Universitatea
Transilvania
din Brașov

ȘCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ

Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor

Ing. Răzvan Alexandru MOISE

TEZĂ DE DOCTORAT

REZUMAT

Conducător ştiinţific

Prof.Dr.Habil.Ing. Aurel FRATU

BRAȘOV, 2026

Universitatea Transilvania din Brașov

Răzvan Alexandru MOISE

TEZĂ DE DOCTORAT (REZUMAT)

TITLU (română): EFICIENTIZAREA PRIN AUTOMATIZĂRI ÎN REȚELELE DE DISTRIBUȚIE A ENERGIEI ELECTRICE

TITLU (engleză): EFFICIENCY THROUGH AUTOMATION IN POWER DISTRIBUTION NETWORKS

Domeniul de doctorat: INGINERIE ELECTRICĂ

Comisia de îndrumare și integritate academică:

Prof.Dr.Ing. Sorin Aurel MORARU	Membru, Universitatea Transilvania din Brașov
Prof.Dr.Ing. Elena HELEREA	Membru, Universitatea Transilvania din Brașov
Conf.Dr.Ing. Liviu PERNIU	Membru, Universitatea Transilvania din Brașov
Prof.Dr.Ing. Sofiane GHENNA	Membru, Université Polytechnique Hauts-de-France

CUPRINS

1. INTRODUCERE 5

1.1. Necesitatea și justificarea tezei 5
1.2. Scopul tezei și obiective 6
1.3. Metodologia cercetării 6
1.4. Conținutul tezei 7
1.5. Importanța cercetării și noi direcții 9

2. EFICIENTIZAREA MONITORIZĂRII LINIILOR AERIENE DE DISTRIBUȚIE A ENERGIEI ELECTRICE 9

2.3. Eficientizarea sistemelor de detecție a defectelor liniilor aeriene 9
2.3.1. Protecția maximală de curent a liniilor electrice aeriene și influența temperaturii ambientale în setarea acesteia 10
2.3.2. Eficientizarea protecției maximale a liniilor electrice aeriene sub influența temperaturii pentru conductorul OI-Al 185/32 mm² (studiu de caz) 12
2.3.3. Sistem de monitorizare a integrității stâlpilor liniilor electrice aeriene 16
2.4. Concluzii 20

3. EFICIENTIZAREA SISTEMELOR DE DETECȚIE ALE DEFECTELOR CABLURILOR DE DISTRIBUȚIE A ENERGIEI ELECTRICE 22

3.3. Contribuții în eficientizarea sistemelor de detecție a defectelor cablurilor electrice 22
3.3.1. Metodă de detecție a defectelor cablurilor electrice cu senzori inductivi de curent 23
3.3.2. Metodă de detecție a defectelor cablurilor electrice cu bucle alimentate prin inducție 23
3.4. Concluzii 25

4. ÎMBUNĂTĂȚIREA SISTEMELOR DE AUTOMATIZARE DIN STAȚIILE DE TRANSFORMARE 25

4.3. Efficientizarea automatizăriilor din stațiile electrice de transformare 25
4.3.1. Aplicație pentru verificarea punerii în paralel a transformatoarelor cu caracteristici tehnice diferite 25
4.3.2. Metodă de detecție a defectelor din rețelele electrice de medie tensiune utilizând tehnici Fuzzy 26
4.4. Concluzii 30

5. STABILITATEA TENSIUNII ÎN REȚELELE DE DISTRIBUȚIE A ENERGIEI ELECTRICE 31

5.3. Contribuții prin automatizări în stabilitatea rețelelor electrice 31
5.3.1. Metodă de reglare automată a puterii și tensiunii în rețelele electrice 31
5.3.2. Aplicație pentru verificarea stabilității tensiunii din rețelele electrice de distribuție la racordarea surselor de producție regenerabile (studiu de caz) 33
5.4. Concluzii 37

6. SUSTENABILITATEA REȚELELOR DE DISTRIBUȚIE A ENERGIEI ELECTRICE PRIN AUTOMATIZĂRI UTILIZÂND INTELIGENȚA ARTIFICIALĂ 38

6.3. Eficientizarea procesului de producție a energiei electrice utilizând automatizări 38
6.3.2. Eficientizarea producției de energie electrică de la surse alternative utilizând tehnici Fuzzy 38
6.4. Concluzii 42

7. SISTEM DE DETECȚIE A TENSIUNII DE PAS ÎN REȚELELE DE DISTRIBUȚIE 42

7.3. Contribuții în determinarea tensiunii de pas a rețelelor electrice 42

7.3.1. Sistem de măsurare a tensiunii de pas în rețelele electrice....42
7.4. CONCLUZII....44
8. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE....45
8.1. CONCLUZII GENERALE....45
8.2. CONTRIBUȚII PERSONALE TEORETICE....47
8.3. CONTRIBUȚII PERSONALE CU CARACTER PRACTIC....49
8.3.1. Realizări practice....49
8.3.2. Participarea la proiecte energetice în perioada doctorală....49
8.4. DISEMINAREA REZULTATELOR....50
8.5. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE....50
BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ....52
LISTA CU ARTICOLELE PUBLICATE....53

1. INTRODUCERE

1.1. Necesitatea și justificarea tezei

Sistemul energetic este unul dintre pilonii importanți ai societății umane. Energia asigură desfășurarea în bune condiții a sistemelor de producție, dar și a vieții în zonele rezidențiale. Alimentarea cu energie electrică deficitară prin întreruperi dese sau în parametrii necorespunzători produce pierderi majore la nivelul societății prin scăderea confortului, pierderi materiale, ajungându-se în cazuri izolate până la pierderea de vieți omenești.

În România, echipamentele din cadrul SEN sunt la sfârșitul duratei de viață, operatorii de rețea fiind într-un proces continuu de modernizare pentru a asigura livrarea energiei electrice către consumatori în condiții de calitate ridicată. România, parte a Uniunii Europene din 01.01.2007 trebuie să respecte directiva europeana 2003/87/CE cu modificările și completările ulterioare ETS 2 – directiva 2023/959 în ceea ce privește emisiile de dioxid de carbon(CO_2). Modernizarea se face lent, prin fonduri proprii, prin racordarea noilor utilizatori (consumatori și producători) și în ultimii ani prin PNRR.

Procesul de modernizare al rețelelor electrice este unul de durată, având în vedere dimensiunea rețelelor, importanța acestora și evitarea întreruperilor de lungă durată. Prin directiva mai sus menționată în ceea ce privește emisiile de CO_2 sunt stabilite limite clare ale emisiilor în procesul de producție a energiei electrice, astfel că sistemul energetic national (SEN) este într-o continuă schimbare, multe termocentrale fiind în proces de dezafectare, urmând ca în următorii ani, noi unități generatoare să le ia locul. Principalele tipuri de generatoare care vor înlocui termocentralele dezafectate sunt sursele regenerabile de energie: centrale electrice eoliene(CEE) și centrale electrice fotovoltacie (CEF).

Noile surse de producere a energiei electrice nu vor fi amplasate în aceeași locație a vechilor generatoare, având în vedere că montajul noilor surse de energie se va face considerând eficiența maximă a acestora. CEE se vor amplasa în zona de deal, zone propice pentru acest tip de centrală fiind zona Moldovei, Dobrogei și a Banatului montan. CEF se vor amplasa în general în zone plane, preferabil de câmpie, zone propice fiind Banatul de câmpie, Oltenia, Muntenia, Dobrogea, dar și zona Transilvaniei.

Consumul cel mai mare de energie electrică este înregistrat în zonele metropolitane ale celor mai mari orașe din România: București, Cluj Napoca, Constanța, Timisoara, Iași, Brașov, Sibiu. Dacă generatoarele sunt amplasate în zone mai îndepărtate de cele ale consumatorilor, pe liniile electrice va apărea o circulație de curent, se vor mări pierderile și liniile vor ajunge în anumite scenarii la limita superioară reprezentată de setarea protecției maximale. În prezent, există soluții de limitare operațională a generatoarelor pentru a reduce puterea tranzitată pe liniile electrice în cazul unor scenarii defavorabile.

Sistemul SMARTGRID este în curs de implementare, prin montarea rețelelor de contoare inteligente, nivelul automatizărilor crescând exponențial în acest concept de rețea.

Cercetarea dezvoltată de autorul acestei teze de doctorat se înscrie în preocupările actuale în domeniul automatizărilor energetice pentru eficientizarea procesului de transport și distribuție a energiei electrice.

1.2. Scopul tezei și obiective

Scopul tezei de doctorat este eficientizarea prin automatizări a rețelelor electrice, particularizat pentru rețelele electrice de distribuție a energiei electrice prin atingerea **următoarelor obiective specifice**:

1. **Imbunătățirea sistemelor de protecție și monitorizare a liniilor electrice aeriene și subterane prin dezvoltarea de aplicații și studii privind protecția maximală de curent și monitorizarea defectelor și integrității liniilor electrice;**
2. **Dezvoltarea automatizărilor din stațiile de transformare prin realizarea de studii și aplicații pentru punerea în paralel a transformatoarelor cu caracteristici diferite și analiza stabilității tensiunii la racordarea surselor regenerabile de producere a energiei electrice;**
3. **Introducerea de sisteme cu inteligență artificială în eficientizarea funcționării rețelelor electrice pentru detectarea defectelor din rețelele electrice de medie tensiune**, r**eglarea tensiunii si puterii în rețelele electrice de distribuție și eficientizarea producției de energie electrică;**
4. **Dezvoltarea unui sistem de monitorizare a tensiunii de pas capabil să asigure măsurarea rapidă, eficientă, sigură și precisă a valorii tensiunii de pas în proximitatea instalațiilor electrice fără utilizarea unei surse auxiliare.**

1.3. Metodologia cercetării

Abordarea mixtă a cercetării, atât calitativă – analize din experiențele avute pe parcursul dezvoltării profesionale, prin proiectele realizate cât și cantitativă – prin colectare de date statistice în urma întocmirii studiilor de caz, asigură prezentei lucrări informațiile pentru realizarea cercetării.

Metodologia cercetării s-a bazat pe următoarele etape: identificarea obiectului cercetării, proiectarea cercetării (calitativă sau cantitativă), colectarea datelor și aplicarea instrumentelor alese, analiza și interpretarea datelor și respectarea normelor de confidențialitate și consimțământ.

1.4. Conținutul tezei

Prezenta lucrare propune eficientizarea prin automatizări a funcționării rețelelor electrice de distibuție având în vedere procesul lent de modernizare al acestora și racordarea surselor de energie regenerabilă împreună cu provocările pe care acest proces le aduce.

- **Capitolul 1** intitulat **"Introducere"** cuprinde încadrarea şi justificarea tematicii care constituie obiectul tezei de doctorat, în contextul stadiului actual al evoluției sistemelor electroenergetice şi al preocupărilor existente pe plan mondial şi local în țară şi prezentarea succintă a conținutului fiecărui capitol al tezei. Se evidențiază atât modul de valorificare a cercetărilor efectuate (publicații, studii de caz, programe soft simulatoare), cât şi perspectivele privind direcțiile ulterioare de cercetare.
- **În capitolul 2** intitulat "**Eficientizarea monitorizării liniilor aeriene de distribuție a energiei electrice**" s-au dezvoltat soluții pentru optimizarea funcționării liniilor electrice aeriene prin setarea unei protecții maximale dinamice care să țină cont de temperatura ambientală în care se află conductorul, permițând modificarea setărilor protecției liniei în concordanță cu temperatura exterioară și extinderea plajei de protecție pentru aceeași secțiune a unui conductor. Sunt analizate sisteme de monitorizare a liniilor aeriene și a integrității stâlpilor de susținere din beton prin analiza dinamicii la vârful acestora și comanda declanșării întrerupătoarelor de alimentare în cazul deplasării peste un interval prestabilit – sistemul declanseză linia înainte ca stâlpul să se încline periculos de mult și conductoarele să atingă pământul, evitându-se apariția tensiunii de pas în zona defectării liniei electrice. Sistemul de monitorizare s-a analizat și în varianta autonomă, putând funcționa fără alimentare din surse auxiliare de energie.
- **În capitolul 3** intitulat **"Eficientizarea sistemelor de detecție a defectelor cablurilor de distribuție a energiei electrice"** se analizează sisteme de monitorizare a cablurilor electrice care să permită identificarea cât mai rapidă a defectului și restrângerea pe cât posibil a zonei de cautare prin identificarea unor semnale din teren utilizând bucle de inducție electrică. Buclele de inducție permit semnalizarea către camera de comandă a stării cablului electric fără a consuma energie din surse auxiliare. Tensiunea indusă în bucle din cablul electric este redresată utilizând scheme dedicate, folosite pentu a semnaliza defectarea porțiunii de cablu electric care este monitorizată.
- **Capitolul 4** intitulat "**Îmbunătățirea sistemelor de automatizare din stațiile de transformare**" analizează în detaliu automatizările realizate la nivelul stațiilor de transformare. Sunt descrise programele realizate în limbajul de programare C++ pentru principalele automatizări. Este prezentată aplicația dezvoltată de autor privind verificarea posibilității punerii în paralel a unor transformatoare în funcție de caracteristicile lor tehnice. Pentru automatizarea detecției defectelor din rețelele de

medie tensiune este realizat un studiu comparativ între metoda admitanței și injecției de curent și metoda de detecție utilizând tehnici Fuzzy elaborată de autor. Simulările pentru metoda propusă au fost realizate în aplicația Fuzzy din cadrul programului Matlab.

