cum s-a prezentat anterior, prima mărime de intrare suplimentară este mărimea care determină dacă există modificări ale amplitudinilor tensiunilor pe fazele care ar trebui să fie egale. Definirea mulțimii fuzzy corespunzătoare se realizează ca și în cazul anterior tot prin alocare dinamică. Pentru a se realiza alocarea dinamică se va folosi ca parametru de calcul tensiunea medie de fază ( $V_{F-med}$ ). Această alegere a fost făcută pentru că indiferent de tipul golului tensiunea medie de fază va fi una dintre cele două tensiuni care trebuie să fie egale.

Pentru caracterizarea acestei mărimi de intrare s-a ales utilizarea a trei seturi fuzzy. Primul set fuzzy este de formă trapezoidală, corespunde probabilității maxime și se definește cu relația (4.60).

$$\varphi_{iH}(x) = \begin{cases} 1, & 0 < x \leq 3\% \cdot V_{F-med} \\ \frac{3\% \cdot V_{F-med} - x}{3\% \cdot V_{F-med}}, & 3\% \cdot V_{F-med} < x \leq 6\% \cdot V_{F-med} \\ 0, & \text{altfel} \end{cases} \quad (4.60)$$

Al doilea set fuzzy este de formă triunghiulară, corespunde probabilității medii și se definește cu relația (4.61).

$$\varphi_{iL}(x) = \begin{cases} \frac{x - 3\% \cdot V_{F-med}}{3\% \cdot V_{F-med}}, & 3\% \cdot V_{F-med} < x \leq 6\% \cdot V_{F-med} \\ \frac{9\% \cdot V_{F-med} - x}{3\% \cdot V_{F-med}}, & 6\% \cdot V_{F-med} < x \leq 9\% \cdot V_{F-med} \\ 0, & \text{altfel} \end{cases} \quad (4.61)$$

Al treilea set fuzzy este de formă triunghiulară, corespunde probabilității minime și se definește cu relația (4.62).

$$\varphi_{iM}(x) = \begin{cases} \frac{x - 6\% \cdot V_{F-med}}{3\% \cdot V_{F-med}}, & 6\% \cdot V_{F-med} < x \leq 9\% \cdot V_{F-med} \\ \frac{15\% \cdot V_{F-med} - x}{6\% \cdot V_{F-med}}, & 9\% \cdot V_{F-med} < x \leq 15\% \cdot V_{F-med} \\ 0, & \text{altfel} \end{cases} \quad (4.62)$$

Cu ajutorul seturilor fuzzy definite, în Fig.4.20 se reprezintă grafic prima mărime de intrare suplimentară (variația amplitudinilor tensiunilor de fază).

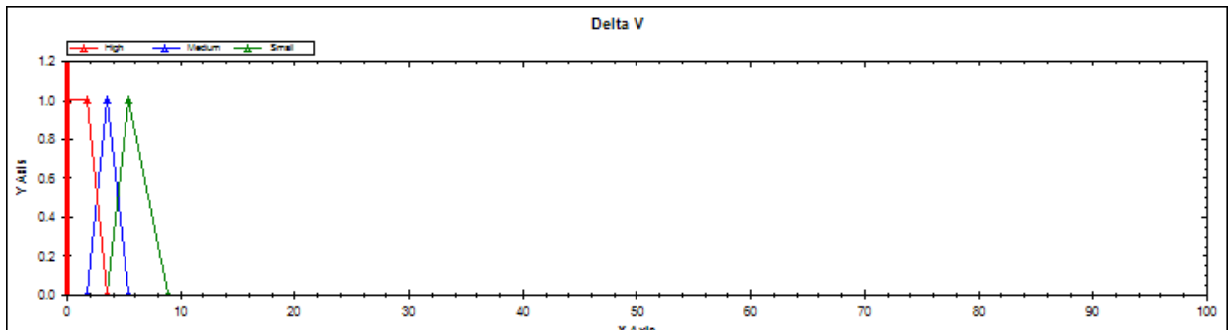


Fig. 4.20 – Seturile Fuzzy aferente variației amplitudinii tensiunilor de fază.

#### 4.4.2.4. Definirea seturilor Fuzzy pentru variația unghiurilor tensiunilor de fază

Așa cum s-a prezentat anterior, a doua mărime de intrare suplimentară este mărimea care determină dacă există modificări ale unghiurilor tensiunilor de fază.

De data aceasta definirea mulțimii fuzzy corespunzătoare se realizează prin alocare directă. Acest lucru semnifică faptul că intervalele pentru fiecare set se definesc numeric și nu depind de nici un parametru. Această alegere a fost făcută ținând cont de concluziile obținute la paragraful 4.2.4.

Pentru caracterizarea acestei mărimi de intrare s-a ales utilizarea a trei seturi fuzzy. Primul set fuzzy este de formă trapezoidală, corespunde probabilității maxime și se definește cu relația (4.63).

$$\varphi_{IH}(x) = \begin{cases} 1, & 0 < x \leq 3 \\ \frac{6-x}{3}, & 3 < x \leq 6 \\ 0, & \text{altfel} \end{cases} \quad (4.63)$$

Al doilea set fuzzy este de formă triunghiulară, corespunde probabilității medii și se definește cu relația (4.64).

$$\varphi_{IL}(x) = \begin{cases} \frac{x-3}{3}, & 3 < x \leq 6 \\ \frac{9-x}{3}, & 6 < x \leq 9 \\ 0, & \text{altfel} \end{cases} \quad (4.64)$$

Al treilea set fuzzy este de formă triunghiulară, corespunde probabilității minime și se definește cu relația (4.65).

$$\varphi_{IM}(x) = \begin{cases} \frac{x-6}{3}, & 6 < x \leq 9 \\ \frac{30-x}{21}, & 9 < x \leq 30 \\ 0, & \text{altfel} \end{cases} \quad (4.65)$$

Cu ajutorul seturilor fuzzy definite, în Fig.4.21 se reprezintă grafic a doua mărime de intrare suplimentară (variația unghiurilor tensiunilor de fază).



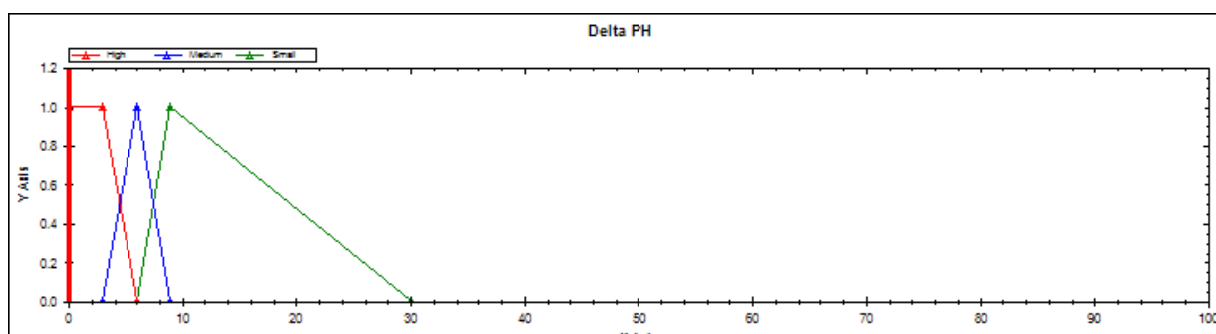


Fig. 4.21 – Seturile Fuzzy aferente variației unghiurilor tensiunilor de fază.

### 4.4.3. Definirea regulilor

În funcție de intervalul în care se află punctul de clustering, pentru fiecare metodă în parte, se aleg două tipuri de goluri de tensiune, cele mai apropiate de punctul respectiv (Fig.4.22), iar regulile Fuzzy se vor aplica doar acestor tipuri.

Foarte important de știut este faptul că algoritmul prezentat în Fig.4.22 elimină erorile sistematice introduse de cele două metode prezentate la începutul capitolului. Practic aceste erori sistematice se elimină prin stabilirea mărimilor de intrare pentru cele două grupuri. Adică dacă primul grup indică tipul A sau E, și al doilea grup indică tipul C sau E atunci cel mai probabil tipul golului are legătură cu tipul E.

În continuare se precizează că primul grup de mărimi de intrare, xLH, xLM și xLS vor conține seturile corespunzătoare tipului inferior punctului, iar yLS, yLM și yLH vor conține seturile corespunzătoare tipului superior punctului de clustering. Notația L este simbolică și provine de la denumirea metodei care utilizează tensiunile minime de linie (Leborgne).

În mod asemănător se procedează și pentru al doilea grup de mărimi de intrare: xBH, xBM și xBS vor conține seturile corespunzătoare tipului inferior punctului, iar yBS, yBM și yBH vor conține seturile corespunzătoare tipului superior punctului de clustering. Notația B este simbolică și provine de la denumirea metodei care utilizează tensiunile maxime de fază (Bollen).

Organizarea setului de reguli respectă următoarele criterii:

- se setează reguli de tip ȘI între elementele primului grup de mărimi;
- se setează reguli de tip ȘI între elementele celui de al doilea grup de mărimi;
- între rezultatele lor și mărimile de intrare suplimentare se stabilesc reguli de tip ȘI;
- între seturi complete de reguli (cele care conțin toate mărimile de intrare) se vor stabili reguli de tip SAU.

Pentru respectarea acestor reguli trebuie știut că anumite combinații între mărimile de intrare corespunzătoare aceluiași grup sunt improbabile. Practic din analiza grafică se poate spune că pentru prima grupă există doar cinci reguli posibile. Acestea sunt: xLH&yLS, xLM&yLS, xLM&yLM, xLS&yLM, xLS&yLH. Același lucru este valabil și pentru al doilea grup. Prin urmare între aceste două grupuri de mărimi de intrare se pot stabili 25 de reguli.

Din celelalte două mărimi de intrare suplimentare se pot realiza 9 combinații care împreună cu cele 25 de reguli posibile între cele două grupe, conduc la un total de 225 reguli posibile. Toate aceste reguli sunt prezentate în ANEXA 2.

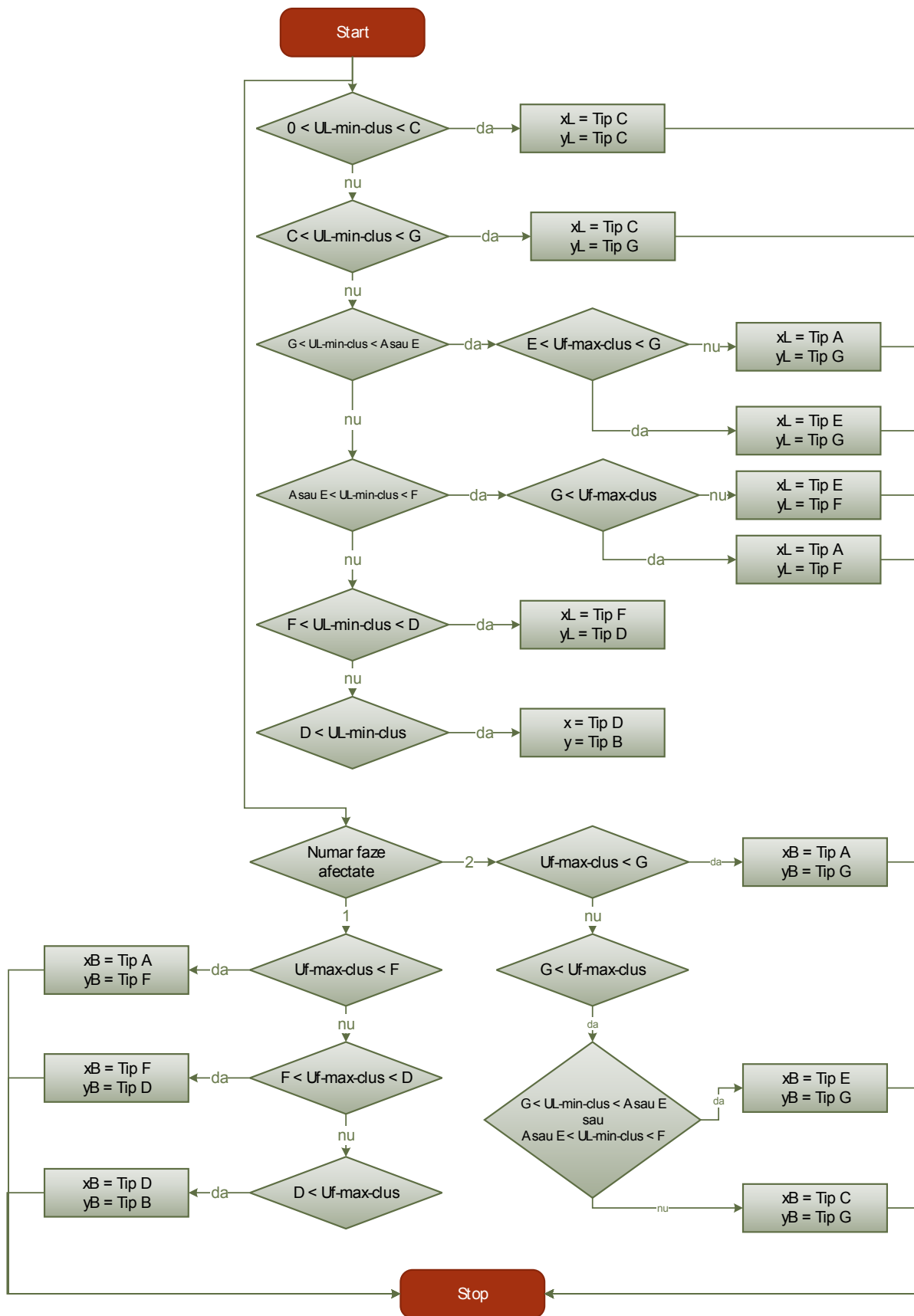


Fig. 4.22 – Algoritmul de alocare dinamică a mărimilor de intrare.

Un exemplu de astfel de regulă este:  
 $((x_{LM} \& y_{LS}) \& (x_{BS} \& y_{BM}) \& (u_S \& v_S)) \& y$

Această regulă se poate citii astfel: dacă (xL este mediu și yL este mic) și (xB este mic și yB este mediu) și (variația amplitudinii tensiunii este mic și variația unghiurilor tensiunilor de fază este mic) atunci rezultatul este y. Această regulă spune că dacă există o variație mare a amplitudinilor tensiunilor de fază și există și o variație mare a unghiurilor tensiunilor de fază, atunci cel mai de încredere grup este al doilea grup. În al doilea grup de mărimi de intrare xB este mic și yB este mediu, deci rezultă că tipul golului este y.

#### 4.4.4. Testarea metodei Fuzzy-Clustering de clasificare a golurilor de tensiune

Pentru validarea metodei propuse s-a ales testarea acesteia utilizând același set de 1890 de goluri de tensiune trifazate. În acest sens, în prima etapă s-a testat comportarea metodei în cazul în care se aplică o variație a amplitudinii uneia dintre tensiunile de fază în limitele -15% la +15% din amplitudinea teoretică a tensiunii fazei respective. Rezultatele obținute sunt prezentate în Fig.4.23.

		Metoda clasificare Fuzzy																														
		-16 - -15	-15 - -14	-14 - -13	-13 - -12	-12 - -11	-11 - -10	-10 - -9	-9 - -8	-8 - -7	-7 - -6	-6 - -5	-5 - -4	-4 - -3	-3 - -2	-2 - -1	-1 - 0	0 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	9 - 10	10 - 11	11 - 12	12 - 13	13 - 14	14 - 15
A	R	A																														
	S	A																														
	T	A																														
B	R	B																														
	S	D				B																										
	T	D				B																										
C	R	C																														
	S	C																														
	T	C																														
D	R	D																														
	S	F		D																												
	T	F		D																												
E	R	E																														
	S	E																														
	T	E																														
F	R	F																														
	S	G		F																												
	T	G		F																												
G	R	G																														
	S	G														F																
	T	G														F																

Fig. 4.23 – Rezultatele obținute pentru variația amplitudinii tensiunilor de fază utilizând tehnica de Fuzzy-Clustering.

Așa cum se poate observa din Fig.4.9, Fig.4.10 și Fig.4.23 metoda propusă dă rezultate mai corecte decât celelalte două metode existente. Totuși există și cazuri în care metoda propusă nu dă rezultate corecte. Explicația este relativ simplă. Spre exemplu, există câteva cazuri în care pentru tipul B metoda returnează tipul D. În acest caz, tensiunea minimă de linie este una dintre tensiunile  $U_{RS}$  sau  $U_{TR}$ . Dacă una dintre tensiunile de fază  $U_S$  sau  $U_T$  scade, atunci tensiunea de linie pe care o formează va scădea și ea devenind tensiunea minimă pe linie. Dacă în această situație se folosește tensiunea minimă de linie pentru determinarea tipului golului de tensiune, aceasta va corespunde tipului D. Dacă se dorește utilizarea tensiunii maxime pe fază, trebuie amintit că aceasta nu este cea mai mare tensiune de fază, ci ea se calculează cu relația (4.9) ca medie între tensiunea maximă de fază și

tensiune medie de linie. Și în această situație noua valoare va fi mai apropiată de tipul D. În cazul în care se renunță la utilizarea relației (4.9), situație în care tensiunea utilizată va fi chiar tensiunea maximă de fază, atunci metoda va da erori în situația în care tensiunea pe una dintre fazele S și T va crește peste o anumită limită. Cu alte cuvinte, dacă apare o diferență între tensiunile care ar trebui să fie egale pentru golurile monofazate ( $U_S$  și  $U_T$  pentru cazul prezentat) este dificil să se determine dacă tensiunea unei faze a scăzut față de valoarea teoretică a unui tip de gol sau dacă tensiunea pe cealaltă fază a crescut față de valoarea teoretică a altui tip. Pentru exemplu amintit mai sus este dificil să se determine dacă tipul golului este B (caz în care tensiunea unei faze a scăzut față de valoarea teoretică) sau este D (caz în care tensiunea unei faze a crescut față de valoarea teoretică).

Trebuie menționat că diferențe așa mari între amplitudinile tensiunilor de fază care teoretic ar trebui să fie sănătoase apar foarte rar. Totuși dacă există măsurători care se încadrează în aceste cazuri, atunci ele trebuie tratate separat și analizate din mai multe puncte de vedere.

În a doua etapă s-a testat comportarea metodei în cazul în care se aplică o variație a unghiului uneia dintre tensiunile de fază de la  $-30^\circ$  la  $+30^\circ$  față de unghiul teoretic al tensiunii respective de fază. Rezultatele obținute sunt prezentate în Fig.4.24.

		Metodă clasificare Fuzzy																																																													
		-31	-30	-29	-28	-27	-26	-25	-24	-23	-22	-21	-20	-19	-18	-17	-16	-15	-14	-13	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A	R																																					A																									
	S																																					A																									
	T																																					A																									
B	R																																					B																									
	S																																					B																									
	T																																					B																									
C	R																																					C																									
	S																																					C																									
	T																																					C																									
D	R																																					D																									
	S																																					D																									
	T																																					D																									
E	R																																					E																									
	S																																					E																									
	T																																					E																									
F	R																																					F																									
	S																																					F																									
	T																																					F																									
G	R																																					G																									
	S																																					G																									
	T																																					G																									

Fig. 4.24 – Rezultatele obținute pentru variația unghiului tensiunilor de fază utilizând tehnica de Fuzzy-Clustering.

Așa cum se poate observa din Fig.4.11, Fig.4.12 și Fig.4.24 metoda propusă dă aceleași rezultate ca și metoda Bollen. Așa cum s-a precizat anterior, metoda care utilizează mărimile de fază în determinarea tipului golului de tensiune nu este sensibilă la variația unghiurilor tensiunilor de fază. La implementarea logicii Fuzzy s-au stabilit reguli care în momentul în care găsește variații mari ale unghiurilor tensiunilor de fază, conduce la definirea tipului golului de tensiune în funcție de mărimile de fază, renunțând la utilizarea mărimilor de linie.

## 4.5. Concluzii și contribuții personale

Acest capitol tratează o problemă specifică golurilor de tensiune și anume clasificarea golurilor de tensiune conform clasificării ABC. În prima parte a acestui capitolul se prezintă în detaliu, două metode și un algoritm de determinare a tipului

golului de tensiune conform clasificării ABC. Această alegere s-a făcut în primul rând pe baza asemănarilor și legăturilor dintre acestea, iar în al doilea rând faptului că aceste metode stau la baza algoritmilor ce au fost dezvoltați în continuarea acestui capitol. Metodele prezentate sunt: metoda bazată pe raportul dintre tensiunea minimă de fază și tensiunea minimă de linie, denumită în lucrare cu numele de metoda Leborgne; metoda bazată pe raportul dintre tensiunea minimă de fază și tensiunea maximă de fază, denumită în lucrare cu numele de metoda Bollen; algoritmul în două etape care are la bază rapoartele dintre tensiunea minimă de fază și tensiunea minimă, respectiv maximă de linie, denumită în lucrare cu numele de algoritmul Molnar.

În urma analizei celor două metode (Leborgne și Bollen) și a algoritmului (Molnar) s-a ajuns la concluzia că fiecare dintre aceste au deficiențe în determinarea tipului golului de tensiune. Metoda Leborgne are o sensibilitate ridicată la variația amplitudinilor tensiunilor de fază sau a unghiurilor dintre acestea față de valorile teoretice. Totodată această metodă introduce o eroare sistematică dată de imposibilitatea de a distinge între tipurile A și E. Metoda Bollen pare a fi mai bună decât metoda Leborgne deoarece nu este influențată de variația unghiurilor dintre tensiunile de fază, dar are sensibilitate la modificarea amplitudinilor tensiunilor de fază față de cele teoretice. Totodată și această metodă introduce o eroare sistematică dată de imposibilitatea de a distinge între tipurile C și E. Algoritmul Molnar nu introduce nici o eroare sistematică și are avantajul că tipul golului se determină automat. Și acest algoritm, la fel ca și metoda Leborgne, are o sensibilitate ridicată la variația amplitudinilor tensiunilor de fază sau a unghiurilor dintre acestea față de valorile teoretice.

Pentru cele două metode, mărimilor de intrare erau considerate tensiunea minimă de fază determinată în șirul de valori cu tensiuni minime și tensiunile minimă de linie, respectiv maximă de fază, corespunzătoare aceluiași punct. În schimb în algoritm s-au luat în considerare toate perechile „tensiune minimă de fază – tensiune minimă de linie”, respectiv „tensiune minimă de fază – tensiune maximă de linie”, tipul golului de tensiune era dat de curba tensiunilor caracteristice de care erau mai aproape mai multe astfel de perechi. În continuarea acestui capitol s-a ales îmbunătățirea celor două metode prin utilizarea tehnicii de Clustering.

În urma implementării tehnicii de Clustering s-a realizat o analiză pentru determinarea îmbunătățirilor aduse. Totuși aplicarea tehnicii de Clustering elimină sensibilitatea metodelor la diverse variații ale mărimilor de intrare, și nici nu elimină erorile sistematice pe care le introduc cele două metode. Pentru identificarea zonelor în care cele două metode dau rezultate greșite s-a realizat o analiză pe un set de date generat cu ajutorul generatorului de goluri format din 1890 de goluri trifazate. În urma analizei efectuate s-a determinat toate zonele în care cele două metode dau erori și s-a ales rezolvarea acestei probleme prin utilizarea logicii Fuzzy.

În a doua parte a acestui capitol s-a dezvoltat o metodă de clasificare care folosește logica Fuzzy. În acest sens s-a prezentat structura sistemului fuzzy, după care s-a trecut la prezentarea tuturor mărimilor de intrare însoțite de seturile fuzzy utilizate și în final a regulilor fuzzy. O parte importantă a acestei metode este dată de faptul că se utilizează două grupuri de mărimi de intrare, fiecare dintre acestea conținând câte șase mărimi. La un moment dat, din aceste două grupe doar câte două mărimi de intrare vor participa la formarea regulilor fuzzy, iar alocarea celor două mărimi pentru fiecare grupă se realizează dinamic, în funcție de un algoritm prezentat la sfârșitul metodei. Pe lângă cele două grupuri de mărimi de intrare s-au mai definit încă două mărimi suplimentare folosite pentru îmbunătățirea metodei. Denumirea de metodă Fuzzy-Clustering de clasificare a golurilor de tensiune este

dată de faptul că primele două grupuri de mărimi de intrare ale logicii Fuzzy sunt definite cu ajutorul tehnicii de Clustering prezentată în prima parte a capitolului.

Capitolului se termină cu prezentarea rezultatelor obținute la testarea metodei Fuzzy-Clustering pe același set de 1890 de goluri de tensiune trifazate. În urma analizei acestor rezultate se poate spune că metoda returnează tipul corect pentru aproape toate seturile testate. Totuși și această metodă are limitări în cazul variațiilor mari ale valorilor fazelor față de valorile teoretice.

Contribuțiile personale din acest capitol sunt:

- analiza principalelor metode și algoritmi folosite pentru determinarea tipului golului de tensiune conform clasificării ABC;
- îmbunătățirea metodelor Leborgne și Bollen prin aplicarea tehnicii de Clustering care împreună cu prezentarea rezultatelor acestora au fost prezentate în [Iovan2013b];
- analiza sensibilității celor două metode îmbunătățite cu tehnica de Clustering, la variații ale amplitudinii tensiunilor de fază sau la variații ale unghiurilor dintre tensiunile de fază, prin testarea acestora pe un set de 1890 de goluri de tensiune trifazate generate cu ajutorul generatorului de goluri prezentat în capitolul 3;
- dezvoltarea unei metode proprii originale utilizând tehnici de Fuzzy-Clustering de determinare a tipului golului de tensiune conform clasificării ABC;
- alocarea dinamică a mărimilor de intrare ale logicii Fuzzy, cu ajutorul unui algoritm original, care elimină erorile sistematice introduse de utilizarea tensiunii maxime de fază și tensiunii minime de linie;
- identificarea a doi parametri care definesc două mărimi de intrare ale logicii Fuzzy, și care elimină sensibilitatea metodei la variații ale amplitudinii tensiunilor de fază sau la variații ale unghiurilor dintre tensiunile de fază;
- compararea rezultatelor obținute cu această metodă, cu rezultatele obținute cu celelalte metode prezentate în acest capitol, ceea ce a condus la validarea acesteia.

## **5. IDENTIFICAREA CARACTERISTICILOR GOLURILOR DE TENSIUNE UTILIZÂND VDIPPREMIUM**

În acest capitol se prezintă o procedură, însoțită de un pachet software, realizate pentru caracterizarea și clasificarea golurilor de tensiune. Procedura descrie în detaliu tot procesul de obținere, prelucrare, analiză și salvare a informațiilor legate de goluri de tensiune. Capitolul începe cu descrierea succintă a modului de introducere a datelor primare în baza de date creată. În acest sens se prezintă algoritmul de extragere a informațiilor din fișiere standard și încărcarea acestora în baza de date. Procedura se continuă cu prelucrarea primară a acestor date pentru a se obține informațiile necesare identificării caracteristicilor golurilor de tensiune. Această prelucrare primară conține trei algoritmi: un algoritm pentru determinarea frecvenței reale; un algoritm pentru determinarea tensiunii efective și a unghiurilor de fază ale tensiunilor; un algoritm pentru segmentarea curbelor de tensiune în zone normale, zone cu gol de tensiune și zone de tranziție între acestea. Următorul pas al procedurii dezvoltate este acela de identificare a caracteristicilor golurilor de tensiune specifice pentru fiecare fază de tensiune în parte. Ultima parte a procedurii tratează problema caracterizării și clasificării golurilor de tensiune trifazate. Ultima parte a capitolului prezintă rezultatele obținute în urma aplicării acestei proceduri întregului set de măsurători reale existent în baza de date. Pe parcursul capitolului se prezintă prin intermediul unor exemple, modul de utilizare a fiecărui algoritm implementat, iar la final se trasează concluziile și contribuțiile proprii din cadrul acestui capitol.

### **5.1. Colectarea datelor**

Ținând cont de importanța datelor în cercetare s-a încercat înregistrarea unui număr cât mai mare de evenimente care să poată fi prelucrate și folosite în analiza și validarea metodelor propuse. În acest sens în capitolul trei s-a dezvoltat un generator de goluri de tensiune care a fost folosit pentru popularea unei baze de date dezvoltate de asemenea în același capitol. Totuși toate metodele, algoritmii și procedurile ce se dezvoltă trebuie utilizate pentru analiza datelor obținute prin măsurători reale.

În vederea populării bazei de date cu măsurători reale, un prim pas a fost migrarea bazei de date existentă în noul format de bază de date. Următorul pas a fost introducerea de evenimente noi. Introducerea de noi evenimentelor în baza de date este permisă în mai multe moduri:

- generator goluri de tensiune;
- format COMFEDE;
- format COMTRADE;
- format .csv;
- format .txt.



În cazul generatorului de goluri de tensiune, acesta este conectat direct la baza de date, datele generate, precum și parametrii caracteristici ai golului de tensiune putând fi salvate automat. Toate celelalte formate sunt introduse cu ajutorul algoritmilor specifici, dar nu înainte de analiza structurii acestora.

Salvarea unui nou eveniment în baza de date începe cu introducerea informației legate de echipamentul care a generat golul (model echipament de monitorizare, versiunea echipamentului, producătorul,...). În cazul golurilor de tensiune generate cu ajutorul generatoarelor (software sau hardware) la acest câmp se specifică tipul generatorului de goluri și versiunea acestuia.

În continuare, în cazul generatoarelor de goluri se introduc detaliile utilizate la generarea golului: amplitudinea și durata, defazajul, momentul de început și de final al golului, tipul golului și fazele afectate, precum și frecvența folosită la generarea acestora. Ca o ultimă etapă se adaugă valorile momentane ale tensiunilor pentru fiecare dintre cele trei faze.

În cazul datelor reale, informațiile se găsesc în diverse formate așa cum s-a precizat anterior. Datele existente în fișiere de tip .csv și .txt sunt ușor de încărcat în baza de date, acestea nesolicitând prelucrări speciale. Din acest motiv în continuare se va prezenta modul de încărcare a datelor existente în celelalte două tipuri de formate.

În cazul formatului COMTRADE (*COM*mon *for* *TR*ansient *D*ata *E*xchange) funcția de încărcare a evenimentelor a fost preluată de la aplicație existentă în cadrul departamentului, iar algoritmul utilizat pentru acest format este prezentat în Fig.5.1.

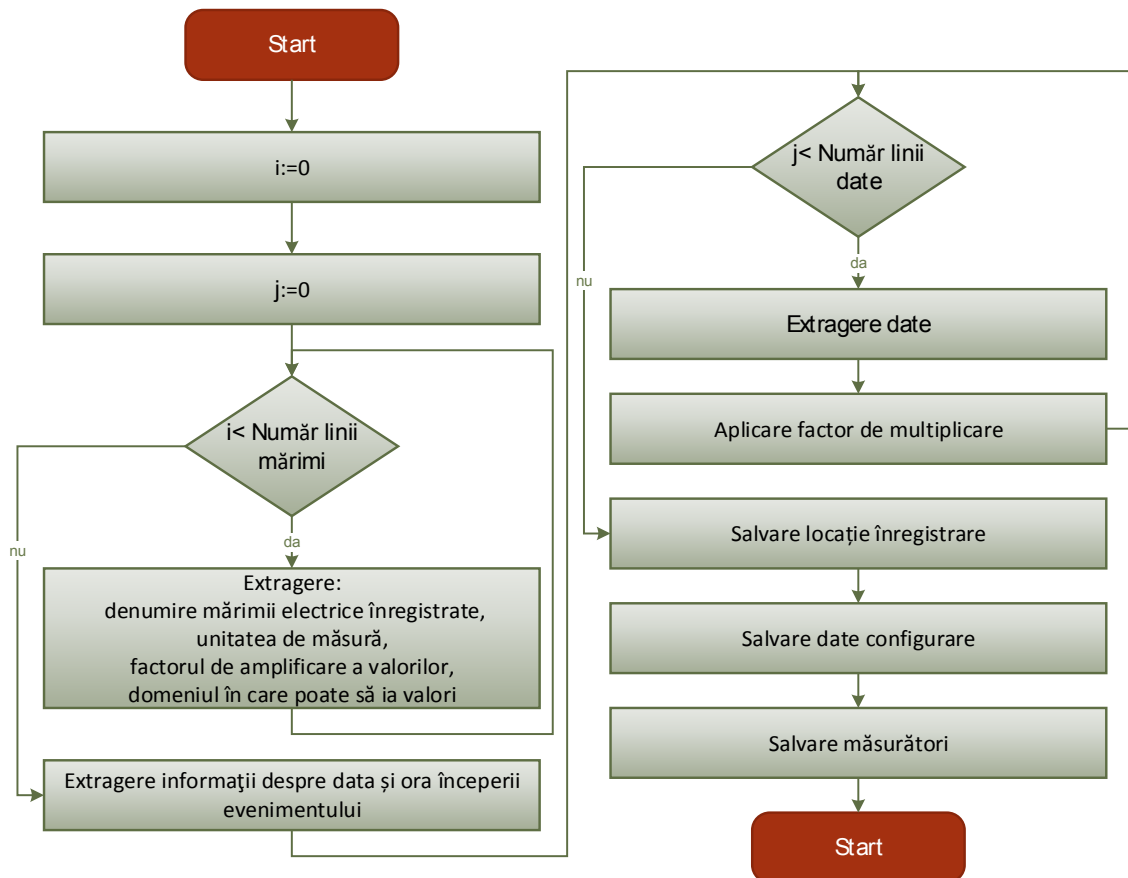


Fig. 5.1 – Încărcarea în baza de date a informațiilor existente în fișiere de tip COMTRADE.

Se precizează că acest format conține trei fișiere, iar algoritmul prezentat în Fig.5.1 le accesează simultan pe toate trei. Cele trei fișiere sunt:

- Header File (\*.HDR): reprezintă fișierul de antet, care conține informații generale despre evenimentul înregistrat;
- Configuration File (\*.CFG): este un fișier de configurații care conține informații despre fiecare canal de înregistrare;
- Data File: (\*.DAT): fișier de date care conține datele obținute prin achiziționare.

În cazul formatului COMFEDE se folosește standardul descris anterior pentru introducerea informațiilor generale, iar apoi se introduc fișierele cu măsurătorile înregistrate în timpul evenimentului. Introducerea datelor din acest tip de fișiere este foarte ușor de realizat, deoarece întreaga bază de date a fost realizată conform acestui format. După încărcarea tuturor fișierelor de acest tip, în baza de date se filtrează doar evenimentele de tip gol de tensiune. Algoritmul utilizat în acest caz este prezentat în Fig.5.2.

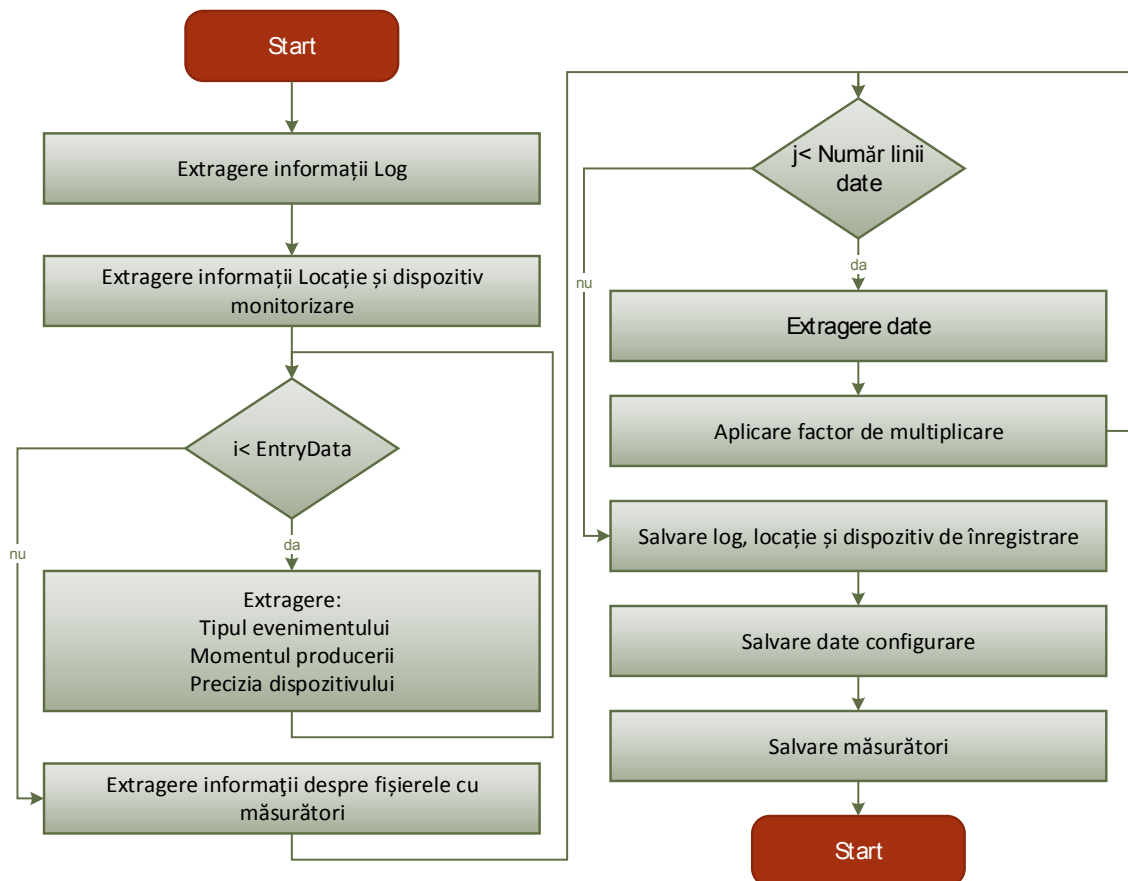


Fig. 5.2 – Încărcarea în baza de date a informațiilor existente în fișiere de tip COMFEDE.

În total, în baza de date au fost înregistrate un set de 1890 de goluri de tensiune trifazate obținute cu ajutorul generatorului de goluri de tensiune dezvoltat în capitolul 3, precum și un set de date reale înregistrate în ultimii cinci ani în rețeaua de transport a SC TRANSELECTRICA SA. Datele reale au fost încărcate din fișiere de tip COMTRADE. Deoarece formatul COMFEDE este de generație mai nouă, nu s-a obținut până în prezent nici un fișier realizat în acest format care să conțină informații despre goluri de tensiune. Baza de date a fost încărcată cu 1016 fișiere, dintre care 647 conțin goluri de tensiune de formă dreptunghiulară (ANEXA 3).

## 5.2. Prelucrarea primară a datelor

Următorul pas în analiza golurilor este prelucrarea datelor înregistrate anterior în vederea obținerii parametrilor caracteristici ai golurilor de tensiune. Pentru fiecare eveniment înregistrat se parcurg pașii descriși în Fig.5.3.



Fig. 5.3 – Etapele prelucrării unui semnal trifazat.

Așa cum se poate observa și din Fig.5.3 prelucrarea primară a datelor reprezintă etapa inițială și conține:

- determinarea frecvenței reale;
- calcularea valorilor efective și a unghiurilor de tensiune pentru fiecare fază;
- segmentarea curbei tensiunii efective.

În vederea prelucrării primare s-a realizat o procedură care permite citirea datelor corespunzătoare evenimentului fie prin selectarea acestora din baza de date, fie prin importarea dintr-un fișier existent într-un format acceptat. În momentul selectării evenimentului respectiv, valorile momentane ale tensiunilor sunt preluate de la sursă (fișier sau baza de date) și afișate sub formă de grafic. În continuare, algoritmi ce vor fi prezentați se vor testa atât prin utilizarea curbelor de tensiune generate cu ajutorul golului de tensiune, cât și prin utilizarea datelor dintr-un fișier cu măsurători reale înregistrate la stația Baru-Mare în data de 01.03.2009, evenimentul având loc în intervalul orar 11:53:02.899-11:53:02.999. Înregistrările au fost efectuate cu oscilopertubograful tip CDR, produs de Telecom, având o rată de eșantionare de 1000 Hz/s. Datele obținute sunt prezentate grafic în (Fig.5.4).

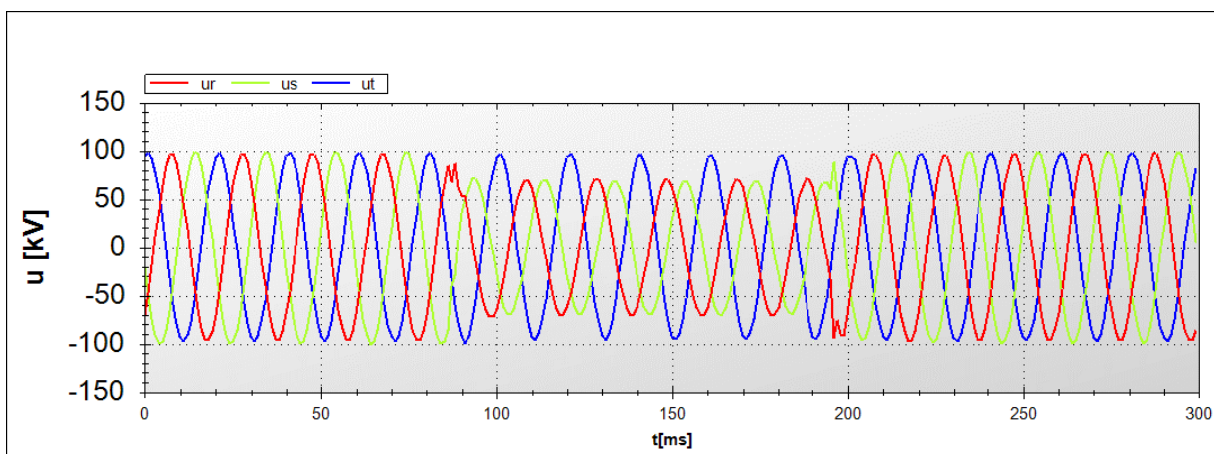


Fig. 5.4 – Curbele valorilor momentane ale tensiunii pe durata unui gol de tensiune.

În continuare, valorile momentane ale tensiunilor sunt utilizate ca și intrări pentru primul algoritm care are ca scop determinarea frecvenței reale, pentru al doilea algoritm care calculează valorile efective și unghiurile de fază ale tensiunilor, respectiv pentru al treilea algoritm care efectuează segmentarea semnalului.

### 5.2.1. Determinarea frecvenței reale

În vederea analizării acestui semnal un pas important este determinarea frecvenței reale. Pentru determinarea frecvenței reale există mai multe metode prezentate în literatură. O sinteză foarte bună și o comparație între acestea se găsește în [Boashash1992a] și [Boashash1992b].

Una dintre soluțiile dezbătute în literatură de determinare a frecvenței reale este cea bazată pe determinarea vitezei unghiulare a semnalului prelucrat. Această metodă este regăsită în mai multe documente, iar o comparație între metode care utilizează astfel de soluții se găsesc în [Lagrange2007]. Pentru detectarea frecvenței reale, s-au analizat două metode asemănătoare propuse în [Bashiri2012] și [Li2013]. Datorită rezultatelor asemănătoare și deoarece metoda este mai ușor de implementat în această lucrare s-a ales utilizarea metodei propuse [Bashiri2012]. Cazurile particulare care nu dau rezultate corecte în urma aplicării acestei metode pot fi analizate separat. Conform acestei metode, viteza unghiulară într-un punct se poate calcula cu ajutorul celor trei tensiuni momentane vecine, cea din mijloc fiind chiar cea înregistrată în punctul respectiv. Relația de calcul este:

$$\omega_i = \frac{1}{T_1} \cdot a \cos\left(\frac{u_{i-1} + u_{i+1}}{u_i}\right) \quad (5.1)$$

unde:

$$T_1 = t_2 - t_1 = \frac{1}{f_{\text{esantionare}}} \quad (5.2)$$

Frecvența reală a semnalului va fi determinată cu ajutorul relației (5.3).

$$f = \frac{\omega}{2 \cdot \pi} \quad (5.3)$$

În exemplul următor se testează algoritmul prezentat anterior cu ajutorul a trei semnale generate prezentate în Fig.5.5: unul având frecvența de 49.5 Hz, al doilea de 49.8 Hz, respectiv al treilea fiind 50 Hz. În Fig.5.6 se prezintă determinarea frecvenței pentru cele trei semnale. Așa cum se observă din Fig.5.6, frecvența reală se poate determina foarte exact cu ajutorul acestei metode.

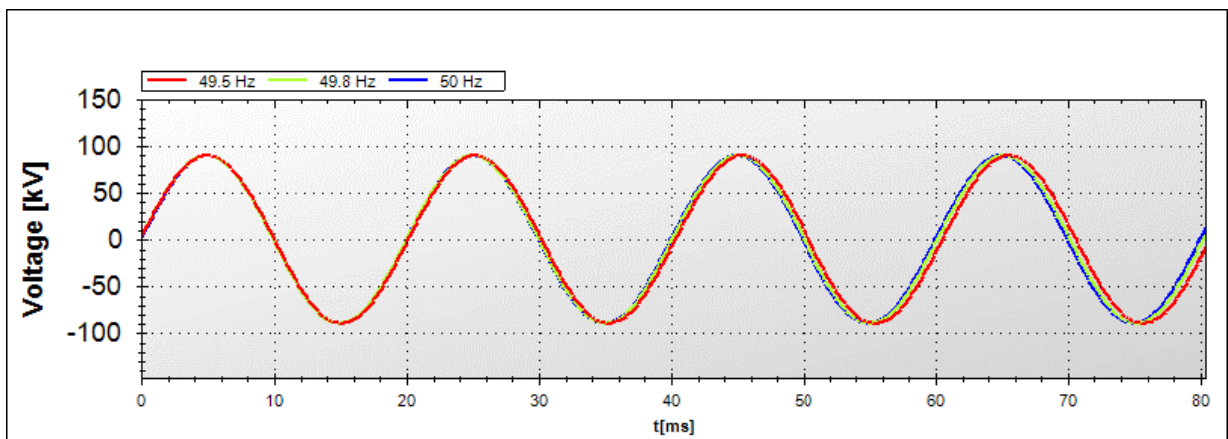


Fig. 5.5 – Trei semnale de tensiune generate cu frecvențe diferite.