- **Capitolul 5** intitulat **"Stabilitatea tensiunii în rețelele de distribuție a energiei electrice"** studiază evoluția tensiunii unei rețele electrice în cazul racordării la aceasta a centralelor regenerabile, este analizat și definit conceptul de stabilitate a tensiunii și metodele cunoscute de analiză : teoria bifurcației, curbele putere activă – tensiune și putere reactivă – tensiune. Analiza realizată include un studiu de caz pe un parc industrial în care au fost simulate condiții de consum maxim și producție maximă, precum și evoluția tensiunilor din rețea în cele două scenarii. Analiza stabilității tensiunii s-a realizat în programul NEPLAN, rezultatele indicând punctele slabe a rețelei electrice și locul unde se pot racorda producători de energie electrică.
- **Capitolul 6** intitulat **"Sustenabilitatea rețelelor de distribuție a energiei electrice prin automatizări utilizând inteligența artificială"** prezintă evoluția sistemului energetic de la înființare până la atingerea conceptului de SMARTGRID. Conceptul SMARTGRID a început să fie implementat în România, procesul fiind unul laborios și de lungă durată. Este analizată o automatizare utilizând inteligența artificială prin concepte Fuzzy pentru alegerea tipurilor de generatoare care să funcționeze în rețeaua electrică precum și momentul în care să se utilizeze bateriile de acumulatoare pentru a eficientiza procesul de distribuției a energiei electrice în viitoarele rețele inteligente. Simulările sunt realizate prin aplicația FuzzyApp din programul de calcul Matlab.
- **Capitolul 7** intitulat **"Sistem de detecție a tensiunii de pas în rețelele de distribuție"** integrează sistemele de mentenanță preventivă utilizate în rețelele electrice, măsurătorile care trebuie făcute, periodicitatea lor și modul în care acestea trebuie efectuate pentru rezultate concrete. Este prezentat un sistem mobil propus de autor de detectare a tensiunii de pas utilizând o placă Arduino, LED-uri, o brățară pentru avertizare haptică și o hupă. În funcție de nivelul tensiunii de pas detectate sunt 3 nivele de avertizare: în parametrii, la limită și nivel periculos, astfel încât operatorul să poată trage concluzii în urma măsurătorilor privind locurile cu tensiune de pas periculoasă și să ia măsuri.
- **Capitolul 8** intitulat **"Concluzii și contribuții personale"** subliniază rezultatele cercetării din prezenta teză de doctorat, articolele în care acestea au fost elaborate, detaliate și concluzionate, precum și utilitatea acestora în cadrul viitoarelor rețele de distribuție modernizate.

Teza de doctorat include patru anexe cu programe computerizate care pot fi dezvoltate pentru realizarea automatizărilor din stațiile de transformare. Cu fiecare automatizare

realizată în rețelele de distribuție a energiei electrice se crește fiabilitatea și se scade timpul de întreruperi în alimentarea cu energie electrică a utilizatorilor.

1.5. Importanța cercetării și noi direcții

Rețelele inteligente sunt conceptul spre care tinde sistemul energetic. Se fac pași mici, susținuți în fiecare zi, cu fiecare modernizare de stație sau rețea electrică tendința este spre un sistem de distribuție mai fiabil și cu un grad de autonomie mai mare.

Bineînteles că cercetarea își are locul în acest proces, elemente rezultate în urma cercetării sunt utilizate în sistemul energetic național. Invenții care au facut în trecut parte din studiile și cercetările energetice, sunt azi utilizate pentru protecțiile și automatizările din rețelele electrice.

Domenii de cercetare cum ar fi modul de transmitere a energiei fără fir pe zone reduse unde nu se pot folosi cablurile electrice sunt direcții de luat în seamă în aprofundarea cercetărilor.

O parte a rezultatelor obținute în cadrul tezei au fost publicate, în reviste de prestigiu şi în volumele unor manifestări ştiințifice recunoscute din străinătate sau din țară: 3 articole publicate în reviste de renume la nivel național și 3 articole publicate în conferințe recunoscute la nivel internațional.

Cercetarea realizată de autor demonstrează ca pașii făcuți în automatizarea din domeniul rețelelor electrice de distribuție a enegiei electrice cresc nivelul de eficiență al acestora.

Analizele teoretice şi practice realizate în cadrul tezei de doctorat, precum şi rezultatele obținute, deschid o serie de perspective şi direcții de continuare şi aprofundare ulterioară a cercetărilor în domeniu:

- Implementarea conceptului SMARTGRID cu tendința de creștere a autonomiei rețelelor electrice prin automatizări implementate în puncte cheie
- Sporirea securității cibernetice la nivelul rețelelor electrice de distribuție

2. EFICIENTIZAREA MONITORIZĂRII LINIILOR AERIENE DE DISTRIBUȚIE A ENERGIEI ELECTRICE

2.3. Eficientizarea sistemelor de detecție a defectelor liniilor aeriene

În prezentul subcapitol se descrie modul în care protectia maximală poate fi îmbunătățită utilizând monitorizarea temperaturii ambientale pe traseul liniei electrice și automatizările propuse pentru monitorizarea integrității stâlpilor, aceste contribuții conduc la o rețea de distribuție mai sigură și la îmbunătățirea nivelului de alimentare cu energie electrică a utilizatorilor de rețea.

2.3.1. Protecția maximală de curent a liniilor electrice aeriene și influența temperaturii ambientale în setarea acesteia

În prezent rețelele de distribuție și de transport sunt dimensionate la nivelul anilor 1960-1980 când au fost construite. În perioada 1960-1980, România era o țară preponderent consumatoare de energie având în vedere industria repartizată în fiecare regiune. În acea perioadă producția era asigurată de termogeneratoare și hidrogeneratoare, mai tărziu în 1996 s-a pus în funcțiune reactorul nr.1 și ulterior în anul 2007 reactorul nr. 2 de la centrala nuclearelectrică Cernavodă. Cerințele actuale pentru sistemul energetic național sunt mai putin de consum și mai mult pentru racordarea noilor producători de surse regenerabile: fotovoltaic și eolian, dar și a instalațiilor de stocare. În prezent sistemul energetic este supraîncărcat și pentru racordarea noilor producători sunt solicitate automatici de limitare operațională (ALO) pentru a evita supraîncărcarea liniilor electrice.
Protecția dinamică propusă ia în calcul protecția liniei electrice la capacitatea reală de transport a acesteia, prin modificarea pragului de declanșare a întrerupătorului liniei în functie de temperatura monitorizată în zona conductorului – figura 2.1. [1]

.

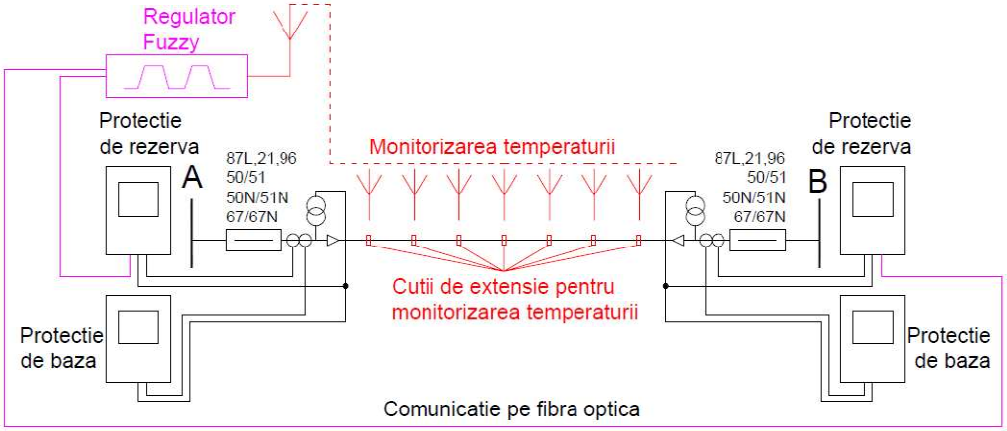


Fig 2. 1. Protecția maximală dinamică de curent în rețelele de înaltă tensiune[1].

Curba de declanșare va fi calculată în funcție de temperatura măsurată de sistem utilizând un algoritm simplu de alegere a temperaturii maxime dintre temperaturile citite instantaneu în diferite puncte ale liniei electrice. Acestă etapă este esențială deoarece linia având o lungime considerabilă și fiind amplasată în zone diferite din punct de vedere geografic și al climei, trebuie să se ia în calcul cea mai mare temperatură a conductorului înregistrată la un moment dat.
Frecvența citirii temperaturii ar trebui să se facă de patru ori pe oră la intervale de 15 minute, iar dacă sunt diferențe de temperatură notabile să comande schimbarea setului de reglaj al protecției pentru a se alinia la temperatura din jurul conductorului. Informațiile de temperatură citite din teren vor fi procesate de o unitate centrală care va utiliza logică Fuzzy

pentru a seta protecția maximală a conductorului în funcție de informațiile de temperatură conform schemei bloc în circuit închis din figura 2.2. [1]

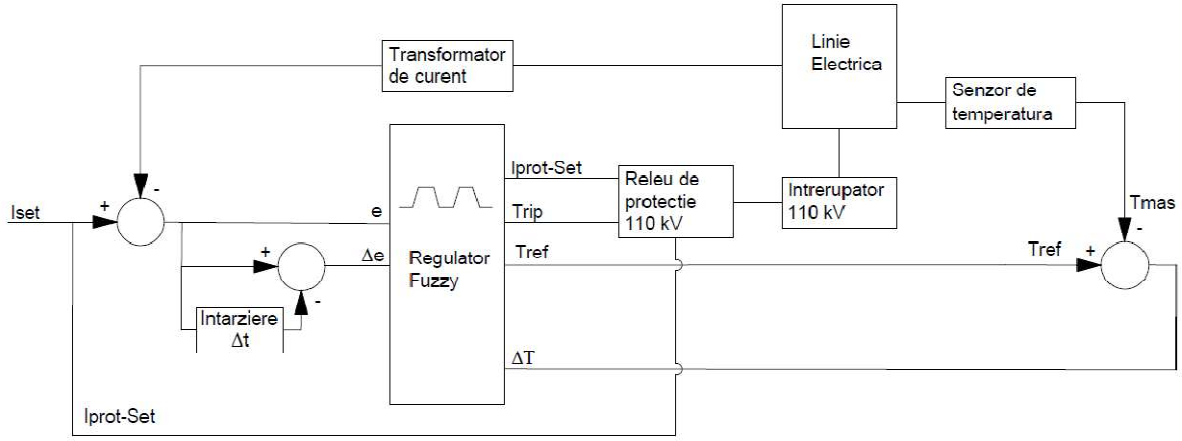


Fig 2. 2. Schema sistemului inchis pentru monitorizarea temperaturii

Regulatorul va citi temperatura conductoarelor și va utiliza maximul temperaturilor măsurate, curentul înregistrat pe linie măsurat cu ajutorul transformatoarelor de curent și utilizând logica Fuzzy va crea curba de declanșare a protecției, dar și va seta după fiecare iterație un nou prag de reglaj a protecției de curent în releul de protecție. Având în vedere că releele de protecție au procesoare, regulatorul Fuzzy poate fi inclus direct în releul de protecție printr-o modernizare software.

Pentru implementarea regulatorului Fuzzy se vor utiliza:

- Reguli definite de utilizator
- Fiecarei reguli îi corespunde o mulțime parțială de ieșire
- e=Tset – Tmas – eroarea de temperatură
- Δe=e(t)-e(t-1) – variația erorii de temperatură
- ΔIprot– variația erorii protecției de curent

Reguli Fuzzy implementate :

1.Dacă e este (N)negativ și Δe este (N)negativ, atunci ΔIprot este (N)negativ.
2.Dacă e este (N)negativ și Δe este (ZE)zero, atunci ΔIprot este (N)negativ.
3.Dacă e este (N)negativ și Δe este (P)pozitiv, atunci ΔIprot este (ZE)zero.
4.Dacă e este (ZE)zero și Δe este (N)negativ, atunci ΔIprot este (N)negativ.
5.Dacă e este (ZE)zero și Δe este (ZE)zero, atunci ΔIprot este (ZE)zero.
6.Dacă e este (ZE)zero și Δe este (P)pozitiv, atunci ΔIprot este (P)pozitiv.
7.Dacă e este (P)pozitiv și Δe este (N)negativ, atunci ΔIprot este (ZE)zero.
8.Dacă e este (P)pozitiv și Δe este (ZE)zero, atunci ΔIprot este (P) pozitiv.
9.Dacă e este (P)pozitiv și Δe este (P)pozitiv, atunci ΔIprot este (P) pozitiv.

În tabelul 2.1 de mai jos sunt reprezentate tabelar regulile Fuzzy pentru monitorizarea temperaturii și valorile pe care le poate lua variația protecției maximale de curent, iar în figura 2.3 sunt prezentate funcțiile de intrare din regulatorul Fuzzy.

Tabel 2. 1. – Variația protecției maximale ΔI_{prot} funcție de e și Δe

Δe / e	N	ZE	P
N	N	N	0
ZE	N	0	P
P	0	P	P

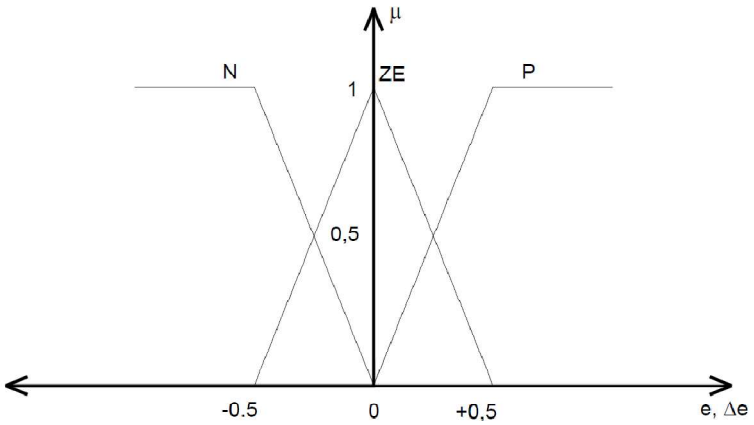


Fig 2. 3. Funcțiile de intrare/ieșire a sistemului Fuzzy pentru monitorizarea temperaturii

Valorile de calcul pentru funcția de iesire pe baza căreia se calculează protecția dinamică au în unități relative valori între 0 și 1. Pentru calculul valorilor reale este nevoie de scalare inversă, însemnând ca 0 este corespunzător valorii temperaturii de 0°C și 1 este corespondentul temperaturii de 40°C. Celelalte temperaturi se vor calcula proporțional.

2.3.2. Eficientizarea protecției maximale a liniilor electrice aeriene sub influența temperaturii pentru conductorul Ol-Al 185/32 mm² (studiu de caz)

În continuare este prezentat un studiu de caz pentru conductorul bimetalic Ol-Al 185/32 mm², conductor cu care sunt echipate majoritatea liniilor electrice de 110 kV.

Metoda uzuală de protecție a liniilor electrice la suprasarcină se realizează cu praguri fixe. Metoda propusă în acest subcapitol este un terminal de protecție care să monitorizeze on-line linia și să fie capabil să seteze protecția liniei electrice în concordanță cu informațiile de temperatură care sunt citite și procesate la un moment dat de timp.

Astfel, pragul de protecție dacă se raportează la timp va deveni o curbă de protecție similară cu curba de capabilitate a conductorului, dar având o amplitudine mai mică decât aceasta. Pentru orice temperatură între 0°C si 40°C se calculează valoarea maximă a curentului pe care conductorul ACSR 185/32 mmp poate să o conducă în regim normal de funcționare utilizând formula de dependență a rezistenței electrice a conductorului și temperatura ambientă în care acesta este instalat.

Se propune montarea de senzori la fiecare stâlp al liniei aeriene, astfel că în regulatorul Fuzzy sunt achiziționate valori de temperaturi ale diferitelor zone, prin care este montată linia electrică, stabilite dinainte între pragurile de 0°C si 40°C.

Pentru orice temperatură între 0°C si 40°C se calculează valoarea maximă a curentului pe care conductorul ACSR 185/32 mmp poate să o conducă în regim normal de funcționare.

Temperatura monitorizată pe linia electrică va fi procesată de un regulator Fuzzy montat în stația de transformare de capăt. Regulatorul Fuzzy va schimba date cu unitatea de achiziție date care citește date de la senzorii de temperatură care vor fi amplasati de-a lungul liniei electrice. Regulatorul Fuzzy primește de la sistemul de monitorizare al temperaturii, la fiecare interval de timp setat, temperatura instantanee maximă din zona conductorului, o procesează și transmite către releul de protecție noul prag de curent corespunzător temperaturii măsurate.

Regulatorul Fuzzy comunică atât cu releul din stația unde este este montat, dar și cu releul din capătul opus utilizând infrastructura de fibra optică. Releele de protecție primesc de la regulatorul Fuzzy noua setare a protecției în valoare de curent și astfel conductorul este protejat în funcție de temperatura măsurată.

Comunicația dintre cutia de extensie și regulatorul Fuzzy se poate realiza prin intermediul fibrei optice sau prin tehnologie GPRS, astfel putându-se monitoriza lungimi mari de linii aeriene.

2.3.2.1. Calcule realizate în cazul protecției maximale de curent cu prag fix

În urma calculelor, se poate observa în figura 2.4 cu linie continuă graficul de capabilitate pentru conductorul OI-Al 185/32 mm². Cu linie punctată este reprezentată valoarea setată a protecției maximale cu prag fix.

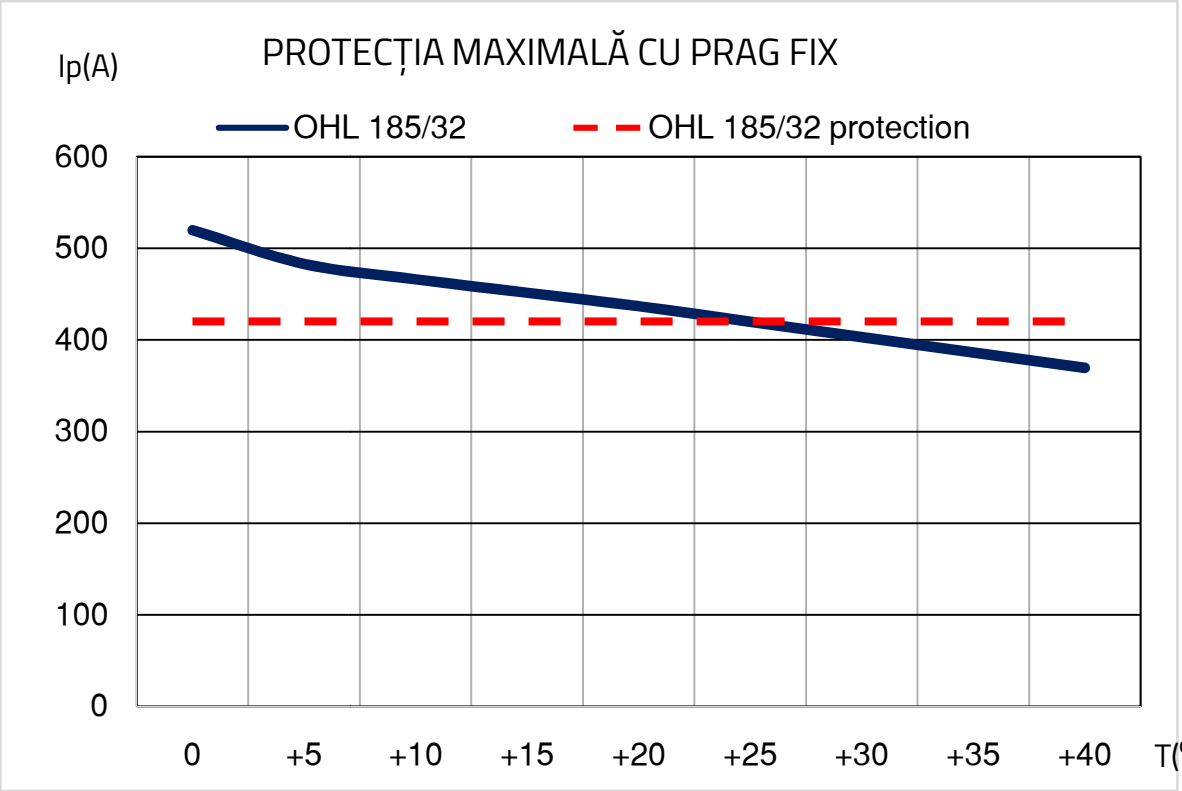


Fig 2. 4. Curba de capabilitate a conductorului și valoarea setată a protecției maximale în cazul protecției clasice cu prag fix[1]

Aceasta se calculează utilizând cataloagele cu conductoare în care se regăsește capacitatea de conducție pentru conductoare la o anumită temperatură exterioară. Dacă se analizează tabelele pentru conductorul ACSR 185/32 mm², acesta poate conduce maxim la temperatura de 20°C un curent de 717A. Această valoare se diminuează cu un coeficient pentru mai multe circuite pe stâlp, respectiv în functie de temperatura ambientală.

$$I_c = K_1 \cdot K_2 \cdot I_{max} \quad (2.1)$$

$$I_c = 0{,}56 \cdot I_{max} = 401A \text{ pentru conductorul de 185 mm}^2 \quad (2.2)$$

Valoarea protecției maximale temporizate se setează între 100% și 120% din curentul calculat pentru conductor.

$$I_p = 1{,}0 \ldots\ldots 1{,}2 \cdot I_c \quad (2.3)$$

$$I_p = 401\ldots\ldots 481A \text{ pentru conductorul de 185 mm}^2 \quad (2.4)$$

Se poate observa că în cazul temperaturii ambientale sub 25°C, valoarea setată este prea mică luând în considerare capabilitatea conductorului.

De asemenea în cazul temperaturii ambientale peste valoarea de 25°C, valoarea setată pentru protecție depășește capabilitatea conductorului.

2.3.2.2. Calcule în cazul protectiei maximale de curent cu prag variabil funcție de temperatură

Rezistența conductorului variază cu temperatura. Parametrul care variază cu temperatura care intră în formula de calcul a rezistenței este rezistivitatea – a se vedea relația 2.5.

$$R = \frac{\Delta P}{I^2} = K \cdot \rho \frac{l}{s} [\Omega] \quad (2.5)$$

Unde:

- ΔP reprezintă pierderile de putere
- I este curentul care trece prin conductoare
- K reprezintă constantă pentru conductoare masive sau conductoare funie, pentru conductoare masive K=1, respectiv pentru conductoare funie, datorită răsucirii, acestea au o lungime mai mare decât lungimea funiei cu un procent între 2% și 4% și respectiv K poate lua valori între 1,02 și 1,04.
- ρ este rezistivitatea materialului din care sunt facute conductoarele.

Rezistivitatea materialelor variază cu temperatura conform formulei de mai jos:

$$\rho_\theta = \rho_{20} \cdot [1 + \alpha(\theta - 20) + \beta(\theta - 20)^2] \quad (2.6)$$

Unde:

- α, β sunt coeficienți de variație a rezistivității cu temperatură
  - α_{Al}=0,0387 grd^{-1}
  - β_{Al}=1,10 $\cdot 10^{-6} grd^{-2}$
  - $\rho_{Al} = 2{,}82 \cdot 10^{-8}$ $[\Omega mm^2/m]$ pentru temperatura de 20°C
- l este lungimea conductorului
- s este secțiunea conductorului[6].

Starea protecției dinamice se realizează calculând rezistența conductorului la orice temperatură folosind formula de mai sus a variației rezistivității cu temperatura.

Tabel 2. 2. – Variația capacității de conducție cu temperatura

$\theta(^\circ C)$	0	5	10	15	20	25	30	35	40
Fuzzy	0	0,125	0,25	0,375	0,5	0,625	0,75	0,875	1
Ic(A)	500	480	465	450	435	420	405	390	375
Ip(A)	450	430	415	400	385	370	355	340	325

În urma masurătorilor se poate observa în figura 2.5 cu linie continuă graficul de capabilitate pentru conductorul OI-Al 185/32 mm². Cu linie punctată este reprezentată valoarea setată a protecției maximale dinamice care ține cont de temperatura ambientală. Valoarea protecției

poate fi setată cu 50A sub valoarea maximă pe care conductorul o poate transporta la un anumit interval de timp în funcție de temperatură.

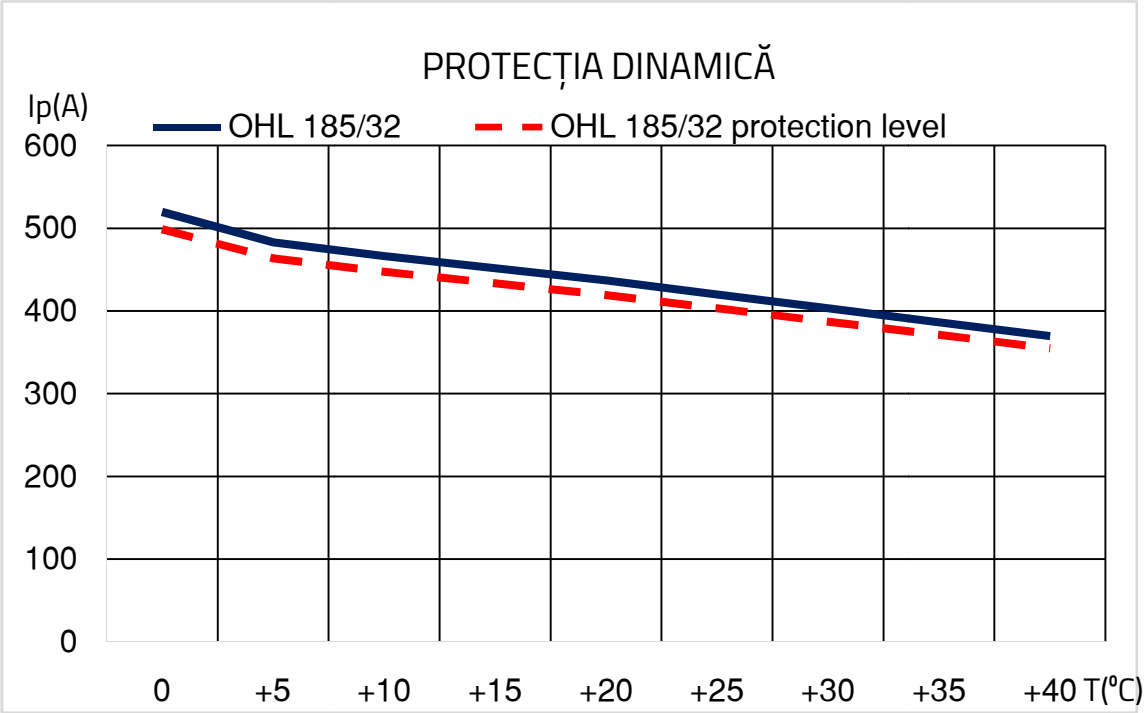


Fig 2. 5. Curba de capabilitate a conductorului și valoarea setată a protecției maximale dinamice utilizând monitorizarea temperaturii[1]

Se poate observa că pe tot parcursul intervalului de temperatură, valoarea setată a protecției este sub cea maximă pe care conductorul o poate conduce. În acest fel se va folosi capacitatea liniei electrice cu randament maxim.