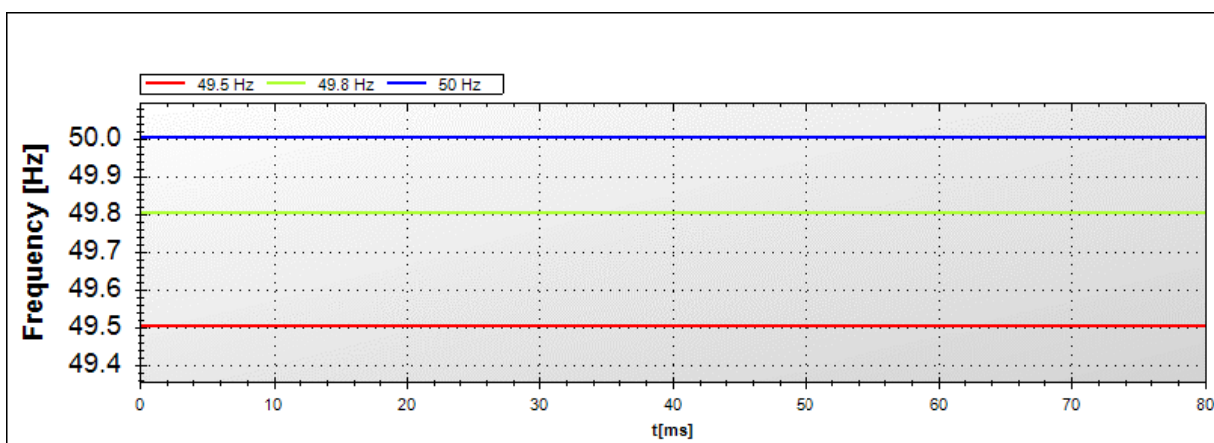


Fig. 5.6 – Determinare frecvență reală pentru cele trei semnale de tensiune generate cu frecvențe diferite.

Dezavantajul acestei metode de calcul a frecvenței reale constă în faptul că la rate de eșantionare mici se returnează valori greșite, în acest caz fiind necesară determinarea frecvenței prin prelucrarea suplimentară a semnalului sau prin utilizarea unei noi metode. Pentru justificarea precizărilor anterioare, în Fig.5.7 se prezintă valorile momentane ale frecvenței reale pentru cazul amintit la începutul acestui capitol.

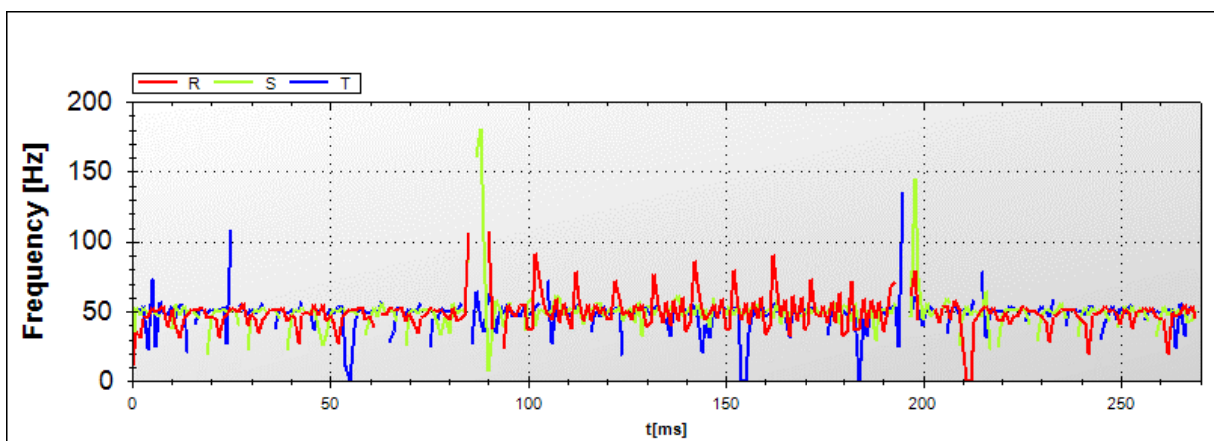


Fig. 5.7 – Determinare frecvență reală pentru fișierul cu date reale.

Analizând Fig.5.7 se poate observa că identificarea corectă a frecvenței reale este dificil de realizat datorită variațiilor mari înregistrate în valorile momentane ale acesteia. Variațiile înregistrate în valorile momentane ale frecvenței reale se datorează funcționării incorecte a algoritmului utilizat pentru măsurători care au fost efectuate cu o rată de eșantionare scăzută. Pentru remedierea acestei probleme s-a ales eliminarea frecvențelor momentane a căror valoare nu se încadrează în intervalul [47.5-52.5] Hz. După eliminarea acestor puncte se efectuează o mediere pe un interval de patru perioade utilizând tehnica ferestrei alunecătoare. În urma aplicării acestei metode suplimentare de prelucrare a semnalului se obțin valorile echivalente prezentate în Fig.5.8. Din analiza Fig.5.8 se poate observa că valorile momentane ale frecvenței variază într-un interval limitat foarte apropiat de frecvența fundamentală.

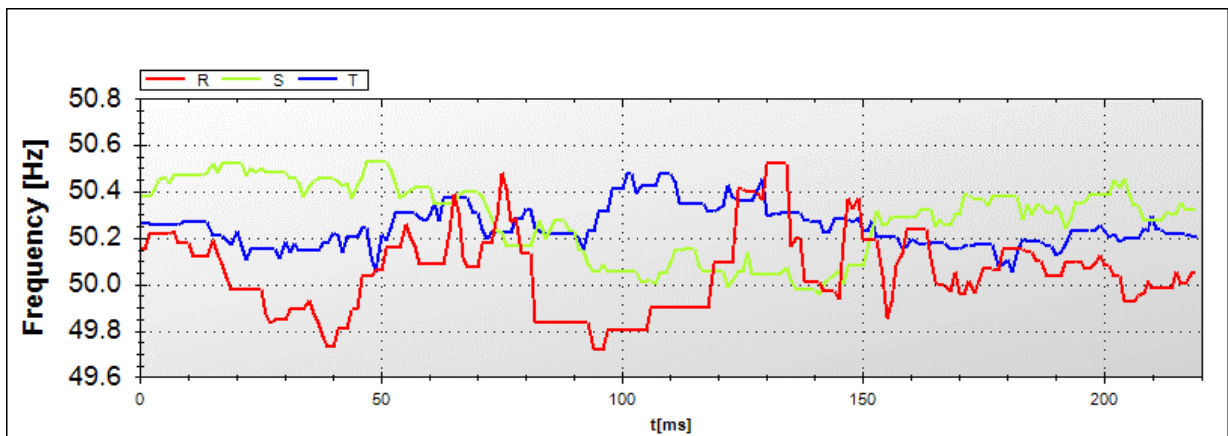


Fig. 5.8 – Frecvență reală pentru fișierul cu date reale după aplicarea metodei corective.

În final, pentru aplicarea algoritmului de calcul a valorilor efective ale tensiunilor precum și a unghiurilor de fază ale acestora se determină o valoare unică a frecvenței prin medierea valorilor obținute anterior. În aceste condiții, valoarea frecvenței reale rezultă a fi de valoarea 50,05 Hz.

### 5.2.2. Determinarea valorilor efective și a unghiurilor de fază ale tensiunilor prin aplicarea transformatei Fourier discretă

În decursul anilor s-au dezvoltat mai multe metode de prelucrare a semnalelor. Un scop al acestor metode este acela de obținere a informațiilor legate de valorile efective ale tensiunilor. În vederea obținerii valorilor efective în aplicația de față se folosește un algoritm bazat pe transformata Fourier discretă.

Transformata Fourier discretă, (în limba engleză este DFT - Discrete Fourier Transform) a unui semnal  $x[n]$  de durată finită se calculează cu expresiile (5.4).

$$\begin{aligned} \operatorname{Re}U[k] &= \frac{2}{N} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} u[n] \cdot \cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \\ \operatorname{Im}U[k] &= \frac{-2}{N} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} u[n] \cdot \sin\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \end{aligned} \quad (5.4)$$

unde:

$\operatorname{Re}U[k]$  – reprezintă componenta reală a tensiunii pentru armonica de ordin  $k$ ;

$\operatorname{Im}U[k]$  – reprezintă componenta imaginară a tensiunii pentru armonica de ordin  $k$ ;

$u[n]$  – reprezintă valoarea momentană a tensiunii în momentul  $n$ ;

$k$  – reprezintă armonica pentru care se dorește identificarea mărimilor;

$N$  – reprezintă numărul de eșantioane luate în calcul.

Pentru aplicația concretă trebuie aplicată această metodă doar pentru frecvența fundamentală a semnalului. Mai corect, pentru determinarea corectă a unghiurilor fazelor de tensiune, trebuie aplicată această metodă pentru frecvența reală înregistrată în momentul apariției golului de tensiune. În acest sens, se consideră  $k=1$ , iar  $N$  se determină cu relația (5.5) rezultând numărul de eșantioane corespunzătoare unei perioade a frecvenței fundamentale. Pentru calcularea valorilor ca și funcție de timp se va aplica tehnica ferestrei alunecătoare. Cu cele precizate anterior componentele tensiunii vor fi date de relațiile (5.6).

$$N = \frac{f_{\text{esantioane}}}{f_{\text{fundamentala}}} \quad (5.5)$$



$$\begin{aligned} \operatorname{Re} U[i] &= \frac{2}{N} \cdot \sum_{n=i-N}^i u[n] \cdot \cos\left(\frac{2\pi n}{N_r}\right) \\ \operatorname{Im} U[i] &= \frac{-2}{N} \cdot \sum_{n=i-N}^i u[n] \cdot \sin\left(\frac{2\pi n}{N_r}\right) \end{aligned} \quad (5.6)$$

unde:

$\operatorname{Re} U[i]$  – reprezintă componenta reală a tensiunii pentru momentul de timp  $i$ ;

$\operatorname{Im} U[i]$  – reprezintă componenta imaginară a tensiunii pentru momentul de timp  $i$ ;

$i$  – reprezintă momentul de timp pentru care se dorește calcularea valorii complexe a tensiunii;

$N_r$  – reprezintă numărul echivalent de eșantioane considerate care se calculează cu relația (5.7) ca raport între frecvența de eșantionare și frecvența reală determinată.

$$N_r = \frac{f_{\text{esantionare}}}{f_{\text{real}}} \quad (5.7)$$

În final se poate obține valorile complexe ale tensiunilor ca funcție de timp cu ajutorul relației (5.8).

$$\underline{U}[i] = \operatorname{Re} U[i] + j \cdot \operatorname{Im} U[i] \quad (5.8)$$

Din relația (5.8) se pot determina valorile efective cu relația (5.9) și unghiurile de fază ale tensiunilor cu relația (5.10).

$$U[i] = \sqrt{\operatorname{Re} U[i]^2 + \operatorname{Im} U[i]^2} \quad (5.9)$$

$$\varphi[i] = \arg(\underline{U}[i]) = a \tan\left(\frac{\operatorname{Im} U[i]}{\operatorname{Re} U[i]}\right) \quad (5.10)$$

Aplicând relația (5.9) pentru setul de date reale luat în considerare se obțin graficele aferente tensiunilor de fază din Fig.5.9.

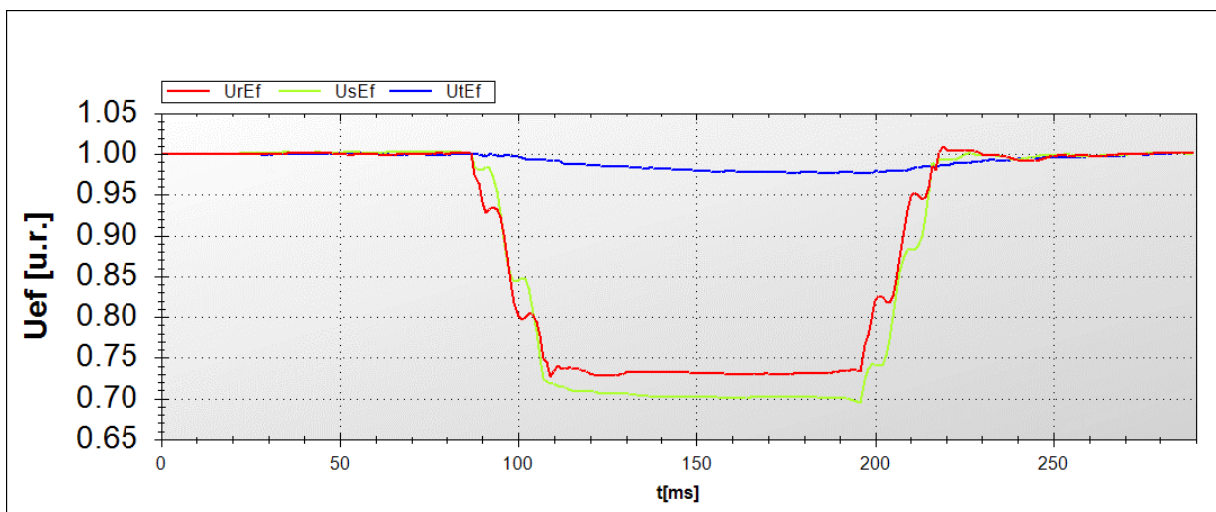


Fig. 5.9 – Curbele valorilor efective ale tensiunilor de fază.

Bineînțeles că pentru calcularea unghiului real al tensiunilor de fază, rezultatele obținute cu relația (5.10) trebuie corectate în funcție de cadranul în care se află fazorul de tensiune. Pentru a putea determina modificarea acestor unghiuri, ele trebuie raportate la o referință mobilă dată de viteza de rotație a fazei respective așa cum se prezintă în Fig.5.10. Aceasta se poate calcula cu relația (5.11).

$$pas = \frac{360}{N_r} \quad (5.11)$$



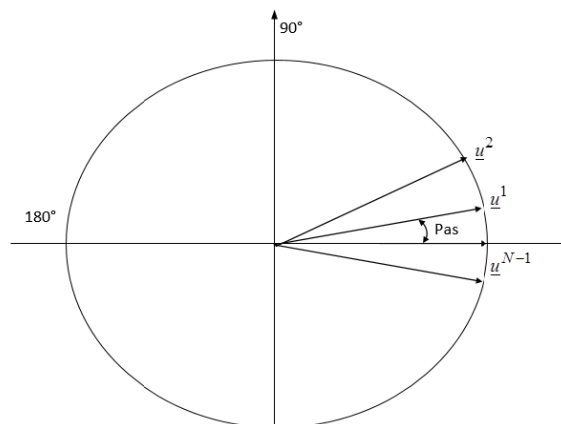


Fig. 5.10 – Calcularea pasului de rotație a unui fazor de tensiune.

Dacă pentru fiecare fază, se consideră referința ca fiind valoarea obținută în punctul 0, atunci pentru fiecare punct se poate determina valoarea teoretică cu care s-a rotit fazorul de tensiune aplicând relația (5.12).

$$\Delta\varphi[i] = \varphi[0] - pas \cdot i \quad (5.12)$$

Aplicând aceste corecții unghiurilor de tensiune ale fiecărei faze se pot determina valorile dorite cu relația (5.13).

$$\varphi_{relativ}[i] = \varphi[i] - \Delta\varphi[i] \quad (5.13)$$

Valorile obținute cu relația (5.13) pentru setul de date reale se prezintă grafic în Fig.5.11.

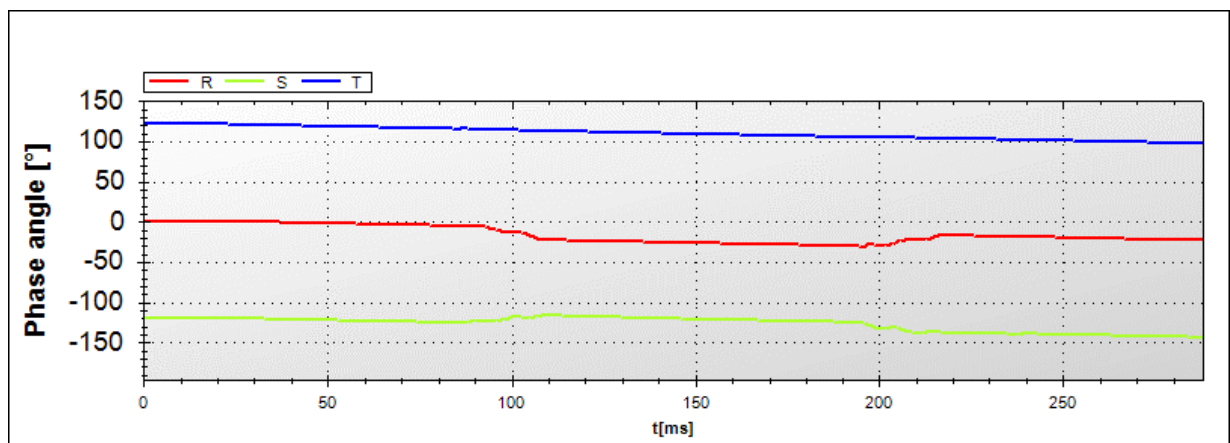


Fig. 5.11 – Unghiurile tensiunilor de fază raportate la axa origine de fază.

Analizând curbele unghiurilor tensiunilor de fază din Fig.5.11 se poate observa că toate trei au un trend scăzător în timp. În general acest lucru se datorează incorectitudinii de calcul a frecvenței reale. Acest trend scăzător a unghiurilor tensiunilor de fază confirmă încă o dată incapacitatea algoritmului utilizat de determinare corectă a frecvenței reale pentru măsurători cu rate de eșantionare mici. Corectarea frecvenței și implicit corectarea valorilor unghiurilor tensiunilor de fază se poate realiza prin aplicarea unei metode de corecție a frecvenței reale.

Metoda pornește de la analiza unghiurilor tensiunilor de fază pe porțiunea segmentului anteperturbație. În continuare se va considera că unghiurile relative pe segmentul luat în considerare trebuie să fie constante și egale cu valoarea din

punctul 0. În acest sens se va determina diferența ( $\Delta\varphi_F$ ) dintre unghiul tensiunii la capătul de final al segmentului anteperturbație ( $\varphi[F]$ ) și unghiul în punctul zero ( $\varphi[0]$ ), conform relație (5.14). Se precizează că  $F$  reprezintă numărul de ordine a ultimei valori considerate.

$$\Delta\varphi_F = \varphi[0] - \varphi[F] \quad (5.14)$$

Raportând această valoare la numărul de eșantionări din intervalul analizat se poate determina diferența de viteză a fazorului real față de fazorul luat în considerare.

$$\Delta pas = \frac{\Delta\varphi_F}{F} \quad (5.15)$$

Știind că pasul se poate calcula cu relația (5.11) în care  $N_r$  reprezintă numărul de eșantioane echivalente aferente frecvenței reale, se poate determina numărul de eșantioane echivalente aferente frecvenței corectate ( $N_{Corectat}$ ):

$$N_{Corectat} = \frac{360}{pas - \Delta pas} \quad (5.16)$$

iar frecvența corectă:

$$f_{real} = \frac{f_{esantionare}}{N_{Corectat}} \quad (5.17)$$

Aplicând DFT prin considerarea valorii frecvenței corectate se obțin unghiurile tensiunilor de fază prezentate în Fig.5.12.

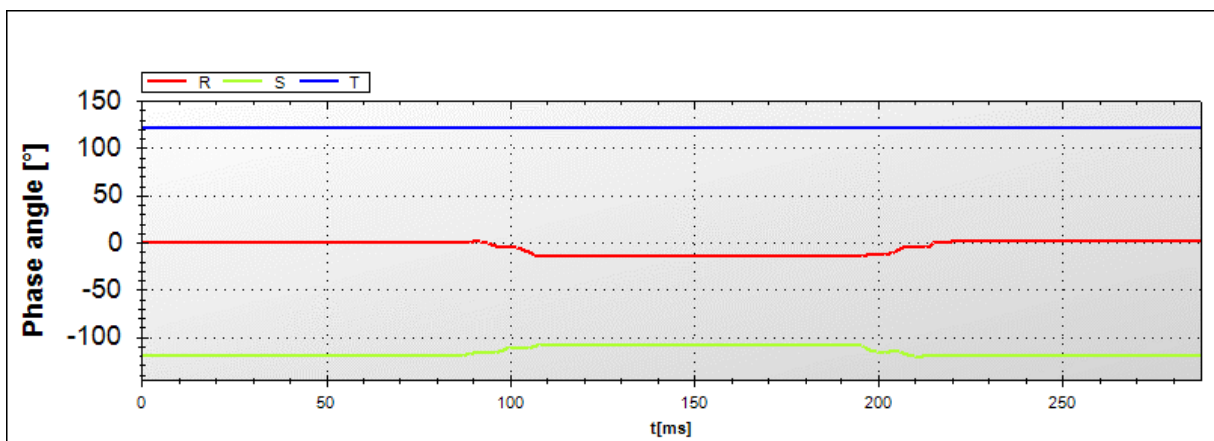


Fig. 5.12 – Unghiurile tensiunilor de fază raportate la axa origine de fază corectate cu noua frecvență.

### 5.2.3. Segmentarea

Următoarea etapă care trebuie parcursă de către program, este aceea de realizare a segmentării. În cadrul algoritmului propus segmentarea are rolul de a determina intervalul maxim care poate fi folosit pentru determinarea caracteristicilor golului de tensiune. În urma segmentării semnalul care este prelucrat este împărțit în mai multe intervale, fiecare interval definind una dintre zonele: zona anteperturbație, zona golului de tensiune, zona post-perturbație, precum și zonele de tranziție (zonele cuprinse între zona anteperturbație și zona de gol în care tensiunea scade, respectiv cea cuprinsă între zona de gol de tensiune și cea de post-perturbație în care tensiunea crește). În funcție de forma golului pot exista mai multe zone de același tip.

În această lucrare s-a ales ca și metodă de segmentare, o metodă bazată pe analiza tensorială. [Jagua2010]. Această metodă se bazează pe analiza geometrică a fazorilor tensiunii instantanee pe cele trei faze. Metoda segmentării pornește de la determinarea diferenței unghiulare dintre unghiului de rotație al primului și al ultimului eșantion al fiecărei jumătăți de ciclu. Această diferență se calculează cu ajutorul relației (5.18).

$$\alpha = a \cos \left( \frac{(u_1^R, u_1^S, u_1^T) \cdot (u_2^R, u_2^S, u_2^T)}{\|u_1^R, u_1^S, u_1^T\| \cdot \|u_2^R, u_2^S, u_2^T\|} \right) \quad (5.18)$$

Intervalele de segmentare vor fi estimate folosind o valoare de prag, determinând eșantioanele care au unghiul de rotație mai mare decât pragul stabilit. Important pentru metoda de analiză este determinarea segmentelor de tranziție. Aceasta începe când se determină prima valoare mai mare sau egală cu pragul și se sfârșește când se determină primul indice mai mic decât pragul stabilit (Fig.5.13).

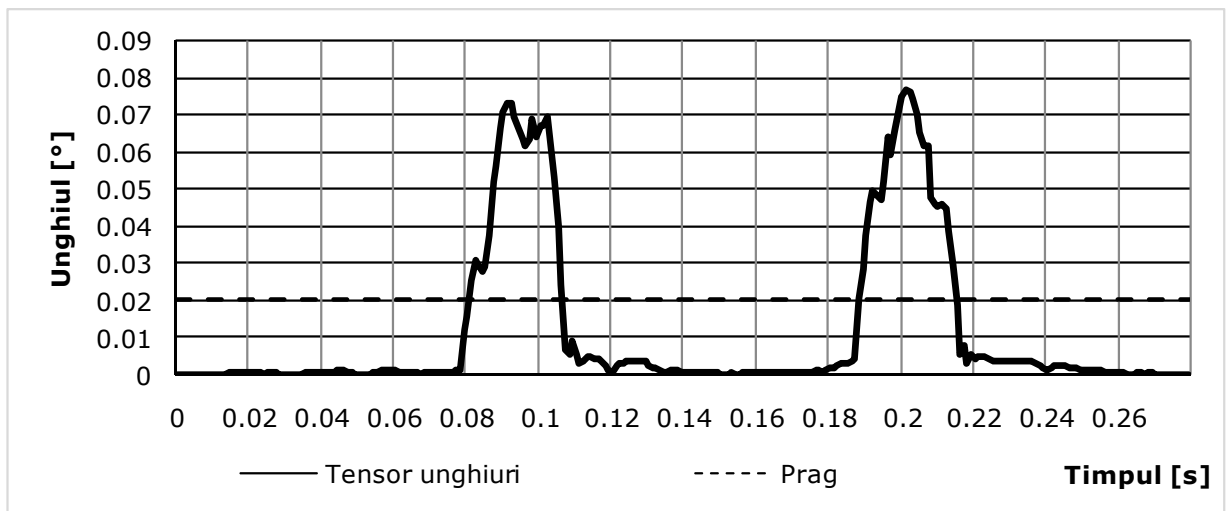


Fig. 5.13 – Variația tensorilor unghiurilor pentru semnalul analizat.

În cazul evenimentului analizat pentru a se efectua acest pas, se setează pragul peste care se consideră segment de tranziție, la valoarea 0.02 dacă analiza se realizează în u.r. Prin suprapunerea graficului de tensori peste graficul de valori efective se poate observa procesul de segmentare prezentat în Fig.5.14.

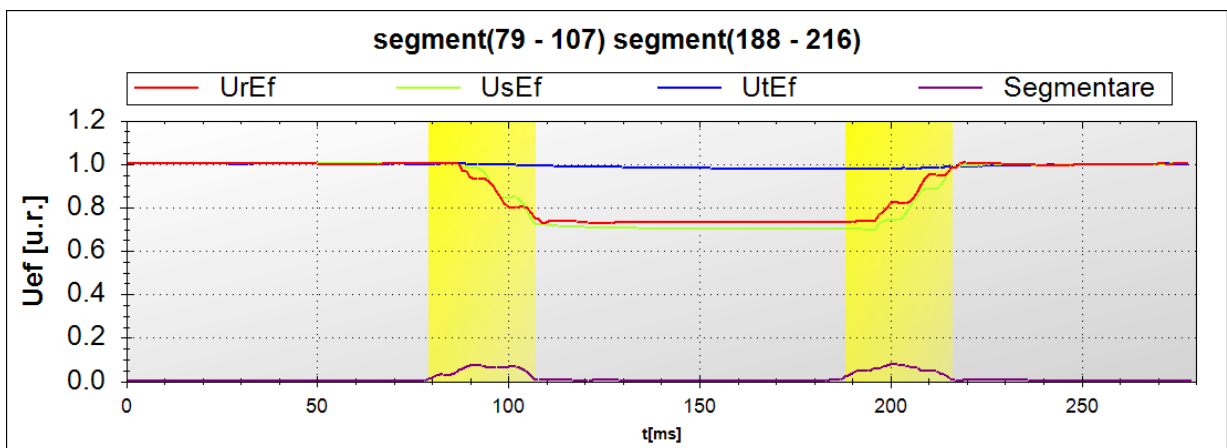


Fig. 5.14 – Segmentarea curbei de tensiune.

În Fig.5.14 se observă existența a două segmente de tranziție, ceea ce conduce la concluzia că există un gol de tensiune dreptunghiular. Primul segment de tranziție apare la momentul  $t= 79$  ms și se termină la  $t= 107$  ms. Al doilea segment de tranziție apare la momentul  $t= 188$  ms și se termină la  $t= 216$  ms. Prin urmare se poate spune că segmentul pe care se face analiza golului de tensiune este dat de intervalul (107 - 188).

### 5.3. Detectarea caracteristicilor monofazate ale golurilor de tensiune

După finalizarea prelucrării primare a semnalelor electrice se aplică procedura de determinare a caracteristicilor primare ale golului de tensiune. Această procedură constă în calcularea principalelor caracteristici monofazate pentru fiecare fază în parte și anume: amplitudinea golului, durata golului, saltul unghiului de fază, respectiv punctele de pe curbă de apariție și finalizare a golului de tensiune.

#### 5.3.1. Amplitudinea golului de tensiune

Așa cum precizează și definiția golului de tensiune, amplitudinea acestuia reprezintă cea mai mică valoare a tensiunii efective a fazei analizate. Determinarea acesteia este foarte ușoară deoarece în etapa anterioară au fost calculate valorile tensiunilor efective cu ajutorul transformatei Fourier discrete.

Mai concret pentru determinarea amplitudinii golului de tensiune se iau în considerare doar valorile cuprinse în intervalul determinat de segmentul de gol obținut în urma procesului de segmentare (Fig.5.15). În aceste condiții relația de calcul este:

$$\begin{aligned} U_{gol\_R} &= \min_i \{U_{gol\_R}[i]\} \\ U_{gol\_S} &= \min_i \{U_{gol\_S}[i]\} \\ U_{gol\_T} &= \min_i \{U_{gol\_T}[i]\} \end{aligned} \quad (5.19)$$

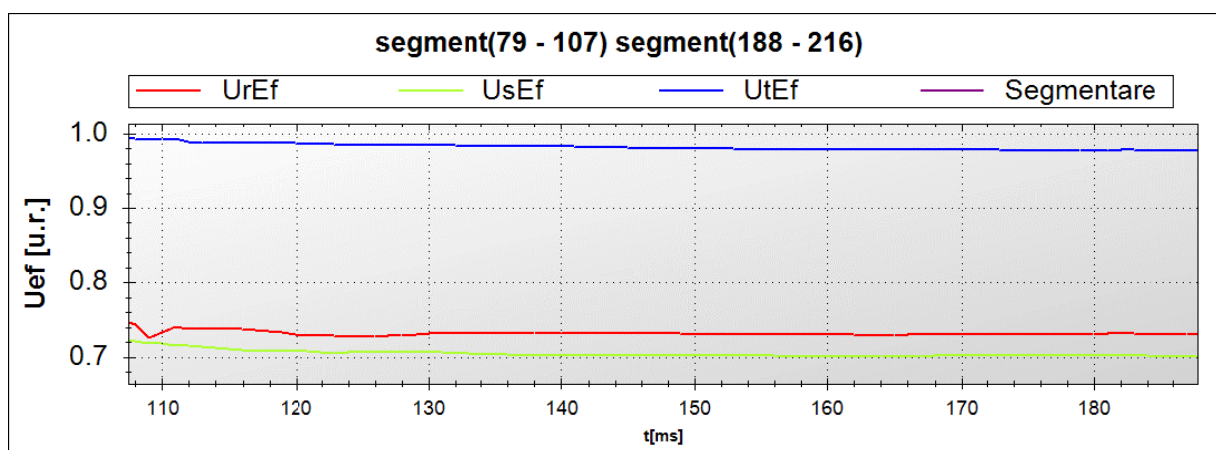


Fig. 5.15 – Valorile efective ale tensiunilor aferente segmentului de gol de tensiune.

Aplicând aceste formule pe setul de valori obținut în urma prelucrării cu ajutorul transformatei Fourier discrete și convertind rezultatul în unități relative prin raportare la tensiunea anteperturbație măsurată, rezultă următoarele amplitudini ale golurilor de tensiune pentru fiecare fază în parte:

$$U_{gol\_R} = 0.726 \text{ u.r.}$$

$$U_{gol\_S} = 0.695 \text{ u.r.}$$

$$U_{gol\_T} = 0.976 \text{ u.r.}$$

### 5.3.2. Durata golului de tensiune

După cum s-a specificat în capitolul 2 pentru determinarea duratei golului se vor utiliza două valori de prag și anume una pentru începutul golului de tensiune (90% din tensiunea anteperturbație măsurată) și alta pentru sfârșitul golului de tensiune (92% din tensiunea anteperturbație măsurată). Prin utilizarea a două nivele de prag diferite se elimină înregistrarea mai multor goluri de tensiune de durată mai scurtă în timpul unui gol cu tensiune remanentă în jur de 0.9 u.r. Acest proces de calcul a valorilor efective se poate observa în Fig.5.16.

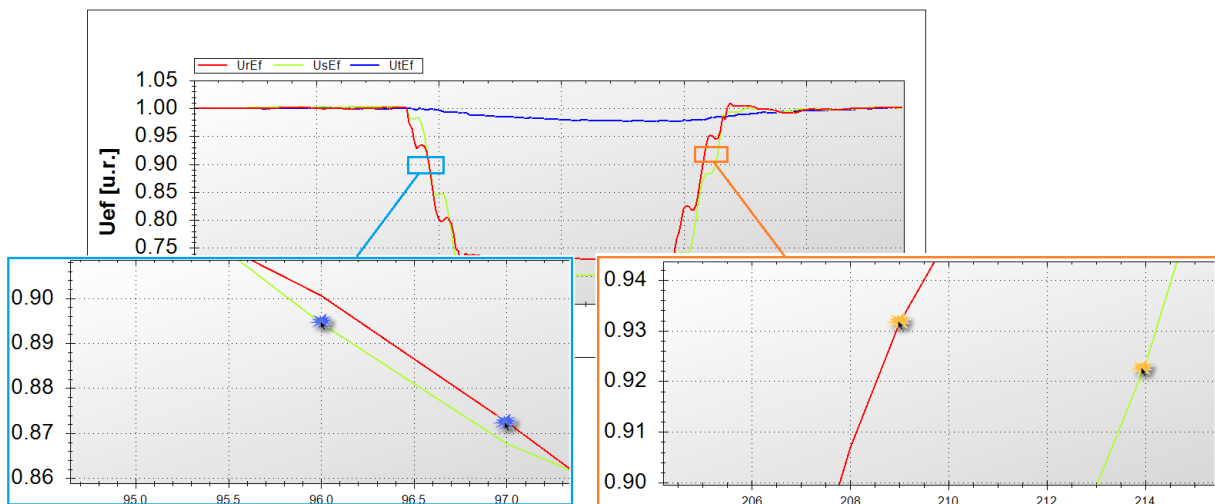


Fig. 5.16 – Reprezentarea grafică a momentelor de început și sfârșit a golurilor de tensiune.

În situația cazului analizat se obțin următoarele durate ale golului de tensiune pe fiecare fază:

$$t_{gol\_R} = 112 \text{ ms}$$

$$t_{gol\_S} = 118 \text{ ms}$$

$$t_{gol\_T} = 0 \text{ ms}$$

Așa cum se observă și din graficele din Fig.5.16, duratele golurilor de tensiune sunt influențate atât de metoda de calcul a valori efective, cât și de rata de eșantionare a semnalelor.

### 5.3.3. Saltul unghiului de fază

Saltul unghiului de fază se determină din valorile unghiurilor tensiunilor de fază calculate anterior prin aplicarea DFT. Pentru o comparație cât mai ușoară valorile unghiurilor tensiunilor de fază se aduc în axa de referință. Acest lucru se realizează prin calcularea defazajului unghiului tensiunii de fază față axa de referință. Pentru fiecare tensiune de fază, se consideră referința ca fiind valoarea în primul punct notat  $\varphi_{relativ}[0]$ . Defazajul raportat va fi calculat cu relația (5.20).

$$\varphi_{raportat}[i] = \varphi_{relativ}[i] - \varphi_{relativ}[0] \quad (5.20)$$

Prin aplicarea relației (5.20) se va obține graficul din Fig.5.17 care reprezintă modificarea defazajelor fazelor în timp, fenomen denumit în limba engleză „phase shift”.

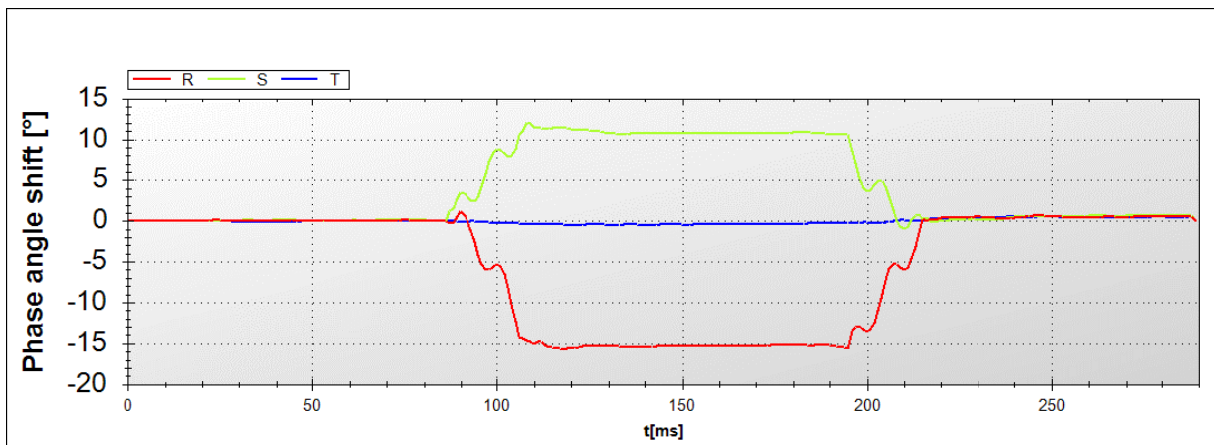


Fig. 5.17 – Reprezentarea grafică modificării defazajelor tensiunilor de fază în timp.

Așa cum s-a arătat în capitolul al doilea, saltul unghiului de fază reprezintă o singură valoare pentru fiecare fază. Deoarece în literatura de specialitate nu se precizează ce metodă se folosește pentru extragerea valorii dorite dintr-un set de valori apropiate, în prezenta lucrare, pentru fiecare fază în parte, se va aplica algoritmul de clustering k-Means prezentat în capitolul 4, valorile obținute fiind:

$$\varphi_{gol\_R} = -15.371^\circ$$

$$\varphi_{gol\_S} = 10.840^\circ$$

$$\varphi_{gol\_T} = -0.505^\circ$$

#### 5.3.4. Punctele de curbă de început și sfârșit a golului de tensiune

Pentru determinarea punctelor de pe curbă primul pas este determinarea sumei momentane ale tensiunilor fazelor (notată  $SU$ ) pe baza relației (5.21).

$$SU[k] = |u_R[k] + u_S[k] + u_T[k]| \quad (5.21)$$

Cu ajutorul acestei relații se determină graficul punctelor  $SU[k]$  prezentat în Fig.5.18.

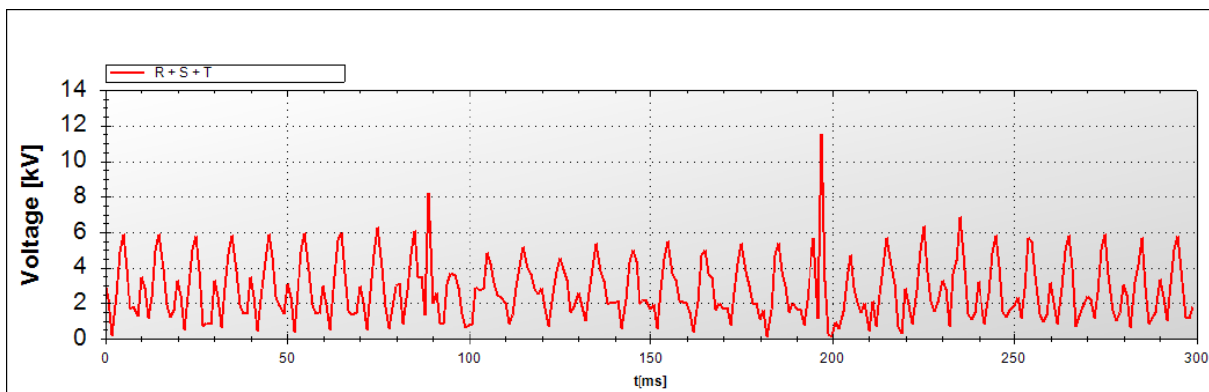


Fig. 5.18 – Reprezentarea grafică a sumelor momentane ale tensiunilor.

Pentru punctul de inițiere al golului se determina media aritmetică a punctelor pe segmentul anteperturbație ( $U_{m\_start}$ ) punctul final fiind notat  $N_{tr1\_start}$  (punctul de start al primului segment de tranziție).

$$U_{m\_start} = \frac{\sum_{j=0}^{N_{tr1\_start}} SU[j]}{N_{tr1\_start}} \quad (5.22)$$

Momentul de timp care definește punctele de pe curbele de tensiuni corespunzătoare inițierii golului ( $t_{start}$ ) se determină ca fiind primul punct pentru care suma calculată în punctul respectiv depășește cu 15% valoarea medie  $U_{m\_start}$ .

Practic punctul de pe curba de tensiune de inițiere a golului de tensiune se determină pentru fiecare fază prin identificarea unghiului tensiunii de fază în momentul  $t_{start}$ .

$$PoW_{start} = \varphi[t_{start}] \quad (5.23)$$

Pentru verificarea corectitudinii identificării acestor puncte în Fig.5.19 se prezintă undele de tensiune peste care s-a marcat momentul de timp determinat cu ajutorul acestui algoritm.

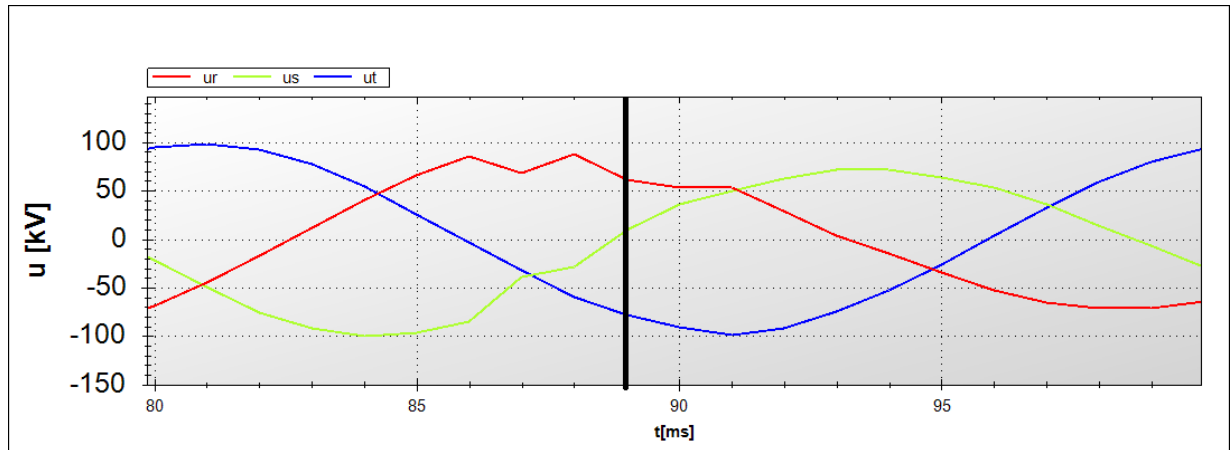


Fig. 5.19 – Captură a curbelor de tensiune în zona de inițiere a golului de tensiune.

Pentru punctul de final al golului se determina media aritmetică a punctelor pe segmentul de gol de tensiune ( $U_{m\_stop}$ ) segment cuprins între  $N_{tr1\_stop}$  (punctul de sfârșit al primului segment de tranziție) și  $N_{tr2\_start}$  (punctul de început al celui de al doilea segment de tranziție).

$$U_{m\_stop} = \frac{\sum_{j=N_{tr1\_stop}}^{N_{tr2\_start}} SU[j]}{N_{tr2\_start} - N_{tr1\_stop}} \quad (5.24)$$

Momentul de timp care definește punctele de pe curbele de tensiuni corespunzătoare sfârșitului golului ( $t_{stop}$ ) se determină ca fiind ultimul punct pentru care suma calculată în punctul respectiv depășește cu 50% valoarea medie  $U_{m\_stop}$ .

Practic punctul de pe curba de tensiune de sfârșit a golului de tensiune se determină pentru fiecare fază prin identificarea unghiului tensiunii de fază în momentul  $t_{stop}$ .

$$PoW_{stop} = \varphi[t_{stop}] \quad (5.25)$$

De asemenea, pentru verificarea corectitudinii identificării punctelor de pe curbă de sfârșit a golului de tensiune, în Fig.5.20 se prezintă undele de tensiune



pentru cele trei faze împreună cu momentul de timp determinat cu ajutorul acestui algoritm.

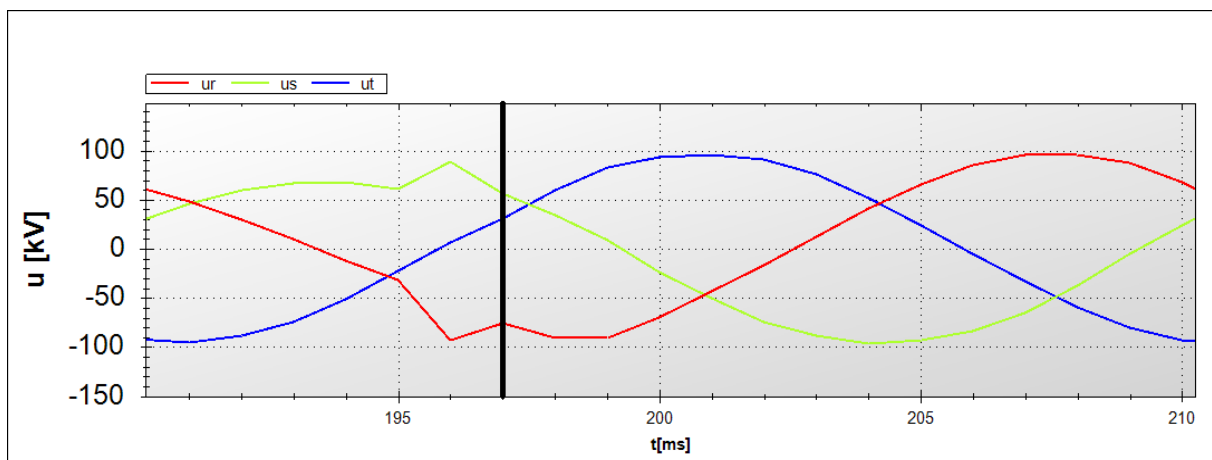


Fig. 5.20 – Captură a curbelor de tensiune în zona de sfârșit a golului de tensiune.