2.3.3. Sistem de monitorizare a integrității stâlpilor liniilor electrice aeriene

Analizând soluțiile actuale pentru protecția rețelelor electrice împotriva riscurilor potențiale, se pot identifica soluții care să ajute la ameliorarea riscurilor identificate la subcapitolul 2.1.2. Se pot reduce efectele nefaste în cazul unor fenomene care au loc asupra liniilor electrice prin măsurarea verticalității stâlpilor și a unghiului de deviere la vârf față de verticală.
O deviere normată față de veriticală prin care se poate concluziona că poziția stâlpului este incompatibilă cu funcționarea normală a liniei electrice va putea fi măsurată și transmisă în mai puțin de o secundă către echipamentul de protecție situat în stațiile de capăt, astfel încât acesta va putea comanda declanșarea liniei electrice înainte ca stâlpul și implicit firele să cadă la pamânt. Acest sistem diminuează riscul în cazul accidentelor și vandalismului, în special pentru oamenii și animalele din zona afectată[2,12].
În figura 2.6 este prezentată schema bloc a sistemului de monitorizare a stâlpilor liniilor electrice împotriva vandalismului și accidentelor. Infrastructura de transmisie a datelor va fi

fibra optică, dar pentru transmisia datelor fără fir s-a analizat o oportunitate de a transmite prin ultrasunete, energia fiind obținută de la linia electrică prin inducție.

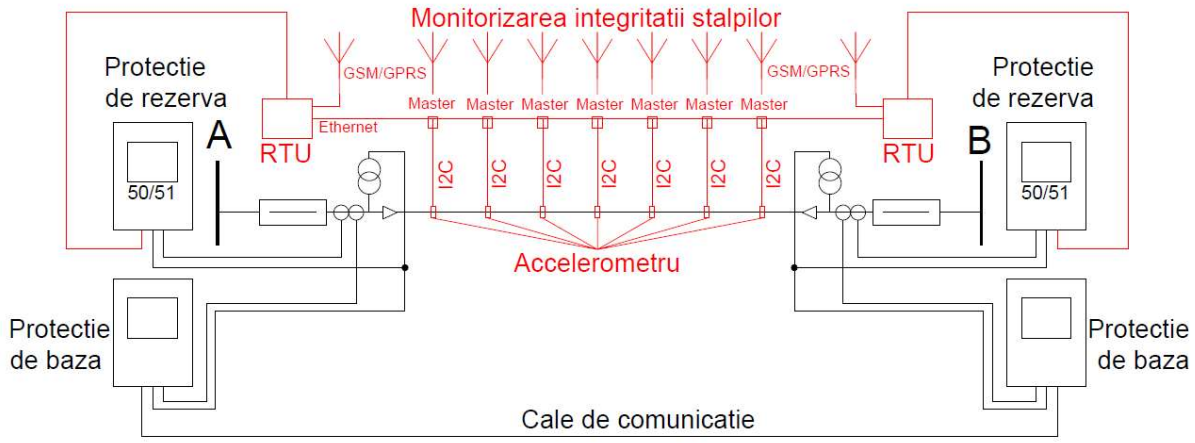


Fig 2. 6. Schema bloc a sistemului de protecție la înclinarea stâlpilor[2]

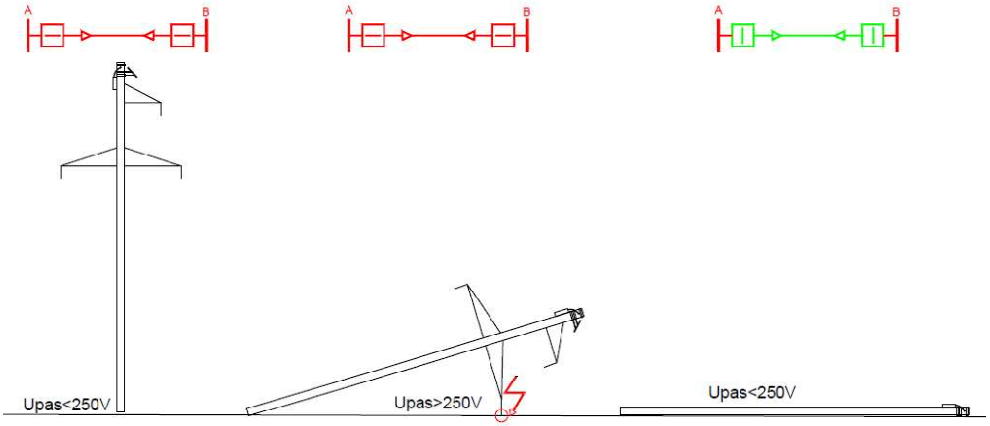
Sistemul propus care înglobează un accelerometru va detecta o deplasare a posturii stâlpului mai mare de 5° față de poziția verticală într-un interval scurt de timp și va comanda declanșarea liniei electrice în cazul în care se va detecta mișcare.

În acest fel se poate detecta o cădere a unui stâlp ca urmare a unor acte de vandalism sau accidente atâta vreme cât dispozitivul de detectare nu este afectat încă din faza incipientă și linia poate fi declanșată ca să nu existe victime ca urmare a atingerii pământului de către firele aflate sub tensiune prin tensiunea de pas.

Față de o situație normală care nu utilizează acest sistem, se pot evita pierderi de vieți omenești, cei aflați în proximitatea stâlpului căzut fiind protejați. Totodată, protecția homopolară a liniei care ar declanșa în cazul atingerii firelor aflate sub tensiune de pământ, ar fi dublată de o protecție care detectează deplasarea la vârf a stâlpilor de susținere ai liniei electrice.

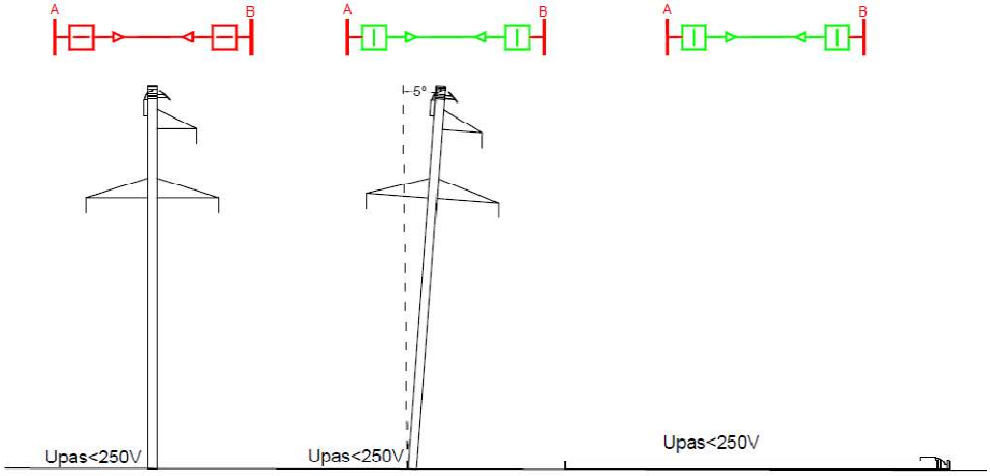
Funcționarea acestui sistem nou propus elimină probabilitatea mică, dar de luat în calcul ca protecția homopolară să nu funcționeze și conductorul liniei să fie afectat ca urmare a trecerii prin acesta a curentului de scurtcircuit, un curent acceptat pentru un timp foarte scurt.

În figura 2.7, 2.8 este prezentat comparativ sistemul aflat în prezent în utilizare și sistemul propus. Diferența între timpul de detecție al defectului al sistemului propus și timpul de detecție al defectului pentru sistemul de protecție existent este de câteva secunde, timp în care unele persoanele puse în pericol pot fi salvate de sistemul nou propus.



Funcționare normală | Momentul defectului | Momentul post defect

Fig 2. 7. Sistemul de protecție existent pentru izolarea defectului



Funcționare normală | Momentul defectului | Momentul post defect

Fig 2.8. Sistemul de protecție propus pentru izolarea defectului[2]

2.3.3.2 Sursa de alimentare cu energie electrică a sistemului de detecție a înclinării utilizând panouri fotovoltace

Sistemul de detecție a înclinării sau ruperii stâlpilor fiind realizat cu circuite electronice are nevoie de alimentare cu energie electrică. Fiecare stâlp al liniilor aeriene pentru care se va prevedea monitorizare trebuie sa fie echipat cu echipamente care detectează înclinarea sau ruperea stâlpilor prin tehnica măsurării accelerației la varf.
Puterea electrică necesară circuitelor electronice de la fiecare stâlp nu este semnificativă, fiind de ordinul zecilor de wați. Se pot utiliza sisteme de panouri fotovoltaice cu stocare pentru alimentarea sistemului. Aceste sisteme sunt comercializate de mai multi producători, fiind utilizate pentru alimentarea balizajului de noapte al stâlpilor.

În România sistemul de alimentare cu panou fotovoltaic este produs de compania Electromax și poate fi folosit cu succes în alimentarea sistemului propus în acest capitol. Tensiunea de alimentare va fi 12V DC, o sursă de 120 W cu acumulator de 130Ah[12], fiind suficientă pentru alimentarea circuitelor electronice ale sistemului de detectare a înclinării stâlpilor. Sistemul de alimentare este prezentat în figura 2.9.

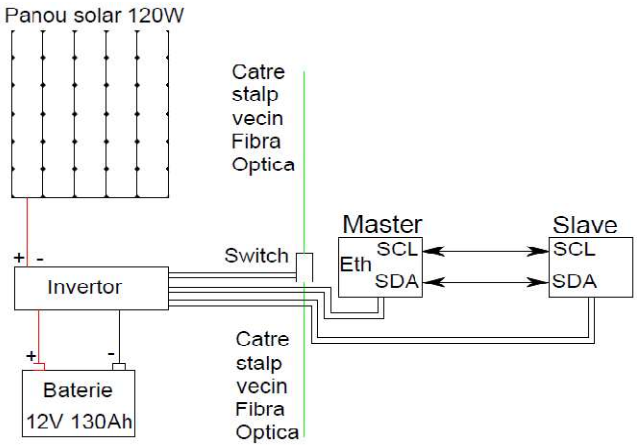


Fig 2. 9. Sistemul de alimentare al sistemului de izolare a defectului

2.3.3.3 Sursa de alimentare cu energie electrică a sistemului de detecție a înclinării utilizând energie captată din conductoarele liniei

Schema de principiu a acestui sistem este prezentată în figura 2.10 unde este folosită energia captată din rețeaua de distribuție utilizând un transformator toroidal pentru asigurarea funcționalității sistemului de detecție a înclinării stâlpilor. Sistemul utilizează energia produsă din rețeaua de distribuție prin fenomenul de inducție electromagnetică. Tensiunea din secundarul transformatorului toroidal variază în funcție de sarcina pe linia aeriană de distribuție între 5 și 10V. Semnalul poate fii transformat și redresat astfel încât să poată fi utilizat de un oscilator(ex. MPU-6050), utilizat de obicei în construcția telefoanelor mobile care are tensiunea de funcționare de 3,3-5V și care se poate folosi cu succes în sistemul privind detecția înclinării stâlpilor. Schema din fig. 2.10 trebuie implementată la fiecare stâlp care se dorește monitorizat.
Transmisia către stația de capăt care alimentează linia pentru comanda de declanșare se va realiza radio utilizând banda de unde ultrascurte cu modulare în frecvența 87,8 – 108 MHz sau GSM/GPRS utilizând o cartela pentru fiecare punct monitorizat.
Pentru autonomia sistemului în lipsa tensiunii pe linia electrică este prevăzută o baterie de 3,7V 5000 mAh.
Sistemul astfel compus este un sistem inovator și ieftin din punct de vedere al implementării, iar prin montarea acestuia în rețelele electrice de distribuție aduce plus valoare prin protejarea rețelei de distribuție, dar mai ales a persoanelor din zona stâlpilor în cazul în care apar înclinări ale stâlpilor în perioade scurte de timp.

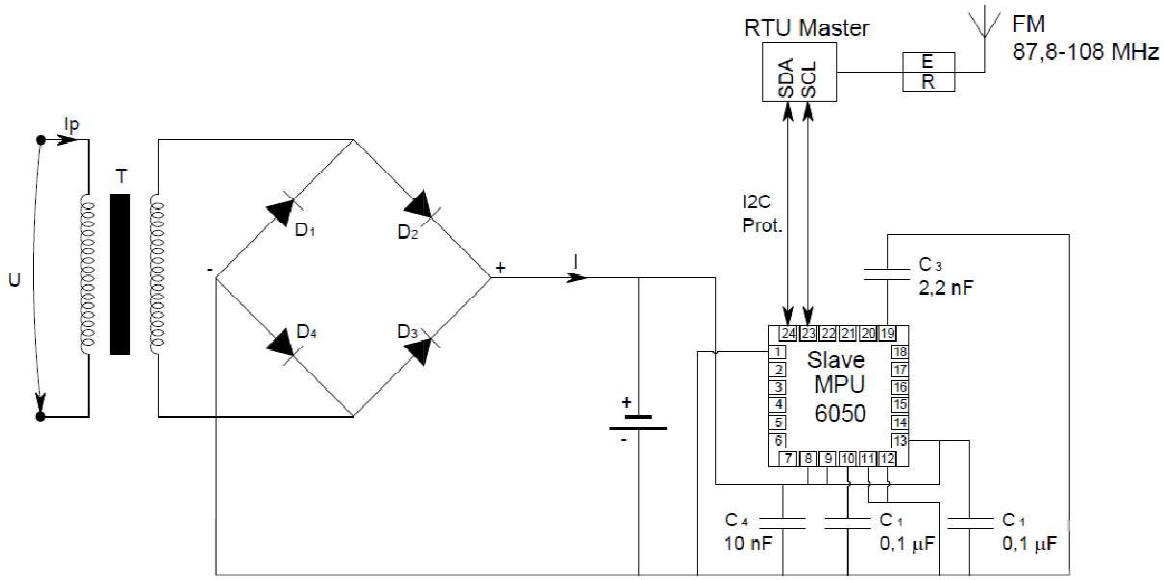


Fig 2. 10. Sistemul de alimentare al sistemului de izolare a defectului

2.4. Concluzii

Protecția maximală este prezentă în cadrul rețelelor electrice, la toate nivelele de tensiune. Prin valorile acesteia setate se protejează liniile electrice atât la suprasarcină cât și în cazul scurtcircuitelor.

Este protecția care declanșează prima în cazul în care curentul înregistrat pe linie depășește valoarea calculată ca și prag.

Avantajele utilizării protecției maximale dinamice față de protecția maximală în soluție actulă utilizând un prag fix:

- Protecția în timp real a liniei electrice în funcție de curba de capabilitate
- Asigură menținerea în funcțiune a unor linii care în anumite condiții date ar fi declanșat prin setarea unui prag fix, prin aceasta evitându-se întreruperea unor consumatori/producători.
- Identificarea rapidă a defectelor pe linie având în vedere detecția temperaturii maxime pe linia electrică.
- Evită suprasolicitarea conductorului la temperaturi înalte prin protejarea acestuia proporțional cu curba de capabilitate.
- Evitarea începerii unor lucrări de reconductorare sau de construcție a unor noi linii electrice folosind la maxim capacitatea de conducție a liniilor existente.

Serviciile de exploatare din cadrul operatorilor de distribuție își exprimă îngrijorarea cu privire la stâlpii din beton de sustinere ai liniilor aeriene cu tensiunea de 110 kV construite între anii

1950 – 1980. Betonul din care acești stâlpi sunt construiți începe să se deterioreze o dată cu trecerea timpului, slăbind rezistența stâlpului și în cazul unor condiții limită: vânt maxim, vânt simultan cu depuneri de chiciură pot constitui surse pentru avarii prin ruperea acestora. Aceste construcții sunt la capătul duratei lor de viață, dar trebuie monitorizate permanent până vor exista fondurile necesare înlocuirii lor.

O dată cu cerile de racordare ale producatorilor de energie din surse regenerabile, pe stâlpii acestor rețele electrice apar sarcini suplimentare în urma solicitărilor de montare fibră optică pentru comunicația centralei cu dispeceratele si pentru implementarea protecției diferentiale longitudinale pe liniile electrice de distribuție, o cerință actuală pentru liniile elctrice mai scurte de 20 km.

Conductorul de fibra optică poate înlocui conductorul de protecție montat pe vârfurile stâlpilor sau poate fi montat la mijlocul stâlpului, sub consola inferioară.

Ipotezele de mai sus au dat naștere ideeii autorului de a monitoriza stâlpii rețelelor electrice prin montarea unui sistem cu accelerometru, care în cazul depistării timpurie a unei modificări a poziției stâlpului ca urmare a unor loviri violente sau a îmbătrânirii materialului din care este realizat, asigură transmiterea comenzii de declanșare către întrerupătoarele de capăt a liniei.

În analiza de risc realizată au fost identificate trei riscuri, care în cazul producerii lor, aduce după sine pierderi de vieți omenești și distrugerea rețelei. Acest capitol a tratat soluții inovative de minimizare a riscurilor identificate utilizând tehnici de automatizare.

În acest mod sunt evitate riscurile care acționează asupra oamenilor și animalelor din proximitatea stâlpului cu defect și declanșarea liniei nu se mai produce prin protecția homopolară(detectarea contactului cu pământul a conductorului energizat), ci se produce mai rapid prin noul tip de protecție care utilizează accelerometrul și care declanșează linia înainte ca aceasta să atingă pamântul. În cazul unei linii aflate în funcțiune, la defectul căderii unui stâlp și atingerea pamântului a conductoarelor energizate, se produce un vârf a tensiunii de pas care poate afecta viața din jurul zonei până la dispersarea în pământ a curentului electric de defect.

Transmisia impusului de declanșare în sistemul analizat se poate face prin sistemul de fibră optică, prin unde radio sau GSM/GPRS. Energia necesară funcționării sistemului a fost analizată în doua variante: prin alimentarea în curent continuu de la o baterie încarcată prin panouri fotovoltaice sau dintr-o baterie încarcată prin inducție din curentul liniei electrice monitorizate.

Prin implementarea sistemului propus se reduce nivelul riscurilor identificate în analiza de risc la un nivel acceptabil, fără a afecta viața la locul producerii defectului.

Avantajele utilizării sistemului de detecție a înclinării stâlpilor:

- Previne accidente soldate cu morți sau răniți în cazul unui defect

- Identificarea oricărei modificări a înclinării stâlpilor, oferind posibilitatea unei acțiuni de mentenanță preventivă.
- Asigură reducerea costurilor prin monitorizarea stâlpilor, nefiind necesară înlocuirea acestora – în special a stâlpilor din beton la liniile de înaltă tensiune.
- Constituie un precedent și o bază pentru viitoarele dezvoltări ale monitorizării fizice a liniilor electrice aeriene cu costuri minime.

3. EFICIENTIZAREA SISTEMELOR DE DETECȚIE ALE DEFECTELOR CABLURILOR DE DISTRIBUȚIE A ENERGIEI ELECTRICE

3.3. Contribuții în eficientizarea sistemelor de detecție a defectelor cablurilor electrice

Rețelele de cabluri electrice câștigă teren în dauna liniilor electrice aeriene în România și la nivel mondial având în vedere urbanizarea masivă și migrația populației de la sat la oraș. Astfel orașele mari devin metropole cu construcții aglomerate unde necesitatea rețelelor subterane este o necesitate din cauza spațiului îngust rămas liber între clădiri, spațiu pe care rețelele electrice trebuie să îl împartă cu restul utilităților: apă, gaz, canalizare, internet, iluminat etc.

Un defect al unei rețele editare poate afecta una sau mai multe rețele învecinate, depinzând de natura defectului. Din acest motiv se iau măsuri pentru distanțarea rețelelor edilitare la pozarea în șanțuri comune, însă în anumite condiții defavorabile nu este suficient. Monitorizarea traseului cablurilor electrice, pentru a idenfica cu resurse cât mai puține și cât mai precis locul unui defect este cheia pentru reducerea numărului de întreruperi și reducerea duratei întreruperilor.

În prezent cablurile se protejează în nisip, tuburi PVC înglobate în beton la traversări sau canivou de beton în cazul cablurilor de 110 kV, în special pe traseele aglomerate din orașe unde acestea pot fi afectate de utilități vecine sau de lucrări viitoare care pot apărea în zona traseului.

Sistemele de monitorizare a cablurilor pot fi îmbunătățite prin realizarea unor rețele de fibră optică în paralel cu cablurile electrice care să constituie infrastructura de comunicație între senzorii montați pe cablul electric inclusiv la tensiunile mai mici de 110 kV, mai ales dacă tronsonul de cablu este unul foarte important: de exemplu racordul unui spital, legătura pe medie tensiune dintre două stații electrice, alimentarea unei stații de incendiu etc.

Propunerea autorului este de a împărți tronsonul de cablu pe tronsoane mai mici care să fie monitorizate individual și să aducă mai multe informații din teren pentru personalul operativ care în cazul unui defect poate restrânge zona de căutări, identifica și remedia rapid defectul și relua alimentarea cu energie electrică în cel mai scurt timp, informații detaliate pe larg în subcapitolele 3.3.1 și 3.3.2.

3.3.1. Metodă de detecție a defectelor cablurilor electrice cu senzori inductivi de curent

Monitorizarea pe tronsoane este o idee care prevede monitorizarea curentului homopolar pe cablul studiat în mai multe puncte. Având la dispoziție mai multe măsurători realizate în același moment, în cazul unui defect pot fi analizate și în funcție de nivelul curentului homopolar, releul de protecție din stația de capăt să poată estima lungimea față de releu unde a avut loc defectul.

Tehnologia senzorilor amplasați pe cablul electric va fi inductivă, aceștia putând măsura curentul pe cablu prin inducție electromagnetică. Există senzori inductivi cu transmitere a informațiilor direct pe fibră optică – figura 3.1.

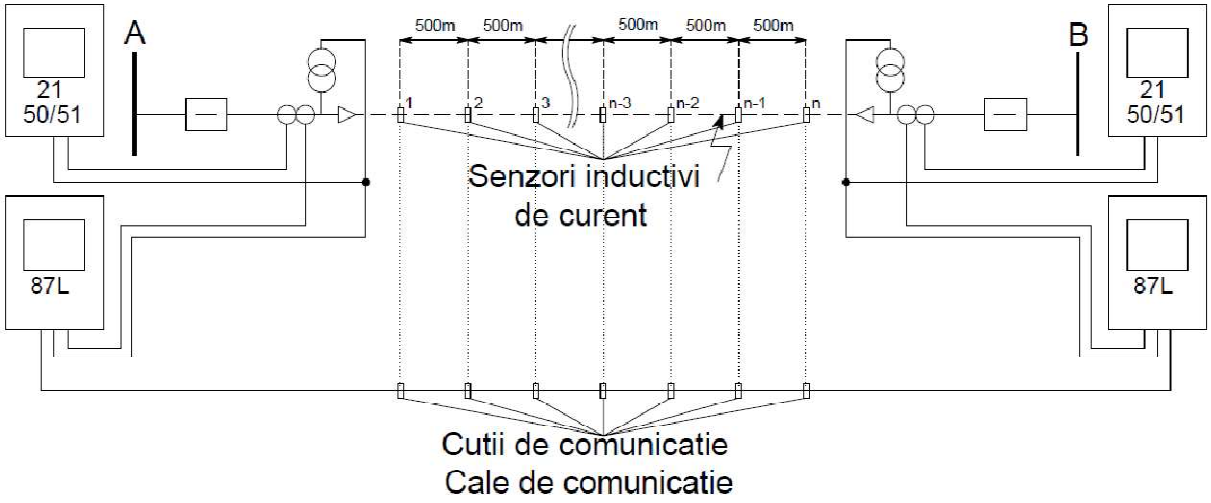


Fig 3. 1. Monitorizarea liniilor in cablu cu senzori inductivi

Fiecare sistem care va monitoriza cablul va folosi o pereche din fibra optică, astfel că în stația de transformare din care se alimentează cablul se vor aduna informații din fiecare punct monitorizat al cablului electric conform figurii 3.1.

Punctul monitorizat care indică cel mai mare curent va indica locul cel mai aproape de defect. Punctele de monitorizare se pot instala la 500m sau 1000 m în funcție de necesități și buget. Perechile de fibră optică prin care se face monitorizarea cablului electric sunt diferite față de perechea de fibră optică pe care se realizează comunicația pentru protecția diferențială pe cablu, dacă aceasta este implementată.

3.3.2. Metodă de detecție a defectelor cablurilor electrice cu bucle alimentate prin inducție

Acest sistem de monitorizare analizează informațiile achiziționate de pe tronsoane, însă transmiterea informației se realizează utilizând o buclă de inducție pentru fiecare tronson de cablu. Informația este convertită pentru transmitere pe infrastructura de fibră optică cu ajutorului unor LED-urilor care sunt alimentate de tensiunea indusă în conductorul de alimentare, prin montajul acestui sistem la distanțe de cca 0,5-1km pe traseu de cablu, informațiile fiind centralizate în stația care alimentează cablul electric.