Punctele de pe curbă de inițiere și sfârșit a golului de tensiune pentru cele trei faze sunt:

$$\begin{array}{ll} PoW_{start\_R} = 130.951^\circ & PoW_{stop\_R} = 265.591^\circ \\ PoW_{start\_S} = 15.564^\circ & PoW_{stop\_S} = 162.158^\circ \\ PoW_{start\_T} = 254.214^\circ & PoW_{stop\_T} = 38.596^\circ \end{array}$$

## 5.4. Determinarea caracteristicilor trifazate

### 5.4.1. Amplitudinea și durata trifazată a golului de tensiune

În cazul sistemelor trifazate amplitudinea golului va fi obținută ca fiind minimul dintre amplitudinile celor trei faze.

$$U_{gol} = \min\{U_{gol\_R}, U_{gol\_S}, U_{gol\_T}\} \quad (5.21)$$

Aplicând această formulă pentru valorile determinate anterior se determină amplitudinea golului trifazat ca fiind:

$$U_{gol} = 0.695 \text{ u.r.}$$

În mod asemănător și în cazul duratei unui gol de tensiune aceasta va fi determinată ca fiind durata maximă dintre duratele celor trei faze.

$$t_{gol} = \max\{t_{gol\_R}, t_{gol\_S}, t_{gol\_T}\} \quad (5.22)$$

Aplicând această formulă pentru valorile determinate anterior se determină amplitudinea golului trifazat ca fiind:

$$t_{gol} = 118 \text{ ms}$$

### 5.4.2. Tipul golului conform clasificării ABC

Tipul golului se determină cu ajutorul metodei prezentată în capitolul anterior. Într-un prim pas se determină tipul golului de tensiune folosind metoda de clustering. În situația de față metoda Bollen determină tipul E sau C, punctul de clustering având coordonatele  $\{0.718; 0.983\}$  (Fig.5.21), iar metoda Leborgne

determină tipul G, punctul de clustering având coordonatele  $\{0.705; 0.617\}$  (Fig.5.22).

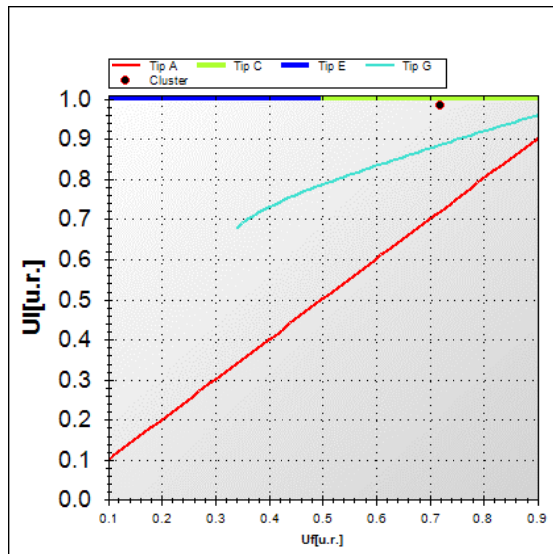


Fig. 5.21 – Plotarea pe graficul lui Bollen a punctului de clustering.

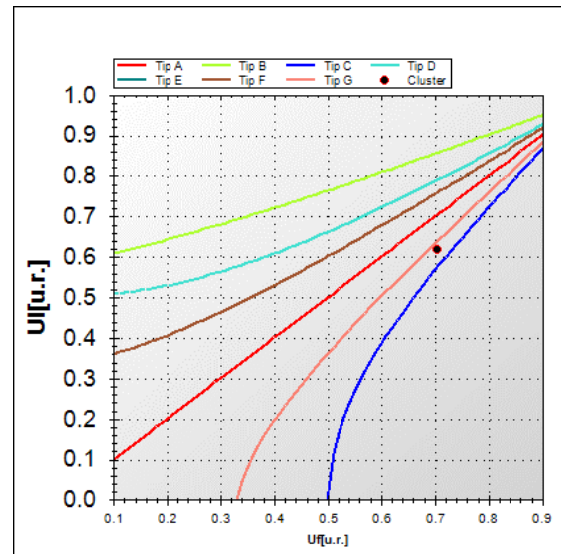


Fig. 5.22 – Plotarea pe graficul lui Leborgne a punctului de clustering.

După obținerea celor două puncte corespunzătoare celor două metode de clasificare folosite, acestea vor fi folosite pentru determinarea seturilor fuzzy folosite în cadrul clasificării cu ajutorul metodei fuzzy.

Pentru primul grup de mărimi Fuzzy de intrare se aplică cele două valori determinate ( $U_{f\_min}$  și  $U_{l\_min}$ ) și se determină prin alocare dinamica care sunt cele două seturi de mărimi fuzzy care vor participa în continuare la determinarea tipului golului de tensiune. Așa cum era de așteptat, deoarece punctul de clustering se găsește între tipul C și tipul G, la fel și seturile fuzzy pentru mărimile de intrare din grupul unu vor fi tot cele corespunzătoare tipurilor G și C. Din acest motiv în continuare se extrag seturile fuzzy pentru aceste două tipuri de goluri aferente primului set de mărimi de intrare, astfel: în Fig.5.23 pentru tipul G și în Fig.5.24 pentru tipul C. Din Fig.5.23 se observă că mărimea de intrare corespunzătoare tipului G va primi o valoarea de tip „High”. Din Fig.5.24 se observă că mărimea de intrare corespunzătoare tipului C va primi o valoarea de tip „Low”.

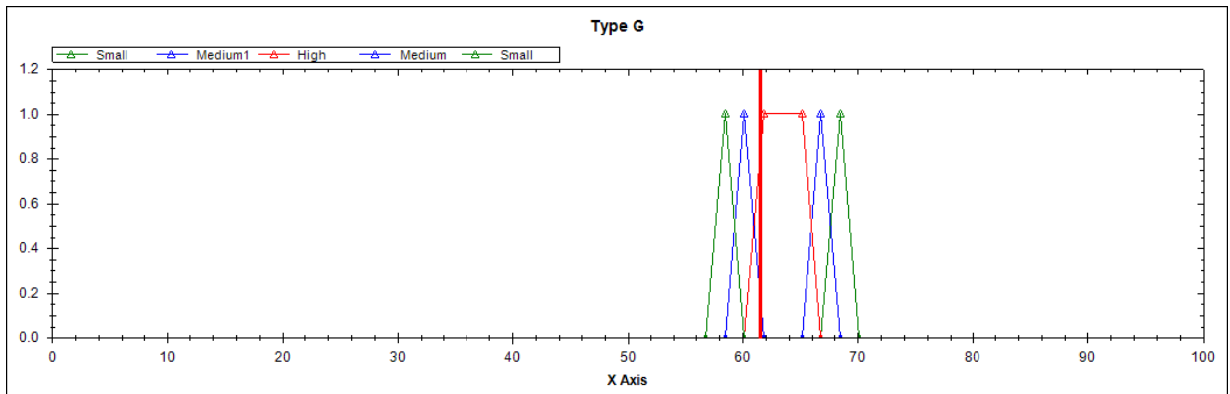


Fig. 5.23 – Reprezentarea setului fuzzy pentru tipul G conform primei grupe de mărimi de intrare.

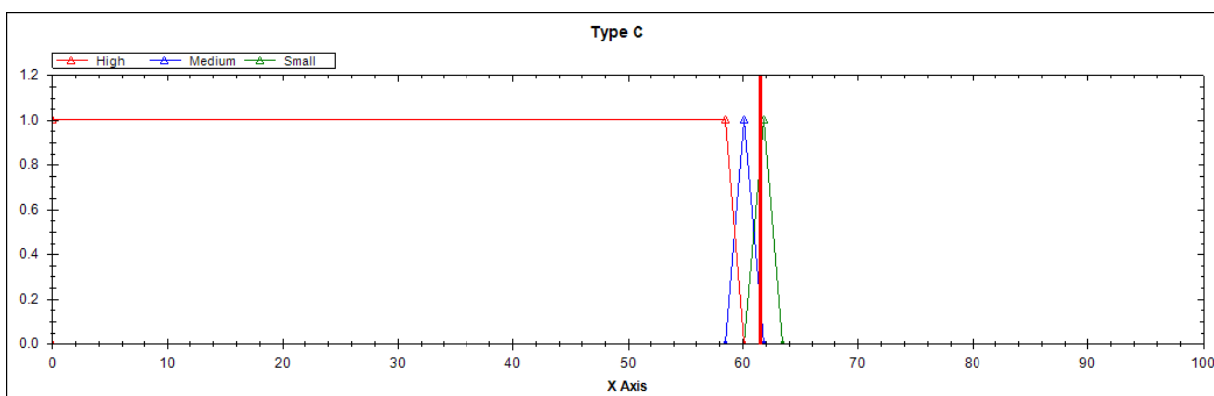


Fig. 5.24 – Reprezentarea setului fuzzy pentru tipul C conform primei grupe de mărimi de intrare.

În cazul metodei Bollen, se determină gol de tensiune monofazat, iar punctul de clustering se găsește între tipul G și tipul C. Din acest motiv în continuare se extrag seturile fuzzy pentru aceste două tipuri de goluri aferente celui de-al doilea set de mărimi de intrare, astfel: în Fig.5.25 pentru tipul G și în Fig.5.26 pentru tipul C. Din Fig.5.25 se observă că mărimea de intrare corespunzătoare tipului G va primi o valoare de tip „Low”. Din Fig.5.26 se observă că mărimea de intrare corespunzătoare tipului C va primi o valoare de tip „High”.

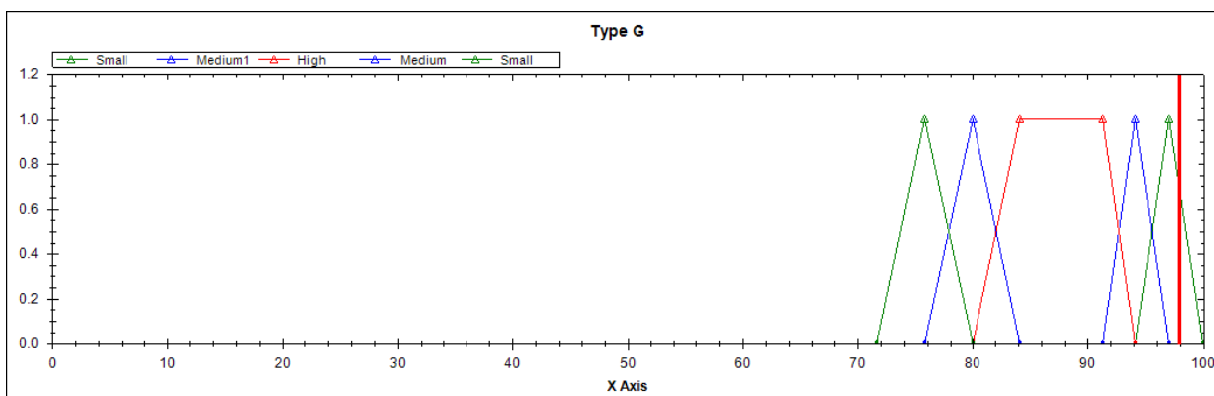


Fig. 5.25 – Reprezentarea setului fuzzy pentru tipul G conform celei de-a doua grupe de mărimi de intrare.

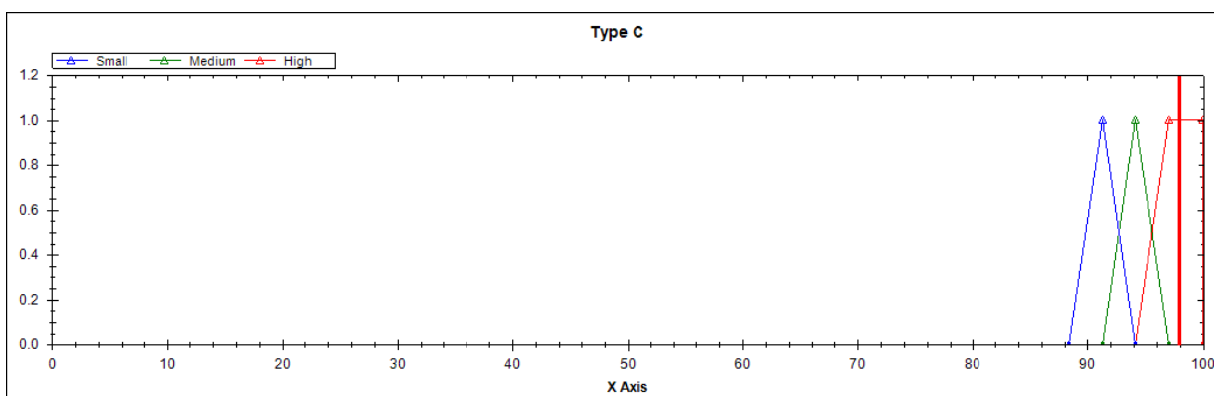


Fig. 5.26 – Reprezentarea setului fuzzy pentru tipul C conform celei de-a doua grupe de mărimi de intrare.

Pasul următor este determinarea variației defazajului dintre tensiunile de fază, respectiv a variației amplitudinilor tensiunilor de fază, iar pe baza acestor valori se vor construi seturile fuzzy corespunzătoare. Astfel, în Fig.5.27 se prezintă seturile fuzzy pentru variația defazajului dintre tensiuni în care se observă că mărimea de intrare corespunzătoare va primi o valoarea de tip „Low”, iar în Fig.5.28 se prezintă seturile fuzzy pentru variația amplitudinilor tensiunilor de fază în care se observă că mărimea de intrare va primi o valoarea de tip „High”.

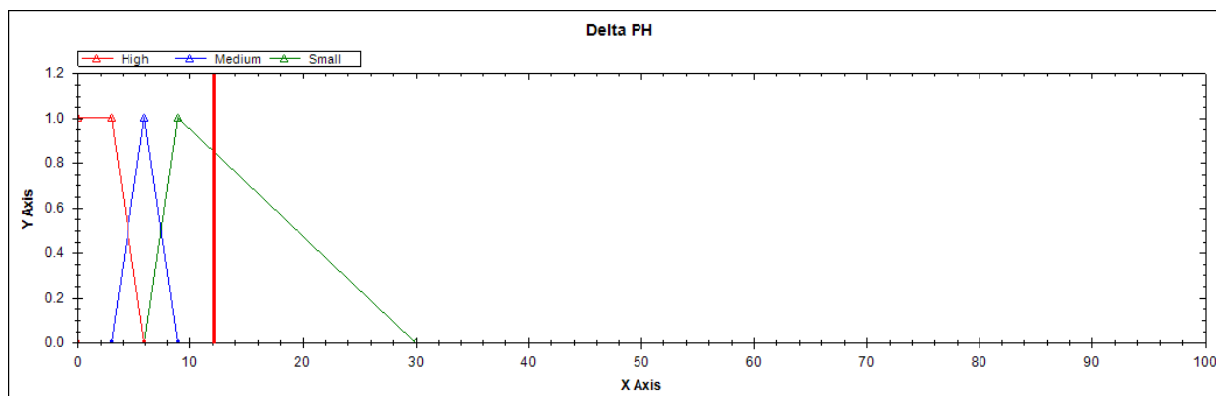


Fig. 5.27 – Reprezentarea setului fuzzy pentru variația defazajului dintre tensiuni.

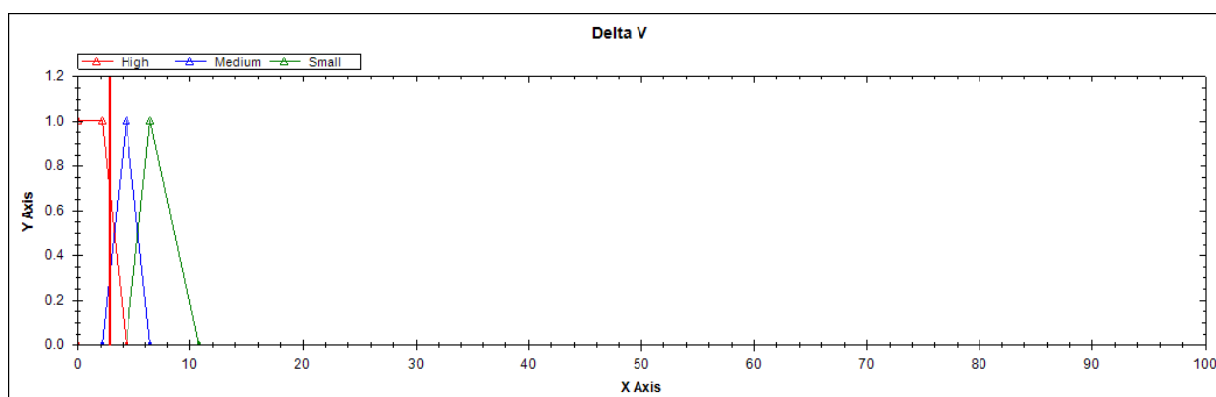


Fig. 5.28 – Reprezentarea setului fuzzy pentru variația amplitudinilor tensiunilor .

În aceste condiții regula de bază care va determina comportarea sistemului Fuzzy va fi de tipul „ $((x_{LH}) \& (y_{BH}) \& (u_S \& v_H)) \& y$ ” Astfel, în urma aplicării regulilor fuzzy pe aceste seturi, se determină rezultatul, în această situație obținându-se *tipul C*.

### 5.4.3. Testarea metodei Fuzzy-Clustering pe date reale

În capitolul anterior metoda de determinare a tipului golului de tensiune conform clasificării ABC a fost testată prin compararea cu metodele Leborgne și Bollen prin utilizarea datelor obținute de la simulatorul de goluri de tensiune. În urma testării s-a demonstrat calitatea noii metode dezvoltate și totodată s-au identificat și zonele în care metoda dă erori. În urma analizei datelor generate s-a constatat că este dificil de identificat dacă datorită variațiilor aplicate datelor generate metoda nu mai poate da rezultate corecte sau dacă golul de tensiune s-a transformat din tipul generat în alt tip apropiat. Testarea metodei prin utilizarea datelor reale are ca și scop identificarea diferențelor dintre cele trei metode.

În urma identificării tipului golului de tensiune prin aplicarea celor două metode (Bollen și Leborgne) pe date reale se constată că ele dau rezultate diferite pentru mai mult de jumătate dintre înregistrări existente. Acest lucru se poate observa și din Fig.5.29. Din analiza aceluiași grafic se poate observa că, dintre semnalele analizate, majoritatea golurilor de tensiune sunt de tipul D sau B, iar cele mai rare întâlnite tipuri de goluri de tensiune reprezintă tipul A și tipul F.

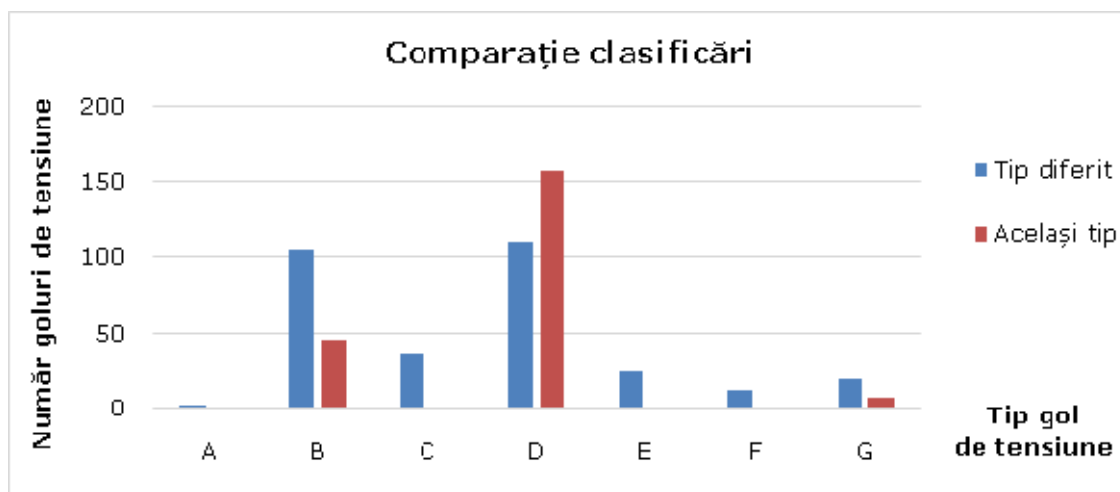


Fig. 5.29 – Analiza goluri de tensiune pentru care metodele Bollen și Leborgne dau rezultate identice sau diferite.

Prin aplicarea metodei de tip Fuzzy-Clustering s-au identificat tipurile golurilor de tensiune. În Fig.5.30 se prezintă toate cazurile în care metodele Bollen și Leborgne dau rezultate diferite, grupate în funcție de tipul determinat cu metoda proprie.

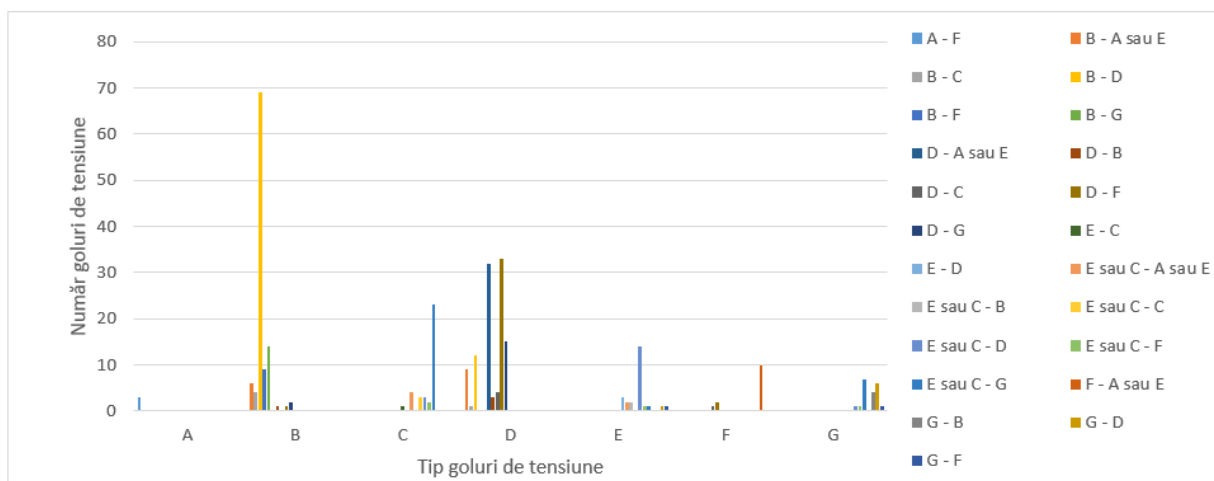


Fig. 5.28 – Analiza goluri de tensiune pentru care metodele Bollen și Leborgne dau rezultate diferite raportate la rezultatele obținute cu metoda proprie.

Prin considerarea corectă a rezultatelor obținute cu metoda Fuzzy-Clustering din Fig.5.30 se poate identifica pentru fiecare gol de tensiune care dintre cele două metode returna rezultatul corect. În Tabelul 5.1, pentru fiecare dintre cele două metode, se prezintă câte goluri au fost identificate corect și câte goluri nu au fost identificate corect.

Tabel 5.1 – Analiza corectitudinii metodelor Bollen și Leborgne

Tip gol	Bollen		Leborgne	
	Corect	Incorect	Corect	Incorect
A	3	-	-	3
B	102	4	1	105
C	35	1	4	32
D	87	23	12	98
E	23	2	2	23
F	10	3	2	11
G	11	9	7	13

În continuare, pentru fiecare metodă în parte s-a analizat între ce tipuri de goluri apar confuzii. În Fig.5.31 se prezintă această statistică pentru metoda Bollen, iar în Fig.5.32 se prezintă această statistică pentru metoda Leborgne.

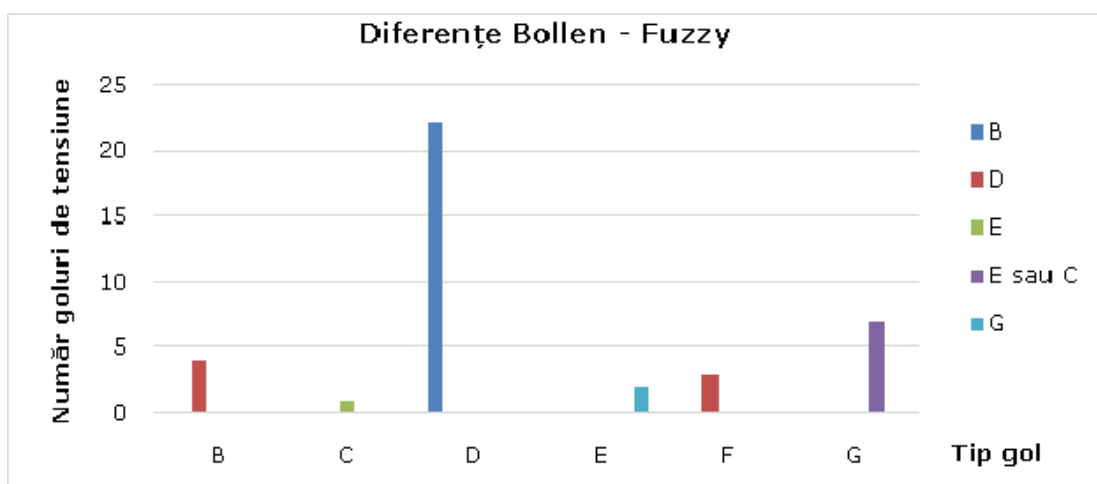


Fig. 5.31 – Prezentarea tipurilor de goluri între care metoda Bollen face confuzii.

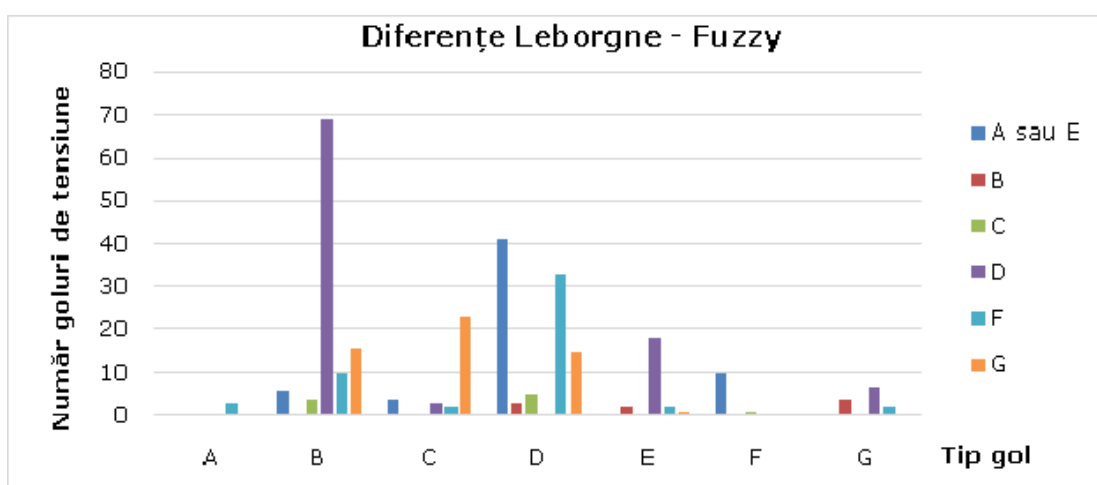


Fig. 5.32 – Prezentarea tipurilor de goluri între care metoda Leborgne face confuzii.

Așa cum era de așteptat, și așa cum se poate observa în Fig.5.31 metoda Bollen este mai puțin sensibilă la perturbații, confuziile apărând doar între tipurile

vecine, și anume: între B și D, între D și F, respectiv între C sau E și G. Din Fig.5.32 se poate observa sensibilitatea metodei Leborgne la diferite perturbații. Această metodă face confuzii chiar și între tipuri diferite din punct de vedere a numărului de faze afectate.

În concluzie, rezultatele obținute în urma testării metodei proprii pe date reale sunt satisfăcătoare în comparație cu principalele metode existente în literatura de specialitate. În urma acestui test comparativ se poate afirma fără rețineri că noua metodă oferă rezultate mai corecte decât cele existente în literatură.

## 5.5. Analiza statistică a informațiilor din baza de date

Așa cum s-a precizat anterior la testarea metodei de clasificare a golurilor de tensiune, procedura propusă în acest capitol a fost rulată pe un set goluri de tensiune obținute sub formă de fișiere cu înregistrări în rețeaua de transport a SC Transelectrica SA, regiunea de vest. Scopul acestui studiu este acela de a demonstra funcționarea procedurii pentru cazuri reale, iar lista completă conținând testarea procedurii pe date reale poate fi consultată în ANEXA 3.

În Fig.5.33 se prezintă distribuția golurilor de tensiune în funcție de tipul golului obținut pe baza clasificării ABC. Din analiza graficului se poate observa că, dintre semnalele analizate, majoritatea golurilor de tensiune sunt de tipul D urmate de tipul B. Cele mai rar întâlnite tipuri de goluri de tensiune reprezintă tipul A și tipul F. Acest lucru era de așteptat deoarece majoritatea defectelor trecătoare din rețeaua de transport sunt defecte de tip puneri la pământ a unei faze care dau goluri de tipul B, precum și propagări ale acestora prin transformatoare de tip Y0y0 care dau goluri de tip D.

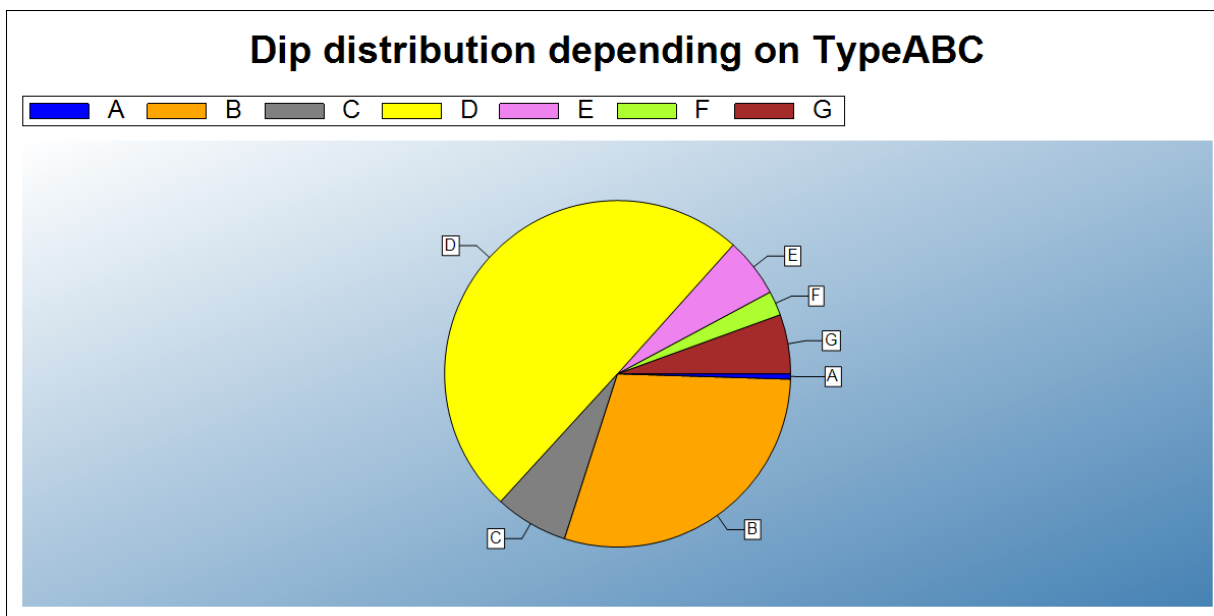


Fig. 5.33 – Distribuția golurilor de tensiune în funcție de tipul corespunzător clasificării ABC.

În Fig.5.34 se prezintă distribuția golurilor de tensiune în funcție de amplitudinea golului de tensiune exprimată în unități relative. Pentru aceasta se poate observa o distribuție mai uniformă a golurilor de tensiune, totuși fiind predominante golurile de tensiune cu o amplitudine 0,5-0,7 u.r. Se face precizarea



că în Fig.5.34 numărul de goluri alocate în dreptul unei valori fixe, notate  $x$ , reprezintă totalitatea golurilor care au amplitudini în intervalul  $(x-0.05 - x+0.05)$ .

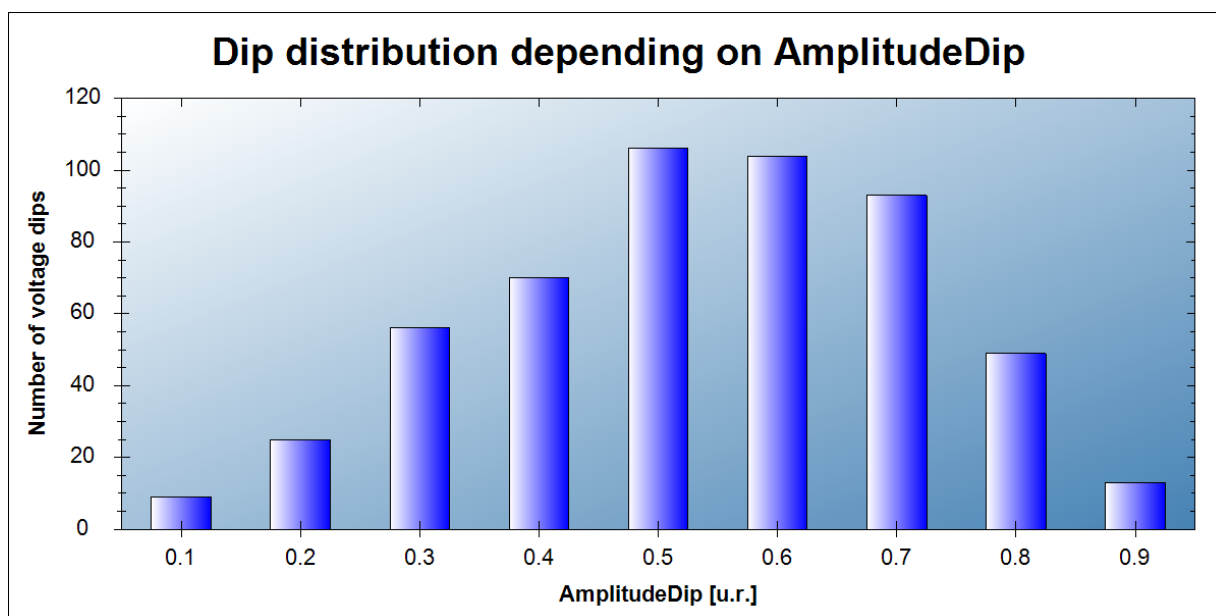


Fig. 5.34 – Distribuția golurilor de tensiune în funcție amplitudinea lor.

În Fig. 5.35 se prezintă distribuția golurilor de tensiune în funcție de durata golului de tensiune exprimată în ms. În această figură se poate observa o aglomerare în jurul valorilor 100-200ms, în această zonă aflându-se aproximativ 60% dintre golurile de tensiune, fapt ce se poate observa și în Fig.5.36.

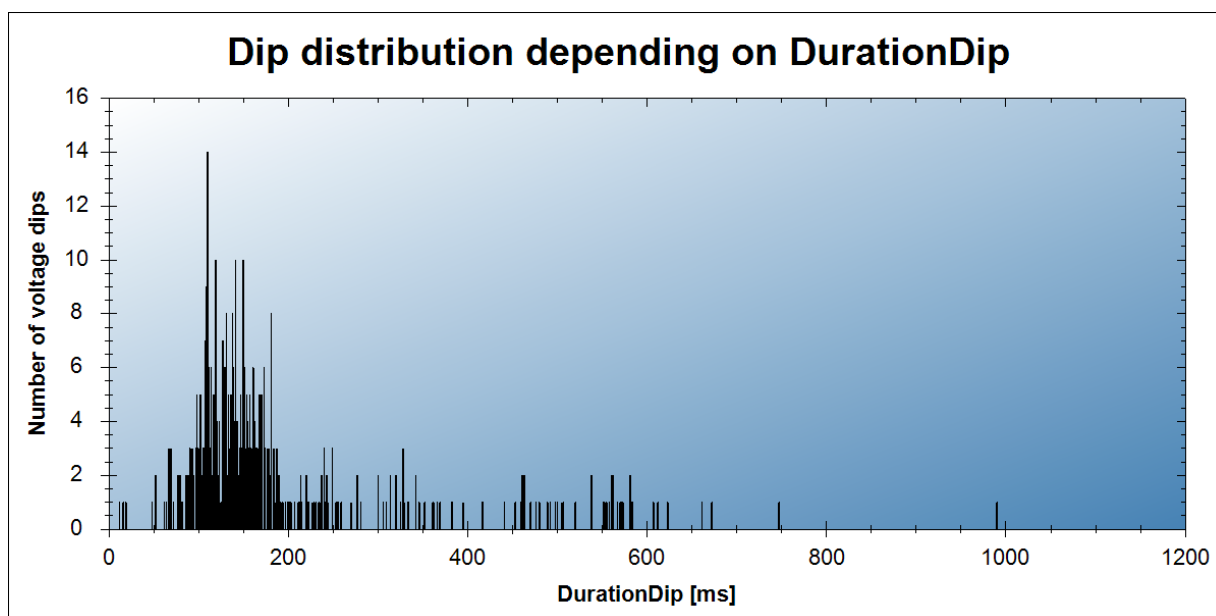


Fig. 5.35 – Distribuția golurilor de tensiune în funcție de durata lor.

O grupare a golurilor de tensiune în funcție de intervalele de timp în care se încadrează durata lor se poate observa și în Fig.5.36. Așa cum era de așteptat, ținând cont de nivelul de tensiune la care s-au înregistrat golurile, cele mai multe goluri se încadrează în intervalele de timp 100-150 ms, respectiv 150-200 ms.

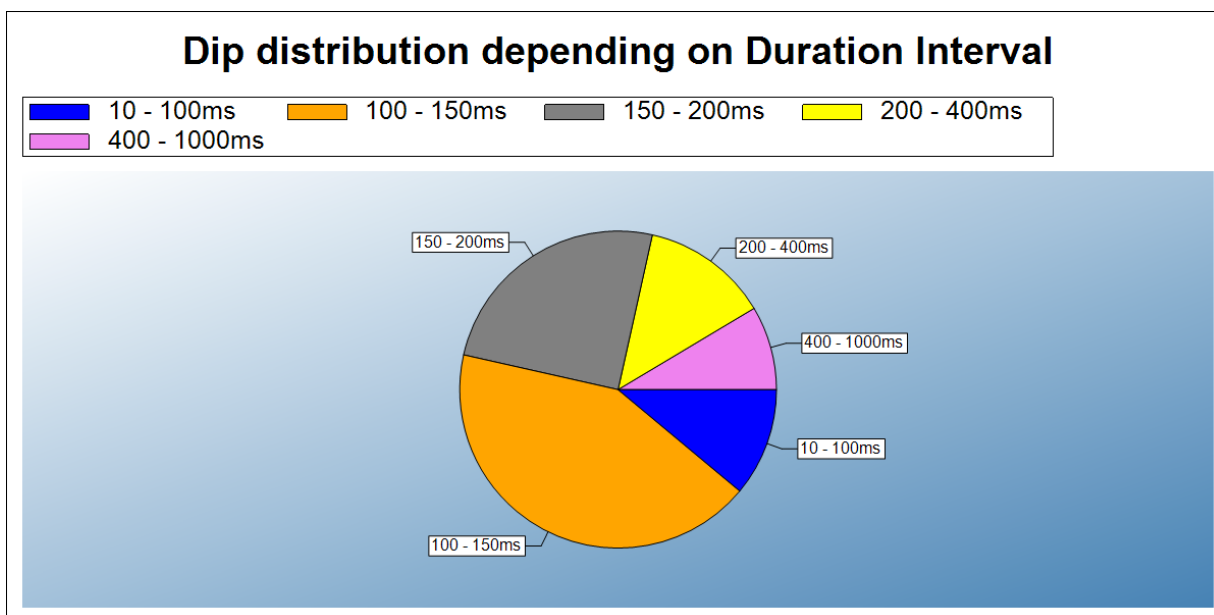


Fig. 5.36 – Distribuția golurilor de tensiune în funcție durata lor grupate în intervale de durată apropiată.

O reprezentare a perechii amplitudine-durată se poate observa pe curba ITIC (Fig.5.37) prescurtată formată din două părți și anume: ITI (Information Technology Industry Council), respectiv C (CBEMA). Curba CBEMA (Computer and Business Equipment Manufacturers' Association) reprezintă varianta inițială apărută în anul 1970.

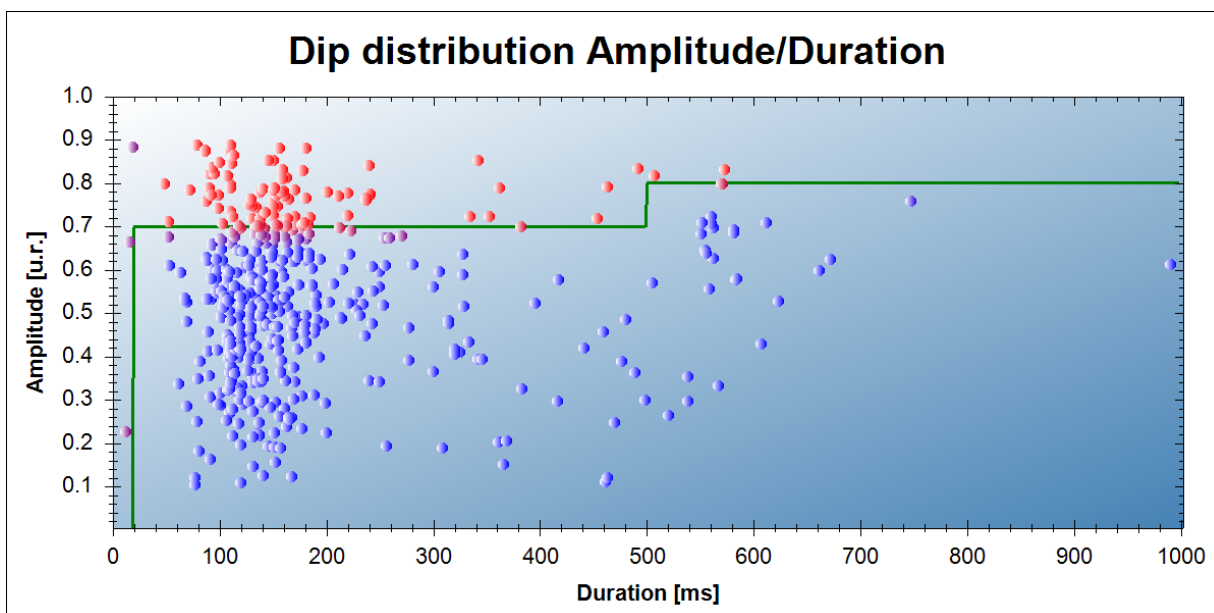


Fig. 5.37 – Distribuția golurilor de tensiune în funcție de amplitudine și durată pe varianta restrânsă a curbei ITIC, cu evidențierea celor acceptabile conform acestui standard.

În Fig.5.38 se prezintă distribuția golurilor de tensiune în funcție de regiunea în care a fost înregistrate. În această situație se poate observa o distribuție mai uniformă a evenimentelor înregistrate.

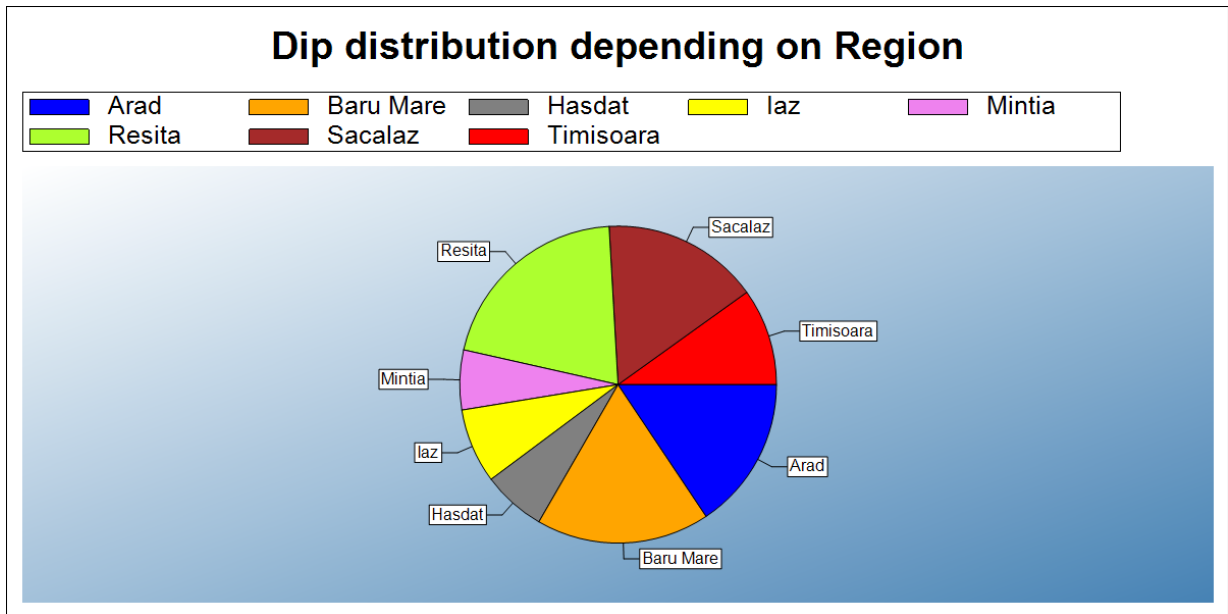


Fig. 5.38 – Distribuția golurilor de tensiune în funcție regiunea unde au fost înregistrate.