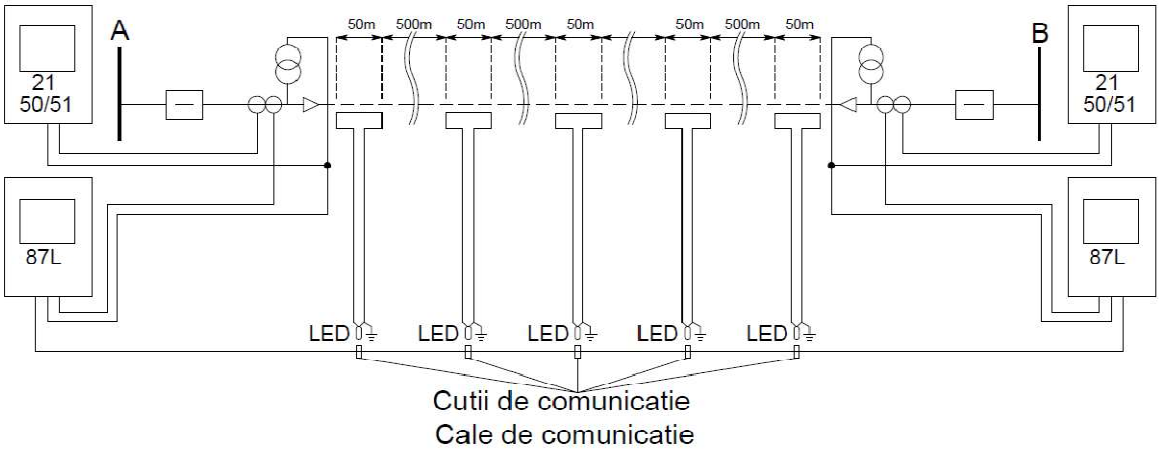


Fig 3. 2. Monitorizarea liniilor in cablu cu bucle de inducție

Schema de principiu a acestui sistem este prezentată în figura 3.2 unde se pot observa buclele de inducție care sunt amplasate în paralel cu cablul electric pe o distanță de 50 m. Conform normativelor de specialitate curentul indus de cablul electric asupra unui cablu de telecomunicații se calculează cu următoarea formulă[20].

$$E = Z_c \cdot L \cdot K_c \cdot K_i \cdot I_c[V] \tag{3.1}$$

Unde

Z_c - este impedanța mutuală dintre cablul electric și cablul de semnalizare – cca 250 mΩ/km.

L - lungimea pe care cele două cabluri sunt paralele. S-a luat în calcul 50 m.

K_c – factor de reducere al cablului electric. În regim normal este 1.

K_i - factor de reducere al cablului de semnalizare. În regim normal este 1.

I_c - curentul care circulă prin cablul electric – între 0 și 250A.

Tensiunea electromotoare indusă în cablul de semnalizare este direct proporțională cu curentul care circulă prin cablul electric. Impedanța mutuală s-a calculat în funcție de rezistivitatea solului și distanța dintre cele două cabluri conform SR 832/2008[20]. Tensiunea indusă este o tensiune alternativă, astfel că pentru a putea semnaliza cu LED-ul pe canalul de fibră optică, aceasta trebuie redresată conform schemei din figura 3.3.

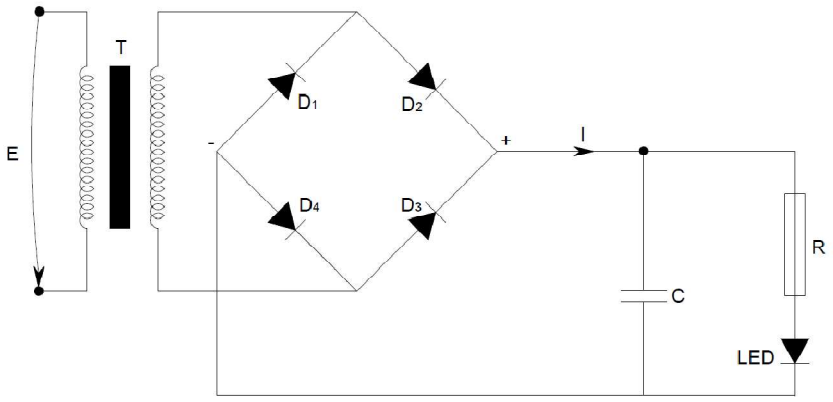


Fig 3. 3. Schema de redresare tensiune indusă

La locul de defect curentul de scurtcircuit va avea valori de ordinul miilor de amperi. Valoarea curentului de scurtcircuit monofazat și bifazat cu pământul sunt cunoscute operatorului cablului electric. De exemplu pentru 6 kA, tensiunea indusă este 75 V. Astfel se pot calcula valoarea transformatorului și rezistenței pentru ca tensiunea aplicată LED-ului să se situeze în jurul valorii de 3V și să poată semnaliza în statia de capăt existența unui defect pe traseul cablului monitorizat.

3.4. Concluzii

Cablurile câștigă din ce în ce mai mult teren pentru înlocuirea rețelelor aeriene de distribuție din zona orașelor mari în dauna liniilor aeriene care în aglomerații pot deveni un real pericol și au o zonă de siguranță mult mai mare[21].

Prezintă avantaje prin spațiul mic ocupat în teren și prin zona de siguranță mică impusă pentru protecția acestora, dar prezintă și dezavantaje prin curentul capacitiv mai mare decât la o linie aeriană introdus în rețea, capacitatea de conducție mai mică la aceeași secțiune și depistarea mai greoaie a defectelor.

Cablurile sunt de obicei montate în zone cu aglomerații de rețele edilitare și trebuie monitorizate pentru a fi detectate de investițiile ulterioare montării lor.

Pentru rețelele de cabluri există sisteme de monitorizare a traseului cu markere electronice, prezentat și în cadrul acestei documentații. Există sisteme de defectoscopie care detectează tensiunea de pas de la nivelul suprafeței solului în zona în care a avut loc defectul, dar este necesară alimentarea defectului ceea ce creează posibilitatea extinderii defectului sau afectării fazelor funcționale.

În prezenta documentație s-a propus realizarea unor sisteme de detecție mai ușoară a defectelor pe cablurile electrice, încă de la momentul producerii, transmițând către camera de comandă a unor informații care să ajute personalul operativ să restrângă zona de căutare a defectului.

În vederea reducerii riscului de a apărea defecte pe cabluri din cauza izolației slabite sau a deteriorării mantalei exterioare din timpul montajului, se recomandă să se realizeze mentenanță preventivă pentru cablurile electrice, prin testarea anuală conform normativelor de specialitate.

4. ÎMBUNĂTĂȚIREA SISTEMELOR DE AUTOMATIZARE DIN STAȚIILE DE TRANSFORMARE

4.3. Efficientizarea automatizăriilor din stațiile electrice de transformare

4.3.1. Aplicație pentru verificarea punerii în paralel a transformatoarelor cu caracteristici tehnice diferite

În urma prezentării din subcapitolele 4.3.1.1. si 4.3.1.2. se poate întocmi tabelul nr. 4.1 în care sunt sintetizate caracteristicile și consecințele punerii în paralel a transformatoarelor în funcție de diferențele dintre parametrii nominali: puterea aparentă, raportul de transformare și tensiunea de scurtcircuit.[26]

Tabel 4.1 – Punerea în paralel a transformatoarelor

Punerea în paralel a transformatoarelor		Consecințe			Se recomandă punerea în paralel
		Încărcarea egală a transformatoarelor	Supraîncărcări	Curent de egalizare	
$K_{Ta} = K_{Tb}$ $u_{sca} = u_{sca}$	$S_a = S_b$	Da	Nu	Nu	Da
	$S_a \neq S_b$	Nu	Nu	Nu	Da
$K_{Ta} = K_{Tb}$ $u_{sca} \neq u_{sca}$	$S_a = S_b$	Da	Da	Nu	Da
	$S_a \neq S_b$	Da	Da	Nu	Da
$K_{Ta} \neq K_{Tb}$ $u_{sca} \neq u_{sca}$	$S_a = S_b$	Da	Da	Da	Nu
	$S_a \neq S_b$	Da	Da	Da	Nu

Utilizând datele din tabelul nr. 4.1 se poate realiza un program în limbajul de programare C++ care să verifice condițiile de punere în paralel a transformatoarelor și să returneze o concluzie imediată după introducerea datelor de intrare ale transformatoarelor. Programul este prezentat în anexa 4.

4.3.2. Metodă de detecție a defectelor din rețelele electrice de medie tensiune utilizând tehnici Fuzzy

Sistemul expert care va utiliza logica Fuzzy, ca inteligență artificială pentru detecția punerilor la pământ pe barele unei stații de transformare este constituit din mai multe seturi de reguli și variabile pentru diferite mărimi care intervin în funcționarea unei linii electrice – prezentate în tabelul nr. 4.1 variabilele de curent trebuie definite pentru fiecare linie în parte.

Tabel 4. 1 - Tabel cu intrările și ieșirile luate în considerare pentru sistemul Fuzzy

Reguli	Variabile de intrare								Variabile de iesire
	I_1	I_2	I_3	I_0	V_1	V_2	V_3	V_0	Stare
1.	N	N	N	N	N	N	N	N	FN
2.	H	N	N	H	L	H	H	H	L1-G
3.	N	H	N	H	H	L	H	H	L2-G
4.	N	N	H	H	H	H	L	H	L3-G
5.	H	H	N	H	L	L	H	H	L1,2-G
6.	H	N	H	H	L	H	L	H	L1,3-G
7.	N	H	H	H	H	L	L	H	L2,3-G
8.	H	H	N	H	L	L	N	H	L1,2
9.	H	N	H	H	L	N	L	H	L1,3
10.	N	H	H	H	N	L	L	H	L2,3
11.	H	H	H	H	L	L	L	L	L1,2,3

Unde N – valoare normală
L – valoare mică
H – valoare mare
I_1 – curentul pe faza L1
I_2 – curentul pe faza L2
I_3 – curentul pe faza L3
I_0 – curentul homopolar
V_1 – tensiunea de linie L1
V_2 – tensiunea de linie L2
V_3 – tensiunea de linie L3
V_0 – tensiunea homopolară

FN – funcționare normală
L1 – G – Defect monofazat L1
L2 – G – Defect monofazat L2
L3 – G – Defect monofazat L3
L1,2 – G – Defect bifazat cu pământul L1, L2
L1,3 – G– Defect bifazat cu pământul L1, L3
L2,3 – G– Defect bifazat cu pământul L2, L3
L1,2 – Defect bifazat L1, L2
L1,3 – Defect bifazat L1, L3
L2,3 – Defect bifazat L2, L3
L1,2,3 – Defect trifazat

Definirea funcțiilor de apartenență se vor determina pentru fiecare variabilă în parte. Se va defini utilizând sistemul Mamdani atât pentru variabilele de intrare, cât și pentru cele de ieșire. Variabilele de intrare sunt curentul de pe fiecare fază, curentul homopolar, tensiunile de linie și tensiunea homopolară. Pentru toate aceste intrări se definesc trei niveluri de aproximare.[29,30]

L – valoare mică – [-0,5 0 0,5]
N – valoare normală – [0 0,5 1]
H – valoare mare – [0,5 1 1,5]

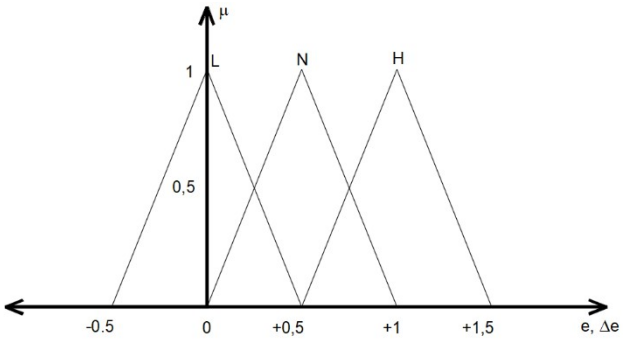


Fig 4. 1. Variația intrărilor pentru sistemul Fuzzy

Variabilele de ieșire sunt tipurile de defect ale liniei electrice pentru care se definesc următoarele intervale pentru funcțiile de apartenență și conform figurii nr.4.2:

L1-G – defect monofazat faza L1 [-0,125 0 0,125]
L2-G – defect monofazat faza L2 [0 0,125 0,25]
L3-G – defect monofazat faza L3 [0,125 0,25 0,375]

L1,2-G – defect bifazat cu pământul fazele L1, L2 [0,25 0,375 0,5]
L1,3-G – defect bifazat cu pământul fazele L1, L3 [0,375 0,5 0,625]
L2,3-G – defect bifazat cu pământul fazele L2, L3 [0,5 0,625 0,75]
L1,2 – defect bifazat fazele L1, L2 [0,625 0,75 0,875]
L1,3 – defect bifazat fazele L1, L3 [0,75 0,875 1]
L2,3 – defect bifazat fazele L2, L3 [0,875 1 1,125]
L1,2,3 – defect trifazat [1 1,125 1,25]

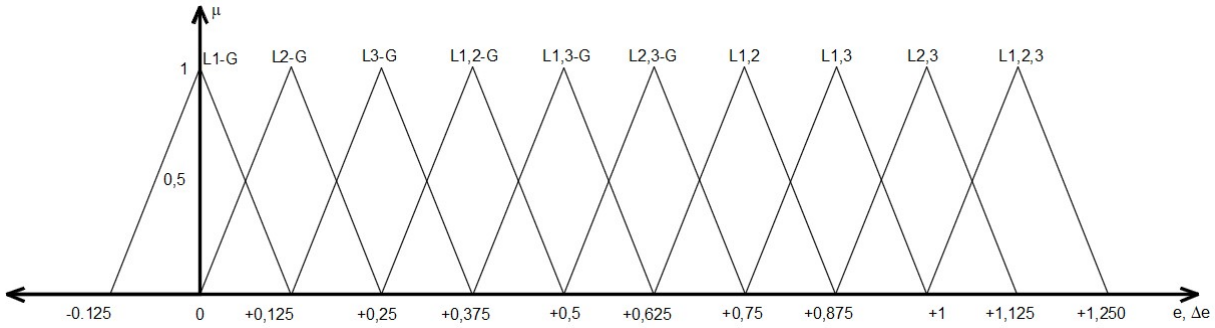


Fig 4. 2. Variația ieșirilor pentru sistemul Fuzzy

Sistemul propus de detecție a punerilor la pământ în rețelele electrice de distribuție a fost simulat cu succes în programul Matlab/Simulink utilizând schema bloc din figura 4.3 [27].

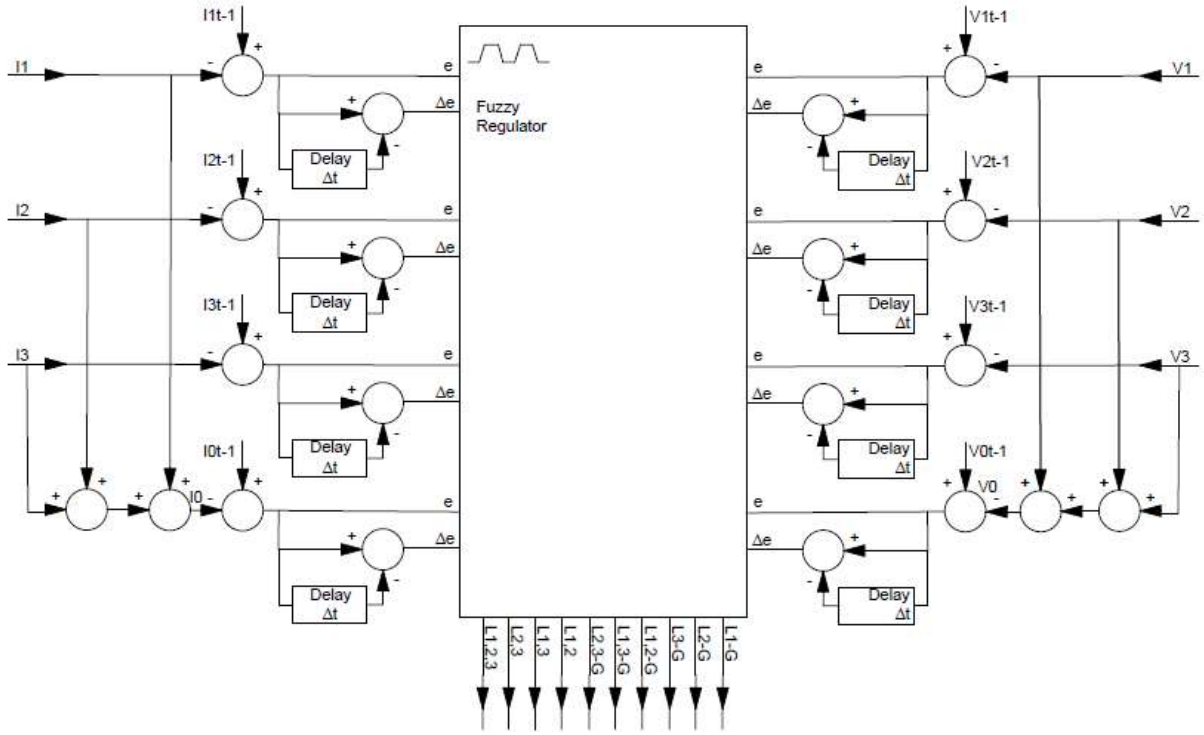


Fig 4. 3. Sistemul Fuzzy pentru detecția defectului pentru o linie electrică

Din librăria programului Simulink s-a folosit Fuzzy Logic Toolbox și Fuzzy Logic Controller, iar pentru proiectarea sistemului de detecție a punerilor la pământ utilizând logica Fuzzy pentru o linie de distribuție, s-a folosit aplicatia din Matlab Fuzzy Logic Design App(fig.4.4).[28]

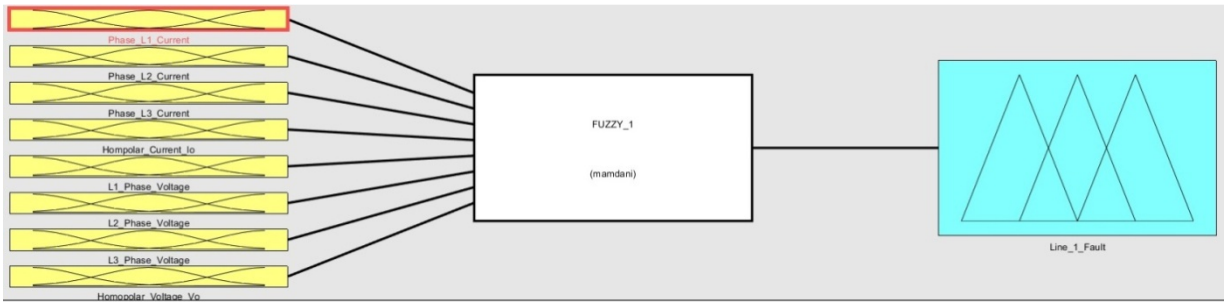


Fig 4. 4. Sistemul Fuzzy pentru detectia defectului pentru o linie electrică

S-au declarat 8 funcții de intrare corespunzătoare curenților, tensiunilor, curentului și tensiunii homopolare. Pentru valorile intrărilor au fost create reguli pentru sistemul Fuzzy pentru activarea funcțiilor de ieșire care sunt reprezentate prin tipul de defect identificat.
Regulile implementate în cazul simulării sistemlui în programul Simulink pentru o linie electrică sunt următoarele:

1. ***Daca*** I_1 *este „H”* ***si*** I_2 *este „N”* ***si*** I_3 *este „N”* ***si*** I_0 *este „H”* ***si*** V_1 *este „L”* ***si*** V_2 *este „H”* ***si*** V_3 *este „H”* ***si*** V_0 *este „H” atunci defectul este L1-G.*
2. ***Daca*** I_1 *este „N”* ***si*** I_2 *este „H”* ***si*** I_3 *este „N”* ***si*** I_0 *este „H”* ***si*** V_1 *este „H”* ***si*** V_2 *este „L”* ***si*** V_3 *este „H”* ***si*** V_0 *este „H” atunci defectul este L2-G.*
3. ***Daca*** I_1 *este „N”* ***si*** I_2 *este „N”* ***si*** I_3 *este „H”* ***si*** I_0 *este „H”* ***si*** V_1 *este „H”* ***si*** V_2 *este „H”* ***si*** V_3 *este „L”* ***si*** V_0 *este „H” atunci defectul este L3-G.*
4. ***Daca*** I_1 *este „H”* ***si*** I_2 *este „H”* ***si*** I_3 *este „N”* ***si*** I_0 *este „H”* ***si*** V_1 *este „L”* ***si*** V_2 *este „L”* ***si*** V_3 *este „H”* ***si*** V_0 *este „H” atunci defectul este L1,2-G.*
5. ***Daca*** I_1 *este „H”* ***si*** I_2 *este „N”* ***si*** I_3 *este „H”* ***si*** I_0 *este „H”* ***si*** V_1 *este „L”* ***si*** V_2 *este „H”* ***si*** V_3 *este „L”* ***si*** V_0 *este „H” atunci defectul este L1,3-G.*
6. ***Daca*** I_1 *este „N”* ***si*** I_2 *este „H”* ***si*** I_3 *este „H”* ***si*** I_0 *este „H”* ***si*** V_1 *este „H”* ***si*** V_2 *este „L”* ***si*** V_3 *este „L”* ***si*** V_0 *este „H” atunci defectul este L2,3-G.*
7. ***Daca*** I_1 *este „H”* ***si*** I_2 *este „H”* ***si*** I_3 *este „N”* ***si*** I_0 *este „H”* ***si*** V_1 *este „L”* ***si*** V_2 *este „L”* ***si*** V_3 *este „N”* ***si*** V_0 *este „H” atunci defectul este L1,2.*
8. ***Daca*** I_1 *este „H”* ***si*** I_2 *este „N”* ***si*** I_3 *este „H”* ***si*** I_0 *este „H”* ***si*** V_1 *este „L”* ***si*** V_2 *este „N”* ***si*** V_3 *este „L”* ***si*** V_0 *este „H” atunci defectul este L1,3.*
9. ***Daca*** I_1 *este „N”* ***si*** I_2 *este „H”* ***si*** I_3 *este „H”* ***si*** I_0 *este „H”* ***si*** V_1 *este „N”* ***si*** V_2 *este „L”* ***si*** V_3 *este „L”* ***si*** V_0 *este „H” atunci defectul este L2,3.*
10. ***Daca*** I_1 *este „H”* ***si*** I_2 *este „H”* ***si*** I_3 *este „H”* ***si*** I_0 *este „H”* ***si*** V_1 *este „L”* ***si*** V_2 *este „L”* ***si*** V_3 *este „L”* ***si*** V_0 *este „L” atunci defectul este L1,2,3.*

În cazul unui defect pe bara de medie tensiune a stației electrice, sistemul Fuzzy poate analiza curenții și tensiunile de pe fiecare linie, identificând în foarte scurt timp linia cu defect.
Din setul de reguli detaliate mai sus și aplicate în programul de calcul Simulink în toate scenariile prezentate în tabelul nr 4.2, rezultatele fiind un succes, se prezintă rezultatul identificării pentru un defect monofazat (regula 2) pe o linie pe fază mediană în figura 4.5.[27,28].

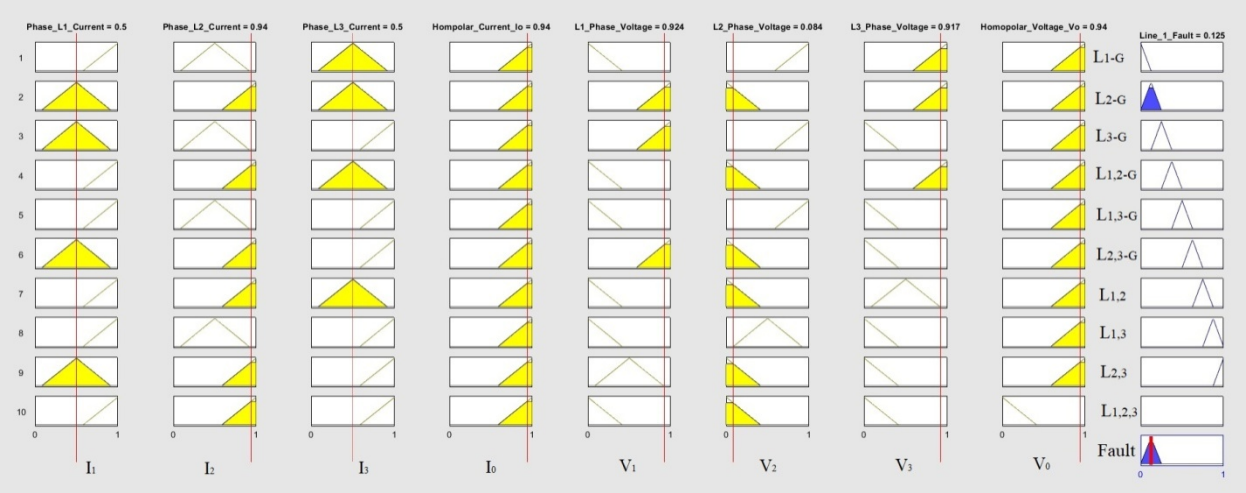


Fig 4. 5. Rezultatele simulării pentru defect pe faza mediană

4.4. Concluzii

Metoda admitanței și injecției de curent pentru detecția punerilor la pământ în rețelele de medie tensiune tratate cu bobină de stingere are rezultate foarte bune când măsurarea curentului și tensiunii se face cu precizie.
Dacă măsurătorile sunt fără acuratețe, sistemul nu va funcționa, deoarece, în cazul unei erori mari datorate curentului mic de punere la pământ în rețelele electrice tratate cu bobină de stingere. Un exemplu de măsurătoare inexactă poate fi înregistrată cu un filtru Holmgreen având un curent nominal mare în raport cu curentul de defect, cu alte cuvinte, un transformator hompololar incorect dimensionat.
Sistemul Fuzzy nu are acest neajuns, deoarece detecția se realizeaza în mai mulți pași prin aproximarea/ valorilor de intrare, astfel că detecția se face cu precizie, fără a permite declașari eronate.
Sistemele Fuzzy inteligente pot fi folosite cu succes în acest caz cu rezultate superioare metodei clasice de detecție(metoda admitanței și injecției de curent), deoarece, prin utilizarea valorilor ambigue măsurate prin aproximări mic, mare, mediu pentru tensiunile și curenții din sistem, pot fi luate decizii similare cu ale unui operator uman care este prezent în stație în cazul unui defect, dar într-un termen mult mai scurt.

5. STABILITATEA TENSIUNII ÎN REȚELELE DE DISTRIBUȚIE A ENERGIEI ELECTRICE

5.3. Contribuții prin automatizări în stabilitatea rețelelor electrice

Analizând în subcapitolul anterior modul în care se determină stabilitatea tensiunii în nodurile unei rețele electrice și nevoia de a regla tensiunea din noduri pentru a menține starea stabilă a rețelei electrice, în prezentul subcapitol autorul dorește să aducă aportul la reglajul tensiunii din noduri utilizând bucle de reglaj și studierea stabilității tensiunii dintr-o rețea de distribuție la care au fost racordați producători printr-un studiu de caz.