În Fig.5.39 se prezintă distribuția golurilor de tensiune în funcție de tipurile lor conform clasificării ABC, iar în Fig.5.40 se prezintă distribuția golurilor de tensiune în funcție amplitudinea lor aferente fiecărei regiune în parte.

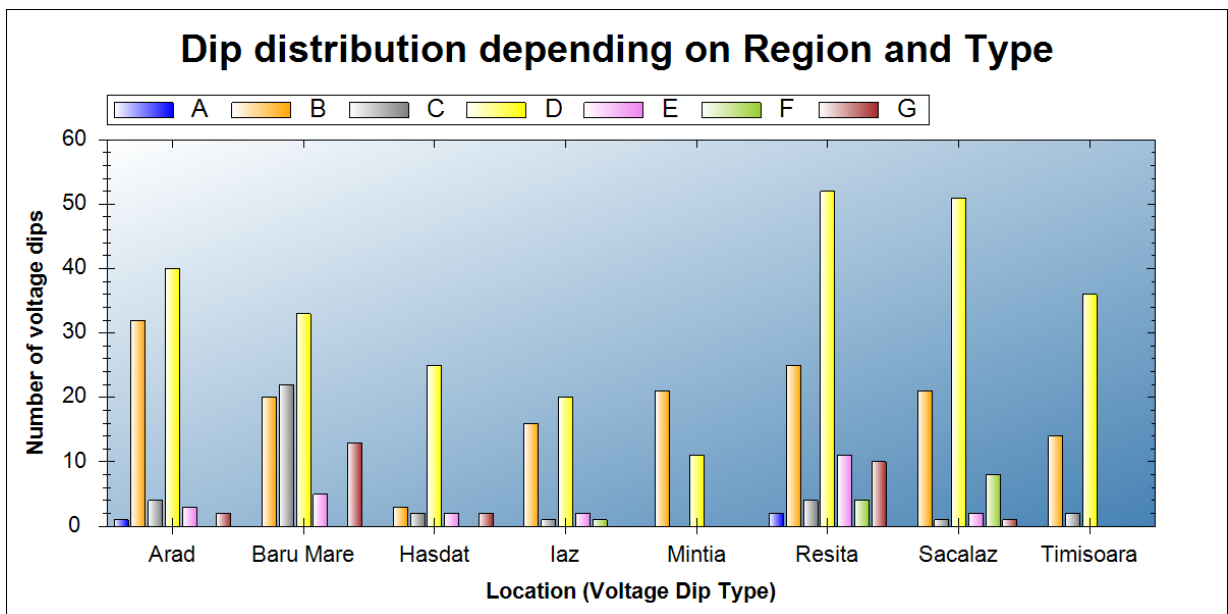


Fig. 5.39 – Distribuția golurilor de tensiune în funcție regiunea unde au fost înregistrate și tipul golului de tensiune.

Analizându-se fiecare regiune în parte putem observa că în zona Arad predomină goluri de tensiune de tipul B, D, având amplitudinea de 0,6 u.r. În situația regiunii Barul Mare predomină golurile de tensiune de tipul B, C și D, având amplitudinea de 0,5-0,8 u.r.

În cadrul înregistrărilor din stația de transformare Hașdad predomină golurile de tensiune de tipul D, având amplitudinea de 0,3 u.r. sau 0,6 u.r. În cadrul

înregistrărilor din stația de transformare Iaz predomină golurile de tensiune de tipul B și D, amplitudinile lor variind pe tot intervalul acestora.

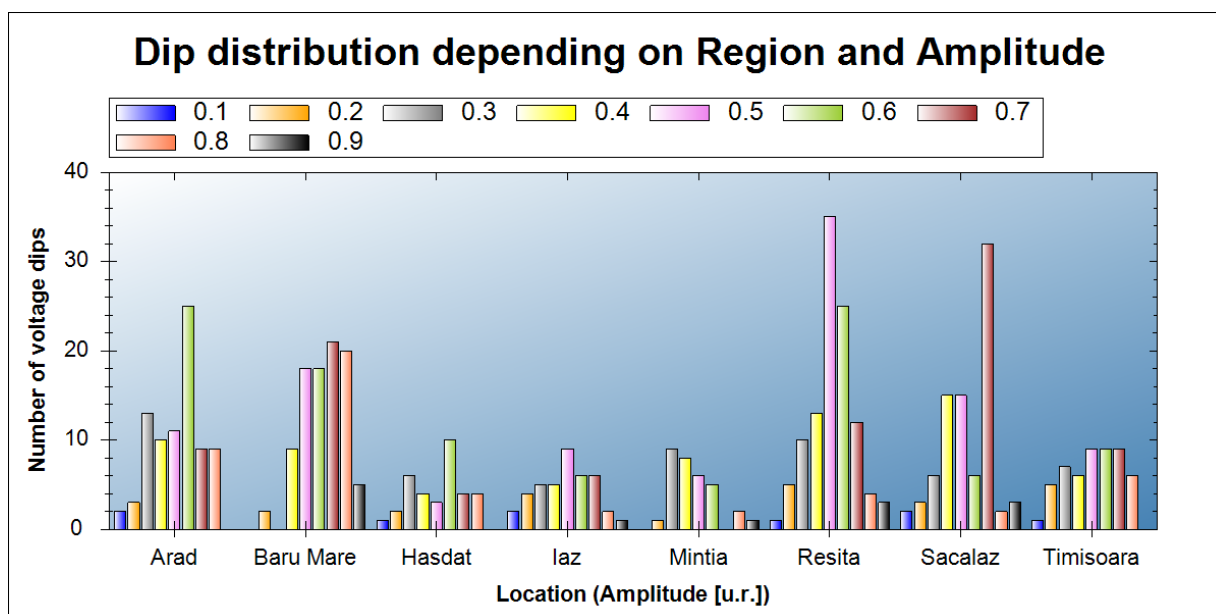


Fig. 5.40 – Distribuția golurilor de tensiune în funcție regiunea unde au fost înregistrate și amplitudinea lor.

Pentru Mintia s-au înregistrat doar goluri de tensiune de tipul B și D, având amplitudinea de 0.3 – 0.6 u.r. În situația regiunii Reșița predomină golurile de tensiune de tipul B și D, având amplitudinea de 0.5 – 0.6 u.r., iar pentru stația Săcălaz predomină golurile de tensiune de tipul B și D, având amplitudinea de 0,7 u.r. În final, pentru regiunea Timișoara s-au înregistrat doar goluri de tensiune de tipul B, C și D, amplitudinile lor variind pe tot intervalul acestora.

Ultimul grafic al acestei statistici, Fig.5.41, prezintă dispunerea golurilor de tensiune pe curba de acceptabilitate ITIC, la fel ca și în Fig.5.37, diferența fiind dată de faptul că s-a identificat și locul unde a fost înregistrat golul de tensiune. Pentru a se înțelege și mai bine rezultatele obținute, în Tabelul 5.2 se prezintă pentru fiecare regiune în parte, numărul de goluri aflate în zona, respectiv în afara zonei de acceptabilitate în conformitate cu prevederile curbei ITIC.

Tabel 5.2 – Statistică privind numărul de goluri în funcție de curba de acceptabilitate ITIC

Regiune	În afară zonei de acceptabilitate	În zona de acceptabilitate
Arad	8	74
Baru Mare	34	59
Hasdat	7	27
Iaz	6	34
Mintia	3	29
Resita	14	94
Sacalaz	19	64
Timisoara	10	42

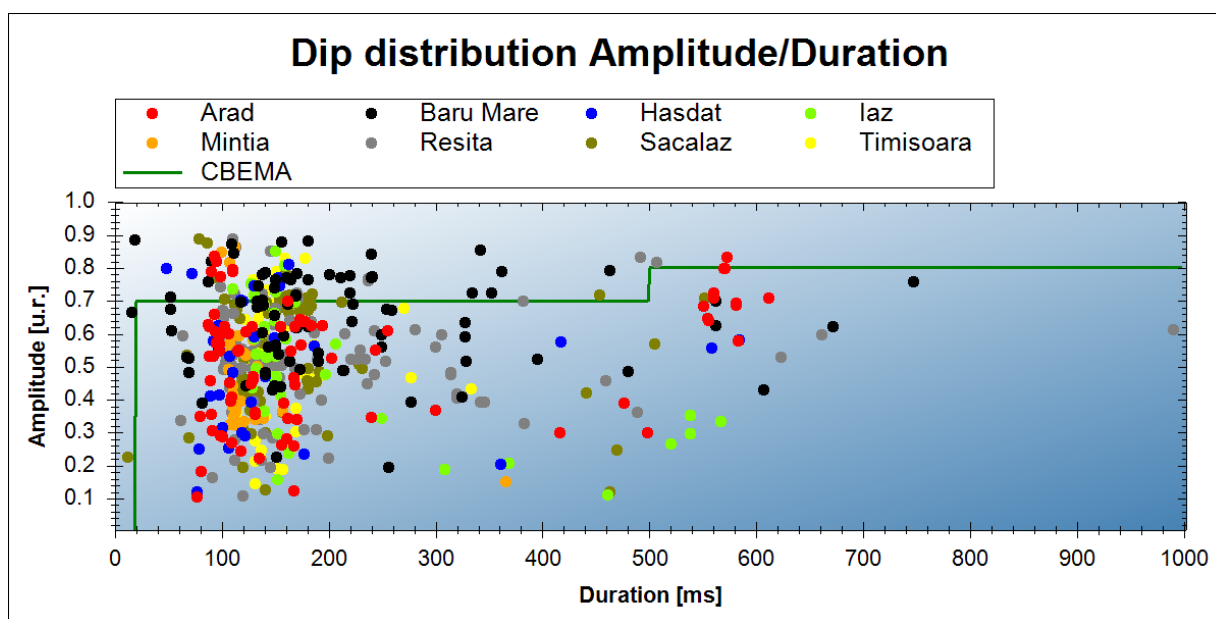


Fig. 5.41 – Distribuția golurilor de tensiune în funcție de amplitudine și durată pe varianta restrânsă a curbei ITIC, în funcție de regiunea unde au fost înregistrate.

Bineînțeles că există și alte posibilități de realizare a statisticilor, iar alegerea mărimilor reprezentate grafic sau tabelar depinde de ce anume se urmărește. Se precizează și faptul că toate rapoartele statistice prezentate sub formă grafică se pot prezenta și sub formă tabelară. Totodată, datele pot fi exportate în formate standard cum ar fi .txt, sau .csv.

## 5.6. Concluzii și contribuții personale

În cadrul acestui capitol s-a propus o procedură completă de analiză a fișierelor cu măsurători pe durata golurilor de tensiune. Procedura are la bază un program complex compus din mai mulți algoritmi.

Procedura începe cu încărcarea fișierelor de date în baza de date realizată după structura standardului COMFEDE. În urma colaborărilor cu reprezentanții SC Transelectrica SA s-a obținut un set de 1028 fișiere, dintre care 647 conțin goluri de tensiune de formă dreptunghiulară. Se face precizarea că toate fișierele au fost înregistrate cu ajutorul osciloperturbografele de tip CDR, a căror rată de eșantionare a fost setată la 1 kHz. Toate fișierele au fost de tip COMTRADE, iar acest lucru se datorează faptului că până în prezent compania nu deține sisteme de monitorizare care să salveze datele în formatul COMFEDE.

A doua parte a procedurii conține mai mulți algoritmi pentru prelucrarea primară a semnalelor digitale. Astfel, în urma unui studiu bibliografic s-a ales un algoritm bazat pe variația valorilor unghiurilor momentane ale fazelor pentru determinarea frecvenței reale la care s-a înregistrat fiecare eveniment. Deoarece algoritmul implementat nu funcționează corect pentru semnale eșantionate cu frecvențe reduse, cum sunt cele încărcate în baza de date s-a implementat un alt algoritm care are la bază determinarea unghiurilor relative ale tensiunilor de fază, dar care pornește de la premisa că pe durata evenimentului frecvența se păstrează constantă. După determinarea frecvenței reale se aplică transformata Fourier

discretă pentru determinarea valorilor efective și a unghiurilor tensiunilor de fază. Ultima etapă a prelucrării primare este reprezentată de segmentarea semnalului care are la bază un algoritm de analiză a tensorilor tensiunilor de fază.

A treia parte a procedurii o reprezintă determinarea parametrilor și caracteristicilor golurilor de tensiune. Această parte conține două module: primul modul folosit pentru determinarea parametrilor monofazați, iar al doilea modul folosit pentru determinarea parametrilor trifazați și realizarea clasificării ABC.

Ulterior procedura a fost aplicată automat celor 647 de goluri de tensiune identificate. În urma rulării automate, un număr de 524 de goluri de tensiune au fost prelucrate integral. Celelalte fișiere cu goluri au avut cel puțin o eroare în ceea ce privește segmentarea sau detectarea tipului conform clasificării ABC. Pentru acestea s-a trecut la analiza lor individuală și determinarea motivului pentru care nu a fost validată în baza de date.

În continuarea capitolului s-a realizat o analiză statistică a rezultatelor obținute prin extragerea din baza de date a unui set de grafice în care s-au evidențiat diversele distribuții ale evenimentelor în funcție de anumite criterii cum ar fi:

- numărul de goluri în funcție de tip, amplitudine sau durată;
- numărul de goluri în funcție de locație;
- numărul de goluri în funcție de locație și o altă caracteristică (tip, amplitudine, durată);
- listarea pe curba de acceptabilitate ITIC a tuturor golurilor, sau selectarea lor în funcție de locație.

Contribuțiile personale din acest capitol sunt:

- realizarea unei *proceduri originale* privind analiză caracterizarea și clasificarea golurilor de tensiune din rețele electrice;
- încărcarea în baza de date a unui set mare de înregistrări efectuate în stațiile de transport a SC Transelectrica SA, zona de Vest, identificarea fișierelor cu goluri de tensiune și prelucrarea completă a acestora;
- realizarea unui soft propriu de prelucrare primară și detaliată a datelor în cadrul căruia au fost implementați mai mulți algoritmi, fiecare având o funcție bine stabilită;
- realizarea unui algoritm propriu de detecție a frecvenței reale în cazul semnalelor afectate de goluri de tensiune care au fost înregistrate cu rate de eșantionare mică;
- validarea metodei de detecție a tipului golului de tensiune conform clasificării ABC, dezvoltate în capitolul precedent, prin testarea pe date reale;
- prezentarea sistematică prin intermediul reprezentărilor grafice a dependențelor dintre diverși parametri și caracteristici ale golurilor de tensiune.

## 6. Concluzii

Cercetarea bibliografică, cercetările proprii și rezultatele obținute de autor, referitor la caracterizarea și clasificarea golurilor de tensiune din rețelele electrice, permit formularea următoarelor concluzii:

1. Efectele negative ale golurilor de tensiune asupra tuturor elementelor rețelei electrice (surse de energie, rețea de transport și distribuție, consumatori), precum și creșterea tot mai accentuată a pierderilor economice din cauza lor, au condus la intensificarea studierii acestui fenomen din toate punctele de vedere care pot fi luate în considerare. În urma studiului bibliografic realizat în această direcție s-a stabilit că:

- golurile de tensiune reprezintă una dintre cele mai importante aspecte privind calitatea energiei electrice, din punct de vedere al pierderilor economice produse de efectele lor asupra consumatorilor;
- puține țări din lume au la dispoziție un set de date reale pe care să le poată folosi în cercetarea cât mai amănunțită a acestui fenomen;
- monitorizarea și analiza lor au devenit probleme din ce în ce mai discutate în cercurile ingineresti din întreaga lume;
- clasificarea și caracterizarea lor reprezintă o problemă delicată, pentru care nu s-a stabilit prin normative o metodă general acceptată;
- utilizarea tehnicilor de inteligență artificială poate fi o soluție de rezolvare a problemei clasificării și caracterizării golurilor de tensiune.

2. Standardele din domeniul calității energiei electrice nu i-au în considerare toți parametrii caracteristici ai golurilor de tensiune, chiar dacă mulți cercetători au prezentat importanța lor în anumite studii. Practic toate standardele conțin informații referitoare la amplitudinea și durata golului, dar nici unul nu face o referire exactă la saltul unghiului de fază și la punctele de pe curbă de inițiere și de finalizare a golurilor de tensiune. Totodată, standardele nu stabilesc o metodă exactă de caracterizare și clasificare a golurilor de tensiune trifazate.

3. Analiza golurilor de tensiune presupune deținerea unui set cât mai mare de măsurători reale pe durata acestui fenomen. Suplimentar, inteligența artificială are nevoie de și multe măsurători, unele fiind folosite pentru realizarea algoritmului, iar altele pentru testarea acestuia. Din acest motiv în lucrarea de față s-a realizat un generator trifazat de goluri de tensiune, cu ajutorul căruia să se poată asigura datele necesare implementării și testării metodelor dezvoltate.

4. O altă problemă delicată privind seturile de date utilizate în analiză o reprezintă managementul acestora. Prin management al datelor se înțelege colectarea datelor și pregătirea acestora pentru a putea fi cât mai ușor de accesat în momentul în care este nevoie de ele. În acest sens s-a implementat o bază de date, folosind cele mai noi soluții din acest domeniu, în care se pot stoca toate datele utilizate sau rezultate din aceste cercetări.

5. Clasificarea și caracterizarea golurilor de tensiune trifazate este de asemenea o problemă reală. În literatura de specialitate, există trei tipuri de clasificări, pornite de la considerente diferite. Dintre acestea, clasificarea ABC



pornește de la noțiuni teoretice și este cea mai potrivită pentru realizarea analizelor complexe de influență a golurilor de tensiune asupra diverselor elemente de rețea. Din acest motiv și în această teză s-a abordat Clasificarea ABC.

6. O problemă delicată a acestei clasificări este dată de determinarea tipului golului de tensiune din măsurători reale. Cu alte cuvinte cum se stabilește că un gol de tensiune aparține la o anumit grupă. În urma analizei principalelor metode existente în literatură s-a propus dezvoltarea unei noi metode care utilizează tehnici de Fuzzy-Clustering. În urma implementării acestei metode într-un algoritm s-a demonstrat că aceasta furnizează rezultate mai corecte decât cele existente în literatură.

7. Determinarea parametrilor și caracteristicilor golurilor de tensiune prin analiza semnalelor reale obținute din înregistrări, presupune identificarea cât mai corectă a mărimilor de bază ale semnalului și anume: frecvența reală, valorile efective momentane ale tensiunilor de fază, precum și unghiurile de tensiune ale celor trei faze. Pentru fiecare dintre aceste probleme s-au identificat algoritmi care conduc la rezultate bune și care utilizează cât mai puține resurse ale sistemului de calcul.

8. În lucrare se prezintă o procedură de caracterizare a fiecărei unde de tensiune în parte, precum și o caracterizare și o clasificare a golurilor de tensiune trifazate considerate unitar. Această procedură utilizează mai multe instrumente software. În primul rând măsurătorile sunt preluate din fișiere de date, apoi transformate în formate standardizate, iar în final salvate într-o bază de date realizată conform noutăților din domeniu. În a doua etapă se realizează o prelucrare primară, care constă în determinarea tuturor caracteristicilor monofazate pentru fiecare undă de tensiune în parte. În a treia etapă se realizează o prelucrare avansată pentru determinarea caracteristicilor și clasificării trifazate a golului. În final, se pot extrage diverse rapoarte pe baza cărora se pot realiza noi studii în domeniul golurilor de tensiune.

9. În final se aplică toate metodele dezvoltate în teză, pentru a se realiza o bază de date cu goluri de tensiune reale, care să conțină toate informațiile individuale pentru fiecare înregistrare în parte. Se face precizarea că acest tip de abordare, necesită un spațiu de stocare imens, dar deschide noi drumuri în realizarea de noi cercetări în domeniul golurilor de tensiune.

Dintre contribuțiile aduse de autor în cadrul prezentei teze de doctorat, precizate în lucrare, la finele fiecărui capitol, se remarcă:

#### Capitolul 2:

- prezentarea într-o manieră personală a principalelor noțiuni privind definirea și standardizarea golurilor de tensiune;
- prezentarea într-o manieră personală a principalelor noțiuni privind caracterizarea și clasificarea golurilor de tensiune;
- sinteza noțiunilor generale și particulare privind golurile de tensiune, realizată printr-un studiu bibliografic de dimensiuni mari având ca suport baza de date IEEE;
- analiza critică a soluțiilor propuse în literatura de specialitate privind studiul golurilor de tensiune din punct de vedere al problemelor direcției de cercetare aleasă, punându-se un accent mai ridicat pe problemele principale ce vor fi analizate în continuarea acestei teze;
- informațiile acumulate pe durata realizării acestui capitol a condus la realizarea lucrărilor [Moga2010], [Molnar2011a] și [Baloi2014].

## Capitolul 3:

- analiza critică a studiilor existente în domeniul generatoarelor de goluri de tensiune și a studiilor care prezintă baze de date utilizate în domeniul calității energiei electrice;
- analiza prevederilor standardelor internaționale de realizare a bazelor de date, de salvare a informațiilor în fișiere și a modului de stabilire a denumirilor fișierelor de date;
- dezvoltarea unui *model matematic original și a algoritmului unui generator monofazat* de goluri de tensiune, precum și implementarea în C# a acestuia; modelul matematic și testarea acestuia a fost publicat în [Molnar2013c] – lucrare indexată ISI;
- dezvoltarea unui *model matematic original și a algoritmului unui generator trifazat de goluri de tensiune*, precum și implementarea în C# a acestuia; modelul matematic și testarea acestuia a fost publicat în [Iovan2013a]; pe baza generatorului de goluri de tensiune s-a dezvoltat și articolul [Iovan2014];
- realizarea unei *baze de date dinamice proprii*, utilizând mediul de dezvoltare Oracle, care are la bază prevederile standardului internațional C37.239-2010; o primă versiune a bazei de date a fost publicată în [Iovan2011];
- realizarea unei interfețe grafice care permite accesul la informațiile din baza de date, iar apoi permite crearea și generarea de rapoarte sub formă grafică sau tabelară.

## Capitolul 4:

- analiza principalelor metode și algoritmi folosite pentru determinarea tipului golului de tensiune conform clasificării ABC;
- îmbunătățirea metodelor Leborgne și Bollen prin aplicarea tehnicii de Clustering care împreună cu prezentarea rezultatelor acestora au fost prezentate în [Iovan2013b];
- analiza sensibilității celor două metode îmbunătățite cu tehnica de Clustering, la variații ale amplitudinii tensiunilor de fază sau la variații ale unghiurilor dintre tensiunile de fază, prin testarea acestora pe un set de 1890 de goluri de tensiune trifazate generate cu ajutorul generatorului de goluri prezentat în capitolul 3;
- dezvoltarea unei *metode proprii originale* utilizând tehnici de Fuzzy-Clustering de determinare a tipului golului de tensiune conform clasificării ABC;
- alocarea dinamică a mărimilor de intrare ale logicii Fuzzy, cu ajutorul unui algoritm original, care elimină erorile sistematice introduse de utilizarea tensiunii maxime de fază și tensiunii minime de linie;
- identificarea a doi parametri care definesc două mărimi de intrare ale logicii Fuzzy, și care elimină sensibilitatea metodei la variații ale amplitudinii tensiunilor de fază sau la variații ale unghiurilor dintre tensiunile de fază;
- compararea rezultatelor obținute cu această metodă, cu rezultatele obținute cu celelalte metode prezentate în acest capitol, ceea ce a condus la validarea acesteia.

Capitolul 5:

- realizarea unei *proceduri originale* privind analiză caracterizarea și clasificarea golurilor de tensiune din rețele electrice;
- încărcarea în baza de date a unui set mare de înregistrări efectuate în stațiile de transport a SC Transelectrica SA, zona de Vest, identificarea fișierelor cu goluri de tensiune și prelucrarea completă a acestora;
- realizarea unui soft propriu de prelucrare primară și detaliată a datelor în cadrul căruia au fost implementați mai mulți algoritmi, fiecare având o funcție bine stabilită;
- realizarea unui algoritm propriu de detecție a frecvenței reale în cazul semnalelor afectate de goluri de tensiune care au fost înregistrate cu rate de eșantionare mică;
- validarea metodei de detecție a tipului golului de tensiune conform clasificării ABC, dezvoltate în capitolul precedent, prin testarea pe date reale;
- prezentarea sistematică prin intermediul reprezentărilor grafice a dependențelor dintre diverși parametri și caracteristici ale golurilor de tensiune.

Cea mai mare parte a rezultatelor obținute în cadrul tezei au fost publicate în cadrul a 8 lucrări științifice dintre care: 3 sunt prezentate la conferințe naționale [Iovan2011], [Iovan2013a], [Iovan2013b]; 2 au fost publicate într-o revistă și o conferință indexate în baze de date internaționale [Moga2010], [Molnar2011a]; 3 au fost publicate în volumul unor conferințe internaționale dintre care [Molnar2013c] este indexată ISI, iar [Iovan2014] și [Băloi2014] sunt în curs de indexare ISI.

În contextul progresului tehnicii de calcul, studiul teoretic și practic realizat în cadrul tezei de doctorat conduce la recomandarea privind utilizarea procedurii de caracterizare și clasificare a golurilor de tensiune în realizarea unei baze de date de dimensiuni naționale. Procedura dezvoltată poate fi utilizată ca și instrument software de analiză pentru un set de echipamente de monitorizare realizate cu costuri scăzute, care să aibă implementate doar funcțiile de detecție a apariției golului de tensiune și de salvare a valorilor momentane ale tensiunilor de fază. Acest lucru este posibil și datorită dezvoltării din ultimul timp a rețelelor de calculatoare din punct de vedere al capacității de transfer de date. Realizarea unei baze de date naționale care să conțină toate informațiile prezentate în cadrul tezei de doctorat poate conduce la realizarea unor noi cercetări în domeniu, precum și la identificarea unor metode optime de protejare a consumatorilor și chiar a întregului sistem electroenergetic împotriva perturbațiilor de tip gol de tensiune.

Dintre direcțiile de cercetare în viitor, pe această temă, se evidențiază implementarea unor metode mai avansate de determinare a caracteristicilor și a tipului golului de tensiune conform clasificării ABC, cum ar fi tehnici specifice de rețele neuronale. De asemenea, se are în vedere și se va studia posibilitatea utilizării online a procedurii realizate, însoțită de toate instrumentele software dezvoltate. Din punct de vedere al metodei de determinare a caracteristicilor golurilor de tensiune, studiul se va extinde pentru a se putea clasifica și alte categorii de goluri cum sunt cele date de pornirea consumatorilor rotativi de puteri mari.

## ANEXA 1 – PARAMETRII GOLURILOR DE TENSIUNE GENERATE CU GENERATORUL TRIFAZAT DE GOLURI.

Set	Număr	Tensiunea reală [kV]	Frecvența reală [Hz]	Amplitudine gol [pu]	$\varphi$ [°]	Durata golului [s]	Tipul golului	Număr de armonici	Număr de inter-armonici
Set 1	1	107.8	49.178	0.745	-9.466	0.383	C	8	7
Set 1	2	104.5	49.457	0.761	3.014	0.114	g	5	8
Set 1	3	113.3	50.892	0.639	29.867	0.448	g	6	4
Set 1	4	102.3	50.39	0.616	-17.18	0.397	D	4	2
Set 1	5	116.6	50.781	0.636	-17.417	0.288	A	2	3
Set 1	6	110	49.171	0.655	-17.653	0.179	C	9	1
Set 1	7	102.3	49.561	0.674	-17.89	0.07	F	4	5
Set 1	8	117.7	49.952	0.693	-18.126	0.951	F	7	8
Set 1	9	111.1	50.168	0.609	8.253	0.077	F	5	9
Set 1	10	114.4	50.885	0.748	21.68	0.244	B	2	2
Set 1	11	100.1	49.666	0.787	21.207	0.026	F	8	8
Set 1	12	104.5	50.384	0.726	-25.367	0.193	B	1	2
Set 1	13	107.8	50.447	0.625	20.733	0.797	C	6	8
Set 1	14	118.8	49.945	0.602	-26.313	0.746	E	3	9
Set 1	15	112.2	50.161	0.719	0.066	0.862	g	9	6
Set 1	16	105.6	50.552	0.738	-0.17	0.753	B	2	4
Set 1	17	116.6	50.05	0.715	12.783	0.702	E	6	1
Set 1	18	113.3	49.158	0.673	25.973	0.76	C	5	6
Set 1	19	110	50.266	0.631	-20.837	0.818	B	4	9
Set 1	20	106.7	49.374	0.79	-7.648	0.876	g	4	7
Set 1	21	106.7	50.545	0.647	-8.357	0.549	C	9	5
Set 1	22	107.8	50.371	0.744	18.259	0.774	E	4	2
Set 1	23	115.5	49.151	0.783	17.786	0.556	E	3	7
Set 1	24	101.2	49.932	0.621	17.313	0.338	E	7	6
Set 1	25	119.9	49.04	0.779	-29.497	0.396	C	8	7
Set 1	26	116.6	50.148	0.737	-16.308	0.454	F	3	1
Set 1	27	108.9	50.538	0.757	-16.544	0.345	D	2	1

Set	Număr	Tensiunea reală [kV]	Frecvența reală [Hz]	Amplitudine gol [pu]	$\varphi$ [°]	Durata golului [s]	Tipul golului	Număr de armonici	Număr de inter-armonici
Set 1	28	105.6	49.646	0.715	-3.354	0.403	D	2	1
Set 1	29	102.3	50.754	0.673	9.835	0.461	B	8	3
Set 1	30	99	49.862	0.631	23.025	0.519	D	5	8
Set 1	31	102.3	49.925	0.73	9.126	0.134	C	9	8
Set 1	32	111.1	49.361	0.608	-24.022	0.468	D	6	8
Set 1	33	114.4	49.424	0.708	22.079	0.083	F	4	2
Set 1	34	117.7	50.141	0.647	-24.495	0.25	g	1	5
Set 1	35	111.1	50.532	0.666	-24.731	0.141	B	8	3
Set 1	36	114.4	49.249	0.605	-11.305	0.308	E	2	3
Set 1	37	107.8	49.64	0.624	-11.541	0.199	D	3	1
Set 1	38	104.5	50.748	0.782	1.648	0.257	g	1	8
Set 1	39	118.8	49.138	0.601	1.412	0.148	B	3	9
Set 1	40	112.2	49.528	0.621	1.175	0.038	E	9	4
Set 1	41	104.5	49.919	0.64	0.939	0.919	D	7	3
Set 1	42	105.6	49.744	0.737	27.555	0.155	g	3	5
Set 1	43	119.9	50.135	0.756	27.318	0.045	g	4	7
Set 1	44	102.3	50.852	0.695	-19.255	0.213	C	7	4
Set 1	45	112.2	50.525	0.775	27.082	0.926	E	2	6
Set 1	46	113.3	50.351	0.672	-6.302	0.162	A	9	4
Set 1	47	106.7	50.741	0.691	-6.538	0.052	A	7	8
Set 1	48	99	49.131	0.711	-6.775	0.933	E	6	5
Set 1	49	117.7	50.239	0.669	6.415	0.991	D	8	8
Set 1	50	103.4	49.02	0.707	5.942	0.773	A	1	3
Set 1	51	100.1	50.128	0.665	19.132	0.831	g	3	2
Set 1	52	107.8	50.909	0.704	18.658	0.613	A	6	8
Set 1	53	107.8	50.734	0.601	-14.725	0.838	g	4	4
Set 1	54	115.5	49.515	0.639	-15.198	0.62	F	5	6
Set 1	55	116.6	49.341	0.736	11.418	0.845	F	3	5
Set 1	56	108.9	49.731	0.755	11.181	0.736	A	7	9
Set 1	57	105.6	50.839	0.714	24.371	0.794	D	4	6
Set 1	58	116.6	50.512	0.794	10.708	0.518	A	2	7
Set 1	59	105.6	50.01	0.771	23.661	0.467	C	6	7
Set 1	60	99	50.401	0.79	23.425	0.358	F	1	7
Set 1	61	102.3	49.118	0.729	-23.149	0.525	g	9	9
Set 1	62	117.7	49.509	0.748	-23.385	0.416	B	4	3
Set 1	63	117.7	49.334	0.646	3.231	0.641	E	1	6

Set	Număr	Tensiunea reală [kV]	Frecvența reală [Hz]	Amplitudine gol [pu]	$\varphi$ [°]	Durata golului [s]	Tipul golului	Număr de armonici	Număr de inter-armonici
Set 1	64	103.4	50.115	0.684	2.758	0.423	F	4	8
Set 1	65	118.8	50.505	0.703	2.521	0.314	B	7	9
Set 1	66	118.8	50.331	0.6	29.137	0.539	E	2	6
Set 1	67	100.1	50.394	0.7	15.238	0.153	E	3	8
Set 1	68	108.9	49.829	0.778	-17.91	0.488	C	3	4
Set 1	69	112.2	49.892	0.677	28.191	0.102	B	1	1
Set 1	70	115.5	50.61	0.616	-18.383	0.27	C	7	1
Set 1	71	112.2	49.718	0.774	-5.193	0.328	B	8	8
Set 1	72	105.6	50.108	0.793	-5.429	0.218	A	9	3
Set 1	73	119.9	50.499	0.612	-5.666	0.109	D	2	6
Set 1	74	113.3	50.889	0.632	-5.902	0.99	A	1	8
Set 1	75	102.3	50.387	0.609	7.051	0.939	F	2	3
Set 1	76	99	49.495	0.767	20.241	0.997	B	4	9
Set 1	77	110	50.994	0.744	-26.806	0.946	A	6	2
Set 1	78	103.4	49.384	0.764	-27.043	0.837	D	1	5
Set 1	79	118.8	49.6	0.68	-0.663	0.953	C	8	4
Set 1	80	104.5	50.381	0.718	-1.136	0.735	A	1	8
Set 1	81	101.2	49.489	0.676	12.054	0.793	A	7	7
Set 1	82	101.2	49.314	0.774	-21.33	0.028	D	4	3
Set 1	83	101.2	49.314	0.774	-21.33	0.028	D	5	3
Set 1	84	112.2	50.987	0.654	25.007	0.742	D	2	8
Set 1	85	108.9	50.095	0.612	-21.803	0.8	g	8	7
Set 1	86	102.3	50.485	0.631	-22.04	0.691	B	3	6
Set 1	87	113.3	49.984	0.608	-9.086	0.64	A	3	7
Set 1	88	110	49.092	0.767	4.103	0.698	D	7	1
Set 1	89	99	50.59	0.744	17.057	0.647	F	3	6
Set 1	90	111.1	50.089	0.721	-29.99	0.596	F	2	6
Set 1	91	100.1	49.587	0.699	-17.037	0.545	B	7	4
Set 1	92	118.8	50.695	0.657	-3.847	0.603	E	2	7
Set 1	93	108.9	50.193	0.634	9.106	0.552	E	1	9
Set 1	94	116.6	50.974	0.672	8.633	0.333	g	6	6
Set 1	95	113.3	50.082	0.631	21.823	0.391	g	9	8
Set 1	96	110	49.19	0.789	-24.987	0.45	A	5	9
Set 1	97	116.6	49.971	0.627	-25.46	0.231	B	9	8
Set 1	98	99	50.688	0.766	-12.034	0.399	E	2	9
Set 1	99	117.7	49.796	0.724	1.156	0.457	B	1	7

Set	Număr	Tensiunea reală [kV]	Frecvența reală [Hz]	Amplitudine gol [pu]	$\varphi$ [°]	Durata golului [s]	Tipul golului	Număr de armonici	Număr de inter-armonici
Set 1	100	110	50.187	0.743	0.919	0.347	g	9	1
Set 2	1	102.3	50.565	0.775	27.536	0.419	A	9	1
Set 2	2	113.3	50.063	0.752	-19.51	0.368	D	3	8
Set 2	3	106.7	50.453	0.771	-19.747	0.259	F	8	2
Set 2	4	103.4	49.561	0.73	-6.557	0.317	D	6	9
Set 2	5	117.7	49.952	0.749	-6.794	0.208	C	7	6
Set 2	6	114.4	49.06	0.707	6.396	0.266	F	1	1
Set 2	7	103.4	50.732	0.787	-7.267	0.979	F	2	6
Set 2	8	114.4	50.231	0.765	5.687	0.928	B	6	6
Set 2	9	107.8	50.447	0.681	-27.934	0.054	D	1	2
Set 2	10	118.8	50.12	0.761	18.403	0.768	C	2	4
Set 2	11	104.5	49.555	0.639	-14.744	0.112	B	9	3
Set 2	12	119.9	49.945	0.658	-14.981	0.993	E	6	2
Set 2	13	104.5	50.726	0.697	-15.454	0.775	D	4	9
Set 2	14	101.2	49.834	0.655	-2.264	0.833	g	8	7
Set 2	15	108.9	50.615	0.693	-2.737	0.615	F	1	1
Set 2	16	105.6	49.723	0.651	10.453	0.673	C	3	4
Set 2	17	106.7	49.548	0.748	-22.931	0.898	E	3	9
Set 2	18	114.4	50.329	0.787	-23.404	0.68	E	1	5
Set 2	19	99	49.11	0.625	-23.877	0.462	g	7	2
Set 2	20	117.7	50.218	0.783	-10.687	0.52	B	9	6
Set 2	21	100.1	50.935	0.722	2.739	0.687	F	6	7
Set 2	22	118.8	50.043	0.68	15.929	0.745	g	9	6
Set 2	23	108.9	49.542	0.658	28.882	0.694	A	5	7
Set 2	24	115.5	50.322	0.696	28.409	0.476	F	7	7
Set 2	25	108.9	50.713	0.715	28.172	0.367	B	2	5
Set 2	26	101.2	49.103	0.734	27.936	0.257	A	9	8
Set 2	27	108.9	50.538	0.612	-5.211	0.592	F	1	3
Set 2	28	116.6	49.319	0.651	-5.684	0.374	E	3	4
Set 2	29	110	49.709	0.67	-5.921	0.264	B	3	2
Set 2	30	102.3	50.1	0.689	-6.158	0.155	D	9	2
Set 2	31	110	49.535	0.767	20.695	0.49	E	4	5
Set 2	32	113.3	49.598	0.666	6.796	0.104	D	5	2
Set 2	33	117.7	50.316	0.605	20.222	0.271	B	5	3
Set 2	34	110	50.706	0.624	19.986	0.162	D	1	7
Set 2	35	106.7	49.814	0.783	-26.825	0.22	g	7	7



Set	Număr	Tensiunea reală [kV]	Frecvența reală [Hz]	Amplitudine gol [pu]	$\varphi$ [°]	Durata golului [s]	Tipul golului	Număr de armonici	Număr de inter-armonici
Set 2	36	104.5	50.922	0.741	-13.635	0.278	E	6	5
Set 2	37	118.8	49.312	0.76	-13.871	0.169	D	4	6
Set 2	38	111.1	49.703	0.779	-14.108	0.06	E	7	5
Set 2	39	115.5	50.42	0.718	-0.682	0.227	B	6	6
Set 2	40	112.2	49.528	0.676	12.508	0.286	A	7	8
Set 2	41	104.5	49.919	0.695	12.272	0.176	F	6	2
Set 2	42	119.9	50.309	0.715	12.035	0.067	B	1	2
Set 2	43	112.2	50.699	0.734	11.799	0.948	C	5	5
Set 2	44	102.3	50.198	0.711	24.752	0.897	F	9	7
Set 2	45	102.3	50.023	0.608	-8.632	0.132	A	6	3
Set 2	46	113.3	49.696	0.688	-22.295	0.846	A	4	9
Set 2	47	102.3	49.195	0.666	-9.342	0.795	D	8	3
Set 2	48	114.4	50.693	0.643	3.612	0.744	A	7	1
Set 2	49	103.4	50.191	0.62	16.565	0.693	A	8	3
Set 2	50	104.5	50.017	0.718	-16.819	0.918	C	3	7
Set 2	51	104.5	49.188	0.775	-17.529	0.591	A	7	8
Set 2	52	101.2	50.296	0.733	-4.339	0.649	B	1	6
Set 2	53	113.3	49.794	0.711	8.614	0.598	g	9	1
Set 2	54	110	50.902	0.669	21.804	0.656	E	6	9
Set 2	55	106.7	50.01	0.627	-25.006	0.714	E	2	8
Set 2	56	117.7	49.509	0.604	-12.053	0.663	F	6	9
Set 2	57	110	49.899	0.623	-12.289	0.554	g	9	3
Set 2	58	100.1	49.397	0.601	0.664	0.503	F	8	8
Set 2	59	114.4	49.788	0.62	0.428	0.393	E	9	3
Set 2	60	107.8	50.178	0.639	0.191	0.284	D	7	3
Set 2	61	100.1	50.568	0.658	-0.046	0.175	C	8	7
Set 2	62	118.8	49.676	0.616	13.144	0.233	B	6	1
Set 2	63	111.1	50.067	0.636	12.908	0.124	F	3	8
Set 2	64	115.5	50.784	0.775	26.334	0.291	A	7	6
Set 2	65	112.2	49.892	0.733	-20.476	0.349	F	6	5
Set 2	66	108.9	49	0.691	-7.286	0.407	F	8	8
Set 2	67	102.3	49.391	0.71	-7.523	0.298	A	3	3
Set 2	68	116.6	49.781	0.729	-7.759	0.189	g	2	5
Set 2	69	99	50.499	0.668	5.667	0.356	F	9	6
Set 2	70	113.3	50.889	0.687	5.43	0.247	A	4	6
Set 2	71	110	49.997	0.645	18.62	0.305	D	1	7

Set	Număr	Tensiunea reală [kV]	Frecvența reală [Hz]	Amplitudine gol [pu]	$\varphi$ [°]	Durata golului [s]	Tipul golului	Număr de armonici	Număr de inter-armonici
Set 2	72	102.3	50.387	0.665	18.384	0.196	g	3	6
Set 2	73	99	49.495	0.623	-28.427	0.254	A	7	7
Set 2	74	110	49.168	0.703	17.911	0.968	g	6	2
Set 2	75	111.1	50.994	0.6	-15.473	0.203	E	5	8
Set 2	76	114.4	49.057	0.7	-29.373	0.808	E	7	2
Set 2	77	111.1	50.165	0.658	-16.183	0.866	g	3	9
Set 2	78	103.4	50.555	0.677	-16.419	0.757	B	6	3
Set 2	79	115.5	50.054	0.654	-3.466	0.706	g	6	9
Set 2	80	108.9	50.269	0.771	22.913	0.822	B	1	2
Set 2	81	101.2	50.66	0.79	22.677	0.713	F	4	5
Set 2	82	102.3	50.485	0.687	-10.707	0.938	B	4	1
Set 2	83	110	49.266	0.725	-11.18	0.72	E	8	2
Set 2	84	116.6	50.047	0.764	-11.653	0.501	F	2	1
Set 2	85	113.3	49.155	0.722	1.537	0.559	g	6	5
Set 2	86	117.7	49.872	0.661	14.963	0.727	F	7	2
Set 2	87	114.4	50.98	0.619	28.153	0.785	A	3	3
Set 2	88	117.7	49.044	0.718	14.253	0.399	D	8	7
Set 2	89	118.8	50.869	0.615	-19.13	0.625	F	7	3
Set 2	90	111.1	49.26	0.635	-19.367	0.515	B	2	2
Set 2	91	104.5	49.65	0.654	-19.604	0.406	B	9	7
Set 2	92	118.8	50.04	0.673	-19.84	0.297	E	6	6
Set 2	93	115.5	49.148	0.631	-6.65	0.355	F	9	4
Set 2	94	108.9	49.539	0.65	-6.887	0.246	C	6	3
Set 2	95	116.6	50.974	0.728	19.966	0.58	B	4	3
Set 2	96	119.9	49.037	0.628	6.066	0.195	D	1	4
Set 2	97	102.3	49.755	0.767	19.493	0.362	D	8	4
Set 2	98	116.6	50.145	0.786	19.256	0.253	C	7	5
Set 2	99	113.3	49.253	0.744	-27.554	0.311	A	8	6
Set 2	100	105.6	49.643	0.763	-27.79	0.202	A	9	9

## ANEXA 2 – SETUL COMPLET DE REGULI FUZZY FOLOSIT PENTRU DETERMINAREA TIPULUI GOLULUI DE TENSIUNE.

Leborgne	Bollen	Defazaj	Amplitudine	Tipul final	Regula
xLM & yLS	xBM & yBS	uS	vS	x	$((xLM \& yLS) \& (xBM \& yBS)) \& x$
xLM & yLS	xBH	uS	vS	x	$((xLM \& yLS) \& (xBH)) \& x$
xLM & yLS	xBS & yBM	uS	vS	y	$((xLM \& yLS) \& (xBS \& yBM) \& (uS \& vS)) \& y$
xLM & yLS	xBM & yBM	uS	vS	x	$((xLM \& yLS) \& (xBM \& yBM) \& (uS \& vS)) \& x$
xLM & yLS	yBH	uS	vS	y	$((xLM \& yLS) \& (yBH) \& (uS \& vS)) \& y$
xLH	xBM & yBS	uS	vS	x	$((xLH) \& (xBM \& yBS)) \& x$
xLH	xBH	uS	vS	x	$((xLH) \& (xBH)) \& x$
xLH	xBS & yBM	uS	vS	y	$((xLH) \& (xBS \& yBM) \& (uS \& vS)) \& y$
xLH	xBM & yBM	uS	vS	x	$((xLH) \& (xBM \& yBM) \& (uS \& vS)) \& x$
xLH	yBH	uS	vS	y	$((xLH) \& (yBH) \& (uS \& vS)) \& y$
xLS & yLM	xBM & yBS	uS	vS	x	$((xLS \& yLM) \& (xBM \& yBS) \& (uS \& vS)) \& x$
xLS & yLM	xBH	uS	vS	x	$((xLS \& yLM) \& (xBH) \& (uS \& vS)) \& x$
xLS & yLM	xBS & yBM	uS	vS	y	$((xLS \& yLM) \& (xBS \& yBM)) \& y$
xLS & yLM	xBM & yBM	uS	vS	y	$((xLS \& yLM) \& (xBM \& yBM) \& (uS \& vS)) \& y$
xLS & yLM	yBH	uS	vS	y	$((xLS \& yLM) \& (yBH)) \& y$
xLM & yLM	xBM & yBS	uS	vS	x	$((xLM \& yLM) \& (xBM \& yBS) \& (uS \& vS)) \& x$
xLM & yLM	xBH	uS	vS	x	$((xLM \& yLM) \& (xBH) \& (uS \& vS)) \& x$
xLM & yLM	xBS & yBM	uS	vS	y	$((xLM \& yLM) \& (xBS \& yBM) \& (uS \& vS)) \& y$
xLM & yLM	yBH	uS	vS	y	$((xLM \& yLM) \& (yBH) \& (uS \& vS)) \& y$
yLH	xBM & yBS	uS	vS	x	$((yLH) \& (xBM \& yBS) \& (uS \& vS)) \& x$
yLH	xBH	uS	vS	x	$((yLH) \& (xBH) \& (uS \& vS)) \& x$
yLH	xBS & yBM	uS	vS	y	$((yLH) \& (xBS \& yBM)) \& y$
yLH	xBM & yBM	uS	vS	y	$((yLH) \& (xBM \& yBM) \& (uS \& vS)) \& y$
yLH	yBH	uS	vS	y	$((yLH) \& (yBH)) \& y$
xLM & yLS	xBM & yBS	uM	vS	x	$((xLM \& yLS) \& (xBM \& yBS)) \& x$
xLM & yLS	xBH	uM	vS	x	$((xLM \& yLS) \& (xBH)) \& x$
xLM & yLS	xBS & yBM	uM	vS	y	$((xLM \& yLS) \& (xBS \& yBM) \& (uM \& vS)) \& y$
xLM & yLS	xBM & yBM	uM	vS	x	$((xLM \& yLS) \& (xBM \& yBM) \& (uM \& vS)) \& x$
xLM & yLS	yBH	uM	vS	y	$((xLM \& yLS) \& (yBH) \& (uM \& vS)) \& y$
xLH	xBM & yBS	uM	vS	x	$((xLH) \& (xBM \& yBS)) \& x$
xLH	xBH	uM	vS	x	$((xLH) \& (xBH)) \& x$
xLH	xBS & yBM	uM	vS	y	$((xLH) \& (xBS \& yBM) \& (uM \& vS)) \& y$

Leborgne	Bollen	Defazaj	Amplitudine	Tipul final	Regula
xLH	xBM & yBM	uM	vS	x	$((xLH) \& (xBM \& yBM) \& (uM \& vS)) \& x$
xLH	yBH	uM	vS	y	$((xLH) \& (yBH) \& (uM \& vS)) \& y$
xLS & yLM	xBM & yBS	uM	vS	x	$((xLS \& yLM) \& (xBM \& yBS) \& (uM \& vS)) \& x$
xLS & yLM	xBH	uM	vS	x	$((xLS \& yLM) \& (xBH) \& (uM \& vS)) \& x$
xLS & yLM	xBS & yBM	uM	vS	y	$((xLS \& yLM) \& (xBS \& yBM)) \& y$
xLS & yLM	xBM & yBM	uM	vS	y	$((xLS \& yLM) \& (xBM \& yBM) \& (uM \& vS)) \& y$
xLS & yLM	yBH	uM	vS	y	$((xLS \& yLM) \& (yBH)) \& y$
xLM & yLM	xBM & yBS	uM	vS	x	$((xLM \& yLM) \& (xBM \& yBS) \& (uM \& vS)) \& x$
xLM & yLM	xBH	uM	vS	x	$((xLM \& yLM) \& (xBH) \& (uM \& vS)) \& x$
xLM & yLM	xBS & yBM	uM	vS	y	$((xLM \& yLM) \& (xBS \& yBM) \& (uM \& vS)) \& y$
xLM & yLM	yBH	uM	vS	y	$((xLM \& yLM) \& (yBH) \& (uM \& vS)) \& y$
yLH	xBM & yBS	uM	vS	x	$((yLH) \& (xBM \& yBS) \& (uM \& vS)) \& x$
yLH	xBH	uM	vS	x	$((yLH) \& (xBH) \& (uM \& vS)) \& x$
yLH	xBS & yBM	uM	vS	y	$((yLH) \& (xBS \& yBM)) \& y$
yLH	xBM & yBM	uM	vS	y	$((yLH) \& (xBM \& yBM) \& (uM \& vS)) \& y$
yLH	yBH	uM	vS	y	$((yLH) \& (yBH)) \& y$
xLM & yLS	xBM & yBS	uH	vS	x	$((xLM \& yLS) \& (xBM \& yBS)) \& x$
xLM & yLS	xBH	uH	vS	x	$((xLM \& yLS) \& (xBH)) \& x$
xLM & yLS	xBS & yBM	uH	vS	y	$((xLM \& yLS) \& (xBS \& yBM) \& (uH \& vS)) \& y$
xLM & yLS	xBM & yBM	uH	vS	x	$((xLM \& yLS) \& (xBM \& yBM) \& (uH \& vS)) \& x$
xLM & yLS	yBH	uH	vS	y	$((xLM \& yLS) \& (yBH) \& (uH \& vS)) \& y$
xLH	xBM & yBS	uH	vS	x	$((xLH) \& (xBM \& yBS)) \& x$
xLH	xBH	uH	vS	x	$((xLH) \& (xBH)) \& x$
xLH	xBS & yBM	uH	vS	y	$((xLH) \& (xBS \& yBM) \& (uH \& vS)) \& y$
xLH	xBM & yBM	uH	vS	x	$((xLH) \& (xBM \& yBM) \& (uH \& vS)) \& x$
xLH	yBH	uH	vS	y	$((xLH) \& (yBH) \& (uH \& vS)) \& y$
xLS & yLM	xBM & yBS	uH	vS	x	$((xLS \& yLM) \& (xBM \& yBS) \& (uH \& vS)) \& x$
xLS & yLM	xBH	uH	vS	x	$((xLS \& yLM) \& (xBH) \& (uH \& vS)) \& x$
xLS & yLM	xBS & yBM	uH	vS	y	$((xLS \& yLM) \& (xBS \& yBM)) \& y$
xLS & yLM	xBM & yBM	uH	vS	y	$((xLS \& yLM) \& (xBM \& yBM) \& (uH \& vS)) \& y$
xLS & yLM	yBH	uH	vS	y	$((xLS \& yLM) \& (yBH)) \& y$
xLM & yLM	xBM & yBS	uH	vS	x	$((xLM \& yLM) \& (xBM \& yBS) \& (uH \& vS)) \& x$
xLM & yLM	xBH	uH	vS	x	$((xLM \& yLM) \& (xBH) \& (uH \& vS)) \& x$
xLM & yLM	xBS & yBM	uH	vS	y	$((xLM \& yLM) \& (xBS \& yBM) \& (uH \& vS)) \& y$
xLM & yLM	yBH	uH	vS	y	$((xLM \& yLM) \& (yBH) \& (uH \& vS)) \& y$
yLH	xBM & yBS	uH	vS	x	$((yLH) \& (xBM \& yBS) \& (uH \& vS)) \& x$
yLH	xBH	uH	vS	x	$((yLH) \& (xBH) \& (uH \& vS)) \& x$
yLH	xBS & yBM	uH	vS	y	$((yLH) \& (xBS \& yBM)) \& y$
yLH	xBM & yBM	uH	vS	y	$((yLH) \& (xBM \& yBM) \& (uH \& vS)) \& y$
yLH	yBH	uH	vS	y	$((yLH) \& (yBH)) \& y$
xLM & yLS	xBM & yBS	uH	uS	vM	$((xLM \& yLS) \& (xBM \& yBS)) \& x$
xLM & yLS	xBH	uH	uS	vM	$((xLM \& yLS) \& (xBH)) \& x$

Leborgne	Bollen	Defazaj	Amplitudine	Tipul final	Regula
xLM & yLS	xBS & yBM	uS	vM	y	$((xLM \& yLS) \& (xBS \& yBM) \& (uS \& vM)) \& y$
xLM & yLS	xBM & yBM	uS	vM	x	$((xLM \& yLS) \& (xBM \& yBM) \& (uS \& vM)) \& x$
xLM & yLS	yBH	uS	vM	y	$((xLM \& yLS) \& (yBH) \& (uS \& vM)) \& y$
xLH	xBM & yBS	uS	vM	x	$((xLH) \& (xBM \& yBS)) \& x$
xLH	xBH	uS	vM	x	$((xLH) \& (xBH)) \& x$
xLH	xBS & yBM	uS	vM	y	$((xLH) \& (xBS \& yBM) \& (uS \& vM)) \& y$
xLH	xBM & yBM	uS	vM	x	$((xLH) \& (xBM \& yBM) \& (uS \& vM)) \& x$
xLH	yBH	uS	vM	y	$((xLH) \& (yBH) \& (uS \& vM)) \& y$
xLS & yLM	xBM & yBS	uS	vM	x	$((xLS \& yLM) \& (xBM \& yBS) \& (uS \& vM)) \& x$
xLS & yLM	xBH	uS	vM	x	$((xLS \& yLM) \& (xBH) \& (uS \& vM)) \& x$
xLS & yLM	xBS & yBM	uS	vM	y	$((xLS \& yLM) \& (xBS \& yBM)) \& y$
xLS & yLM	xBM & yBM	uS	vM	y	$((xLS \& yLM) \& (xBM \& yBM) \& (uS \& vM)) \& y$
xLS & yLM	yBH	uS	vM	y	$((xLS \& yLM) \& (yBH)) \& y$
xLM & yLM	xBM & yBS	uS	vM	x	$((xLM \& yLM) \& (xBM \& yBS) \& (uS \& vM)) \& x$
xLM & yLM	xBH	uS	vM	x	$((xLM \& yLM) \& (xBH) \& (uS \& vM)) \& x$
xLM & yLM	xBS & yBM	uS	vM	y	$((xLM \& yLM) \& (xBS \& yBM) \& (uS \& vM)) \& y$
xLM & yLM	yBH	uS	vM	y	$((xLM \& yLM) \& (yBH) \& (uS \& vM)) \& y$
yLH	xBM & yBS	uS	vM	x	$((yLH) \& (xBM \& yBS) \& (uS \& vM)) \& x$
yLH	xBH	uS	vM	x	$((yLH) \& (xBH) \& (uS \& vM)) \& x$
yLH	xBS & yBM	uS	vM	y	$((yLH) \& (xBS \& yBM)) \& y$
yLH	xBM & yBM	uS	vM	y	$((yLH) \& (xBM \& yBM) \& (uS \& vM)) \& y$
yLH	yBH	uS	vM	y	$((yLH) \& (yBH)) \& y$
xLM & yLS	xBM & yBS	uM	vM	x	$((xLM \& yLS) \& (xBM \& yBS)) \& x$
xLM & yLS	xBH	uM	vM	x	$((xLM \& yLS) \& (xBH)) \& x$
xLM & yLS	xBS & yBM	uM	vM	y	$((xLM \& yLS) \& (xBS \& yBM) \& (uM \& vM)) \& y$
xLM & yLS	xBM & yBM	uM	vM	x	$((xLM \& yLS) \& (xBM \& yBM) \& (uM \& vM)) \& x$
xLM & yLS	yBH	uM	vM	y	$((xLM \& yLS) \& (yBH) \& (uM \& vM)) \& y$
xLH	xBM & yBS	uM	vM	x	$((xLH) \& (xBM \& yBS)) \& x$
xLH	xBH	uM	vM	x	$((xLH) \& (xBH)) \& x$
xLH	xBS & yBM	uM	vM	y	$((xLH) \& (xBS \& yBM) \& (uM \& vM)) \& y$
xLH	xBM & yBM	uM	vM	x	$((xLH) \& (xBM \& yBM) \& (uM \& vM)) \& x$
xLH	yBH	uM	vM	y	$((xLH) \& (yBH) \& (uM \& vM)) \& y$
xLS & yLM	xBM & yBS	uM	vM	x	$((xLS \& yLM) \& (xBM \& yBS) \& (uM \& vM)) \& x$
xLS & yLM	xBH	uM	vM	x	$((xLS \& yLM) \& (xBH) \& (uM \& vM)) \& x$
xLS & yLM	xBS & yBM	uM	vM	y	$((xLS \& yLM) \& (xBS \& yBM)) \& y$
xLS & yLM	xBM & yBM	uM	vM	y	$((xLS \& yLM) \& (xBM \& yBM) \& (uM \& vM)) \& y$
xLS & yLM	yBH	uM	vM	y	$((xLS \& yLM) \& (yBH)) \& y$
xLM & yLM	xBM & yBS	uM	vM	x	$((xLM \& yLM) \& (xBM \& yBS) \& (uM \& vM)) \& x$
xLM & yLM	xBH	uM	vM	x	$((xLM \& yLM) \& (xBH) \& (uM \& vM)) \& x$
xLM & yLM	xBS & yBM	uM	vM	y	$((xLM \& yLM) \& (xBS \& yBM) \& (uM \& vM)) \& y$
xLM & yLM	yBH	uM	vM	y	$((xLM \& yLM) \& (yBH) \& (uM \& vM)) \& y$
yLH	xBM & yBS	uM	vM	x	$((yLH) \& (xBM \& yBS) \& (uM \& vM)) \& x$

Leborgne	Bollen	Defazaj	Amplitudine	Tipul final	Regula
yLH	xBH	uM	vM	x	$((yLH) \& (xBH) \& (uM \& vM)) \& x$
yLH	xBS & yBM	uM	vM	y	$((yLH) \& (xBS \& yBM)) \& y$
yLH	xBM & yBM	uM	vM	y	$((yLH) \& (xBM \& yBM) \& (uM \& vM)) \& y$
yLH	yBH	uM	vM	y	$((yLH) \& (yBH)) \& y$
xLM & yLS	xBM & yBS	uH	vM	x	$((xLM \& yLS) \& (xBM \& yBS)) \& x$
xLM & yLS	xBH	uH	vM	x	$((xLM \& yLS) \& (xBH)) \& x$
xLM & yLS	xBS & yBM	uH	vM	y	$((xLM \& yLS) \& (xBS \& yBM) \& (uH \& vM)) \& y$
xLM & yLS	xBM & yBM	uH	vM	x	$((xLM \& yLS) \& (xBM \& yBM) \& (uH \& vM)) \& x$
xLM & yLS	yBH	uH	vM	y	$((xLM \& yLS) \& (yBH) \& (uH \& vM)) \& y$
xLH	xBM & yBS	uH	vM	x	$((xLH) \& (xBM \& yBS)) \& x$
xLH	xBH	uH	vM	x	$((xLH) \& (xBH)) \& x$
xLH	xBS & yBM	uH	vM	y	$((xLH) \& (xBS \& yBM) \& (uH \& vM)) \& y$
xLH	xBM & yBM	uH	vM	x	$((xLH) \& (xBM \& yBM) \& (uH \& vM)) \& x$
xLH	yBH	uH	vM	y	$((xLH) \& (yBH) \& (uH \& vM)) \& y$
xLS & yLM	xBM & yBS	uH	vM	x	$((xLS \& yLM) \& (xBM \& yBS) \& (uH \& vM)) \& x$
xLS & yLM	xBH	uH	vM	x	$((xLS \& yLM) \& (xBH) \& (uH \& vM)) \& x$
xLS & yLM	xBS & yBM	uH	vM	y	$((xLS \& yLM) \& (xBS \& yBM)) \& y$
xLS & yLM	xBM & yBM	uH	vM	y	$((xLS \& yLM) \& (xBM \& yBM) \& (uH \& vM)) \& y$
xLS & yLM	yBH	uH	vM	y	$((xLS \& yLM) \& (yBH)) \& y$
xLM & yLM	xBM & yBS	uH	vM	x	$((xLM \& yLM) \& (xBM \& yBS) \& (uH \& vM)) \& x$
xLM & yLM	xBH	uH	vM	x	$((xLM \& yLM) \& (xBH) \& (uH \& vM)) \& x$
xLM & yLM	xBS & yBM	uH	vM	y	$((xLM \& yLM) \& (xBS \& yBM) \& (uH \& vM)) \& y$
xLM & yLM	yBH	uH	vM	y	$((xLM \& yLM) \& (yBH) \& (uH \& vM)) \& y$
yLH	xBM & yBS	uH	vM	x	$((yLH) \& (xBM \& yBS) \& (uH \& vM)) \& x$
yLH	xBH	uH	vM	x	$((yLH) \& (xBH) \& (uH \& vM)) \& x$
yLH	xBS & yBM	uH	vM	y	$((yLH) \& (xBS \& yBM)) \& y$
yLH	xBM & yBM	uH	vM	y	$((yLH) \& (xBM \& yBM) \& (uH \& vM)) \& y$
yLH	yBH	uH	vM	y	$((yLH) \& (yBH)) \& y$
xLM & yLS	xBM & yBS	uS	vH	x	$((xLM \& yLS) \& (xBM \& yBS)) \& x$
xLM & yLS	xBH	uS	vH	x	$((xLM \& yLS) \& (xBH)) \& x$
xLM & yLS	xBS & yBM	uS	vH	y	$((xLM \& yLS) \& (xBS \& yBM) \& (uS \& vH)) \& y$
xLM & yLS	xBM & yBM	uS	vH	x	$((xLM \& yLS) \& (xBM \& yBM) \& (uS \& vH)) \& x$
xLM & yLS	yBH	uS	vH	y	$((xLM \& yLS) \& (yBH) \& (uS \& vH)) \& y$
xLH	xBM & yBS	uS	vH	x	$((xLH) \& (xBM \& yBS)) \& x$
xLH	xBH	uS	vH	x	$((xLH) \& (xBH)) \& x$
xLH	xBS & yBM	uS	vH	y	$((xLH) \& (xBS \& yBM) \& (uS \& vH)) \& y$
xLH	xBM & yBM	uS	vH	x	$((xLH) \& (xBM \& yBM) \& (uS \& vH)) \& x$
xLH	yBH	uS	vH	y	$((xLH) \& (yBH) \& (uS \& vH)) \& y$
xLS & yLM	xBM & yBS	uS	vH	x	$((xLS \& yLM) \& (xBM \& yBS) \& (uS \& vH)) \& x$
xLS & yLM	xBH	uS	vH	x	$((xLS \& yLM) \& (xBH) \& (uS \& vH)) \& x$
xLS & yLM	xBS & yBM	uS	vH	y	$((xLS \& yLM) \& (xBS \& yBM)) \& y$
xLS & yLM	xBM & yBM	uS	vH	y	$((xLS \& yLM) \& (xBM \& yBM) \& (uS \& vH)) \& y$

Leborgne	Bollen	Defazaj	Amplitudine	Tipul final	Regula
xLS & yLM	yBH	uS	vH	y	$((xLS \& yLM) \& (yBH)) \& y$
xLM & yLM	xBM & yBS	uS	vH	x	$((xLM \& yLM) \& (xBM \& yBS) \& (uS \& vH)) \& x$
xLM & yLM	xBH	uS	vH	x	$((xLM \& yLM) \& (xBH) \& (uS \& vH)) \& x$
xLM & yLM	xBS & yBM	uS	vH	y	$((xLM \& yLM) \& (xBS \& yBM) \& (uS \& vH)) \& y$
xLM & yLM	yBH	uS	vH	y	$((xLM \& yLM) \& (yBH) \& (uS \& vH)) \& y$
yLH	xBM & yBS	uS	vH	x	$((yLH) \& (xBM \& yBS) \& (uS \& vH)) \& x$
yLH	xBH	uS	vH	x	$((yLH) \& (xBH) \& (uS \& vH)) \& x$
yLH	xBS & yBM	uS	vH	y	$((yLH) \& (xBS \& yBM)) \& y$
yLH	xBM & yBM	uS	vH	y	$((yLH) \& (xBM \& yBM) \& (uS \& vH)) \& y$
yLH	yBH	uS	vH	y	$((yLH) \& (yBH)) \& y$
xLM & yLS	xBM & yBS	uM	vH	x	$((xLM \& yLS) \& (xBM \& yBS)) \& x$
xLM & yLS	xBH	uM	vH	x	$((xLM \& yLS) \& (xBH)) \& x$
xLM & yLS	xBS & yBM	uM	vH	y	$((xLM \& yLS) \& (xBS \& yBM) \& (uM \& vH)) \& y$
xLM & yLS	xBM & yBM	uM	vH	x	$((xLM \& yLS) \& (xBM \& yBM) \& (uM \& vH)) \& x$
xLM & yLS	yBH	uM	vH	y	$((xLM \& yLS) \& (yBH) \& (uM \& vH)) \& y$
xLH	xBM & yBS	uM	vH	x	$((xLH) \& (xBM \& yBS)) \& x$
xLH	xBH	uM	vH	x	$((xLH) \& (xBH)) \& x$
xLH	xBS & yBM	uM	vH	y	$((xLH) \& (xBS \& yBM) \& (uM \& vH)) \& y$
xLH	xBM & yBM	uM	vH	x	$((xLH) \& (xBM \& yBM) \& (uM \& vH)) \& x$
xLH	yBH	uM	vH	y	$((xLH) \& (yBH) \& (uM \& vH)) \& y$
xLS & yLM	xBM & yBS	uM	vH	x	$((xLS \& yLM) \& (xBM \& yBS) \& (uM \& vH)) \& x$
xLS & yLM	xBH	uM	vH	x	$((xLS \& yLM) \& (xBH) \& (uM \& vH)) \& x$
xLS & yLM	xBS & yBM	uM	vH	y	$((xLS \& yLM) \& (xBS \& yBM)) \& y$
xLS & yLM	xBM & yBM	uM	vH	y	$((xLS \& yLM) \& (xBM \& yBM) \& (uM \& vH)) \& y$
xLS & yLM	yBH	uM	vH	y	$((xLS \& yLM) \& (yBH)) \& y$
xLM & yLM	xBM & yBS	uM	vH	x	$((xLM \& yLM) \& (xBM \& yBS) \& (uM \& vH)) \& x$
xLM & yLM	xBH	uM	vH	x	$((xLM \& yLM) \& (xBH) \& (uM \& vH)) \& x$
xLM & yLM	xBS & yBM	uM	vH	y	$((xLM \& yLM) \& (xBS \& yBM) \& (uM \& vH)) \& y$
xLM & yLM	yBH	uM	vH	y	$((xLM \& yLM) \& (yBH) \& (uM \& vH)) \& y$
yLH	xBM & yBS	uM	vH	y	$((yLH) \& (xBM \& yBS) \& (uM \& vH)) \& y$
yLH	xBH	uM	vH	x	$((yLH) \& (xBH) \& (uM \& vH)) \& x$
yLH	xBS & yBM	uM	vH	y	$((yLH) \& (xBS \& yBM)) \& y$
yLH	xBM & yBM	uM	vH	y	$((yLH) \& (xBM \& yBM) \& (uM \& vH)) \& y$
yLH	yBH	uM	vH	y	$((yLH) \& (yBH)) \& y$
xLM & yLS	xBM & yBS	uH	vH	x	$((xLM \& yLS) \& (xBM \& yBS)) \& x$
xLM & yLS	xBH	uH	vH	x	$((xLM \& yLS) \& (xBH)) \& x$
xLM & yLS	xBS & yBM	uH	vH	x	$((xLM \& yLS) \& (xBS \& yBM) \& (uH \& vH)) \& x$
xLM & yLS	xBM & yBM	uH	vH	x	$((xLM \& yLS) \& (xBM \& yBM) \& (uH \& vH)) \& x$
xLM & yLS	yBH	uH	vH	x	$((xLM \& yLS) \& (yBH) \& (uH \& vH)) \& x$
xLH	xBM & yBS	uH	vH	x	$((xLH) \& (xBM \& yBS)) \& x$
xLH	xBH	uH	vH	x	$((xLH) \& (xBH)) \& x$
xLH	xBS & yBM	uH	vH	x	$((xLH) \& (xBS \& yBM) \& (uH \& vH)) \& x$



Leborgne	Bollen	Defazaj	Amplitudine	Tipul final	Regula
xLH	xBM & yBM	uH	vH	x	$((xLH) \& (xBM \& yBM) \& (uH \& vH)) \& x$
xLH	yBH	uH	vH	x	$((xLH) \& (yBH) \& (uH \& vH)) \& x$
xLS & yLM	xBM & yBS	uH	vH	y	$((xLS \& yLM) \& (xBM \& yBS) \& (uH \& vH)) \& y$
xLS & yLM	xBH	uH	vH	y	$((xLS \& yLM) \& (xBH) \& (uH \& vH)) \& y$
xLS & yLM	xBS & yBM	uH	vH	y	$((xLS \& yLM) \& (xBS \& yBM)) \& y$
xLS & yLM	xBM & yBM	uH	vH	y	$((xLS \& yLM) \& (xBM \& yBM) \& (uH \& vH)) \& y$
xLS & yLM	yBH	uH	vH	y	$((xLS \& yLM) \& (yBH)) \& y$
xLM & yLM	xBM & yBS	uH	vH	x	$((xLM \& yLM) \& (xBM \& yBS) \& (uH \& vH)) \& x$
xLM & yLM	xBH	uH	vH	x	$((xLM \& yLM) \& (xBH) \& (uH \& vH)) \& x$
xLM & yLM	xBS & yBM	uH	vH	y	$((xLM \& yLM) \& (xBS \& yBM) \& (uH \& vH)) \& y$
xLM & yLM	yBH	uH	vH	y	$((xLM \& yLM) \& (yBH) \& (uH \& vH)) \& y$
yLH	xBM & yBS	uH	vH	y	$((yLH) \& (xBM \& yBS) \& (uH \& vH)) \& y$
yLH	xBH	uH	vH	y	$((yLH) \& (xBH) \& (uH \& vH)) \& y$
yLH	xBS & yBM	uH	vH	y	$((yLH) \& (xBS \& yBM)) \& y$
yLH	xBM & yBM	uH	vH	y	$((yLH) \& (xBM \& yBM) \& (uH \& vH)) \& y$
yLH	yBH	uH	vH	y	$((yLH) \& (yBH)) \& y$

## **ANEXA 3 – BAZĂ DE DATE CU ÎNREGISTRĂRI DIN REȚEAUA DE TRANSPORT A ENERGIEI ELECTRICE – ZONA DE VEST.**

Baza de date a fost încărcată cu 1016 fișiere ce conțin înregistrări de defecte, dintre care 647 conțin goluri de tensiune de formă dreptunghiulară. În tabelul următor se prezintă gruparea acestora în funcție de locul unde au fost înregistrate.

<b>Regiune</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>Total</b>
<b>Arad</b>	21	29	19	13	17		<b>99</b>
<b>Baru Mare</b>	64	37	19	20	31	3	<b>174</b>
<b>Calea Aradului</b>				7	1		<b>8</b>
<b>Hasdat</b>	54	9	8	10	15		<b>96</b>
<b>Iaz</b>	15	23	15	11	12	2	<b>78</b>
<b>Mintia</b>	36	8	8	8	8	1	<b>69</b>
<b>Paroseni</b>	1		4				<b>5</b>
<b>Pestis</b>	5						<b>5</b>
<b>Resita</b>	59	45	48	30	39		<b>221</b>
<b>Sacalaz</b>	62	28	18	10	14	3	<b>135</b>
<b>Timisoara</b>	28	27	19	26	26		<b>126</b>
<b>Total</b>	<b>345</b>	<b>206</b>	<b>158</b>	<b>135</b>	<b>163</b>	<b>9</b>	<b>1016</b>

Dintre acestea doar 525 au fost soluționate automat prin aplicare procedurii. Restul au fost identificate ca fiind goluri de tensiune transformate în întreruperi de scurtă sau lungă durată, nemaifiind clasificate conform acestei proceduri. În continuare se prezintă baza de date care conțin informațiile referitoare la cele 525 de goluri de tensiune.

Nr.	Regiunea	U [u.r.]			Durata [ms]			φ [°]			Initial PoW [°]			Final PoW [°]			Clasificare				
		R	S	T	Gol	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	BI	Lb	Fz	
1	Arad	0.63	0.95	0.94	0.63	0	87	0	87	-6.14	4.24	-4.34	12.70	256.02	133.38	292.48	184.47	57.51	D	D	D
2	Arad	0.88	0.90	0.53	0.53	203	165	147	203	10.00	-7.97	-3.20	181.92	58.64	302.47	143.89	24.10	263.52	B	A/E	B
3	Arad	0.97	0.83	0.96	0.83	0	0	573	573	-4.53	-5.11	-1.07	326.63	207.88	94.08	37.35	272.66	164.63	B	D	B
4	Arad	0.88	0.90	0.26	0.26	167	72	75	167	9.38	-12.54	-11.74	344.99	219.63	108.21	169.21	33.41	262.16	B	D	B
5	Arad	0.92	0.29	0.86	0.29	80	0	101	101	-11.43	-14.79	9.84	82.84	325.89	205.18	219.08	86.69	353.26	D	D	D
6	Arad	0.87	0.92	0.34	0.34	170	149	0	170	10.44	-12.83	-11.16	43.06	280.17	160.18	29.13	253.87	130.94	D	D	D
7	Arad	0.86	0.89	0.22	0.22	135	94	67	135	10.06	-13.08	-13.42	193.65	69.73	315.46	177.10	41.44	269.50	B	D	B
8	Arad	0.88	0.95	0.55	0.55	116	51	0	116	3.64	-8.91	-18.27	155.89	31.99	275.38	153.11	25.40	254.35	D	D	D
9	Arad	0.88	0.92	0.37	0.37	300	252	0	300	7.42	-12.03	-10.83	215.95	93.38	333.99	342.06	209.81	79.29	D	D	D
10	Arad	0.87	0.91	0.28	0.28	161	134	0	161	11.13	-13.79	-12.39	25.86	262.67	145.29	173.46	36.93	265.43	B	D	B
11	Arad	0.36	0.86	0.90	0.36	31	131	106	131	-7.81	9.80	-12.34	314.30	192.07	69.25	255.80	158.88	22.93	D	D	D
12	Arad	0.26	0.87	0.90	0.26	46	156	125	156	-8.54	9.85	-11.48	112.71	352.48	232.07	297.20	197.21	62.74	B	D	B
13	Arad	0.94	0.95	0.66	0.66	93	0	0	93	3.65	-6.14	-3.88	19.06	258.05	139.00	164.83	38.12	275.24	D	D	D
14	Arad	0.90	0.34	0.87	0.34	134	0	162	162	-11.30	-8.58	9.96	68.67	313.88	190.59	241.81	115.71	14.82	B	D	B
15	Baru Mare	0.86	0.91	0.39	0.39	277	190	0	277	7.49	-9.80	-12.06	358.43	234.34	119.76	322.26	192.63	60.62	B	D	B
16	Baru Mare	0.84	0.66	0.59	0.59	328	270	320	328	-2.35	-16.78	2.21	262.00	139.51	20.96	61.53	299.59	182.86	G	B	G
17	Baru Mare	0.60	0.89	0.92	0.60	0	158	19	158	-38.58	-7.59	-25.91	328.57	211.88	88.80	153.71	50.16	278.56	B	B	B
18	Baru Mare	0.94	0.56	0.93	0.56	0	0	144	144	-5.63	-9.49	6.03	88.05	328.34	208.02	49.43	282.70	176.75	D	D	D
19	Baru Mare	0.87	0.98	0.88	0.87	109	109	0	109	3.96	-0.36	-4.31	350.26	228.35	108.41	280.92	156.33	32.56	B	D	B
20	Baru Mare	0.57	0.96	0.63	0.57	150	150	0	150	20.67	0.07	-26.22	342.76	218.15	96.96	342.76	218.15	96.96	E/C	G	C
21	Baru Mare	0.72	0.98	0.78	0.72	351	352	0	352	7.84	-0.20	-13.47	329.05	202.23	68.99	5.01	238.24	104.92	E/C	G	C
22	Baru Mare	0.70	0.99	0.76	0.70	132	138	0	138	8.64	-0.35	-15.16	284.77	155.82	20.43	293.73	174.11	53.74	E/C	G	C
23	Baru Mare	0.75	0.92	0.93	0.75	0	134	0	134	-6.59	6.50	-7.81	151.33	35.50	270.82	199.31	92.26	319.75	D	A/E	D
24	Baru Mare	0.71	0.93	0.97	0.71	0	52	0	52	-9.90	2.66	-5.24	324.31	205.22	83.73	61.08	313.40	187.55	D	F	D
25	Baru Mare	0.60	0.93	0.92	0.60	0	138	0	138	-8.91	6.05	-6.43	308.85	189.65	67.14	65.32	318.33	190.71	B	G	B
26	Baru Mare	0.67	0.43	0.99	0.43	0	599	607	607	-34.39	9.90	-0.19	240.34	155.39	32.75	319.37	223.81	104.96	D	A/E	D
27	Baru Mare	0.79	0.81	0.89	0.79	160	463	391	463	-1.21	1.12	-1.91	286.20	168.80	44.93	159.72	43.71	279.24	D	A/E	D
28	Baru Mare	0.94	0.93	0.54	0.54	153	0	0	153	4.67	-6.45	-9.60	175.44	54.22	297.38	191.98	69.84	302.89	B	D	B
29	Baru Mare	0.99	0.19	1.00	0.19	0	0	256	256	6.10	-11.96	-3.52	87.02	326.90	206.95	252.89	117.58	8.63	B	D	B
30	Baru Mare	0.90	0.93	0.62	0.62	672	0	0	672	7.69	-9.56	-8.12	284.78	165.71	45.02	144.73	12.82	249.44	B	F	B
31	Baru Mare	0.61	0.93	0.91	0.61	0	53	0	53	3.57	5.67	-5.12	234.52	117.65	352.23	253.43	137.17	9.50	D	D	D
32	Baru Mare	0.61	0.93	0.91	0.61	0	53	0	53	1.95	6.06	-5.35	236.00	116.31	355.70	236.00	116.31	355.70	D	D	D
33	Baru Mare	0.90	0.91	0.41	0.41	325	240	0	325	6.95	-10.28	-10.08	94.50	334.91	213.98	151.74	21.01	252.59	D	D	D
34	Baru Mare	0.89	0.56	0.91	0.56	0	208	249	249	-10.24	-21.68	9.29	257.98	139.81	204.7	196.80	66.11	331.26	D	D	D
35	Baru Mare	0.43	0.90	0.44	0.43	147	142	2	147	54.03	0.30	-56.76	341.10	210.51	89.93	209.34	66.48	274.28	G	D	G



Nr.	Regiunea	U [u.r.]			Durata [ms]			φ [°]			Initial PoW [°]			Final PoW [°]			Clasificare				
		R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	BI	Lb	Fz		
71	Baru Mare	0.89	0.90	0.49	0.49	213	94	0	213	39.20	18.62	14.67	327.30	208.51	89.74	149.99	21.53	255.64	D	F	D
72	Baru Mare	0.64	0.92	0.95	0.64	0	222	0	222	-5.35	4.82	-6.29	102.64	343.08	222.20	258.29	148.36	21.55	D	D	D
73	Baru Mare	0.84	0.66	0.59	0.59	328	270	320	328	-2.35	-16.78	2.21	262.00	139.51	20.96	61.53	299.59	182.86	G	B	G
74	Baru Mare	0.85	0.94	0.96	0.85	0	111	0	111	-0.95	-0.53	-0.87	268.25	148.50	28.20	135.86	22.33	253.99	B	B	B
75	Baru Mare	0.84	0.94	0.96	0.84	0	240	0	240	-2.98	3.18	-4.72	215.42	95.98	335.75	92.87	333.49	212.87	B	B	B
76	Baru Mare	0.92	0.93	0.69	0.69	223	0	0	223	6.86	-8.06	-5.72	292.76	162.52	46.42	126.30	358.91	236.53	B	B	B
77	Baru Mare	0.92	0.68	0.91	0.68	0	0	133	133	-9.29	-7.79	8.88	55.73	299.32	179.63	211.74	90.68	343.32	B	B	B
78	Baru Mare	0.94	0.70	0.94	0.70	0	0	133	133	-6.93	-5.69	6.15	81.18	323.70	205.11	81.18	323.70	205.11	B	B	B
79	Baru Mare	0.74	0.92	0.94	0.74	0	149	0	149	-5.28	6.81	-7.82	130.97	17.04	248.40	89.70	339.84	211.58	B	D	B
80	Baru Mare	0.79	0.94	0.96	0.79	0	362	0	362	-3.63	3.95	-5.55	353.46	234.40	113.65	353.46	234.40	113.65	B	D	B
81	Baru Mare	0.70	0.94	0.95	0.70	0	562	0	562	-4.02	4.11	-4.07	128.57	8.11	246.03	63.73	311.65	186.06	D	D	D
82	Baru Mare	0.90	0.92	0.48	0.48	480	0	0	480	6.39	-8.30	-7.10	12.24	249.29	132.41	155.35	26.22	260.25	B	D	B
83	Baru Mare	0.43	0.96	0.44	0.43	147	142	0	147	54.03	0.30	-56.76	341.10	210.51	89.93	209.34	66.48	274.28	E	D	E
84	Baru Mare	0.81	0.76	0.86	0.76	718	721	747	747	20.11	25.13	26.58	157.39	36.00	277.31	352.51	228.46	107.06	D	D	D
85	Baru Mare	0.93	0.83	0.82	0.82	90	0	81	90	20.11	25.13	26.58	157.39	36.00	277.31	352.51	228.46	107.06	D	D	D
86	Baru Mare	0.52	0.88	0.94	0.52	0	329	160	329	-16.51	10.64	-7.11	63.44	307.12	180.70	112.05	357.22	232.87	D	D	D
87	Baru Mare	0.89	0.94	0.88	0.88	19	11	0	19	-2.92	-2.96	-2.97	187.26	66.07	306.25	223.88	102.58	342.90	D	A/E	D
88	Baru Mare	0.98	0.70	0.60	0.60	99	0	249	249	-0.41	-20.21	13.03	54.51	294.80	175.82	194.52	59.34	318.04	E/C	G	C
89	Arad	0.87	0.95	0.55	0.55	115	92	0	115	23.52	10.75	0.81	283.41	163.12	43.94	135.99	8.59	238.83	B	B	B
90	Arad	0.90	0.29	0.88	0.29	72	14	99	99	-8.57	-12.51	11.62	278.24	157.99	40.18	23.24	250.66	157.44	B	D	B
91	Arad	0.36	0.89	0.92	0.36	0	90	39	90	-9.34	8.41	-10.19	345.65	227.72	104.92	258.63	160.32	27.28	D	D	D
92	Arad	0.97	0.61	0.89	0.61	66	0	94	94	-7.28	-8.05	7.46	247.41	130.32	10.30	12.37	248.68	139.80	D	A/E	D
93	Arad	0.96	0.97	0.79	0.79	110	0	0	110	1.05	-4.50	-3.56	224.87	103.69	344.37	152.53	27.17	267.81	D	D	D
94	Arad	0.88	0.93	0.41	0.41	109	84	0	109	5.02	-13.72	-12.54	48.67	286.27	166.22	333.29	200.97	72.86	D	D	D
95	Arad	0.95	0.61	0.92	0.61	0	0	123	123	-4.84	-3.60	8.13	261.99	143.71	23.48	208.42	82.83	335.09	D	F	D
96	Arad	0.46	0.97	0.48	0.46	124	129	0	129	36.95	-4.24	-50.16	132.12	359.23	206.06	132.12	359.23	206.06	E/C	A/E	C
97	Arad	0.65	0.91	0.96	0.65	0	554	0	554	-3.27	8.94	-3.41	126.80	6.00	243.91	247.01	138.61	11.80	B	A/E	B
98	Arad	0.87	0.87	0.18	0.18	81	38	59	81	5.56	-15.17	-22.60	32.44	270.20	151.06	157.82	22.75	248.78	B	D	B
99	Arad	0.82	0.93	0.95	0.82	0	95	0	95	-4.19	-6.39	4.82	226.25	110.65	197.58	78.91	315.54	204.64	D	D	D
100	Arad	0.36	0.87	0.89	0.36	50	131	82	131	0.75	15.88	-6.00	313.17	190.96	68.60	257.10	159.34	24.00	B	B	B
101	Arad	0.95	0.97	0.79	0.79	90	0	0	90	2.20	-4.73	-3.15	1.94	239.96	121.77	38.09	271.12	152.38	D	D	D
102	Arad	0.99	0.77	0.95	0.77	0	0	99	99	-2.00	-2.58	4.34	93.30	333.79	214.44	21.52	258.85	146.05	B	D	D
103	Arad	0.87	0.96	0.62	0.62	88	69	0	88	4.95	-9.51	-9.73	28.83	265.70	146.82	315.86	186.16	62.29	D	G	D
104	Arad	0.95	0.95	0.66	0.66	93	0	0	93	2.70	-6.69	-4.67	16.99	255.95	137.37	124.54	357.83	236.01	D	D	D
105	Arad	0.27	0.86	0.38	0.27	100	109	82	109	18.58	-5.22	-30.87	26.83	271.18	147.12	252.03	143.34	10.80	A	F	A

Nr.	Regiunea	U [u.r.]			Durata [ms]			φ [°]			Initial PoW [°]			Final PoW [°]			Clasificare			
		R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	BI	Lb	Fz	
		0.31	0.88	0.91	0.31	0.91	69	91	-10.83	9.31	-11.58	138.97	17.06	254.36	81.69	344.60	211.57	B	D	B
106	Arad	0.31	0.88	0.91	0.31	91	69	91	-10.83	9.31	-11.58	138.97	17.06	254.36	81.69	344.60	211.57	B	D <td>B</td>	B
107	Arad	0.97	0.61	0.53	0.53	92	0	92	-0.06	-3.104	25.67	290.92	171.00	50.81	290.92	171.00	50.81	E/C	C	C
108	Arad	0.94	0.95	0.60	0.60	98	0	98	4.04	-9.60	-6.70	210.13	87.49	329.55	334.55	205.93	82.89	D	F	D
109	Arad	0.46	0.89	0.92	0.46	0	89	39	-8.02	7.85	-9.37	163.19	45.30	283.34	80.14	337.45	207.15	D	D	D
110	Arad	0.57	0.91	0.86	0.57	4	95	0	-5.93	6.53	-8.11	288.12	167.82	47.91	80.80	334.02	205.48	D	F	D
111	Arad	0.93	0.94	0.57	0.57	98	0	98	3.93	-10.13	-7.80	20.58	258.89	141.14	145.31	16.45	252.39	D	F	D
112	Arad	0.80	0.96	0.97	0.80	0	110	0	-1.28	2.91	-2.53	139.88	20.31	258.74	245.55	130.35	6.56	D	D	D
113	Arad	0.60	0.93	0.95	0.60	0	106	0	-4.95	5.71	-5.63	326.80	207.16	86.34	265.43	158.13	30.31	D	D	D
114	Arad	0.68	0.93	0.96	0.68	0	551	0	-1.95	7.58	-1.79	46.37	288.68	163.57	79.75	328.76	203.48	B	A/E	B
115	Arad	0.94	0.95	0.64	0.64	555	0	555	0.50	-10.00	-8.55	336.57	213.84	97.87	135.26	8.64	245.20	B	A/E	B
116	Arad	0.71	0.93	0.96	0.71	0	560	0	-1.75	6.77	-1.72	50.31	292.55	167.70	245.77	134.39	9.42	B	A/E	B
117	Arad	0.93	0.92	0.58	0.58	97	0	97	3.22	-8.40	-4.19	148.64	24.62	268.94	146.99	18.47	256.45	B	A/E	D
118	Arad	0.45	0.98	0.51	0.45	122	127	0	37.25	-3.91	-49.23	321.97	191.65	39.11	102.63	343.69	222.37	E/C	A/E	C
119	Arad	0.47	0.98	0.48	0.47	124	129	0	40.95	-4.91	-49.65	21.43	215.17	50.27	248.60	128.59	8.35	E/C	G	C
120	Arad	0.70	0.64	0.99	0.64	0	170	178	-14.46	20.41	5.20	226.16	106.06	345.89	226.16	106.06	345.89	E/C	G	G
121	Arad	0.47	0.92	0.93	0.47	0	167	0	0.29	11.45	-1.68	90.24	329.36	204.08	257.08	150.98	22.66	D	D	D
122	Arad	0.12	0.20	0.33	0.12	5	167	15	8.90	20.05	6.68	82.08	321.61	196.69	250.24	144.18	16.02	D	D	D
123	Arad	0.45	0.90	0.92	0.45	0	168	0	0.59	12.81	-1.86	71.49	312.07	186.52	257.47	152.32	23.00	D	D	D
124	Arad	0.61	0.35	0.79	0.35	3	2	80	-46.39	-54.12	-31.75	50.43	295.40	170.58	18.88	258.68	136.44	D	D	D
125	Arad	0.69	0.94	0.95	0.69	0	581	0	-1.57	5.71	-2.89	47.79	289.67	165.20	243.42	130.46	5.52	B	B	B
126	Arad	0.88	0.85	0.53	0.53	88	61	5	6.48	-7.57	-9.77	139.17	14.35	256.80	316.66	187.28	60.99	B	D	B
127	Arad	0.82	0.51	0.45	0.45	107	90	97	-3.18	-19.87	6.23	281.50	155.25	36.95	137.81	9.37	249.35	E/C	D	E
128	Arad	0.24	0.34	0.79	0.24	99	118	109	-34.42	14.18	-1.24	51.52	296.16	169.75	64.17	334.83	210.37	G	D	G
129	Arad	0.72	0.94	0.96	0.72	0	560	0	-0.77	6.24	-1.15	137.60	17.03	256.24	80.09	327.56	202.62	B	D	B
130	Arad	0.40	0.78	0.40	0.40	100	108	91	4.68	-4.26	-34.27	17.87	261.44	138.15	244.26	133.45	0.86	E/C	D	E
131	Arad	0.62	0.93	0.93	0.62	0	103	0	-5.17	5.70	-6.23	348.11	229.60	107.31	251.59	142.86	15.64	B	D	B
132	Arad	0.71	0.91	0.97	0.71	0	612	0	-4.21	5.12	-6.28	312.85	192.75	70.99	145.99	35.48	263.98	D	F	D
133	Arad	0.96	0.96	0.80	0.80	571	0	571	0.31	-6.02	-4.48	94.50	330.85	212.20	129.13	3.00	244.50	B	D	B
134	Arad	0.96	0.97	0.80	0.80	570	0	570	0.72	-5.74	-4.07	95.47	332.24	213.77	128.70	3.92	243.36	B	D	B
135	Arad	0.96	0.62	0.93	0.62	0	0	128	-3.88	-3.19	7.28	83.80	325.21	205.16	29.50	264.35	156.09	D	D	D
136	Arad	0.61	0.55	0.91	0.55	0	98	89	-23.49	8.68	-3.76	242.60	127.80	5.58	55.24	302.81	181.32	E/C	D	E
137	Arad	0.93	0.58	0.95	0.58	0	0	583	-4.19	-6.39	4.82	226.25	110.65	348.22	78.91	315.54	204.64	B	B	B
138	Arad	0.64	0.98	0.93	0.64	0	174	0	-12.50	3.59	-3.37	308.30	187.25	66.28	117.47	9.74	245.13	D	D	D
139	Arad	0.39	0.95	0.88	0.39	129	158	0	-27.06	6.05	-7.24	333.36	216.56	94.31	119.97	22.51	252.41	B	D	B
140	Arad	0.98	0.92	0.61	0.61	255	0	255	3.66	-5.21	-11.75	12.60	252.89	132.97	157.17	33.40	261.10	D	D	D

Nr.	Regiunea	U [u.r.]			Durata [ms]			$\varphi$ [°]			Initial PoW [°]			Final PoW [°]			Clasificare		
		R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	Bl	Lb	Fz
141	Arad	0.69	0.95	0.94	0.69	0.581	0	-3.86	4.13	-4.03	81.31	322.18	197.37	244.50	132.68	7.69	B	B	B
142	Arad	0.70	0.96	0.94	0.70	0.162	0	-4.50	3.43	-3.84	150.09	30.35	269.34	126.34	13.61	247.86	B	D	B
143	Arad	0.98	0.92	0.62	0.62	0.155	0	26.56	15.09	9.35	19.03	257.93	137.79	199.66	73.38	306.79	B	D	B
144	Arad	0.57	0.95	0.93	0.57	0.174	0	-11.71	4.67	-6.19	144.65	25.16	263.33	293.99	187.81	61.23	D	D	D
145	Arad	0.34	0.91	0.87	0.34	0.211	0	-14.95	9.34	-9.92	147.41	27.51	285.27	252.81	159.57	26.22	D	D	D
146	Arad	0.72	0.89	0.11	0.11	0.077	3	21.58	-23.13	26.49	306.66	186.92	66.36	211.13	60.73	313.27	D	D	D
147	Arad	0.62	0.96	0.93	0.62	0.168	0	-13.82	3.79	-4.47	315.32	196.27	74.08	321.64	214.22	87.38	B	D	B
148	Arad	0.64	0.97	0.93	0.64	0.173	0	-13.02	3.63	-3.88	349.72	233.69	110.87	143.63	35.48	269.14	B	D	B
149	Arad	0.95	0.85	0.39	0.39	0.476	0	7.70	-9.34	-12.29	158.56	37.23	281.47	165.20	35.48	262.43	D	D	D
150	Arad	0.84	0.94	0.95	0.84	0.093	0	7.70	-9.34	-12.29	158.56	37.23	281.47	165.20	35.48	262.43	D	D	D
151	Arad	0.93	0.62	0.95	0.62	0.000	0	-4.06	-13.53	5.80	298.66	178.91	58.65	241.56	112.70	7.10	D	F	D
152	Arad	0.96	0.91	0.55	0.55	0.244	0	5.24	-7.59	-13.59	169.32	48.30	290.42	315.66	188.81	57.32	B	D	B
153	Arad	0.91	0.85	0.30	0.30	0.416	0	8.36	-11.76	-13.99	336.71	212.39	98.92	342.83	212.14	81.54	B	D	B
154	Arad	0.63	0.95	0.93	0.63	0.184	0	-13.43	4.89	-6.06	303.52	184.81	61.40	290.27	186.67	58.35	D	D	D
155	Arad	0.31	0.69	0.30	0.30	0.497	429	11.47	-12.61	-13.09	172.98	48.34	294.82	290.95	183.24	49.55	B	D	B
156	Arad	0.95	0.92	0.55	0.55	0.165	0	4.87	-8.04	-11.05	21.65	261.14	142.27	5.25	237.34	110.91	D	D	D
157	Baru Mare	0.91	0.95	0.67	0.67	0.254	0	4.66	-5.56	0.35	233.86	111.70	352.33	2.82	240.80	119.93	B	D	D
158	Baru Mare	0.91	0.49	0.90	0.49	0.050	5	-5.66	-2.20	7.04	62.38	307.00	184.15	58.25	294.60	186.82	D	D	D
159	Baru Mare	0.98	0.80	0.78	0.78	0.170	0	-0.47	-8.86	8.35	322.95	203.17	82.39	322.95	203.17	82.39	E/C	G	G
160	Baru Mare	0.54	0.96	0.53	0.53	0.069	69	31.55	-0.66	-34.07	6.12	246.32	125.03	311.99	192.72	72.74	G	D	G
161	Baru Mare	0.91	0.44	0.91	0.44	0.000	0	-10.50	-6.38	0.25	339.88	221.29	105.01	339.88	221.29	105.01	D	D	D
162	Baru Mare	0.97	0.73	0.72	0.72	0.169	0	-0.71	-12.40	12.14	25.40	265.50	149.71	348.84	228.81	108.25	E/C	D	E
163	Baru Mare	0.98	0.80	0.78	0.78	0.138	0	-0.43	-8.83	8.43	281.13	161.43	40.58	281.13	161.43	40.58	E/C	G	G
164	Baru Mare	0.67	0.94	0.95	0.67	0.259	0	-0.56	4.58	-4.32	328.89	208.82	86.76	271.17	158.07	29.66	D	G	B
165	Baru Mare	0.88	0.97	0.97	0.88	0.156	0	0.17	2.26	-2.25	170.93	53.23	287.98	116.22	357.55	235.89	D	G	B
166	Baru Mare	0.79	0.98	0.79	0.79	0.141	0	7.13	-0.23	-8.51	172.96	50.78	289.35	155.33	32.97	265.67	E/C	G	C
167	Baru Mare	0.52	0.57	0.93	0.52	0.395	381	-21.72	31.88	4.11	291.43	182.65	54.55	270.91	170.19	48.78	G	G	G
168	Baru Mare	0.95	0.97	0.22	0.22	0.151	0	0.15	-2.04	-1.14	193.17	72.42	316.82	248.67	127.01	10.87	B	G	B
169	Baru Mare	0.94	0.81	0.76	0.76	0.087	0	1.85	-0.55	7.11	191.07	68.45	310.43	83.67	318.45	204.07	G	B	G
170	Baru Mare	0.44	0.97	0.97	0.44	0.155	0	-21.20	-0.98	-2.03	150.34	32.35	271.49	44.38	299.52	178.53	B	D	B
171	Baru Mare	0.53	0.97	0.55	0.53	0.063	67	31.61	-0.74	-33.32	315.63	185.53	61.76	212.36	77.16	300.37	E	D	E
172	Baru Mare	0.99	0.73	0.72	0.72	0.169	0	7.86	-4.51	20.20	189.56	70.17	309.46	168.08	45.90	289.86	E	D	E
173	Baru Mare	0.91	0.49	0.90	0.49	0.050	5	-5.66	-2.20	7.04	62.38	307.00	184.15	58.25	294.60	186.82	D	D	D
174	Baru Mare	0.53	0.97	0.55	0.53	0.063	67	31.61	-0.74	-33.32	315.63	185.53	61.76	212.36	77.16	300.37	E/C	D	E
175	Baru Mare	0.87	0.69	0.64	0.64	0.328	61	-1.55	-9.60	3.87	46.31	287.70	166.91	46.31	287.70	166.91	G	B	G



Nr.	Regiunea	U [u.r.]			Durata [ms]			φ [°]			Initial PoW [°]			Final PoW [°]			Clasificare				
		R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	BI	Lb	Fz		
176	Hasdat	0.78	0.95	0.96	0.78	0	72	0	72	-0.75	3.70	-3.96	135.40	16.31	253.16	312.55	197.06	70.95	D	D	D
177	Hasdat	0.71	0.98	0.70	0.70	120	120	0	120	14.55	-0.39	-13.51	319.05	192.94	71.62	194.59	67.68	298.10	E/C	G	G
178	Hasdat	0.77	0.96	0.96	0.77	0	153	0	153	-1.44	3.01	-3.10	114.88	356.01	232.38	60.65	301.33	180.09	D	F	D
179	Hasdat	0.39	0.93	0.93	0.39	0	127	0	127	-2.92	5.55	-4.95	116.43	352.40	229.06	289.12	170.36	48.44	D	G	D
180	Hasdat	0.96	0.41	0.96	0.41	0	89	0	89	-1.21	-23.79	-0.30	302.67	182.68	62.06	70.62	294.86	191.12	B	F	B
181	Hasdat	0.97	0.96	0.12	0.12	77	0	0	77	1.11	-4.14	-13.84	354.58	233.17	120.13	30.39	271.39	151.85	D	G	D
182	Hasdat	0.35	0.95	0.96	0.35	0	80	0	80	-7.01	3.37	-3.21	143.34	22.36	260.53	271.31	166.86	42.41	B	F	B
183	Hasdat	0.96	0.95	0.29	0.29	122	0	0	122	1.34	-3.70	-7.02	202.00	81.50	323.83	129.81	11.05	243.20	D	F	D
184	Hasdat	0.39	0.93	0.93	0.39	0	127	0	127	-2.92	5.55	-4.95	116.43	352.40	229.06	289.12	170.36	48.44	D	G	D
185	Hasdat	0.58	0.94	0.95	0.58	0	417	0	417	-5.38	3.10	-4.29	278.60	158.06	33.74	267.81	158.15	31.28	D	G	D
186	Hasdat	0.32	0.92	0.92	0.32	0	101	0	101	-3.27	7.02	-6.82	315.85	192.99	70.11	147.10	33.20	266.85	D	A/E	D
187	Hasdat	0.30	0.91	0.91	0.30	0	119	0	119	-3.11	7.87	-7.96	344.36	227.11	103.93	126.92	14.03	248.09	D	A/E	D
188	Hasdat	0.95	0.62	0.93	0.62	0	97	0	97	-4.15	-3.13	4.83	337.38	217.25	99.76	84.25	323.20	209.38	D	A/E	D
189	Hasdat	0.71	0.98	0.70	0.70	114	118	0	118	14.56	-0.25	-13.50	158.35	33.69	272.88	16.59	250.30	121.06	E/C	G	G
190	Hasdat	0.59	0.95	0.95	0.59	0	149	0	149	-4.24	3.73	-3.09	144.66	24.25	262.55	158.31	44.45	279.08	D	G	D
191	Hasdat	0.95	0.95	0.47	0.47	141	0	0	141	2.66	-4.43	-5.18	22.00	260.89	142.61	185.76	60.99	293.40	D	A/E	D
192	Hasdat	0.90	0.25	0.92	0.25	0	40	79	79	-3.18	-0.08	4.86	285.04	165.26	45.74	76.06	311.30	199.56	D	A/E	D
193	Hasdat	0.95	0.59	0.94	0.59	0	130	130	130	-3.61	-4.91	3.69	180.19	60.81	302.77	52.54	287.59	177.62	D	A/E	D
194	Hasdat	0.63	0.58	0.86	0.58	290	584	416	584	-1.09	1.68	-2.48	306.90	183.67	57.43	304.94	188.51	67.10	D	A/E	D
195	Hasdat	0.90	0.25	0.92	0.25	0	106	106	106	-5.16	-3.38	4.80	188.06	68.28	307.48	82.94	324.15	209.97	B	D	D
196	Hasdat	0.98	0.80	0.75	0.75	130	130	123	130	-0.24	-11.75	6.75	139.41	20.02	259.05	139.41	20.02	259.05	E/C	D	C
197	Hasdat	0.80	0.94	0.98	0.80	0	48	0	48	-6.84	2.00	-4.21	349.60	231.85	109.25	109.83	357.71	232.21	D	A/E	D
198	Hasdat	0.95	0.95	0.55	0.55	98	0	0	98	3.34	-3.35	-3.15	237.73	117.36	354.60	329.07	205.01	77.42	D	G	D
199	Hasdat	0.96	0.96	0.55	0.55	97	0	0	97	-0.12	-6.72	-4.02	287.99	165.67	43.92	325.21	200.59	74.49	D	G	D
200	Hasdat	0.75	0.94	0.95	0.75	0	154	0	154	-2.00	3.35	-3.93	136.05	17.88	254.28	255.23	142.21	16.38	D	D	D
201	Hasdat	0.85	0.84	0.20	0.20	361	348	348	361	13.26	-12.82	-3.40	214.21	90.58	332.92	166.02	25.71	262.59	B	B	B
202	Hasdat	0.91	0.58	0.94	0.58	0	92	0	92	-4.75	-1.36	4.09	17.67	254.56	139.25	89.65	328.89	211.00	B	D	D
203	Hasdat	0.91	0.23	0.91	0.23	0	177	177	177	-4.08	-4.26	4.83	233.92	121.38	355.60	268.05	142.32	32.68	D	D	D
204	Hasdat	0.83	0.81	0.99	0.81	0	160	163	163	-7.43	6.42	0.35	118.93	13.21	246.19	301.43	189.85	66.06	E/C	G	C
205	Hasdat	0.56	0.94	0.95	0.56	0	558	0	558	-2.72	3.02	-4.09	101.72	339.57	217.23	111.17	357.60	232.31	D	D	D
206	laz	0.89	0.92	0.16	0.16	152	5	0	152	8.63	-8.35	-13.61	207.69	86.38	327.98	229.10	100.13	334.73	B	D	B
207	laz	0.44	0.96	0.94	0.44	0	128	0	128	-5.93	2.43	-3.40	211.83	96.38	333.29	115.30	7.40	243.40	D	D	D
208	laz	0.92	0.97	0.81	0.81	159	0	0	159	3.02	-5.92	2.43	192.93	71.72	314.52	213.11	84.36	332.18	D	D	D
209	laz	0.89	0.96	0.33	0.33	567	510	0	567	5.01	-10.04	-12.25	359.28	236.54	122.75	138.40	9.72	238.69	B	D	D
210	laz	0.85	0.94	0.98	0.85	0	150	0	150	1.82	1.94	-4.00	85.84	325.46	204.20	209.09	90.29	329.43	E/C	A/E	C

Nr.	Regiunea	U [u.r.]				Durata [ms]				φ [°]				Initial PoW [°]				Final PoW [°]				Clasificare			
		R	S	T	Gol	R	S	T	Gol	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	BI	Lb	Fz	
211	laz	0.97	0.26	0.85	0.26	495	0	520	520	-9.94	-16.33	6.73	80.45	323.06	202.23	185.33	53.06	316.21	D	D	D	D	D	D	
212	laz	0.47	0.90	0.96	0.47	0	197	0	197	2.75	4.12	-5.26	79.24	317.75	194.48	68.92	316.64	D	D	D	D	D	D		
213	laz	0.88	0.96	0.35	0.35	538	481	0	538	4.17	-10.00	-9.39	324.26	200.54	86.61	328.02	196.01	68.69	D	D	D	D	D	D	
214	laz	0.11	0.97	0.96	0.11	0	461	0	461	-11.72	-0.99	0.23	322.56	200.68	79.17	117.69	1.85	242.93	B	B	B	B	B	B	
215	laz	0.11	0.97	0.96	0.11	0	461	0	461	-11.72	-0.99	0.23	322.56	200.68	79.17	117.69	1.85	242.93	B	B	B	B	B	B	
216	laz	0.70	0.89	0.97	0.70	0	168	63	168	-9.77	5.88	2.39	236.98	117.27	356.89	218.60	110.82	348.82	D	D	D	D	D	D	
217	laz	0.94	0.89	0.74	0.74	110	0	0	110	-0.69	-3.48	-11.05	193.01	72.98	312.21	299.03	177.72	49.73	B	G	B	B	G	B	
218	laz	0.21	0.81	0.95	0.21	0	369	351	369	-10.24	6.22	-10.38	317.45	197.78	77.42	299.85	180.47	59.97	D	D	D	D	D	D	
219	laz	0.93	0.99	0.72	0.72	130	0	0	130	-0.37	-4.26	-11.55	180.73	60.83	299.54	358.25	236.11	109.89	B	G	B	B	G	B	
220	laz	0.57	0.96	0.98	0.57	0	207	0	207	-22.40	-4.58	0.14	144.90	25.68	265.55	122.90	9.56	248.56	B	D	B	B	D	B	
221	laz	0.89	0.89	0.19	0.19	309	13	29	309	8.72	-11.48	-17.25	199.24	77.08	321.77	308.22	186.44	66.12	B	C	B	B	C	B	
222	laz	0.98	0.69	0.93	0.69	0	0	140	140	-4.73	-2.35	3.38	191.20	74.02	313.92	7.30	246.99	133.68	B	F	B	B	F	B	
223	laz	0.87	0.63	0.59	0.59	160	19	142	160	7.69	-5.55	-8.78	26.86	265.71	145.26	151.86	32.33	272.00	D	A/E	D	D	A/E	D	
224	laz	0.53	0.87	0.72	0.53	123	142	19	142	-17.20	12.28	-8.34	282.33	164.10	38.48	313.85	197.82	76.34	E/C	B	E	B	E	E	
225	laz	0.85	0.76	0.54	0.54	143	17	138	143	7.76	-6.03	-9.48	351.77	228.20	109.79	257.66	103.89	3.33	B	B	B	B	B	B	
226	laz	0.79	0.55	0.50	0.50	132	21	121	132	10.41	-8.07	-17.63	200.66	78.14	317.62	127.92	8.11	248.06	D	D	D	D	D	D	
227	laz	0.72	0.59	0.54	0.54	132	22	122	132	10.76	-8.35	-17.60	193.99	71.43	310.95	278.25	144.22	35.34	D	G	D	D	G	D	
228	laz	0.93	0.99	0.75	0.75	127	0	0	127	-0.28	-4.12	-10.94	22.98	263.70	142.69	127.76	6.86	238.85	B	G	B	B	G	B	
229	laz	0.92	0.99	0.73	0.73	150	0	0	150	-2.57	-5.26	-15.58	190.57	70.21	309.50	348.11	226.91	97.90	B	F	B	B	F	B	
230	laz	0.60	0.92	0.97	0.60	0	137	0	137	-2.60	3.72	-6.12	218.73	98.93	338.63	143.79	28.61	264.17	B	C	B	B	C	B	
231	laz	0.96	0.62	0.92	0.62	0	0	140	140	-6.14	-1.81	4.02	44.65	289.23	166.86	184.58	64.29	311.87	B	C	B	B	C	B	
232	laz	0.93	0.54	0.84	0.54	6	0	133	133	-6.21	-2.20	4.38	251.91	135.58	13.87	180.73	61.09	300.81	B	F	B	B	F	B	
233	laz	0.95	0.41	0.87	0.41	129	0	155	155	-10.97	-11.79	7.95	67.74	312.32	191.01	227.72	106.01	353.67	B	C	B	B	C	B	
234	laz	0.47	0.89	0.97	0.47	0	145	69	145	-6.99	2.76	-5.88	293.78	170.01	48.45	116.85	7.88	243.27	B	F	B	B	F	B	
235	laz	0.24	0.98	0.99	0.24	0	163	0	163	-23.39	-2.35	-0.10	110.85	351.01	230.84	101.91	349.51	228.78	D	G	D	D	G	D	
236	laz	0.94	0.97	0.66	0.66	149	0	0	149	3.09	-5.48	-2.24	162.11	40.48	283.82	358.42	238.95	118.66	D	C	F	D	C	F	
237	laz	0.98	0.91	0.30	0.30	538	0	0	538	1.89	-3.73	-27.78	340.37	218.31	103.24	18.23	254.79	119.09	D	D	D	D	D	D	
238	laz	0.86	0.62	0.37	0.37	140	19	122	140	9.86	-9.23	-14.84	313.74	186.47	70.81	346.97	226.84	106.81	D	D	D	D	D	D	
239	laz	0.97	0.64	0.94	0.64	0	0	149	149	-5.64	-1.88	3.43	296.09	176.00	56.25	22.54	260.30	147.34	D	D	D	D	D	D	
240	laz	0.67	0.30	0.75	0.30	22	142	152	152	-7.81	-7.72	9.83	50.98	293.45	175.37	42.90	300.60	200.94	D	D	D	D	D	D	
241	laz	0.34	0.85	0.93	0.34	0	249	127	249	-16.82	3.46	-7.20	175.91	60.67	298.23	98.98	349.09	229.16	D	D	D	D	D	D	
242	laz	0.79	0.59	0.47	0.47	151	21	142	151	7.83	-5.27	-8.54	48.63	287.23	166.68	99.17	331.37	229.88	D	D	D	D	D	D	
243	laz	0.72	0.53	0.85	0.53	8	148	150	150	-28.02	-28.74	-9.82	262.81	144.05	24.50	324.50	220.57	110.29	D	F	D	D	F	D	
244	laz	0.72	0.81	0.44	0.44	141	154	20	154	-8.36	8.64	-6.73	298.57	180.19	56.97	292.55	176.76	55.68	D	D	D	D	D	D	
245	laz	0.58	0.66	0.72	0.58	23	124	130	130	-8.61	-10.36	13.26	219.48	102.93	344.73	329.61	220.82	113.16	E/C	B	E	B	E	E	

Nr.	Regiunea	U [u.r.]			Durata [ms]			φ [°]			Initial PoW [°]			Final PoW [°]			Clasificare								
		R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	Bl	Lb	Fz						
246	Mintia	0.54	0.92	0.89	0.54	0.89	0.54	10	146	0	146	0	146	4.60	5.14	-5.64	271.62	151.58	30.68	308.47	191.00	66.03	D	D	D
247	Mintia	0.96	0.95	0.85	0.85	0.85	0.85	100	0	0	100	0	100	1.39	-1.24	-1.48	33.53	273.64	152.96	196.84	77.28	306.98	D	D	D
248	Mintia	0.54	0.92	0.92	0.54	0.92	0.54	0	123	0	123	0	123	-3.48	6.01	-5.97	115.89	354.25	230.79	146.07	31.35	263.59	B	D	B
249	Mintia	0.54	0.92	0.92	0.54	0.92	0.54	0	123	0	123	0	123	-3.48	6.01	-5.97	115.89	354.25	230.79	324.53	213.00	82.20	B	D	B
250	Mintia	0.83	0.82	0.15	0.15	0.15	0.15	366	349	348	366	0	366	12.99	-13.94	-5.71	205.66	81.30	325.83	7.33	236.67	116.01	B	D	B
251	Mintia	0.94	0.94	0.90	0.34	0.90	0.34	0	0	139	139	0	139	-5.56	-7.32	5.62	109.27	345.61	230.11	231.04	101.68	358.04	B	D	B
252	Mintia	0.98	0.90	0.86	0.86	0.86	0.86	112	0	66	112	0	112	-4.16	-6.66	-3.77	110.28	343.42	233.67	235.93	114.50	356.15	B	D	B
253	Mintia	0.33	0.94	0.94	0.33	0.94	0.33	0	121	0	121	0	121	-4.25	2.80	-3.31	140.50	19.15	257.61	351.95	236.76	112.31	B	B	B
254	Mintia	0.58	0.96	0.95	0.58	0.95	0.58	0	129	0	129	0	129	2.29	7.62	1.76	125.75	3.75	242.44	229.46	112.32	349.96	B	D	B
255	Mintia	0.95	0.94	0.32	0.32	0.32	0.32	107	0	0	107	0	107	2.59	-3.47	-6.08	182.14	61.39	306.06	305.69	185.78	63.55	B	B	B
256	Mintia	0.96	0.94	0.32	0.32	0.32	0.32	114	0	0	114	0	114	0.40	-3.68	-6.59	3.55	243.20	127.38	288.69	167.88	45.53	D	D	D
257	Mintia	0.96	0.94	0.36	0.36	0.36	0.36	113	0	0	113	0	113	1.37	-4.82	-5.56	28.08	267.39	149.08	224.48	103.99	342.37	D	F	D
258	Mintia	0.95	0.32	0.93	0.32	0.93	0.32	0	0	117	117	0	117	-1.34	-5.50	3.90	237.87	123.27	358.70	129.26	7.02	248.73	B	D	B
259	Mintia	0.54	0.95	0.95	0.54	0.95	0.54	0	121	0	121	0	121	-2.87	2.74	-3.90	307.74	185.27	63.31	197.72	80.21	316.67	B	B	B
260	Mintia	0.40	0.95	0.95	0.40	0.95	0.40	0	118	0	118	0	118	-4.78	2.30	-3.34	84.18	321.14	198.55	308.39	193.55	71.47	B	B	B
261	Mintia	0.98	0.96	0.37	0.37	0.37	0.37	113	0	0	113	0	113	2.48	-2.95	-4.54	189.97	69.10	312.63	99.62	339.42	217.83	D	D	D
262	Mintia	0.97	0.96	0.50	0.50	0.50	0.50	133	0	0	133	0	133	2.03	-3.06	-4.98	181.74	61.52	304.13	19.26	259.28	135.90	D	D	D
263	Mintia	0.94	0.94	0.56	0.56	0.56	0.56	105	0	0	105	0	105	4.79	-5.26	-2.17	355.06	232.83	116.49	65.77	305.55	184.29	B	D	B
264	Mintia	0.57	0.96	0.95	0.57	0.95	0.57	0	107	0	107	0	107	-2.73	2.62	-3.61	85.86	324.26	201.35	132.76	16.61	254.32	B	B	B
265	Mintia	0.98	0.82	0.95	0.82	0.95	0.82	0	0	107	107	0	107	-0.05	-0.03	-0.02	22.37	262.50	141.84	77.41	317.57	196.82	B	B	B
266	Mintia	0.95	0.95	0.60	0.60	0.60	0.60	108	0	0	108	0	108	2.97	-4.51	-4.25	36.23	275.66	154.79	124.51	2.41	238.07	B	D	B
267	Mintia	0.42	0.95	0.95	0.42	0.95	0.42	0	110	0	110	0	110	-4.12	2.38	-3.47	165.65	47.89	286.69	129.82	11.35	249.97	B	A/E	D
268	Mintia	0.38	0.96	0.95	0.38	0.95	0.38	0	110	0	110	0	110	-4.01	2.68	-3.17	149.79	28.98	267.46	130.67	11.52	250.74	B	A/E	D
269	Mintia	0.96	0.35	0.93	0.35	0.93	0.35	0	0	111	111	0	111	-3.02	-5.61	5.00	67.44	311.55	188.57	119.77	357.97	244.30	D	D	D
270	Mintia	0.34	0.94	0.95	0.34	0.95	0.34	0	131	0	131	0	131	-4.55	3.56	-4.83	321.58	200.07	78.85	352.49	238.03	112.19	B	D	B
271	Mintia	0.96	0.94	0.40	0.40	0.40	0.40	112	0	0	112	0	112	1.13	-4.66	-5.52	38.37	277.69	157.61	199.66	78.22	313.74	D	D	D
272	Mintia	0.49	0.95	0.95	0.49	0.95	0.49	0	106	0	106	0	106	-3.42	3.37	-4.12	295.45	173.02	50.59	161.85	47.59	282.01	B	D	B
273	Mintia	0.33	0.94	0.94	0.33	0.94	0.33	0	121	0	121	0	121	-4.25	2.80	-3.31	140.50	19.15	257.61	351.95	236.76	112.31	B	B	B
274	Mintia	0.59	0.95	0.95	0.59	0.95	0.59	0	116	0	116	0	116	-4.38	2.32	-3.67	267.85	147.11	24.12	314.62	201.20	76.22	B	D	B
275	Mintia	0.98	0.44	0.95	0.44	0.95	0.44	0	0	110	110	0	110	0.08	-4.25	2.35	277.89	157.62	37.96	296.13	173.13	57.45	B	B	B
276	Mintia	0.99	0.33	0.96	0.33	0.96	0.33	0	0	117	117	0	117	0.49	-5.99	2.35	255.67	139.34	15.97	111.58	349.36	230.86	B	B	B
277	Resita	0.59	0.49	0.98	0.49	0.98	0.49	0	101	102	102	0	102	-34.75	31.50	-0.15	302.87	188.41	67.73	290.08	170.70	50.50	E/C	D	E
278	Resita	0.72	0.94	0.95	0.72	0.95	0.72	0	170	0	170	0	170	-3.80	3.69	-5.81	63.98	307.45	182.86	76.58	325.17	198.57	D	D	D
279	Resita	0.93	0.64	0.91	0.64	0.91	0.64	0	0	164	164	0	164	-6.85	-6.35	4.81	72.51	315.92	194.72	14.76	253.38	141.16	D	F	D
280	Resita	0.52	0.50	0.91	0.50	0.91	0.50	0	142	149	149	0	142	-31.73	31.67	-1.69	318.28	198.98	78.54	31.02	271.99	151.79	E/C	C	C

Nr.	Regiunea	U [u.r.]			Durata [ms]			φ [°]			Initial PoW [°]			Final PoW [°]			Clasificare				
		R	S	T	GoI	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	BI	Lb	Fz	
281	Resita	0.95	0.96	0.63	0.63	148	0	0	148	4.49	-5.19	-5.94	299.65	177.06	57.22	137.93	12.09	247.77	D	D	D
282	Resita	0.99	0.85	0.94	0.85	0	0	146	146	-3.07	-8.42	0.21	308.90	189.83	69.70	107.12	341.28	231.87	B	D	D
283	Resita	0.99	0.89	0.95	0.89	0	0	110	110	-2.25	-6.51	0.81	50.77	291.29	171.47	82.88	318.03	207.04	B	G	B
284	Resita	0.93	0.50	0.88	0.50	136	0	156	156	-10.57	-10.62	8.46	255.30	139.47	19.22	17.68	254.46	147.26	B	B	B
285	Resita	0.88	0.19	0.84	0.19	127	118	146	146	-14.96	-16.94	13.44	249.70	137.11	14.05	7.51	234.62	147.20	B	B	B
286	Resita	0.87	0.91	0.11	0.11	120	99	0	120	11.58	-14.70	-53.06	102.23	333.47	210.99	196.77	58.64	281.76	D	B	D
287	Resita	0.30	0.88	0.91	0.30	0	139	103	139	-17.45	7.95	-10.91	268.37	148.29	21.27	244.34	147.70	17.30	D	D	D
288	Resita	0.53	0.88	0.52	0.52	253	246	109	253	8.47	-2.81	-19.53	333.75	208.87	88.73	330.35	206.24	70.99	G	G	G
289	Resita	0.96	0.70	0.93	0.70	0	0	382	382	-4.18	-3.71	2.87	64.55	307.41	186.33	10.53	249.23	135.32	D	D	D
290	Resita	0.89	0.89	0.31	0.31	177	5	119	177	9.00	-10.79	-1.97	1.77	239.48	126.00	328.53	195.30	69.09	D	F	F
291	Resita	0.52	0.91	0.94	0.52	0	131	0	131	-12.09	5.34	-7.70	311.15	190.96	68.27	297.66	192.86	62.73	D	F	D
292	Resita	0.53	0.89	0.94	0.53	0	157	85	157	-10.14	6.81	-9.86	120.14	0.31	236.97	249.95	144.17	15.35	B	G	B
293	Resita	0.93	0.93	0.49	0.49	168	0	0	168	4.59	-8.69	-11.52	106.69	343.43	222.70	321.00	194.15	65.20	B	G	B
294	Resita	0.90	0.89	0.31	0.31	188	4	116	188	9.61	-10.88	-3.25	356.34	232.29	120.03	162.95	29.95	262.63	D	D	D
295	Resita	0.47	0.42	0.84	0.42	145	315	320	320	-31.88	15.20	-1.78	329.54	212.98	96.80	56.45	324.04	199.58	E/C	D	E
296	Resita	0.86	0.63	0.60	0.60	187	158	178	187	-15.59	-28.76	-7.18	137.63	13.31	260.15	317.40	189.66	74.50	G	F	E
297	Resita	0.92	0.95	0.64	0.64	184	0	0	184	5.40	-8.21	-7.00	165.80	43.97	286.97	312.10	182.95	60.27	D	D	D
298	Resita	0.58	0.52	0.86	0.52	124	189	186	189	-21.97	6.67	-2.13	342.49	227.96	108.18	244.13	138.34	14.07	G	F	G
299	Resita	0.90	0.94	0.60	0.60	215	0	0	215	6.03	-8.63	-5.99	307.82	178.49	64.52	323.52	196.78	74.63	F	A/E	F
300	Resita	0.59	0.89	0.94	0.59	0	-105	64	64	-12.31	4.87	-8.96	317.31	198.34	75.79	251.00	146.17	16.06	F	A/E	F
301	Resita	0.61	0.93	0.95	0.61	0	243	0	243	-7.21	4.50	-6.46	131.22	11.54	249.38	65.49	318.06	189.23	D	D	D
302	Resita	0.99	0.86	0.94	0.86	0	0	113	113	-4.04	-9.68	0.24	42.73	284.02	163.85	74.36	309.29	199.31	B	G	B
303	Resita	0.93	0.53	0.90	0.53	0	0	155	155	-9.17	-9.73	6.45	55.79	301.45	179.76	15.40	250.08	144.54	B	B	B
304	Resita	0.32	0.87	0.90	0.32	0	-104	109	109	-16.61	8.68	-12.34	322.35	203.34	79.38	64.54	332.47	195.84	D	A/E	D
305	Resita	0.56	0.67	0.65	0.56	140	148	146	148	5.80	-2.07	-20.65	209.56	93.97	330.21	191.77	70.08	319.13	E/C	G	E
306	Resita	0.99	0.76	0.93	0.76	0	0	237	237	-9.79	1.22	21.23	314.56	185.92	52.38	202.29	57.38	263.74	D	F	B
307	Resita	0.61	0.92	0.94	0.61	0	281	0	281	-6.14	5.42	-6.19	245.64	129.20	3.51	74.08	326.87	197.47	B	A/E	B
308	Resita	0.51	0.91	0.94	0.51	0	141	0	141	-10.51	6.07	-8.44	324.14	205.73	82.79	58.02	316.12	184.52	D	G	D
309	Resita	0.88	0.90	0.22	0.22	112	7	0	112	10.42	-13.83	-7.78	198.38	77.76	319.52	168.37	30.29	261.04	D	A/E	D
310	Resita	0.54	0.90	0.94	0.54	0	161	0	161	-10.99	6.14	-9.26	317.30	197.68	75.04	247.02	145.20	12.96	D	G	D
311	Resita	0.52	0.88	0.54	0.52	214	227	134	227	7.10	-3.73	-22.06	202.87	86.10	322.89	330.24	207.48	70.85	G	G	G
312	Resita	0.43	0.42	0.84	0.42	133	169	173	173	-32.36	9.47	-4.21	0.76	252.14	129.06	169.71	64.15	304.76	G	G	G
313	Resita	0.92	0.94	0.55	0.55	229	0	0	229	6.55	-8.83	-8.21	4.63	242.68	125.92	331.49	200.81	76.80	D	D	D
314	Resita	0.93	0.93	0.60	0.60	306	0	0	306	4.69	-7.14	-4.65	150.62	28.04	271.49	132.91	6.87	245.66	D	A/E	D
315	Resita	0.91	0.92	0.39	0.39	342	0	0	342	6.50	-10.42	-12.90	12.00	250.06	133.51	137.86	9.17	241.96	D	F	D

Nr.	Regiunea	U [u.r.]			Durata [ms]			φ [°]			Initial PoW [°]			Final PoW [°]			Clasificare			
		R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	Bl	Lb	Fz	
316	Resita	0.90	0.93	0.56	300	55	0	300	7.44	-10.45	-6.90	169.13	45.39	289.73	322.84	197.68	75.30	B	G	B
317	Resita	0.52	0.56	0.80	118	205	221	221	-17.22	5.52	-2.54	356.21	243.39	122.27	197.12	75.93	322.27	G	D	G
318	Resita	0.34	0.89	0.92	0	-104	62	62	-11.53	8.54	-10.86	316.07	197.01	76.49	102.37	4.78	229.93	D	D	D
319	Resita	0.93	0.92	0.50	128	0	0	128	9.95	-3.04	1.78	207.70	88.46	327.96	329.78	201.34	77.96	B	D	D
320	Resita	0.92	0.90	0.40	130	0	35	130	8.24	-9.16	-1.67	169.10	50.52	289.67	321.17	189.84	66.17	D	F	D
321	Resita	0.41	0.40	0.45	193	182	162	193	-13.94	-8.30	-6.84	208.55	86.07	329.22	299.43	185.84	58.63	A	F	A
322	Resita	0.88	0.90	0.48	314	113	0	314	9.86	-12.48	-6.17	12.51	250.66	134.23	140.26	14.73	250.88	B	B	B
323	Resita	0.58	0.50	0.98	0	102	102	102	-36.63	30.20	-0.10	86.96	327.14	207.14	86.96	327.14	207.14	E/C	D	E
324	Resita	0.92	0.94	0.35	136	0	0	136	24.63	29.79	27.85	170.50	47.17	288.42	325.31	188.81	57.24	G	G	G
325	Resita	0.72	0.93	0.97	0	138	0	138	-13.40	0.60	-8.49	111.71	352.20	231.77	65.39	319.58	190.02	D	A/E	D
326	Resita	0.92	0.34	0.89	34	0	136	136	-9.04	-10.85	9.53	245.54	129.10	9.16	203.56	73.44	336.01	D	A/E	D
327	Resita	0.98	0.66	0.88	89	0	110	110	-7.50	-22.89	1.94	86.30	326.30	207.12	346.59	214.20	111.92	B	D	B
328	Resita	0.71	0.99	0.74	169	171	0	171	10.63	-0.89	-15.63	163.48	44.09	283.73	294.59	169.94	45.96	E/C	D	E
329	Resita	0.79	0.36	0.79	436	471	489	489	-9.22	-7.17	9.19	247.60	128.91	9.32	206.48	79.19	337.91	D	D	D
330	Resita	0.89	0.60	0.86	191	201	661	661	-7.15	-5.19	5.33	8.93	255.57	146.11	109.11	350.13	229.62	D	F	D
331	Resita	0.90	0.92	0.39	346	0	0	346	6.52	-10.16	-14.38	175.64	53.30	298.74	319.18	190.46	62.63	D	F	D
332	Resita	0.22	0.87	0.89	68	137	105	137	-26.33	10.95	-12.75	127.79	5.50	241.37	77.69	351.20	215.51	F	A/E	F
333	Resita	0.40	0.87	0.91	0	-99	111	111	-18.32	8.56	-12.27	130.45	9.62	246.41	290.03	192.88	56.96	D	A/E	D
334	Resita	0.89	0.94	0.48	243	26	0	243	13.36	-9.12	-14.60	208.16	85.37	326.06	321.36	184.72	57.06	B	G	B
335	Resita	0.59	0.68	0.65	139	147	146	147	5.94	-2.07	-21.34	28.32	272.33	148.72	9.52	248.09	137.56	E/C	D	E
336	Resita	0.48	0.41	0.85	146	313	320	320	-34.27	13.23	-2.21	153.30	38.07	280.84	240.15	146.03	23.17	E/C	D	E
337	Resita	0.90	0.90	0.28	147	4	0	147	7.90	-11.37	-12.61	175.10	50.51	298.80	355.48	223.61	92.61	D	B	D
338	Resita	0.98	0.77	0.93	0	0	237	237	-9.79	1.22	21.23	314.56	185.92	338.97	202.29	57.38	263.74	E/C	F	G
339	Resita	1.00	0.83	0.91	0	0	492	492	-4.85	-17.21	-0.23	338.34	206.73	103.08	218.15	98.75	338.35	D	F	D
340	Resita	0.45	0.95	0.55	229	236	0	236	12.35	-20.92	-61.06	331.34	192.73	38.24	131.17	11.94	251.32	E/C	G	C
341	Resita	0.60	0.53	0.97	0	622	623	623	-31.55	26.06	-0.41	83.21	335.12	210.71	272.70	153.54	33.01	E/C	G	C
342	Resita	0.48	0.47	0.93	0	140	154	154	-43.55	44.52	-0.37	309.10	189.83	69.60	123.46	16.56	247.52	E	C	C
343	Resita	0.73	0.61	0.91	0	249	990	990	-8.42	-4.66	5.70	37.01	277.51	157.24	76.44	327.61	206.62	D	D	D
344	Resita	0.48	0.47	0.93	0	140	154	154	-43.55	44.52	-0.37	309.10	189.83	69.60	123.46	16.56	247.52	E/C	F	E
345	Resita	0.36	0.88	0.91	0	109	52	109	-9.85	9.15	-10.90	162.89	47.02	284.40	60.04	322.31	188.25	D	D	D
346	Resita	0.70	0.95	0.76	129	137	0	137	4.78	-3.24	-19.03	196.36	81.76	319.72	307.28	188.30	64.66	A	F	A
347	Resita	0.94	0.92	0.50	119	0	0	119	6.53	-5.50	-2.02	119.26	359.29	239.33	312.45	184.09	60.91	B	F	B
348	Resita	0.43	0.82	0.33	381	383	119	383	14.62	-5.68	-40.26	43.61	286.10	157.65	336.20	206.20	61.58	G	G	G
349	Resita	0.77	0.46	0.46	459	207	452	459	-4.99	-27.66	11.08	294.56	167.83	54.34	4.05	231.47	128.14	G	G	G
350	Resita	0.88	0.91	0.48	314	165	0	314	10.47	-12.37	-7.67	187.55	65.21	308.78	316.15	189.40	65.35	D	D	D

Nr.	Regiunea	U [u.r.]			Durata [ms]			φ [°]			Initial PoW [°]			Final PoW [°]			Clasificare				
		R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	BI	Lb	Fz		
351	Resita	0.50	0.97	0.95	0.50	0	109	0	109	-1.28	2.17	-2.11	3.01	243.16	122.31	5.66	243.40	123.28	B	B	B
352	Resita	0.55	0.94	0.93	0.55	0	128	0	128	-0.35	6.12	-6.58	119.07	359.44	238.66	335.29	217.98	92.79	D	D	D
353	Resita	0.53	0.95	0.95	0.53	0	105	0	105	-1.05	3.83	-4.14	297.17	175.01	52.24	114.31	353.73	232.85	B	B	B
354	Resita	0.94	0.56	0.94	0.56	0	0	114	114	-5.01	0.07	6.37	247.95	131.60	9.40	120.30	2.75	244.16	B	B	B
355	Resita	0.95	0.56	0.94	0.56	0	0	109	109	-4.24	0.65	5.48	287.32	168.16	48.57	286.04	169.14	51.76	B	B	B
356	Resita	0.55	0.93	0.94	0.55	0	119	0	119	0.09	4.79	-4.16	108.23	346.23	224.42	357.59	240.31	115.06	B	B	B
357	Resita	0.55	0.93	0.94	0.55	0	119	0	119	0.09	4.79	-4.16	108.23	346.23	224.42	49.63	292.92	170.00	B	B	B
358	Resita	0.93	0.92	0.56	0.56	114	0	0	114	5.45	-6.29	0.18	45.46	283.84	164.09	209.20	83.35	324.08	B	D	D
359	Resita	0.94	0.92	0.55	0.55	114	0	0	114	6.11	-7.05	0.12	33.28	271.35	153.10	214.71	88.11	329.60	B	C	D
360	Resita	0.54	0.96	0.94	0.54	0	110	0	110	-0.11	3.43	-2.48	312.91	191.25	69.31	345.25	227.32	103.38	B	G	B
361	Resita	0.49	0.90	0.88	0.49	59	117	0	117	2.63	8.38	-8.47	127.07	4.89	240.16	211.93	94.88	328.62	B	G	B
362	Resita	0.54	0.93	0.92	0.54	0	110	0	110	0.64	7.74	-7.54	326.74	206.14	83.30	322.01	209.51	78.83	D	D	D
363	Resita	0.22	0.87	0.87	0.22	137	200	111	200	-11.71	9.07	-13.10	131.16	8.90	243.49	89.88	332.15	206.87	D	D	D
364	Resita	0.91	0.52	0.91	0.52	0	0	234	234	-6.50	-1.06	6.18	261.07	143.54	22.02	133.50	14.99	257.71	D	D	D
365	Resita	0.95	0.72	0.94	0.72	0	0	112	112	-4.66	-1.69	4.39	276.66	157.80	37.52	349.52	229.68	108.89	D	D	D
366	Resita	0.45	0.97	0.96	0.45	0	108	0	108	-1.45	1.73	-2.25	105.31	342.03	219.90	27.37	269.25	146.94	B	D	B
367	Resita	0.93	0.90	0.54	0.54	119	0	0	119	5.33	-6.41	1.28	12.48	251.41	133.90	262.93	139.06	20.40	B	G	B
368	Resita	0.16	0.94	0.92	0.16	0	91	0	91	-7.40	4.43	-5.50	300.19	174.39	50.89	272.01	154.03	33.26	D	C	D
369	Resita	0.55	0.95	0.94	0.55	0	102	0	102	-0.79	4.54	-4.65	163.28	44.81	283.44	200.77	81.43	318.45	B	A/E	D
370	Resita	0.56	0.95	0.95	0.56	0	109	0	109	1.04	5.47	-4.78	139.96	20.05	259.04	195.62	77.33	312.42	B	A/E	D
371	Resita	0.95	0.51	0.95	0.51	0	0	104	104	-3.85	-1.05	4.89	266.11	148.42	27.01	301.63	182.98	62.96	B	A/E	D
372	Resita	0.54	0.94	0.95	0.54	0	105	0	105	-0.78	2.96	-3.04	109.75	347.30	225.21	355.89	241.12	115.74	D	D	D
373	Resita	0.53	0.95	0.96	0.53	0	108	0	108	-1.36	2.32	-2.39	68.14	308.73	186.06	10.77	255.44	131.52	D	D	D
374	Resita	0.96	0.95	0.59	0.59	107	0	0	107	-1.66	-3.92	-4.36	319.22	198.71	80.85	210.18	87.16	323.06	D	F	D
375	Resita	0.65	0.92	0.96	0.65	0	102	0	102	-6.05	3.63	-5.13	243.35	126.97	2.16	277.30	163.66	36.39	D	F	D
376	Resita	0.93	0.96	0.66	0.66	111	0	0	111	1.92	-6.51	-5.82	330.93	207.69	89.00	134.27	7.98	248.81	D	F	D
377	Resita	0.44	0.93	0.95	0.44	0	107	0	107	-1.30	2.99	-3.56	119.91	356.05	233.79	341.85	230.46	103.51	B	D	B
378	Resita	0.96	0.97	0.74	0.74	99	0	0	99	-0.72	-2.95	-4.11	93.64	333.27	211.58	93.15	331.60	208.89	D	D	D
379	Resita	0.28	0.95	0.95	0.28	0	112	0	112	-4.21	3.12	-3.46	150.92	31.48	269.97	97.73	340.59	220.29	D	D	D
380	Resita	0.67	0.94	0.96	0.67	0	101	0	101	-4.92	2.71	-4.96	253.43	134.36	10.96	231.59	115.05	354.23	D	D	D
381	Resita	0.67	0.94	0.96	0.67	0	102	0	102	-4.89	2.63	-4.69	236.79	119.29	356.00	143.81	27.54	266.42			
382	Resita	0.58	0.88	0.61	0.58	121	131	52	131	2.51	-3.05	-17.64	61.65	302.28	175.93	73.42	315.77	192.18	G	D	G
383	Resita	0.99	0.82	0.94	0.82	0	0	507	507	-19.58	-18.19	-12.73	297.72	178.11	57.52	276.00	157.16	41.87	E/C	D	E
384	Resita	0.68	0.70	0.95	0.68	0	149	150	150	-12.25	15.50	0.71	82.70	329.43	202.36	100.10	347.03	220.40	E/C	D	E
385	Sacalaz	0.90	0.92	0.67	0.67	181	120	0	181	7.25	-11.90	-3.37	181.13	58.98	302.26	166.35	34.55	278.18	D	C	D

Nr.	Regiunea	U [u.r.]						Durata [ms]						φ [°]						Initial PoW [°]						Final PoW [°]						Clasificare					
		R	S	T	Gol	R	S	T	Gol	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	Bl	Lb	Fz							
386	Sacalaz	0.92	0.93	0.71	0.71	552	0	0	552	3.78	-5.33	-4.16	4.10	242.52	124.42	2.88	240.69	127.76	2.88	240.69	D	D	D	D	D	D	D	D	D								
387	Sacalaz	0.87	0.70	0.86	0.70	160	161	177	177	-16.35	-3.91	15.20	229.55	113.58	355.90	21.68	269.04	164.10	16.87	252.88	D	D	D	D	D	D	D	D	D								
388	Sacalaz	0.94	0.92	0.65	0.65	117	0	0	117	5.61	-8.06	-6.80	17.73	256.73	137.81	144.50	16.87	252.88	144.50	16.87	252.88	D	D	D	D	D	D	D	D	D							
389	Sacalaz	0.91	0.95	0.67	0.67	181	0	0	181	5.13	-9.36	-3.11	173.67	51.66	295.14	15.29	243.96	15.29	243.96	15.29	243.96	D	D	D	D	D	D	D	D	D							
390	Sacalaz	0.50	0.94	0.90	0.50	75	138	0	138	-8.59	6.42	-8.00	347.53	230.04	108.08	114.73	355.35	235.27	355.35	235.27	D	D	D	D	D	D	D	D	D								
391	Sacalaz	0.54	0.91	0.93	0.54	0	125	0	125	-7.56	6.29	-8.79	315.07	196.12	71.97	115.26	355.79	235.89	355.79	235.89	B	B	B	B	B	B	B	B	B								
392	Sacalaz	0.51	0.86	0.55	0.51	228	223	134	228	3.36	-3.79	-12.13	307.81	183.66	63.96	194.76	73.10	308.15	194.76	73.10	308.15	G	D	E	D	D	D	D	D	D							
393	Sacalaz	0.98	0.99	0.20	0.20	120	0	0	120	-7.18	5.02	-15.75	27.70	269.54	148.43	167.50	58.48	272.14	167.50	58.48	272.14	B	D	B	D	D	D	D	D	D							
394	Sacalaz	0.87	0.70	0.85	0.70	132	120	142	142	-16.20	-4.01	14.63	107.34	349.60	232.67	43.12	290.84	184.52	43.12	290.84	D	A/E	D	D	D	D	D	D	D	D							
395	Sacalaz	0.89	0.69	0.85	0.69	162	159	178	178	-15.11	-3.60	14.28	119.56	359.89	239.55	36.82	282.83	176.13	36.82	282.83	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D						
396	Sacalaz	0.40	0.89	0.88	0.40	78	136	7	136	-9.39	6.24	-9.74	307.29	186.01	62.24	235.91	132.89	235.91	132.89	132.89	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D						
397	Sacalaz	0.91	0.89	0.42	0.42	130	0	99	130	8.20	-11.78	-10.55	210.21	88.37	328.96	141.83	9.69	241.56	141.83	9.69	241.56	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D					
398	Sacalaz	0.72	0.90	0.94	0.72	0	185	0	185	-2.54	6.90	-8.87	292.67	173.15	52.85	89.74	336.23	206.71	89.74	336.23	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D					
399	Sacalaz	0.96	0.29	0.83	0.29	139	0	199	199	-7.27	12.71	0.16	63.61	311.76	185.99	203.74	82.38	330.27	203.74	82.38	330.27	B	D	B	D	D	D	D	D	D	D	D					
400	Sacalaz	0.90	0.93	0.71	0.71	157	0	0	157	6.58	-9.47	-2.46	109.72	350.01	229.69	150.29	21.11	264.49	150.29	21.11	264.49	B	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D					
401	Sacalaz	0.41	0.89	0.90	0.41	0	129	51	129	-9.09	8.87	-11.23	23.78	271.19	144.10	247.54	145.99	247.54	145.99	13.78	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D					
402	Sacalaz	0.52	0.92	0.92	0.52	0	121	0	121	-7.15	5.48	-8.37	306.40	185.44	63.00	58.69	312.26	183.44	58.69	312.26	B	D	B	D	D	D	D	D	D	D	D	D					
403	Sacalaz	0.90	0.90	0.44	0.44	110	0	37	110	7.69	-11.04	-8.90	35.43	273.42	153.74	326.89	194.46	326.89	194.46	69.52	B	D	B	D	D	D	D	D	D	D	D	D					
404	Sacalaz	0.53	0.59	0.57	0.53	16	16	67	67	-4.25	-1.66	3.16	80.80	323.14	202.75	189.25	67.36	311.88	189.25	67.36	311.88	B	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D				
405	Sacalaz	0.89	0.90	0.67	0.67	163	112	65	163	9.08	-11.88	-3.79	176.00	36.07	283.92	156.13	22.30	265.91	156.13	22.30	265.91	B	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D				
406	Sacalaz	0.92	0.90	0.47	0.47	119	0	0	119	6.69	-9.95	-9.01	25.22	263.25	144.54	135.05	5.08	239.14	135.05	5.08	239.14	B	D	B	D	D	D	D	D	D	D	D	D				
407	Sacalaz	0.89	0.71	0.86	0.71	150	128	161	161	-15.37	-3.79	14.15	71.44	314.17	194.54	43.78	291.20	184.23	43.78	291.20	B	D	B	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D				
408	Sacalaz	0.97	0.96	0.89	0.89	79	0	0	79	-0.07	-3.85	-2.25	251.55	131.73	11.53	179.17	57.65	297.59	179.17	57.65	297.59	F	A/E	F	A/E	D	D	D	D	D	D	D	D				
409	Sacalaz	0.66	0.88	0.89	0.66	57	145	122	145	-3.51	9.84	-12.05	117.52	357.91	237.70	94.98	347.03	211.88	94.98	347.03	D	A/E	D	A/E	D	D	D	D	D	D	D	D	D				
410	Sacalaz	0.70	0.87	0.89	0.70	140	161	150	161	-3.52	12.07	-15.16	153.67	36.22	272.44	78.00	329.81	192.41	78.00	329.81	F	A/E	F	A/E	D	D	D	D	D	D	D	D	D				
411	Sacalaz	0.88	0.89	0.32	0.32	120	73	90	120	9.98	-14.40	-14.61	31.40	269.47	150.20	197.33	61.64	296.27	197.33	61.64	296.27	D	C	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D			
412	Sacalaz	0.95	0.67	0.92	0.67	0	0	174	174	-4.32	-2.38	3.29	67.49	309.98	189.10	284.44	164.76	44.83	284.44	164.76	44.83	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D			
413	Sacalaz	0.95	0.50	0.87	0.50	134	0	181	181	-8.81	0.67	4.79	252.93	136.68	14.99	247.64	131.06	247.64	131.06	15.82	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D			
414	Sacalaz	0.90	0.90	0.41	0.41	119	4	0	119	8.99	-12.25	-9.95	210.18	88.80	329.33	357.51	223.93	357.51	223.93	98.19	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D			
415	Sacalaz	0.63	0.23	0.40	0.23	7	5	12	12	-59.18	-30.42	3.77	225.81	113.33	354.21	45.88	290.19	172.47	45.88	290.19	E/C	D	G	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D		
416	Sacalaz	0.89	0.70	0.86	0.70	170	159	183	183	-14.94	-4.20	14.07	268.62	151.04	32.60	202.51	88.80	343.36	202.51	88.80	343.36	E/C	D	C	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D		
417	Sacalaz	0.71	0.90	0.94	0.71	0	179	0	179	-2.98	6.73	-9.24	102.47	352.94	216.58	263.74	150.63	263.74	150.63	20.97	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D		
418	Sacalaz	0.13	0.79	0.95	0.13	0	141	130	141	6.70	6.31	-13.46	322.56	201.20	79.15	119.16	359.62	239.23	119.16	359.62	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D		
419	Sacalaz	0.92	0.90	0.54	0.54	119	0	0	119	7.12	-10.35	-9.60	26.83	265.85	146.28	172.86	42.69	277.26	172.86	42.69	277.26	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D		
420	Sacalaz	0.94	0.94	0.77	0.77	92	0	0	92	4.60	-6.08	-3.59	112.62	353.26	233.04	312.99	185.40	312.99	185.40	65.21	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D		

Nr.	Regiunea	U [u.r.]			Durata [ms]			φ [°]			Initial PoW [°]			Final PoW [°]			Clasificare				
		R	S	T	Gol	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	Bl	Lb	Fz	
421	Sacalaz	0.90	0.91	0.54	0.54	120	0	0	120	6.48	-9.73	-4.67	34.82	273.12	154.27	179.40	48.40	285.75	D	D	D
422	Sacalaz	0.36	0.90	0.89	0.36	128	157	0	157	-12.40	7.92	-10.28	282.67	160.99	36.00	293.01	173.85	54.23	D	D	D
423	Sacalaz	0.92	0.90	0.45	0.45	119	0	0	119	7.38	-9.76	-8.68	121.08	1.52	241.35	322.57	192.18	65.76	D	D	D
424	Sacalaz	0.67	0.87	0.89	0.67	88	143	129	143	-3.15	14.34	-14.97	327.51	209.75	85.49	19.89	260.36	140.28	D	D	D
425	Sacalaz	0.93	0.92	0.70	0.70	212	0	0	212	4.01	-6.42	-3.97	6.53	244.17	126.45	129.66	4.90	242.87	D	D	D
426	Sacalaz	0.92	0.93	0.68	0.68	114	0	0	114	6.05	-8.60	-4.99	182.04	59.58	302.21	306.91	179.70	58.00	D	D	D
427	Sacalaz	0.89	0.67	0.86	0.67	161	120	173	173	-13.87	-10.25	11.24	244.58	127.89	7.89	37.60	282.27	173.45	D	D	D
428	Sacalaz	0.90	0.90	0.42	0.42	117	0	16	117	6.77	-10.25	-9.56	41.74	282.23	162.05	332.26	201.65	74.89	B	D	B
429	Sacalaz	0.66	0.88	0.89	0.66	65	144	125	144	-3.50	10.23	-12.06	277.11	157.23	37.02	270.98	162.52	27.56	F	A/E	F
430	Sacalaz	0.96	0.68	0.93	0.68	0	0	184	184	-4.54	-2.47	2.65	242.08	124.49	3.18	291.86	172.36	54.45	D	D	D
431	Sacalaz	0.94	0.63	0.96	0.63	0	0	173	173	-2.97	-4.27	3.29	251.89	133.98	12.84	14.99	249.55	136.82	D	D	D
432	Sacalaz	0.91	0.78	0.88	0.78	126	0	160	160	-11.47	-2.34	10.69	71.69	314.79	195.52	196.88	78.41	321.93	D	D	D
433	Sacalaz	0.90	0.93	0.68	0.68	161	124	0	161	7.50	-10.98	-3.17	188.13	66.46	308.86	150.41	19.24	263.15	B	A/E	D
434	Sacalaz	0.70	0.90	0.93	0.70	0	160	93	160	-2.58	7.46	-10.09	84.08	334.05	197.10	118.00	5.13	234.40	D	A/E	D
435	Sacalaz	0.91	0.94	0.72	0.72	164	0	0	164	6.19	-9.22	-2.66	14.42	253.23	134.77	154.57	25.87	269.40	D	A/E	D
436	Sacalaz	0.67	0.88	0.90	0.67	63	151	121	151	-3.53	9.19	-11.93	168.21	51.10	288.66	291.00	181.64	47.50	D	A/E	D
437	Sacalaz	0.90	0.90	0.42	0.42	115	4	0	115	7.69	-10.84	-9.31	186.16	62.24	307.25	150.68	19.45	252.60	B	D	B
438	Sacalaz	0.94	0.92	0.69	0.69	112	0	0	112	5.92	-6.77	-3.50	23.41	262.09	143.44	168.56	43.14	281.07	D	D	D
439	Sacalaz	0.90	0.90	0.43	0.43	119	4	0	119	8.14	-12.15	-10.89	225.59	103.59	343.41	355.97	222.99	96.93	D	D	D
440	Sacalaz	0.87	0.96	0.43	0.43	181	140	0	181	0.50	-8.52	1.55	18.14	257.11	141.46	215.44	89.71	331.91	B	D	B
441	Sacalaz	0.90	0.90	0.42	0.42	118	0	39	118	8.40	-11.41	-10.19	85.96	319.53	199.11	141.14	9.35	242.54	D	D	D
442	Sacalaz	0.88	0.87	0.37	0.37	126	53	99	126	10.74	-14.68	-11.95	168.70	44.42	290.82	314.69	179.46	53.03	D	D	D
443	Sacalaz	0.94	0.93	0.71	0.71	103	0	0	103	5.23	-6.29	-3.67	186.95	64.89	307.11	131.06	4.66	243.31	D	D	D
444	Sacalaz	0.90	0.93	0.69	0.69	168	22	0	168	7.77	-10.51	-3.48	10.11	231.92	118.76	329.51	199.71	83.06	D	F	F
445	Sacalaz	0.88	0.98	0.46	0.46	188	153	0	188	-1.28	-6.27	4.60	148.43	27.11	272.22	36.32	276.55	158.85	B	B	B
446	Sacalaz	0.57	0.92	0.93	0.57	0	505	0	505	-0.14	1.54	-3.16	107.62	345.42	222.58	277.35	162.68	41.47	B	B	B
447	Sacalaz	0.86	0.70	0.49	0.49	231	6	160	231	31.57	-36.96	-20.82	201.96	72.42	314.65	321.31	200.29	78.11	E/C	A/E	E
448	Sacalaz	0.70	0.91	0.94	0.70	0	163	0	163	-1.59	7.92	-8.47	141.30	22.14	258.96	264.18	149.75	20.44	F	A/E	F
449	Sacalaz	0.68	0.90	0.88	0.68	130	151	0	151	-5.86	10.15	-10.94	349.21	232.70	108.81	115.13	355.86	236.27	F	A/E	F
450	Sacalaz	0.90	0.90	0.42	0.42	120	3	37	120	8.81	-12.11	-10.14	34.10	272.38	152.99	180.82	47.56	282.72	B	B	B
451	Sacalaz	0.88	0.70	0.85	0.70	141	139	154	154	-16.34	-3.89	15.16	48.42	292.81	174.52	198.89	85.57	340.27	B	B	B
452	Sacalaz	0.51	0.80	0.81	0.51	143	-106	149	149	-9.60	25.18	-27.99	138.69	21.07	256.49	250.66	159.87	5.12	B	B	B
453	Sacalaz	0.28	0.50	0.34	0.28	17	69	16	69	-9.78	7.40	-9.76	131.68	11.00	248.68	238.95	137.99	7.49	B	B	B
454	Sacalaz	0.61	0.92	0.93	0.61	0	127	0	127	-6.02	5.75	-8.10	352.65	235.34	112.21	254.37	145.65	18.82	B	B	B
455	Sacalaz	0.97	0.49	0.86	0.49	174	0	191	191	-9.09	0.35	5.55	70.79	315.70	193.32	102.01	345.23	229.29	B	B	B



Nr.	Regiunea	U [u.r.]			Durata [ms]			φ [°]			Initial PoW [°]			Final PoW [°]			Clasificare			
		R	S	T	Gol	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	Bl	Lb	Fz
456	Sacalaz	0.92	0.30	0.85	0.30	107	0	127	-13.65	-8.78	8.16	228.46	115.77	352.59	77.89	316.24	211.09	D	D	D
457	Sacalaz	0.46	0.88	0.96	0.46	0	180	0.88	2.19	-7.97	319.74	198.27	77.09	117.23	2.11	235.44	D	D	D	
458	Sacalaz	0.94	0.85	0.42	0.42	134	0	118	7.45	-8.94	-14.52	176.09	53.21	297.33	160.68	29.01	256.44	D	D	D
459	Sacalaz	0.89	0.60	0.94	0.60	0	449	500	-6.73	-5.23	7.28	190.12	70.36	309.93	20.41	254.75	147.26	D	D	D
460	Sacalaz	0.96	0.97	0.87	0.87	86	0	0	0.63	-1.99	-0.73	21.22	257.08	139.28	308.48	188.31	68.07	F	A/E	F
461	Sacalaz	0.96	0.97	0.88	0.88	86	0	0	-1.07	-1.24	-1.16	165.20	45.14	284.81	93.42	328.68	210.87	F	A/E	F
462	Sacalaz	0.25	0.86	0.92	0.25	0	470	450	-11.56	6.17	-11.10	331.86	213.25	91.32	253.21	155.82	26.07	D	D	D
463	Sacalaz	0.90	0.12	0.86	0.12	443	163	463	-10.57	-17.18	8.88	79.24	323.01	201.20	215.45	76.31	347.21	D	D	D
464	Sacalaz	0.97	0.91	0.72	0.72	453	0	0	-15.57	-23.90	-26.01	343.35	220.90	103.31	224.84	104.69	344.42	B	D	B
465	Sacalaz	0.35	0.95	0.86	0.35	117	136	0	-18.39	6.44	-7.21	36.91	276.55	156.46	248.88	154.28	25.00	D	D	D
466	Sacalaz	0.91	0.92	0.42	0.42	441	0	0	2.65	-4.56	-4.63	181.19	59.09	303.58	338.11	215.00	87.30	B	B	B
467	Sacalaz	0.85	0.30	0.91	0.30	0	125	141	-8.83	-22.33	9.59	73.51	316.07	194.91	228.56	91.85	0.98	D	D	D
468	Sacalaz	0.89	0.92	0.57	0.57	138	6	0	8.62	-4.34	1.82	330.27	205.53	88.09	222.66	87.63	333.57	D	D	D
469	Timisoara	0.95	0.93	0.36	0.36	114	0	0	1.80	-4.89	-4.81	58.13	298.55	178.05	253.69	136.17	13.93	D	F	D
470	Timisoara	0.91	0.37	0.91	0.37	0	0	169	-5.32	-2.48	6.41	266.34	148.05	27.52	126.14	6.66	246.08	B	D	B
471	Timisoara	0.95	0.34	0.94	0.34	0	0	110	-1.11	-4.06	3.37	112.72	353.07	232.30	238.01	115.95	357.10	D	D	D
472	Timisoara	0.88	0.47	0.86	0.47	133	82	277	-9.67	-5.84	10.00	222.96	109.20	347.42	65.44	306.18	185.70	B	D	B
473	Timisoara	0.95	0.95	0.59	0.59	109	0	0	3.01	-4.73	-4.31	26.49	266.25	145.69	350.12	225.03	98.81	B	D	B
474	Timisoara	0.43	0.94	0.95	0.43	0	110	0	-4.95	2.45	-3.66	164.11	46.59	285.09	218.03	100.05	339.85	B	A/E	D
475	Timisoara	0.15	0.92	0.92	0.15	0	131	0	-5.27	4.85	-6.39	333.83	215.26	92.96	101.72	342.07	220.98	D	D	D
476	Timisoara	0.25	0.94	0.93	0.25	0	137	0	-0.63	3.58	-4.36	131.86	7.62	245.47	179.91	61.54	298.82	B	B	B
477	Timisoara	0.93	0.95	0.68	0.68	133	0	0	3.02	-5.93	-4.28	8.30	247.44	128.56	135.93	10.75	248.00	D	D	D
478	Timisoara	0.94	0.97	0.75	0.75	150	0	0	1.51	-5.64	-4.72	21.53	261.17	141.54	129.42	5.73	243.63	D	D	D
479	Timisoara	0.90	0.93	0.59	0.59	148	0	0	3.96	-8.02	-7.16	210.44	88.61	329.17	136.78	9.34	244.77	D	F	D
480	Timisoara	0.27	0.86	0.88	0.27	100	131	101	-11.47	7.42	-12.79	156.24	39.62	276.04	66.06	330.33	196.50	D	F	D
481	Timisoara	0.57	0.92	0.93	0.57	0	139	0	-6.73	3.56	-7.19	135.00	14.57	252.48	248.45	140.49	13.34	B	D	B
482	Timisoara	0.97	0.83	0.96	0.83	0	0	159	-3.66	-2.32	2.15	42.05	283.79	163.61	146.84	28.43	272.45	D	D	D
483	Timisoara	0.90	0.92	0.56	0.56	138	72	0	3.11	-9.97	-9.03	321.67	197.25	81.58	324.41	196.23	70.99	D	D	D
484	Timisoara	0.22	0.87	0.89	0.22	67	137	93	-14.07	8.16	-12.48	305.22	181.85	57.00	301.27	181.34	61.04	D	F	D
485	Timisoara	0.19	0.86	0.89	0.19	99	151	151	-18.40	8.31	-13.33	297.75	177.97	57.53	55.74	323.76	188.49	D	F	D
486	Timisoara	0.89	0.91	0.48	0.48	170	97	0	5.59	-9.45	-6.49	313.25	193.71	72.82	154.30	25.83	261.59	B	D	B
487	Timisoara	0.96	0.70	0.94	0.70	0	0	135	-5.68	-4.43	3.40	276.73	157.13	36.63	200.03	78.08	325.24	B	D	B
488	Timisoara	0.78	0.95	0.95	0.78	0	168	0	-2.35	2.25	-3.77	40.35	282.43	159.06	255.81	136.17	15.83	B	D	B
489	Timisoara	0.76	0.95	0.96	0.76	0	129	0	-2.86	2.41	-4.23	41.63	283.71	159.72	73.17	318.08	193.90	B	D	B
490	Timisoara	0.89	0.91	0.46	0.46	189	112	0	9.17	-6.31	-3.77	221.17	99.32	338.78	4.32	244.98	124.63	B	D	B

Nr.	Regiunea	U [u.r.]			Durata [ms]			φ [°]			Initial PoW [°]			Final PoW [°]			Clasificare			
		R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T	BI	Lb	Fz	
491	Timisoara	0.89	0.90	0.47	180	123	68	180	5.35	-9.80	-6.25	28.47	266.22	147.36	6.93	243.21	B	D	B	
492	Timisoara	0.53	0.91	0.93	0	138	0	138	-10.19	1.45	-12.61	73.53	315.44	189.35	63.67	186.12	B	D	B	
493	Timisoara	0.60	0.93	0.94	0	140	0	140	-6.34	3.52	-6.83	301.99	181.31	58.38	326.13	B	D	B		
494	Timisoara	0.95	0.96	0.78	150	0	0	150	2.14	-4.39	-2.98	185.30	64.43	305.31	309.86	185.67	B	D	D	
495	Timisoara	0.96	0.64	0.92	0	0	134	134	-5.71	-6.36	3.73	76.39	317.51	197.25	181.44	57.73	306.84	D	D	D
496	Timisoara	0.50	0.90	0.92	0	139	4	139	-7.56	4.50	-9.23	337.91	220.33	98.29	76.27	330.24	D	D	D	
497	Timisoara	0.87	0.90	0.40	127	79	29	127	6.28	-10.21	-7.72	315.11	195.48	74.89	317.72	187.51	D	D	D	
498	Timisoara	0.66	0.93	0.94	0	136	0	136	-4.68	3.05	-5.57	328.49	209.70	87.79	71.06	319.25	D	D	D	
499	Timisoara	0.51	0.91	0.91	0	129	0	129	-6.25	4.78	-8.16	266.95	147.29	26.43	285.84	166.25	D	F	D	
500	Timisoara	0.73	0.95	0.96	0	143	0	143	-3.35	2.67	-4.84	122.46	1.98	240.44	79.30	325.76	D	D	D	
501	Timisoara	0.83	0.97	0.97	0	178	0	178	-1.51	2.42	-3.40	273.01	153.09	30.68	234.64	118.77	D	D	D	
502	Timisoara	0.43	0.90	0.91	0	181	0	181	-4.38	6.74	-9.02	128.54	6.90	244.15	259.08	152.36	D	D	D	
503	Timisoara	0.94	0.95	0.70	152	0	0	152	2.47	-5.73	-4.11	30.94	270.13	150.26	283.10	163.74	D	D	D	
504	Timisoara	0.88	0.87	0.26	165	131	128	165	7.81	-11.13	-9.57	196.67	73.10	317.69	32.74	273.07	D	D	D	
505	Timisoara	0.59	0.52	0.96	0	142	147	147	-31.28	24.70	-1.15	22.42	262.64	142.17	22.42	262.64	E/C	G	C	
506	Timisoara	0.68	0.94	0.95	0	143	0	143	-3.92	3.26	-6.13	127.76	7.63	245.41	66.79	313.75	D	D	D	
507	Timisoara	0.52	0.91	0.93	0	141	0	141	-6.58	4.45	-8.66	128.33	7.52	244.64	241.94	134.07	D	D	D	
508	Timisoara	0.64	0.87	0.95	0	122	101	122	-21.88	1.00	-9.66	10.51	256.18	131.88	69.70	309.88	D	A/E	D	
509	Timisoara	0.68	0.88	0.98	0	139	100	139	-19.70	0.48	-8.49	358.34	240.81	119.12	215.68	112.33	D	A/E	D	
510	Timisoara	0.97	0.79	0.95	0	0	151	151	-4.05	-3.11	2.64	151.71	32.14	271.40	4.79	243.61	D	D	D	
511	Timisoara	0.35	0.89	0.90	0	141	100	141	-12.44	6.38	-12.05	140.30	20.25	257.11	247.80	149.11	D	D	D	
512	Timisoara	0.35	0.89	0.90	0	141	100	141	-12.44	6.38	-12.05	140.30	20.25	257.11	247.80	149.11	D	D	D	
513	Timisoara	0.92	0.94	0.62	159	0	0	159	3.38	-6.16	-6.27	15.04	253.42	135.12	144.40	18.49	254.07	D	D	D
514	Timisoara	0.21	0.86	0.88	0	96	131	131	-15.82	8.30	-13.20	160.91	45.94	282.26	55.06	320.76	B	D	B	
515	Timisoara	0.19	0.85	0.88	0	129	157	157	-17.85	8.46	-12.78	310.27	187.10	62.26	244.62	153.83	D	D	D	
516	Hasdat	0.85	0.97	0.56	187	163	0	187	4.08	-7.50	-11.27	293.05	173.65	53.92	30.99	265.55	D	A/E	D	
517	Hasdat	0.85	0.48	0.48	110	89	96	110	-2.35	-21.93	6.36	33.15	273.29	153.87	208.83	73.33	331.62	E/C	D	E
518	Hasdat	0.79	0.97	0.41	98	88	0	98	7.57	-5.81	-14.72	93.07	329.31	207.62	144.08	17.09	245.99	D	A/E	D
519	Hasdat	0.90	0.53	0.56	107	10	93	107	-2.34	-29.13	11.03	304.94	182.36	63.90	175.56	37.17	298.72	E/C	A/E	E
520	Timisoara	0.88	0.90	0.43	333	187	0	333	7.61	-10.13	-5.27	198.18	76.05	319.00	148.21	14.45	249.54	B	A/E	D
521	Timisoara	0.87	0.87	0.30	169	142	141	169	6.50	-12.50	-6.86	149.05	22.14	269.23	327.61	195.23	D	D	D	
522	Timisoara	0.57	0.92	0.94	0	187	0	187	-8.38	1.73	-7.32	256.56	137.00	12.09	65.45	316.33	D	D	D	
523	Timisoara	0.88	0.87	0.25	166	131	138	166	7.81	-11.59	-6.70	15.32	252.35	137.22	160.75	31.33	263.33	D	D	D
524	Timisoara	0.68	0.94	0.72	270	247	0	270	2.89	-1.80	-11.00	55.11	290.67	160.33	323.87	201.98	E/C	A/E	C	
525	Mintia	0.92	0.36	0.91	0	0	157	157	-20.59	-22.04	-3.95	334.46	213.34	94.11	151.57	30.39	271.22	D	A/E	D

## Bibliografie

1. [Ajay2013] Ajay Daniel, J.; Gopinath, C.; Ramesh, R., *Z source inverter based dynamic voltage restorer using super capacitor to mitigate voltage SAG and voltage swell*, International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies (ICCPCT) 2013, pp.37 - 42, 20-21 March 2013, doi: 10.1109/ICCPCT.2013.6528984
2. [Albano2004] Albano, M.; Caldon, R.; Turri, R., *Voltage sag analysis on three phase systems using wavelet transform and probabilistic neural network*, Universities Power Engineering Conference, 2004. UPEC 2004. 39th International, vol.3, pp.948,952 vol. 2, 8-8 Sept. 2004, ISBN:1-86043-365-0
3. [Almeida2009] Almeida, C.F.M.; Kagan, N., *Allocation of Power Quality Monitors by Genetic Algorithms and Fuzzy Sets Theory*," Intelligent System Applications to Power Systems, ISAP '09. 15th International Conference on, 8-12 Nov. 2009, doi: 10.1109/ISAP.2009.5352942
4. [Almeida2011] Almeida, C.; Kagan, N., *Using Genetic Algorithms and Fuzzy Programming to Monitor Voltage Sags and Swells*, IEEE Intelligent Systems, vol.26, no.2, pp.46-53, March - April 2011, doi: 10.1109/MIS.2011.2
5. [Amaris2008] Amaris, H.; Alvarez, C.; Alonso, M.; Florez, D.; Lobos, T.; Janik, P.; Rezmer, J.; Waclawek, Z., *Application of advanced signal processing methods for accurate detection of voltage dips*, ICHQP 2008. 13th International Conference on Harmonics and Quality of Power, 2008, pp.1-6, Sept. 28 2008-Oct. 1 2008, doi: 10.1109/ICHQP.2008.4668772
6. [Amaris2009] Amaris, H.; Alvarez, C.; Alonso, M.; Florez, D.; Lobos, T.; Janik, P.; Rezmer, J.; Waclawek, Z., *Computation of voltage sag initiation with Fourier based algorithm, Kalman filter and Wavelets*, IEEE Bucharest PowerTech 2009, pp. 1-6, 28 June - 2 July 2009, doi: 10.1109/PTC.2009.5282055
7. [Aryanezhad2013] Aryanezhad, M.; Ostadaghaee, E.; Joorabian, M., *Voltage dip mitigation in wind farms by UPQC based on Cuckoo Search Neuro Fuzzy Controller*, 13th Iranian Conference on Fuzzy Systems (IFSC), 2013, 27-29 Aug. 2013, doi: 10.1109/IFSC.2013.6675678
8. [Aung2006] Aung, M.T.; Milanovic, J.V., *The Influence of Transformer Winding Connections on the Propagation of Voltage Sags*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 21, No. 1, January 2006, pp.262-269, doi: 10.1109/TPWRD.2005.855446
9. [Ausin2008] Ausin, J.C.; Gevers, D.N.; Andresen, B., *Fault Ride-through Capability Test Unit for Wind Turbines*, Wind Energy, vol. 11, pp. 3-12, Jan. 2008, doi: 10.1002/we.255
10. [Babu2013] Babu, P.S.; Kamaraj, N., *Performance investigation of dynamic voltage restorer using PI and fuzzy controller*, International Conference on Power Energy and Control (ICPEC), 2013, pp.467-472, 6-8 Feb. 2013, doi: 10.1109/ICPEC.2013.6527702

11. [Baggini2008] Baggini, A., *Handbook of Power Quality*, John Wiley & Sons Ltd, Italy, 2008, ISBN: 978-0-470-06561-7
12. [Bahadoorsingh2007] Bahadoorsingh, S.; Milanovic, J.V.; Zhang, Y.; Gupta, C. P.; Dragovic, J., *Minimization of Voltage Sag Costs by Optimal Reconfiguration of Distribution Network Using Genetic Algorithms*, IEEE Transactions on Power Delivery, vol.22, no.4, pp.2271-2278, Oct. 2007, doi: 10.1109/TPWRD.2007.899524
13. [Baloi2014] Băloi, F.; Bucătariu, I.; Iovan, M., *Using Specific or General Software Tools in Power Engineering Education*, WCES Malta 2014 - 6th World Conference on Educational Sciences, Malta, Malta, February 2014
14. [Barrera2011] Barrera, V.; Ordoñez, G.; Petit, J.F.; Jacome, J.; Leal, R.D.; Blanco, J., *The influence of transformers, induction motors and fault resistance regarding propagation voltage sags*, Ingeniería e Investigación, Vol 31, Iss 2 SUP, Pp 139-147 (2011), ISSN: 0120-5609
15. [Barros2004] Barros, J.; Perez, E., *Measurement and analysis of voltage events in a low-voltage distribution network*, MELECON 2004. - Proceedings of the 12th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference, 2004, vol.3, pp.1083-1086 Vol.3, 12-15 May 2004, doi: 10.1109/MELCON.2004.1348245.
16. [Barros2005] Barros, J.; Perez, E., *A combined wavelet - Kalman filtering scheme for automatic detection and analysis of voltage dips in power systems*, IEEE Russia Power Tech, 2005, pp.1-5, 27-30 June 2005, doi: 10.1109/PTC.2005.4524369
17. [Barros2006a] Barros, J.; Perez, E., *Limitations in the Use of R.M.S. Value in Power Quality Analysis*, IMTC 2006. Proceedings of the IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2006, pp.2261-2264, 24-27 April 2006, doi: 10.1109/IMTC.2006.328575
18. [Barros2006b] Barros, J.; Perez, E., *Automatic Detection and Analysis of Voltage Events in Power Systems*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol.55, no.5, pp.1487-1493, Oct. 2006, doi: 10.1109/TIM.2006.881584
19. [Bashiri2012] Bashiri, M., *A Novel Method to Accurate Frequency Determination in Power Systems*, International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT), Volume 2, Issue 4, October 2012
20. [Boashash1992a] Boashash, B., *Estimating and interpreting the instantaneous frequency of a signal. I. Fundamentals*, Proceedings of the IEEE, vol.80, no.4, pp.520,538, Apr 1992, doi: 10.1109/5.135376.
21. [Boashash1992b] Boashash, B., *Estimating and interpreting the instantaneous frequency of a signal. II. Algorithms and applications*, Proceedings of the IEEE, vol.80, no.4, pp.540,568, Apr 1992, doi: 10.1109/5.135378
22. [Bollen1997] Bollen, M.H.J., *Characterisation of Voltage Sag Experienced by Three-Phase Adjustable-Speed Drives*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.12, No.4, October 1997, pp.1666-1671, doi:10.1109/61.634188
23. [Bollen2000a] Bollen, M., Zhang, L., *Analysis of voltage tolerance of AC adjustable-speed drives for three-phase balanced and unbalanced sags*, IEEE Transaction on Industrial Application, 2000, 36, (3), pp. 904-910, doi: 10.1109/28.845069

24. [Bollen2000b] Bollen, M.H.J., *Understanding Power Quality Problems. Voltage Sags and Interruptions*, NY: IEEE Press, New York, 2000, ISBN: 978-0-7803-4713-7
25. [Bollen2000c] Bollen, M. H J; Styvaktakis, E., *Characterization of three-phase unbalanced dips (as easy as one-two-three?)*, Proceedings. Ninth International Conference on Harmonics and Quality of Power, 2000, vol.1, pp.81-86 vol.1, 2000, doi: 10.1109/ICHQP.2000.897002
26. [Bollen2003a] Bollen, M.H.J., *Voltage Recovery After Unbalanced and Balanced Voltage Dips in Three-Phase Systems*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.18, No.4, October 2003, pp.1376-1381, doi: 10.1109/TPWRD.2003.817725
27. [Bollen2003b] Bollen, M.H. J., *Algorithms for Characterizing Measured Three-Phase Unbalanced Voltage Dips*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.18, No. 3, July 2003, pp. 937-944, doi: 10.1109/TPWRD.2003.813879
28. [Bollen2003c] Bollen, M.H.J.; Zhang, L.D., *Different methods for classification of three-phase unbalanced voltage dips due to faults*, Electric Power Systems Research, Volume 66, Issue 1, July 2003, Pages 59-69, ISSN 0378-7796, doi: 10.1016/S0378-7796(03)00072-5.
29. [Bollen2004] Bollen, M. H J; Goossens, P.; Alain, R., *Assessment of voltage dips in HV-networks: deduction of complex voltages from the measured RMS voltages*, IEEE Transactions on Power Delivery, vol.19, no.2, pp.783,790, April 2004, doi: 10.1109/TPWRD.2003.823202
30. [Bollen2006] Bollen, M.H.J.; Gu, I.Y.H., *Signal Processing of Power Quality, Disturbances*, John Wiley & Sons Ltd, 2006, ISBN: 978-0-471-73168-9
31. [Bollen2009] Bollen, M.H.J., *Voltage Quality Monitoring – Introduction to the main aspects*, Joint CEER - EURELECTRIC Workshop on Voltage Quality Monitoring, Session I, Paper 1, Brussels, 18 Nov. 2009
32. [Bollen2012] Bollen, M. H J; Stockman, K.; Neumann, R.; Ethier, G.; Gordon, J.R.; van Reussel, K.; Djokic, S.Z.; Cundeva, S., *Voltage dip immunity of equipment and installations - messages to stakeholders*, IEEE 15th International Conference on Harmonics and Quality of Power 2012, pp.915-919, 17-20 June 2012, doi: 10.1109/ICHQP.2012.6381173
33. [Bonatto1998] Bonatto, B.D.; Niimura, T.; Dommel, H.W., *A fuzzy logic application to represent load sensitivity to voltage sags*, Proceedings. 8th International Conference On Harmonics and Quality of Power Proceedings, 1998, vol.1, pp.60-64 vol.1, 14-18 Oct 1998, doi: 10.1109/ICHQP.1998.759840
34. [Brekke2009] Brekke, K., *4th Benchmarking Report on Quality of Electricity Supply – Voltage Quality Monitoring – Cost due to Voltage Disturbances*, Joint CEER - EURELECTRIC Workshop on Voltage Quality Monitoring, Session I, Paper 2, Brussels, 18 Nov. 2009
35. [Buta2001] Buta, A.; Pană, A.; Milea, L., *Calitatea energiei electrice*, Editura AGIR, București, 2001.
36. [C37.111-1991] \*\*\*IEEE C37.111-1991, *IEEE Standard Common Format for Transient Data Exchange (COMTRADE) for Power Systems*, IEEE Press, June 1991, doi: 10.1109/IEEESTD.1991.101025
37. [C37.111-1999] \*\*\*IEEE C37.111-1999, *IEEE Standard Common Format for Transient Data Exchange (COMTRADE) for Power Systems, (Revision*

- of *IEEE C37.111-1991*), IEEE Press, March 1999, doi: 10.1109/IEEESTD.2013.6512765
38. [C37.232-2007] \*\*\*IEEE Std C37.232-2007, *IEEE Recommended Practice for Naming Time Sequence Data Files*, 22 August, 2007, doi: 10.1109/IEEESTD.2007.4293268
39. [C37.239-2010] \*\*\*IEEE Std C37.239-2010, *IEEE Standard for Common Format for Event Data Exchange (COMFEDE) for Power Systems*, 11 November, 2010, doi: 10.1109/IEEESTD.2010.5638582
40. [Cebrian2008] Cebrian, J.C.; Kagan, N., *Evolutionary algorithms for the reconfiguration of radial distribution networks considering long interruption and voltage sag disruption costs*, ICHQP 2008. 13th International Conference on Harmonics and Quality of Power, 2008, pp.1-7, Sept. 28 2008-Oct. 1 2008, doi: 10.1109/ICHQP.2008.4668814
41. [Cebrian2010] Cebrian, J.C.; Almeida, C. F M; Kagan, N., *Genetic algorithms applied for the optimal allocation of power quality monitors in distribution networks*, 14th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), 2010, pp.1-10, 26-29 Sept. 2010, doi: 10.1109/ICHQP.2010.5625311
42. [Chandel2008] Chandel, A.K.; Guleria, G.; Chandel, R., *Classification of power quality problems using wavelet based artificial neural network*, T&D. IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2008, pp.1-5, 21-24 April 2008, doi: 10.1109/TDC.2008.4517083
43. [Chang2004] Chang, C.S.; Yu, Z., *Distributed mitigation of voltage sag by optimal placement of series compensation devices based on stochastic assessment*, IEEE Transactions on Power Systems, vol.19, no.2, pp.788-795, May 2004, doi: 10.1109/TPWRS.2004.825826
44. [Chen2010] Chen, C.I.; Chang, G.W.; Hong, R.C.; Li, H. M., *Extended Real Model of Kalman Filter for Time-Varying Harmonics Estimation*, IEEE Transactions on Power Delivery, vol.25, no.1, pp.17-26, Jan. 2010, doi: 10.1109/TPWRD.2009.2035217
45. [Chindriș2004] Chindriș, M.; Cziker, A., *Utilizarea Logicii Fuzzy în Energetică*, Casa Cărții de Știință, Cluj-Napoca, 2004, ISBN: 973-686-597-5.
46. [Choong2005] Choong, F.; Reaz, M.B.I.; Mohd-Yasin, F., *Power Quality Disturbance Detection Using Artificial Intelligence: A Hardware Approach*, Proceedings. 19th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium, 2005, 04-08 April 2005, doi: 10.1109/IPDPS.2005.348
47. [Chung2002] Chung, Y.H.; Kwon, G. H.; Park, T. B.; Lim, G. Y., *Voltage sag and swell generator with thyristor controlled reactor*, Proceedings. PowerCon 2002. International Conference on Power System Technology, vol.3, pp.1933-1937, 2002, doi: 10.1109/ICPST.2002.1067870
48. [Collins1996] Collins, E.R.; Morgan, R. L., *A three-phase sag generator for testing industrial equipment*, IEEE Transactions on Power Delivery, vol.11, no.1, pp.526-532, Jan 1996, doi: 10.1109/61.484138
49. [Collins2008] Collins, E.R.; Jiang, J., *Voltage Sags and the Response of a Synchronous Distributed Generator: A Case Study*, IEEE Transactions on Power Delivery, vol.23, no.1, pp.442-448, Jan. 2008, doi: 10.1109/TPWRD.2007.905562
50. [Dabbs1995] Dabbs, B.; Lamoree, J.; Zavadil, B.; Samotyj, M., *The Power Quality Database: a software tool for utility engineers to solve problems*, Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial



- Electronics, 1995. ISIE '95., vol.1, pp.72-79, 10-14 Jul 1995, doi: 10.1109/ISIE.1995.496479
51. [Daniels1991] Daniels, R.F., *Power quality monitoring using neural networks*, Proceedings of the First International Forum on Applications of Neural Networks to Power Systems, 1991, pp.195-197, 23-26 Jul 1991, doi: 10.1109/ANN.1991.213479
  52. [Dash1997] Dash, P.K.; Panda, S.K.; Liew, A.C.; Lock, K. S., *Tracking power quality disturbance waveforms via adaptive linear combiners and fuzzy decision support systems*, Proceedings., 1997 International Conference on Power Electronics and Drive Systems, 1997, vol.2, pp.632-636, 26-29 May 1997, doi: 10.1109/PEDS.1997.627433
  53. [Deihimi2010] Deihimi, A.; Momeni, A., *Expert system for classification of measured three-phase unbalanced voltage dips*, 2nd International Conference on Mechanical and Electrical Technology (ICMET), 2010, pp.213-216, 10-12 Sept. 2010, doi: 10.1109/ICMET.2010.5598351
  54. [Djokic2002] Djokic, S.Z.; Milanovic, J.V.; Charalambous, K. A., *Computer simulation of voltage sag generator*, 10th International Conference on Harmonics and Quality of Power, 2002, vol.2, pp.649-654 vol.2, 6-9 Oct. 2002, doi: 10.1109/ICHQP.2002.1221512
  55. [Djokic2004] Djokic, S.Z.; Milanovic, J.V.; Kirschen, D.S., *Sensitivity of AC coil contactors to voltage sags, short interruptions and undervoltage transients*, IEEE Trans. Power Deliv., 2004, 19, (3), pp. 1299-1307, doi: 10.1109/TPWRD.2004.824396
  56. [Djokic2005a] Djokic, S.Z.; Desmet, J.J.M.; Vanalme, G.; Milanovic, J.V.; Stockman, K., *Sensitivity of personal computers to voltage sags and short interruptions*, IEEE Trans. Power Deliv., 2005, 20, (1), pp. 375-383, doi: 10.1109/TPWRD.2004.837828(410) 2
  57. [Djokic2005b] Djokic, S.Z.; Milanovic, J.V.; Chapman, D.J.; McGranaghan, M.F., *Shortfalls of existing methods for classification and presentation of voltage reduction events*, IEEE Transactions on Power Delivery, vol.20, no.2, pp.1640-1649, April 2005, doi: 10.1109/TPWRD.2004.833880
  58. [Djokic2006] Djokic, S.Z.; Milanovic J.V., *Advanced voltage sag characterisation. Part I: Phase shift*, IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., Vol. 153, No. 4, July 2006, pp.423-430, doi: 10.1049/ip-gtd:20050350
  59. [Djokic2007] Djokic, S.Z.; Milanovic J.V.; Rowland, S.M., *Advanced voltage sag characterisation. Part II: point on wave*, IET Generation, Transmission, Distribution, Vol.1, No.1, Jan. 2007, pp.147-154, doi:10.1049/iet-gtd:20050434
  60. [Dongyu2010] Dongyu, L.; Honglin, Z.; Shuai, X.; Geng, Y., *A new voltage sag generator base on power electronic devices*, 2nd IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG), 2010, pp.584-588, 16-18 June 2010, doi: 10.1109/PEDG.2010.5545808
  61. [Dugan2003] Dugan, R.C.; McGranaghan, M.F.; Santoso, S.; Beaty, H.W., *Electrical Power Systems Quality*, 2<sup>nd</sup> edition, McGraw-Hill, New York, 2003.
  62. [Eldin2004] Eldin, E.S.T., *Detection and characterization of voltage disturbances using wavelet transforms*, LESCOPE-04. 2004 Large Engineering systems Conference on Power Engineering, 2004, pp.63-64, 28-30 July 2004, doi: 10.1109/LESCPE.2004.1356268

63. [Elmitwally2000] Elmitwally, A.; Kandil, M.S.; Elkateb, M., *A fuzzy-controlled versatile system for harmonics, unbalance and voltage sag compensation*, IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, 2000, vol.3, pp.1439-1444 vol. 3, 2000, doi: 10.1109/PSS.2000.868736
64. [Elphick2008] Elphick, S.; Gosbell, V.; Barr, R., *The Australian Long Term Power Quality Monitoring Project*, ICHQP 2008. 13th International Conference on Harmonics and Quality of Power, 2008, pp.1-6, Sept. 28 2008-Oct. 1 2008, doi: 10.1109/ICHQP.2008.4668754
65. [Elphick2010] Elphick, S.; Smith, V.; Gosbell, V.; Barr, R., *The Australian Long Term Power Quality Survey project update*, 14th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), 2010, pp.1-7, 26-29 Sept. 2010, doi: 10.1109/ICHQP.2010.5625501
66. [EN50160] \*\*\*EN 50160, *Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution system*, CENELEC, 2007
67. [EREG2007] \*\*\*European Regulators Group for Electricity and Gas, *Towards Voltage Quality Regulation in Europe, An ERGEG Conclusions Paper*, European Energy Regulators - CEER & ERGEG, 2007, <http://www.energy-regulators.eu>
68. [Espana2013] Espana Forero, J.M.; Ramos, G.; Ovalle, A., *Decision making methodology based on expert systems for minimizing economic impact of voltage sags in industrial power systems*, IEEE Grenoble PowerTech (POWERTECH), 2013, pp.1-6, 16-20 June 2013 doi: 10.1109/PTC.2013.6652194
69. [Espinosa2009a] Espinosa-Juarez, E.; Espinoza-Tinoco, J.R.; Hernandez, A., *Neural Networks Applied to Solve the Voltage Sag State Estimation Problem: An Approach Based on the Fault Positions Concept*, CERMA '09 Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference, 2009, pp.88-93, 22-25 Sept. 2009, doi: 10.1109/CERMA.2009.86
70. [Espinosa2009b] Espinosa-Juarez, E.; Lucio, J.; Hernandez, A., *Analysis of Distributed Generation Impact on the Optimal Location of Voltage Sag Monitors by Applying Genetic Algorithms*, CERMA '09. Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference, 2009, pp.107-112, 22-25 Sept. 2009, doi: 10.1109/CERMA.2009.75
71. [Espinosa2011] Espinosa-Juarez, E.; Lucio, J.; Hernandez, A., *Impact of monitoring program in the voltage sag state estimation in power systems*, North American Power Symposium (NAPS), 2011, pp.1-6, 4-6 Aug. 2011, doi: 10.1109/NAPS.2011.6025097
72. [Espinosa2012] Espinosa-Juarez, E.; Lucio, J., *Improvement of voltage sags indices by applying a reconfiguration technique based on genetic algorithms*, 9th International Conference on Computing Science and Automatic Control, 2012, pp.1-6, 26-28 Sept. 2012, doi: 10.1109/ICEEE.2012.6421139
73. [EURELECTRIC2002] \*\*\*EURELECTRIC, *Power Quality in European Electricity Supply Networks - 1<sup>st</sup> edition*, NE Standardization Specialist Group, N-E EMC & Harmonics, 2002
74. [Fadum2009] Fadum, H.S., *Experience with Voltage Quality Monitoring in Norway*, Joint CEER - EURELECTRIC Workshop on Voltage Quality Monitoring, Session II, Paper 2, Brussels, 18 Nov. 2009
75. [Faiz2007] Faiz, J.; Lotfi-Fard, S.; Bollen, M. H ], *Wavelet-based mann and morrison algorithm for improvement of three-phase unbalanced voltage dips characterisation*, IET Generation, Transmission &



- Distribution, vol.1, no.4, pp.640-646, July 2007, doi: :10.1049/iet-gtd:20060510
76. [Farsadi2013] Farsadi, M.; Gara Shahrak, A.; Tabrizi, S.D., *DVR with fuzzy logic controller and photovoltaic for improving the operation of wind farm*, 8th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO), 2013, pp.191-195, 28-30 Nov. 2013, doi: 10.1109/ELECO.2013.6713829
  77. [Flores2003] Flores, R.A.; Gu, I.Y.-H.; Bollen, M. H J, *Positive and negative sequence estimation for unbalanced voltage dips*, IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2003, vol.4, pp. -2502, 13-17 July 2003, doi: 10.1109/PES.2003.1271035
  78. [Florio2004] Florio, A.; Mariscotti, A.; Mazzucchelli, M., *Voltage sag detection based on rectified voltage processing*, IEEE Transactions on Power Delivery, vol.19, no.4, pp.1962-1967, Oct. 2004, doi: 10.1109/TPWRD.2004.829924
  79. [Frank1999] Frank, P.M.; Marcu T., *Fuzzy techniques in fault detection, isolation and diagnosis* in Verbruggen, H.B., Babuška, R. (editors) – *Fuzzy Logic Control: Advances and Applications*, World Scientific Publishing Co.Pte.Ltd., Singapore, pp.135-159, 1999
  80. [Fuchs2008] Fuchs, E.; Masoum, M.A.S., *Power Quality in Power Systems and Electrical Machines*, Academic Press, 2008, ISBN:978-0-12-369536-9
  81. [Gabe2009] Gabe, I.J.; Pinheiro, H., *Impact of unbalance voltage dips on the behavior of voltage source inverters*, COBEP '09. Brazilian Power Electronics Conference, 2009, pp.956-963, Sept. 27 2009-Oct. 1 2009, doi: 10.1109/COBEP.2009.5347644
  82. [Gabe2011] Gabe, I.J.; Grundling, H.A.; Pinheiro, H., *Design of a voltage sag generator based on impedance switching*, IECON 2011 - 37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, pp.3140-3145, 7-10 Nov. 2011, doi: 10.1109/IECON.2011.6119812
  83. [Gallo2010a] Gallo, D.; Landi, C.; Luiso, M., *Accuracy Analysis of Algorithms Adopted in Voltage Dip Measurements*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol.59, no.10, pp.2652-2659, Oct. 2010, doi: 10.1109/TIM.2010.2045256
  84. [Gallo2010b] Gallo, D.; Landi, C.; Luiso, M., *Performance verification of instruments adopted for voltage dip measurement*, IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 2010, pp.470-475, 3-6 May 2010, doi: 10.1109/IMTC.2010.5488025
  85. [Ganyun2007] Lv, G.; Wang, X., *Voltage Sags Detection and Identification Based on Phase-Shift and RBF Neural Network*, FSKD 2007. Fourth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, 2007, vol.1, pp.684-688, 24-27 Aug. 2007, doi: 10.1109/FSKD.2007.610
  86. [Gaouda2009] Gaouda, A.M.; Salama, M.M.A., *Monitoring Nonstationary Signals*, IEEE Transactions on Power Delivery, vol.24, no.3, pp.1367-1376, July 2009, doi: 10.1109/TPWRD.2009.2013386
  87. [Garcia-Gracia2009] Garcia-Gracia, M.; Paz Comech, M.; Sallán, J.; López-Andía, D.; Alonso, O., *Voltage dip generator for wind energy systems up to 5MW*, Applied Energy, Volume 86, Issue 4, Pages 565-574, April 2009, ISSN 0306-2619, doi: 10.1016/j.apenergy.2008.07.006.
  88. [Gencer2010] Gencer, O.; Öztürk, S.; Erfidan, T., *A new approach to voltage sag detection based on wavelet transform*, International Journal

- of Electrical Power & Energy Systems, Volume 32, Issue 2, Pages 133-140, February 2010, ISSN 0142-0615, doi: 10.1016/j.ijepes.2009.06.025
89. [Goswami2012] Goswami, A.K.; Gupta, C. P.; Singh, G.K., *Voltage Sag Assessment in a Large Chemical Industry*, IEEE Transactions on Industry Applications, vol.48, no.5, pp.1739-1746, Sept.-Oct. 2012, doi: 10.1109/TIA.2012.2209854
  90. [Gu2004] Gu, I.Y.-H.; Ernberg, N.; Styvaktakis, E.; Bollen, M. H J, *A statistical-based sequential method for fast online detection of fault-induced voltage dips*, IEEE Transactions on Power Delivery, vol.19, no.2, pp.497-504, April 2004, doi: 10.1109/TPWRD.2003.823199
  91. [Guash2002] Guash, L.; Corcoles, L.; Pedra, J., *Effects of voltage sags on three-phase three-legged transformers*, Tenth International Conference on Harmonics and Quality of Power, Rio de Janeiro, 2002, doi: 10.1109/ICHQP.2002.1221498
  92. [Guash2004] Guash, L.; Corcoles, F.; Pedra, J., *Effects of symmetrical and unsymmetrical voltage sags on induction machines*, IEEE Trans. Power Deliv., 2004, 19, (2), pp. 774-782, doi: 10.1109/TPWRD.2004.825258
  93. [Gunther2006] Gunther, E.W., *On Creating a New Format for Power Quality and Quantity Data Interchange*, IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition, 2005/2006, pp.354-358, 21-24 May 2006, doi: 10.1109/TDC.2006.1668517
  94. [Haghbin2009] Haghbin, M.; Farjah, E., *Optimal placement of monitors in transmission systems using fuzzy boundaries for voltage sag assessment*, IEEE Bucharest PowerTech, 2009, pp.1-6, June 28 2009-July 2 2009, doi: 10.1109/PTC.2009.5281883
  95. [Haghbin2013] Haghbin, M.; Farjah, E.; Mazaherifar, H., *Improved power quality monitor placement using innovative indices*, 4th Power Electronics, Drive Systems and Technologies Conference (PEDSTC), 2013, pp.501-509, 13-14 Feb. 2013, doi: 10.1109/PEDSTC.2013.6506760
  96. [Hair1999] Hair, J.; Anderson, R.; Tatham, R.; Black, W., *Multivariable Data Analysis*, Prentice Hall, Madrid, 1999,
  97. [Hardi2010] Hardi, S.; Daut, I., *Sensitivity of low voltage consumer equipment to voltage sags*, 4th International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO), 2010, pp.396-401, 23-24 June 2010, doi: 10.1109/PEOCO.2010.5559179
  98. [Hu2009] Hu, S.; Li, J.; Xu, H., *Comparison of Voltage Sag Generators for Wind Power System*, APPEEC 2009. Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, 2009, pp.1-4, 27-31 March 2009, doi: 10.1109/APPEEC.2009.4918228
  99. [HuangC2010] Huang, C.H.; Lee, C.H.; Shih, K.J.; Wang, Y.J., *A Robust Technique for Frequency Estimation of Distorted Signals in Power Systems*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol.59, no.8, pp.2026-2036, Aug. 2010, doi: 10.1109/TIM.2009.2028776
  100. [HuangN2010] Huang, N.; Lin, L., *Power Quality Disturbances Recognition Based on PCA and BP Neural Network*, 2010 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), pp.1-4, 28-31 March 2010, doi: 10.1109/APPEEC.2010.5448666
  101. [Hussien2005] Hussien, Z.F.; Ismail, A. B.; Lee, W. C.; Busrah, A.M.; Siam, M. F M, *Voltage Sag Mitigation using NAS Battery-based Standby*

- Power Supply*, PEDS 2005. International Conference on Power Electronics and Drives Systems, 2005, vol.2, pp.1317-1321, 28-01 Nov. 2005, doi: 10.1109/PEDS.2005.1619891
102. [IEC61000-2-8] \*\*\*IEC 61000-2-8, *Environment. Voltage dips and short interruptions on public electric power supply systems with statistical measurement results, Electromagnetic compatibility (EMC)*, Part 2, Section 8, 2000.
  103. [IEC61000-4-30] \*\*\*IEC 61000-4-30, *Testing and Measurement Techniques. Power Quality Measurement Methods, Electromagnetic compatibility (EMC)*, Part 4, Section 30, 2008
  104. [Ignatova2005] Ignatova, V.; Granjon, P.; Bacha, S.; Dumas, F., *Classification and characterization of three phase voltage dips by space vector methodology*, 2005 International Conference on Future Power Systems, pp.6, 18-18 Nov. 2005, doi: 10.1109/FPS.2005.204283
  105. [Ignatova2009] Ignatova, V.; Granjon, P.; Bacha, S., *Space Vector Method for Voltage Dips and Swells Analysis*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.24, No.4, October 2009, pp.2054-2061, doi: 10.1109/TPWRD.2009.2028787
  106. [Iovan2011] Molnar-Matei (Iovan), M.M., *Common format database for a better power quality analysis*, Workshop no.1 INTERDISCIPLINARITATEA ȘI MANAGEMENTUL CERCETĂRII University „Politehnica” of Timișoara, 24-25 November 2011
  107. [Iovan2013a] Iovan, M.; Molnar-Matei, F.; Pana, A.; Baloi, A., *Software tool for voltage dips signal generator*, 6th International Conference on Energy and Environment, Bucuresti, Romania, 7-10 noiembrie 2013
  108. [Iovan2013b] Molnar-Matei (Iovan), M.M., *Improving voltage dip type detection using clustering technics*, Workshop no.3 INTERDISCIPLINARITATEA ȘI MANAGEMENTUL CERCETĂRII University Pitesti, 30-31 May 2013
  109. [Iovan2014] Iovan, M.; Șurianu F.D.; Molnar-Matei F., *Virtual laboratory for power quality study*, WCES Malta 2014 - 6th World Conference on Educational Sciences, Malta, Malta, February 2014
  110. [Iyoda2010] Iyoda, I.; Abe, Y.; Ise, T.; Shigei, N.; Hayakawa, K., *A new parameter of voltage sags and its effect on inverters of PV systems surveyed by a newly developed Voltage Sag Generator*, IECON 2010 - 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, pp.2759,2764, 7-10 Nov. 2010, doi: 10.1109/IECON.2010.5675087
  111. [Jahromi2007] Jahromi, M.J.; Farjah, E.; Zolghadri, M., *Mitigating voltage sag by optimal allocation of Distributed Generation using Genetic Algorithm*, EPQU 2007. 9th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation, 2007, pp.1-6, 9-11 Oct. 2007, doi: 10.1109/EPQU.2007.4424197
  112. [Jattiem2009] Jattiem, M.S.; Folly, K.A.; Pillay, P., *Phase based-voltage dip classification using a new classification Algorithm*, PES '09. IEEE Power & Energy Society General Meeting, 2009, pp.1,6, 26-30 July 2009, doi: 10.1109/PES.2009.5275197
  113. [Jian2012] Jian, W.; Zhihao, H.; Dianguo, X.; Ke, H., *An experimental research on comparison of two kinds of voltage sag generators*, 7th International Power Electronics and Motion Control Conference (IPEMC), vol.4, pp.2784-2788, 2-5 June 2012, doi: 10.1109/IPEMC.2012.6259305

114. [Kaewarsa2007] Kaewarsa, S.; Attakitmongcol, K.; Kulworawanichpong, T., *Recognition of Power Quality Events by Using Multiwavelet-Based Neural Network*, ICIS 2007. 6th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science, 2007, pp.993,998, 11-13 July 2007, doi: 10.1109/ICIS.2007.153
115. [Kamble2012] Kamble, S.; Thorat, C., *Characteristics Analysis of Voltage Sag in Distribution System using RMS Voltage Method*, ACEEE Int. J. on Electrical and Power Engineering, Vol. 03, No. 01, Feb 2012, doi: 01.IJEPE.03.01.3
116. [Kato2007] Kato, S.; Cheng, M.M; Sumitani, H.; Shimada, R., *Semiconductor Power Converterless Voltage Sag Compensator and UPS Using a Flywheel Induction Motor and an Engine Generator*, PCC '07 Power Conversion Conference - Nagoya, 2007, pp.1680-1685, 2-5 April 2007, doi: 10.1109/PCCON.2007.373188
117. [Kezunovic2001] Kezunovic, M., *Automated analysis of voltage sags, their causes and impacts*, Power Engineering Society Summer Meeting, 2001, vol.2, pp.1113-1117 vol.2, 2001, doi: 10.1109/PESS.2001.970220
118. [Khan2009] Khan, U.N., *Signal Processing Techniques used in Power Quality Monitoring*, 8th IEEEIC International Conference on Environment and Electrical Engineering, Karpacz, Poland, 10-13 May 2009.
119. [Kruttiventi2010] Kruttiventi, J.; Wu, J.; Frankel, J.I., *Obtaining Time Derivative of Low-Frequency Signals With Improved Signal-to-Noise Ratio*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol.59, no.3, pp.596-603, March 2010, doi: 10.1109/TIM.2009.2025069
120. [Kucuk2010a] Kucuk, D.; Inan, T.; Salor, O.; Demirci, T.; Akkaya, Y.; Buhan, S.; Boyrazoglu, B.; Unsar, O.; Altintas, E.; Haliloglu, B.; Cadirci, I.; Ermis, M., *An extensible database architecture for nationwide power quality monitoring*, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 32, Issue 6, July 2010, Pages 559-570, ISSN 0142-0615, doi: 10.1016/j.ijepes.2009.11.012.
121. [Kucuk2010b] Kucuk, D.; Salor, O.; Inan, T.; Cadirci, I.; Ermis, M., *PQONT: A domain ontology for electrical power quality*, Advanced Engineering Informatics, Volume 24, Issue 1, January 2010, Pages 84-95, ISSN 1474-0346, doi: 10.1016/j.aei.2009.06.009.
122. [Kumsuwan2009] Kumsuwan, Y.; Boonmee, C.; Premrudeepreechacharn, S., *Implementation of a 1-kVA programmable balanced three-phase voltage sag generator*, 6th International Conference on Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, 2009, pp.46-49, 6-9 May 2009, doi: 10.1109/ECTICON.2009.5136962
123. [Kusljevic2010] Kusljevic, M.D., *A Simultaneous Estimation of Frequency, Magnitude, and Active and Reactive Power by Using Decoupled Modules*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol.59, no.7, pp.1866-1873, July 2010, doi: 10.1109/TIM.2009.2030865
124. [Lagrange2007] Lagrange, M., Sylvain, M., *Estimating the instantaneous frequency of sinusoidal components using phase-based methods*, Journal of the Audio Engineering Society 55.5 (2007): 385-399.
125. [Lamoree1993] Lamoree, J.; Mueller, D.; Vinett, P.; Jones, W., *Voltage sag analysis case studies*, Annual Meeting Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference, 1993, pp.55-61, 2-6 May 1993, doi: 10.1109/ICPS.1993.290587

126. [Leborgne2004] Leborgne, R.C.; Olguin, G.; Bollen, M.H.J., *The influence of PQ monitor connection on voltage dip measurements*, In Proc. IEE MedPower, Nov.2004, Cyprus
127. [Leborgne2005] Leborgne, R.C.; Karlsson, D.; Olguin, G., *Analysis of voltage sag phasor dynamic*, IEEE Russia Power Tech, 2005, pp.1-6, 27-30 June 2005, doi: 10.1109/PTC.2005.4524647
128. [Li2013] Li, L., et al. *Frequency Estimation on Power System Using Recursive-Least-Squares Approach*, 2012 International Conference on Information Technology and Software Engineering. Springer Berlin Heidelberg, 2013. p. 11-18.
129. [Liao2010] Liao, C.C., *Enhanced RBF Network for Recognizing Noise-Riding Power Quality Events*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol.59, no.6, pp.1550-1561, June 2010, doi: 10.1109/TIM.2009.2027769
130. [Lira2006] Lira, M. M S; de Aquino, R. R B; Ferreira, A.A.; Carvalho, M.A.; Lira, C.O., *Improving Disturbance Classification by Combining Multiple Artificial Neural Networks*, IJCNN '06. International Joint Conference on Neural Networks, 2006, pp.3436-3442, 0-0 0, doi: 10.1109/IJCNN.2006.247347
131. [Long2009] Zhou, L.; Qi, Z., *Modeling and simulation of flywheel energy storage system with IPMSM for voltage sags in distributed power network*, ICMA 2009. International Conference on Mechatronics and Automation, 2009, pp.5046-5051, 9-12 Aug. 2009, doi: 10.1109/ICMA.2009.5246111
132. [Lucio2011] Lucio, J.; Espinosa-Juárez, E.; Hernández, A., *Voltage sag state estimation in power systems by applying genetic algorithms*, IET Generation, Transmission & Distribution, vol.5, no.2, pp.223-230, February 2011, doi: 10.1049/iet-gtd.2010.0148
133. [Ma2008] Ma, Y.; Karady, G.G., *A single-phase voltage sag generator for testing electrical equipments*, T&D. IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2008, pp.1-5, 21-24 April 2008, doi: 10.1109/TDC.2008.4517185
134. [MacQueen1967] MacQueen, J. B., *Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations*, Proceedings of 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, University of California Press. pp. 281-297, 1967
135. [Madrigal2007] Madrigal, M.; Rocha, B. H., *A Contribution for Characterizing Measured Three-Phase Unbalanced Voltage Sags Algorithm*, IEEE Transactions on Power Delivery, vol.22, no.3, pp.1885-1890, July 2007, doi: 10.1109/TPWRD.2007.893438
136. [Mamdani1977] Mamdani E.H., Assilian S., *An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller*, Int. J. Man-Machine Studies, vol. 7, 1977
137. [Manjunath2010] Manjunath, A.; Ravikumar, H. M, *Comparison of Discrete Wavelet Transform (DWT), Lifting Wavelet Transform (LWT) Stationary Wavelet Transform (SWT) and S-Transform in Power Quality Analysis*, European Journal of Scientific Research, Vol.39, No.4 (2010), pp.569-576, ISSN 1450-216X
138. [Manmek2006] Manmek, T.; Mudannayake, C.P.; Grantham, C., *Voltage Dip Detection Based on an Efficient Least Squares Algorithm for D-STATCOM Application*, IPEMC 2006. CES/IEEE 5th International Power



- Electronics and Motion Control Conference, 2006, vol.2, pp.1-6, 14-16 Aug. 2006, doi: 10.1109/IPEMC.2006.4778182
139. [Meher2010] Meher, S.K.; Pradhan, A.K., *Fuzzy classifiers for power quality events analysis*, Electric Power Systems Research, Vol. 80, Issue 1, January 2010, pp. 71-76, doi: 10.1016/j.epsr.2009.08.014
  140. [Melo2009] Melo, N., *EDP Distribuicao Experience with Power Quality Monitoring in Portugal*, Joint CEER - EURELECTRIC Workshop on Voltage Quality Monitoring, Session II, Paper 3, Brussels, 18 Nov. 2009
  141. [Mendel2005] Mendel, J. M., *On a 50% Savings in the Computation of the Centroid of a Symmetrical Interval Type-2 Fuzzy Set*, Information Sciences, vol. 172, pp. 417-430, 2005, doi:10.1016/j.ins.2004.04.006
  142. [Milanovic2010] Milanovic, J.V.; Zhang, Y., *Global Minimization of Financial Losses Due to Voltage Sags With FACTS Based Devices*, IEEE Transactions on Power Delivery, vol.25, no.1, pp.298-306, Jan. 2010, doi: 10.1109/TPWRD.2009.2035419
  143. [Mirea2002] Mirea L., *Tehnici ale inteligentei artificiale aplicate la diagnoza proceselor industriale*, 2002
  144. [Moga2010] Moga, M.; Molnar-Matei, F.; Iovan, M., *System Load Parameter Estimation Using Passive Experimental Tests*, Journal of Sustainable Energy, vol. I, no. 2, June 2010, pp. 67-72, ISSN: 2067-5534
  145. [Mohseni2011] Mohseni, M.; Islam, S.; Masoum, M.A.S., *Impacts of Symmetrical and Asymmetrical Voltage Sags on DFIG-Based Wind Turbines Considering Phase-Angle Jump, Voltage Recovery, and Sag Parameters*, IEEE Transactions on Power Electronics, vol.26, no.5, pp.1587-1598, May 2011, doi: 10.1109/TPEL.2010.2087771
  146. [Mojiri2010] Mojiri, M.; Yazdani, D.; Bakhshai, A., *Robust Adaptive Frequency Estimation of Three-Phase Power Systems*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol.59, no.7, pp.1793-1802, July 2010, doi: 10.1109/TIM.2009.2028766
  147. [Molnar2010a] Molnar-Matei, F.; Moga, M.; Pana, A., *New method for voltage sags characteristics detection in electrical networks*, MELECON 2010 - 15th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference, pp.1612-1617, 26-28 April 2010, doi: 10.1109/MELCON.2010.5476310
  148. [Molnar2010b] Molnar-Matei, F., *Contribuții privind analiza golurilor de tensiune din rețelele electrice în aprecierea calității energiei electrice*, Editura Politehnica, Februarie 2010, 232 pg., ISBN 978-606-554-051-4
  149. [Molnar2011a] Molnar-Matei, F., Moga, M., Iovan, M., *Procedure for Determining the Response of the System Load to Voltage Sags*, EUROCON 2011-The International Conference on "Computer as a Tool", 27-29 April 2011, Lisbon, Portugal, pp.1-4, ISBN: 978-1-4244-7486-8, DOI: 10.1109/EUROCON.2011.5929275
  150. [Molnar2011b] Molnar-Matei, F., *Database with Real Measurements, a Necessity for Voltage Sags Study*, Buletinul Institutului Politehnic din Iași, Fasc.6, 2011, pp. 269-277, ISSN 1223-8139.
  151. [Molnar2013a] Molnar-Matei, F., *Voltage Dip Detection in Noisy Environments Using Tracking Filters*, Advanced Engineering Forum, Vol. 8-9, pp. 139-146, June 2013, doi: 10.4028/www.scientific.net/AEF.8-9.139

152. [Molnar2013b] Molnar-Matei, F.; Sorandaru, C., *LabVIEW implementation of tracking filters for voltage dip detection*, EUROCON, 2013 IEEE, pp.897-902, 1-4 July 2013, doi: 10.1109/EUROCON.2013.6625089
153. [Molnar2013c] Molnar-Matei, F.; Iovan, M.; Maris, S., *Mathematical Function of a Signal Generator for Voltage Dips Analysis*, UKSim 15th International Conference on Computer Modelling and Simulation, pp.569-574, 10-12 April 2013, doi: 10.1109/UKSim.2013.33
154. [Morsi2009] Morsi, W.G.; El-Hawary, M.E., *Fuzzy-Wavelet-Based Electric Power Quality Assessment of Distribution Systems Under Stationary and Nonstationary Disturbances*, IEEE Transactions on Power Delivery, vol.24, no.4, pp.2099-2106, Oct. 2009, doi: 10.1109/TPWRD.2009.2027514
155. [Moschitta2010] Moschitta, A.; Carbone, P.; Muscas, C., *Generalized Likelihood Ratio Test for voltage dip detection*, 2010 IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), pp.476-481, 3-6 May 2010, doi: 10.1109/IMTC.2010.5488097
156. [Moschitta2012] Moschitta, A.; Carbone, P.; Muscas, C., *Performance Comparison of Advanced Techniques for Voltage Dip Detection*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol.61, no.5, pp.1494-1502, May 2012, doi: 10.1109/TIM.2012.2183436
157. [Nho2010] Nho, E.C.; Jung, J.H.; Kim, I.D.; Chun, T.W.; Kim, H.G.; Choi, N.S.; Choi, J., *Voltage disturbance generator with phase jump for the test of microgrid*, 2010 International Power Electronics Conference (IPEC), pp.487,491, 21-24 June 2010, doi: 10.1109/IPEC.2010.5543505
158. [Nunez 2008] Nunez, B.V.; Melendez Frigola, J.; Herraiz Jaramillo, S.; Sanchez Losada, J., *Unusual voltage sag event detection in power systems*, 2008 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America, pp.1-5, 13-15 Aug. 2008, doi: 10.1109/TDC-LA.2008.4641821
159. [Ohrstrom2003] Ohrstrom, M.; Soder, L., *A comparison of two methods used for voltage dip characterization*, 2003 IEEE Bologna Power Tech Conference Proceedings, vol.4, pp.6, 23-26 June 2003, doi: 10.1109/PTC.2003.1304722
160. [Oranpiroj2009] Oranpiroj, K.; Premrudeepreechacharn, S.; Ngoudech, M.; Mungjai, W.; Yingkayan, K.; Boonsai, T., *The 3-phase 4-wire voltage sag generator based on abc algorithm*, ECTI-CON 2009. 6th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, 2009, vol.01, pp.82-85, 6-9 May 2009, doi: 10.1109/ECTICON.2009.5136971
161. [Oranpiroj2010] Oranpiroj, K.; Premrudeepreechacharn, S.; Higuchi, K., *SagWave for the 3-phase 4-wire voltage sag generator prototype*, 2010 IEEE International Conference on Control Applications (CCA), pp.2209-2212, 8-10 Sept. 2010, doi: 10.1109/CCA.2010.5611146
162. [Pedra2005] Pedra, J.; Sainz, L.; Corcoles, F.; Guasch, L., *Symmetrical and unsymmetrical voltage sag effects on three-phase transformers*, IEEE Transactions on Power Delivery, vol.20, no.2, pp.1683-1691, April 2005, doi: 10.1109/TPWRD.2004.833910
163. [Pedra2007] Pedra, J.; Córcoles, F.; Sainz, L., *Effects of unsymmetrical voltage sags on squirrel-cage induction motors*, IET Generation, Transmission & Distribution, vol.1, no.5, pp.769-775, September 2007, doi: 10.1049/iet-gtd:20060555



164. [Perez2006] Perez, E.; Barros, J., *Voltage Event Detection and Characterization Methods: A Comparative Study*, TDC '06. IEEE/PES Transmission & Distribution Conference and Exposition: Latin America, 2006, pp.1-6, 15-18 Aug. 2006, doi: 10.1109/TDCLA.2006.311552
165. [Perez2008] Perez, E.; Barros, J., *An extended Kalman filtering approach for detection and analysis of voltage dips in power systems*, Electric Power Systems Research, Volume 78, Issue 4, April 2008, Pages 618-625, ISSN 0378-7796, doi: 10.1016/j.epsr.2007.05.006.
166. [Pillay1996] Pillay, P.; Bhattacharjee, A., *Application of wavelets to model short-term power system disturbances*, IEEE Transactions on Power Systems, vol.11, no.4, pp.2031-2037, Nov 1996, doi: 10.1109/59.544681
167. [Poole2010] Poole, D.; Mackworth, A., *Artificial Intelligence*, Foundations of computational agents, 2010, <http://artint.info/index.html>
168. [Reaz2007] Reaz, M.B.I.; Choong, F.; Sulaiman, M.S.; Mohd-Yasin, F.; Kamada, M., *Expert System for Power Quality Disturbance Classifier*, IEEE Transactions on Power Delivery, vol.22, no.3, pp.1979-1988, July 2007, doi: 10.1109/TPWRD.2007.899774
169. [Romero2012] Romero, M.; Gallego, L.; Pavas, A., *Fault zones location on distribution systems based on clustering of voltage sags patterns*, IEEE 15th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), 2012, pp.486-493, 17-20 June 2012, doi: 10.1109/ICHQP.2012.6381254
170. [Saksena2005] Saksena, S.; Karady, S.G., *Effects of voltage sags on household loads*, IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2005, pp.2456-2461, Vol. 3, 12-16 June 2005, doi: 10.1109/PES.2005.1489404
171. [Salcic2009] Salcic, Z.; Nguang, S.K.; Wu, Y., *An Improved Taylor Method for Frequency Measurement in Power Systems*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol.58, no.9, pp.3288-3294, Sept. 2009, doi: 10.1109/TIM.2009.2022377
172. [Salles2012] Salles, M.B.C.; Filho, A.J.S.; Grilo, A.P., *A study on the rotor side control of DFIG-based wind turbine during voltage sags without crowbar system*, 2012 International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), pp.1,6, 11-14 Nov. 2012, doi: 10.1109/ICRERA.2012.6477337
173. [Salman2011] Salman, N.; Mohamed, A.; Shareef, H., *Voltage sag mitigation in distribution systems by using genetically optimized switching actions*, 2011 5th International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO), pp.329-334, 6-7 June 2011, doi: 10.1109/PEOCO.2011.5970398
174. [Scoffoni2009] Scoffoni, A.; Gauthier, J., *Voltage Quality Monitoring*, Joint CEER - EURELECTRIC Workshop on Voltage Quality Monitoring, Session II, Paper 5, Brussels, 18 Nov. 2009
175. [Senturk2012] Senturk, O.S.; Hava, A.M., *A Simple Sag Generator Using SSRs*, IEEE Transactions on Industry Applications, vol.48, no.1, pp.172-180, Jan.-Feb. 2012, doi: 10.1109/TIA.2011.2175884
176. [Serna2007] Serna, J. A., *Reducing the Error in Phasor Estimates From Phasorlets in Fault Voltage and Current Signals*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol.56, no.3, pp.856-866, June 2007, doi: 10.1109/TIM.2007.894880

177. [Shasha2003] Shasha, D.; Bonnet, P., *Database Tuning - Principles, Experiments, and Troubleshooting Techniques*, 2003, ISBN: 978-1-55860-753-8
178. [Singh2012] Singh, M.; Chacko, S.T.; Zadgaonkar, A.S., *Detection of voltage sag by artificial neural network and mitigation using DSTATCOM*, 2nd International Conference on Power, Control and Embedded Systems (ICPCES), 2012, pp.1-5, 17-19 Dec. 2012, doi: 10.1109/ICPCES.2012.6508032
179. [Stanciu2012] Stanciu, I.R.; Molnar-Matei, F., *Detecting Power Voltage Dips using Tracking Filters - A Comparison against Kalman*, Advances in Electrical and Computer Engineering, vol. 12, no. 4, pp. 77-82, 2012, doi:10.4316/AECE.2012.04012
180. [Styvaktakis2000] Styvaktakis, E.; Bollen, M. H J; Gu, I.Y.-H., *Classification of power system events: voltage dips*, Proceedings. Ninth International Conference on Harmonics and Quality of Power, 2000, vol.2, pp.745-750 vol.2, 2000, doi: 10.1109/ICHQP.2000.897771
181. [Styvaktakis2001] Styvaktakis, E.; Gu, I.Y.-H.; Bollen, M. H J, *Voltage dip detection and power system transients*, Power Engineering Society Summer Meeting, 2001, pp.683-688 vol.1, 2001, doi: 10.1109/PESS.2001.970124
182. [Styvaktakis2002] Styvaktakis, E.; Bollen, M. H J; Gu, I.Y.-H., *Expert system for classification and analysis of power system events*, IEEE Transactions on Power Delivery, vol.17, no.2, pp.423-428, Apr 2002, doi: 10.1109/61.997911
183. [Tapia-Juarez2013] Tapia-Juarez, R.; Espinosa-Juarez, E.; Graff, M., *Optimal reconfiguration of radial distribution networks for reducing voltage sags*, 10th International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE), 2013, pp.280-285, Sept. 30 2013-Oct. 4 2013, doi: 10.1109/ICEEE.2013.6676027
184. [Tarasiuk2009] Tarasiuk, T., *Comparative Study of Various Methods of DFT Calculation in the Wake of IEC Standard 61000-4-7*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol.58, no.10, pp.3666-3677, Oct. 2009, doi: 10.1109/TIM.2009.2019308
185. [Tersztyanszky2009] Tersztyanszky, T., *Experience with Voltage Quality Monitoring in Hungary*, Joint CEER - EURELECTRIC Workshop on Voltage Quality Monitoring, Session II, Paper 4, Brussels, 18 Nov. 2009
186. [Thakur2013a] Thakur, P.; Singh, A.K.; Bansal, R.C., *Novel way for classification and type detection of voltage sag*, IET Generation, Transmission & Distribution, Volume 7, Issue 4, April 2013, p. 398 – 404, doi: 10.1049/iet-gtd.2012.0435
187. [Thakur2013b] Thakur, P.; Singh, A.K., *Unbalance Voltage Sag Fault-Type Characterization Algorithm for Recorded Waveform*, IEEE Transactions on Power Delivery, vol.28, no.2, pp.1007-1014, April 2013, doi: 10.1109/TPWRD.2012.2229396
188. [Ullman2005] Ullman, J.D., *Data Mining - Clustering I, II*, <http://infolab.stanford.edu/~ullman/cs345-notes.html>, 2005.
189. [Veganzones2011] Veganzones, C.; Sanchez, J.A.; Martinez, S.; Platero, C.A.; Blazquez, F.; Ramirez, D.; Arribas, J.R.; Merino, J.; Herrero, N.; Gordillo, F., *Voltage dip generator for testing wind turbines connected to electrical networks*, Renewable Energy, Volume 36, Issue 5, May 2011, Pages 1588-1594, ISSN 0960-1481, doi:10.1016/j.renene.2010.10.022.

190. [Venkatesh2010] Venkatesh, C.; Siva Sarma, D.V.S.S.; Sydulu, M., *Classification of voltage sag, swell and harmonics using S-transform based modular neural network*, 14th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), 2010, pp.1-7, 26-29 Sept. 2010, doi: 10.1109/ICHQP.2010.5625388
191. [Villa2009] Villa, F., De Nigris, M., *Experience with VQM in Italy*, Joint CEER - EURELECTRIC Workshop on Voltage Quality Monitoring, Session II, Paper 1, Brussels, 18 Nov. 2009
192. [Vucijak2010] Vucijak, N.M.; Saranovac, L.V., *A Simple Algorithm for the Estimation of Phase Difference Between Two Sinusoidal Voltages*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol.59, no.12, pp.3152-3158, Dec. 2010, doi: 10.1109/TIM.2010.2047155
193. [Waraphok2007] Waraphok, P.; Saengsuwan, T., *Database development for power quality in PEA's distribution system*, EPQU 2007. 9th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation, 2007, pp.1-6, 9-11 Oct. 2007, doi: 10.1109/EPQU.2007.4424199
194. [Wessels2010] Wessels, C.; Lohde, R.; Fuchs, F.W., *Transformer based voltage sag generator to perform LVRT and HVRT tests in the laboratory*, 14th International Power Electronics and Motion Control Conference (EPE/PEMC), 2010, pp.T11-8,T11-13, 6-8 Sept. 2010, doi: 10.1109/EPEPEMC.2010.5606830
195. [Wiltshire2007] Wiltshire, R.A.; Ledwich, G.; O'Shea, P., *A Kalman Filtering Approach to Rapidly Detecting Modal Changes in Power Systems*, IEEE Transactions on Power Systems, vol.22, no.4, pp.1698-1706, Nov. 2007, doi: 10.1109/TPWRS.2007.907529
196. [Yamashita2012] Yamashita, K.; Kitauchi, Y.; Katsuragi, K., *Influence of voltage sags on dynamic voltage behavior with massive inverter-based loads*, 2012 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT Asia), pp.1-8, 21-24 May 2012, doi: 10.1109/ISGT-Asia.2012.6303151
197. [Yan2008] Yan, M.; Karady, G.G., *A single-phase voltage sag generator for testing electrical equipments*, T&D. IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2008, pp.1,5, 21-24 April 2008, doi: 10.1109/TDC.2008.4517185
198. [Yu 2011] Yu, J.; Wang, L.; Zhou, B.; Tian, W., *An expert system based on s-transform for classification of voltage dips*, 2nd International Conference on Artificial Intelligence, Management Science and Electronic Commerce (AIMSEC), 2011, pp. 3732-3735, 8-10 Aug. 2011, doi: 10.1109/AIMSEC.2011.6010031
199. [Yuce2007] Yuce, E.; Minaei, S.; Tokat, S., *Root-Mean-Square Measurement of Distinct Voltage Signals*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol.56, no.6, pp.2782-2787, Dec. 2007, doi: 10.1109/TIM.2007.908153
200. [Zadeh1965] Zadeh L.A., *Fuzzy Sets, Information and Control*, Volume 8, Issue 3, June 1965, Pages 338-353
201. [Zeng2010] Zeng, R.; Nian, H.; Zhou, P., *A three-phase programmable voltage sag generator for low voltage ride-through capability test of wind turbines*, 2010 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), pp.305-311, 12-16 Sept. 2010, doi: 10.1109/ECCE.2010.5618020
202. [Zhang2000] Zhang, L., Bollen, M.H.J., *Characteristic of Voltage Dips (Sags) in Power Systems*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.15, No.2, April 2000, pp. 827-832, doi: 10.1109/61.853026

- 
203. [Zhang2003] Zhang, H.; Liu, P.; Malik, O. P., *Detection and classification of power quality disturbances in noisy conditions*, IEEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution, vol.150, no.5, pp.567-572, 15 Sept. 2003, doi: 10.1049/ip-gtd:20030459
  204. [Zhang2007] Zhang Y.; Milanovic, J.V., *Application of Niching Genetic Algorithms in System-wide Voltage Sag Mitigation Studies*, IEEE Lausanne Power Tech, 2007, pp.1515-1521, 1-5 July 2007, doi: 10.1109/PCT.2007.4538540
  205. [Zhiyong2002] Zhiyong, Y.; Guangbin, L.; Hong, W., *Development of generator for voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity test*, 3rd International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 2002, pp.67-70, 21-24 May 2002, doi: 10.1109/ELMAGC.2002.1177364
  206. [Zhu2004] Zhu, T. X.; Tso, S.K.; Lo, K.L., *Wavelet-based fuzzy reasoning approach to power-quality disturbance recognition*, IEEE Transactions on Power Delivery, vol.19, no.4, pp.1928-1935, Oct. 2004, doi: 10.1109/TPWRD.2004.832382

## Sinteză privind lucrările proprii

1. [Baloi2014] Băloi, F.; Bucătariu, I.; **Iovan, M.**, *Using Specific or General Software Tools in Power Engineering Education*, WCES Malta 2014 - 6th World Conference on Educational Sciences, Malta, Malta, February 2014
2. [Iovan2011] **Molnar-Matei (Iovan), M.M.**, *Common format database for a better power quality analysis*, Workshop no.1 INTERDISCIPLINARITATEA ȘI MANAGEMENTUL CERCETĂRII University „Politehnica” of Timișoara, 24-25 November 2011
3. [Iovan2013a] **Iovan, M.**; Molnar-Matei, F.; Pana, A.; Baloi, A., *Software tool for voltage dips signal generator*, 6th International Conference on Energy and Environment, Bucuresti, Romania, 7-10 noiembrie 2013
4. [Iovan2013b] **Molnar-Matei (Iovan), M.M.**, *Improving voltage dip type detection using clustering technics*, Workshop no.3 Interdisciplinaritatea și managementul cercetării, University Pitesti, 30-31 May 2013
5. [Iovan2014] **Iovan, M.**; Șurianu F.D.; Molnar-Matei F., *Virtual laboratory for power quality study*, WCES Malta 2014 - 6th World Conference on Educational Sciences, Malta, Malta, February 2014
6. [Moga2010] Moga, M.; Molnar-Matei, F.; **Iovan, M.**, *System Load Parameter Estimation Using Passive Experimental Tests*, Journal of Sustainable Energy, vol. I, no. 2, June 2010, pp. 67-72.
7. [Molnar2011a] Molnar-Matei, F., Moga, M., **Iovan, M.**, *Procedure for Determining the Response of the System Load to Voltage Sags*, EUROCON 2011-The International Conference on “Computer as a Tool”, 27-29 April 2011, Lisbon, Portugal, pp.1-4, ISBN: 978-1-4244-7486-8, DOI: 10.1109/EUROCON.2011.5929275.
8. [Molnar2013c] Molnar-Matei, F.; **Iovan, M.**; Maris, S., *Mathematical Function of a Signal Generator for Voltage Dips Analysis*, UKSim 15th International Conference on Computer Modelling and Simulation, pp.569-574, 10-12 April 2013, doi: 10.1109/UKSim.2013.33