5.3.1. Metodă de reglare automată a puterii și tensiunii în rețelele electrice

Sistemul de reglare automată a tensiunii și puterii în rețelele de distribuție a energiei electrice va utiliza logica Fuzzy pentru a realiza comanda unui generator montat într-un punct al rețelei pentru a genera sau absorbi putere activă sau reactivă.
Schema bloc de reglaj implementată în programul Simulink este prezentată mai jos în fig. 5.1 și reprezintă principial modul de reglare al tensiunii și puterii reactive din rețea.

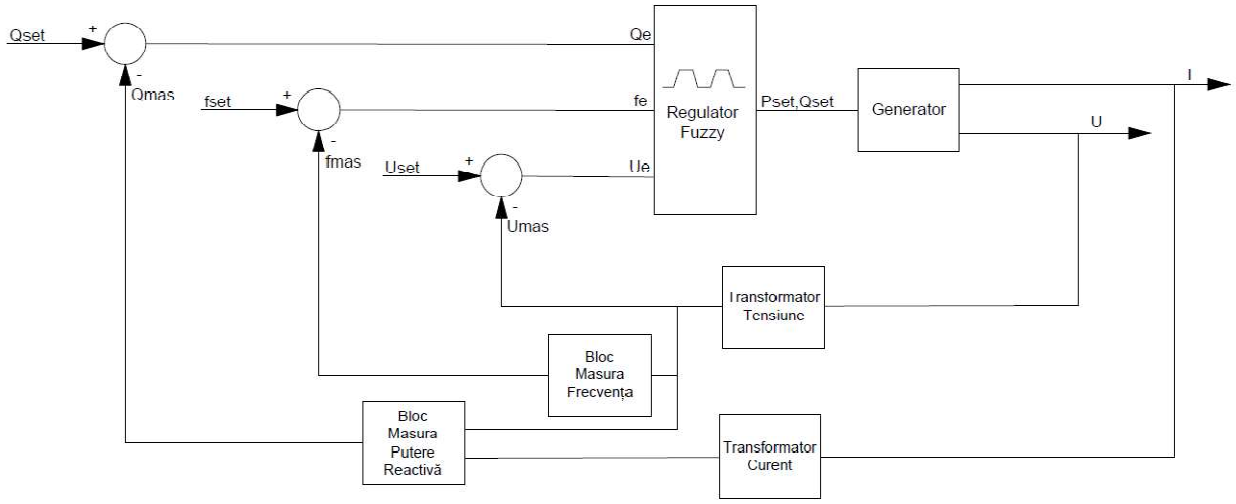


Fig 5. 1. Schema bloc de reglare automata a tensiunii prin variatia puterii reactive

Regulatorul de tensiune utilizează logica Fuzzy pentru a menține valoarea tensiunii în jurul unei valori setate de către operator (setpoint) pe baza unor valori măsurate din sistemul energetic, din nodul în care acesta va fi montat.
În sistemul Fuzzy, variabilele de intrare pot lua valori între 0 și 1 și, pe baza regulilor create, se poate determina valorile ieșirilor utilizând aproximări ale valorilor de intrare.
Pentru fiecare intrare, au fost setate 3 niveluri: ”L” – Mic, ”N” – Normal, ”H” – Mare pentru a le putea aproxima și pentru a putea aplica regulile evidențiate în tabelul de mai jos.

Tabel 5. 1 – Reguli pentru regulatorul de tensiune si putere cu Fuzzy

Reguli	Variabile de Intrare			
	f	*Q*	*U*	Stări – Variabile de ieșire
1.	L	L	L	Injecție putere activă (P) și injecție reactivă (Qcap)
2.	L	L	N	Injecție putere activă (P)
3.	L	L	H	Injecție putere activă (P) și absorbție reactivă (Qind)
4.	L	N	L	Injecție putere activă (P) și injecție reactivă (Qcap)
5.	L	N	N	Injecție putere activă (P)
6.	L	N	H	Injecție putere activă (P) și absorbție reactivă (Qind)
7.	L	H	L	Injecție putere activă (P) și injecție reactivă (Qcap)
8.	L	H	N	Injecție putere activă (P)
9.	L	H	H	Injecție putere activă (P) și absorbție reactivă (Qind)
10.	N	L	L	Injecție putere reactivă (Qcap)
11.	N	L	N	Funcționare normală
12.	N	L	H	Absorbție putere reactivă (Qind)
13.	N	N	L	Injecție putere reactivă (Qcap)
14.	N	N	N	Funcționare normală
15.	N	N	H	Absorbție putere reactivă (Qind)
16.	N	H	L	Injecție putere reactivă (Qcap)
17.	N	H	N	Funcționare normală
18.	N	H	H	Absorbție putere reactivă (Qind)
19.	H	L	L	Absorbție putere activă (P) și injecție reactivă (Qcap)
20.	H	L	N	Absorbție putere activă (P)
21.	H	L	H	Absorbție putere activă (P) și absorbție reactivă (Qind)
22.	H	N	L	Absorbție putere activă (P) și injecție reactivă (Qcap)
23.	H	N	N	Absorbție putere activă (P)
24.	H	N	H	Absorbție putere activă (P) și absorbție reactivă (Qind)
25.	H	H	L	Absorbție putere activă (P) și injecție reactivă (Qcap)
26.	H	H	N	Absorbție putere activă (P)
27.	H	H	H	Absorbție putere activă (P) și absorbție reactivă (Qind)

Definirea funcțiilor de apartenență se vor determină pentru fiecare variabilă în parte. Se va defini utilizând sistemul Mamdani atât pentru variabilele de intrare cât și pentru cele de ieșire. Variabilele de intrare sunt frecvența, puterea reactivă și tensiunea. Pentru toate aceste variabile de intrare se definesc trei niveluri de aproximare.[29,30]

L – valoare mică – [-0,5 0 0,5]

N – valoare normală – [0 0,5 1]

H – valoare mare – [0,5 1 1,5]

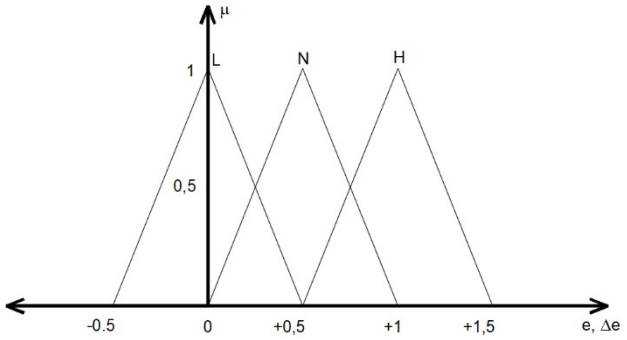


Fig 5. 2. Variația intrărilor pentru sistemul Fuzzy

Variabilele de ieșire sunt comenzile pentru creșterea/descreșterea puterii active, respectiv creșterea/descreșterea puterii reactive pentru care se definesc următoarele intervale pentru funcțiile de apartenență și conform figurii nr. 5.3:

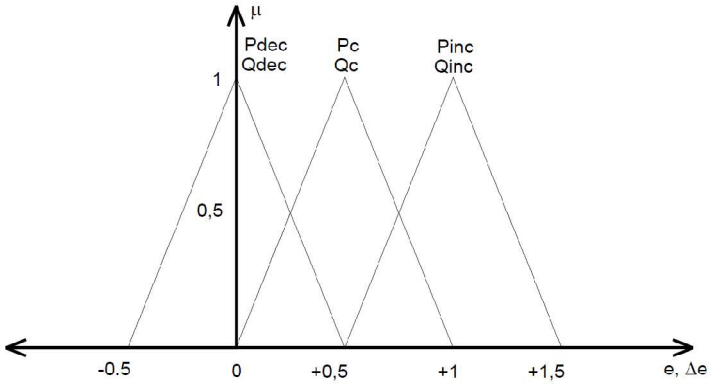


Fig 5. 3. Funcțiile de ieșire pentru sistemul Fuzzy

5.3.2. Aplicație pentru verificarea stabilității tensiunii din rețelele electrice de distribuție la racordarea surselor de producție regenerabile (studiu de caz)

Rețeaua aleasă pentru acest studiu de caz este o rețea electrică de distribuție din zona Brașov a unui parc industrial. Aceasta este compusă din 10 posturi de transformare 20/0,4 kV cu puteri între 1000 și 1600 kVA conform schemei din fig. 5.4. Alimentarea rețelei de alimentare se realizează printr-o rețea buclată cu funcționare radială din două stații de transformare 110/20 kV.

Pentru un operator de distribuție, care are în gestiune această rețea și este obligat de legea energiei nr. 123/2012 să acorde accesul utilizatorilor (producători sau consumatori) la rețeaua de distribuție, este important să cunoască rețeaua și capacitatea sa de distribuție precum și stabilitatea tensiunii din rețea pentru a nu da accesul unor utilizatori care prin funcționarea lor pot aduce rețeaua în colaps [52].

Calculele pentru circulația de puteri și pentru stabilitatea au fost realizate în programul NEPLAN luând în calcul 6 valori proprii a matricei sistemului J_R pentru puterea reactivă. În funcție de cele 6 valori proprii ale matricei sistemului au fost calculați factorii de participare ai

posturilor de transformare la reglajul puterii reactive și sensibilitatea posturilor de transformare la variația puterii reactive din sistem.

Au fost analizate trei scenarii, situația existentă în condițiile unui consum minim, unul în care cererea de consum este maximă și al doilea în care există cerere pentru producție maximă ca urmare a instalării de surse regenerabile de energie.[51].

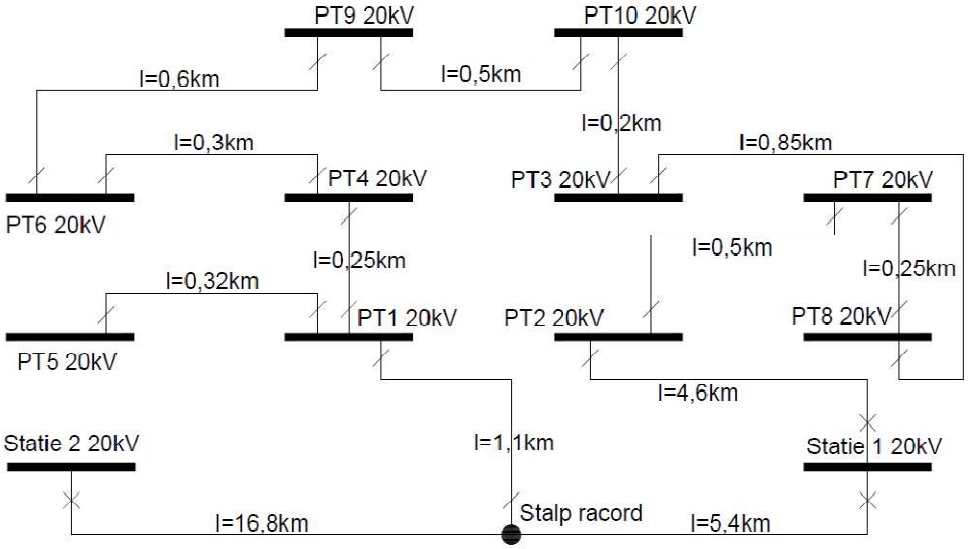


Fig 5. 4. Schema rețelei electrice analizate

Puterea instalată in transformatoarele este indicată in tabelul nr. 5.2 de mai jos.

Tabel 5. 2– Puteri instalate in transformatoare in rețeaua studiată si legenda grafice

Nr.	Nod	P instalat	Nr.	Nod	P instalat
crt.	Nume	kVA	crt.	Nume	kVA
1	PT1	1x1600	8	PT6	1x1250
2	PT2	1x1600	9	PT7	1x1000
3	PT3	1x1600	10	PT8	2x1000
4	PT4	1x1600	11	PT9	1x1000
5	PT5	1x1600	12	PT10	1x1250

5.3.2.3. Stabilitatea tensiunii în condițiile unei producții maxime

Acest scenariu corespunde unei situații ipotetice a rețelei când se vor instala producători din surse regenerabile, iar producția din posturi va fi maximă. Încărcările pe posturile de transformare sunt figurate în tabelul de mai jos [51].

Tabel 5. 3 – Sarcina din rețeaua 20 kV in condițiile unei producții maxime

Nr.	Nod	U	u	Unghi U	P Consum	Q Consum	P Generat	Q Generat
crt.	Nume	kV	%	°	MW	MVAr	MW	MVAr
1	Statie 1 20 kV	21	100	0	7,229	1,854	0	0
2	PT1	21,413	101,96	0,5	0,928	0,477	1,4	0,46
3	PT2	21,242	101,15	0,3	0,576	0,296	1,4	0,46
4	PT3	21,344	101,64	0,4	0,64	0,329	1,4	0,46
5	PT4	21,408	101,94	0,5	0,256	0,131	1,4	0,46
6	PT5	21,417	101,98	0,5	0,256	0,131	1,4	0,46
7	PT6	21,399	101,9	0,5	0,32	0,164	1	0,329
8	PT7	21,277	101,32	0,4	0,288	0,148	0,9	0,296
9	PT8	21,294	101,4	0,4	0,384	0,197	0,9	0,296
10	PT9	21,376	101,79	0,5	0,32	0,164	0,9	0,296
11	PT10	21,354	101,69	0,4	0,384	0,197	1	0,329

S-a realizat analiza de sensibilitate a barelor posturilor trafo la variația puterii reactive din rețeaua electrică. Rezultatele sunt reprezentate in graficul din fig. 5.5.

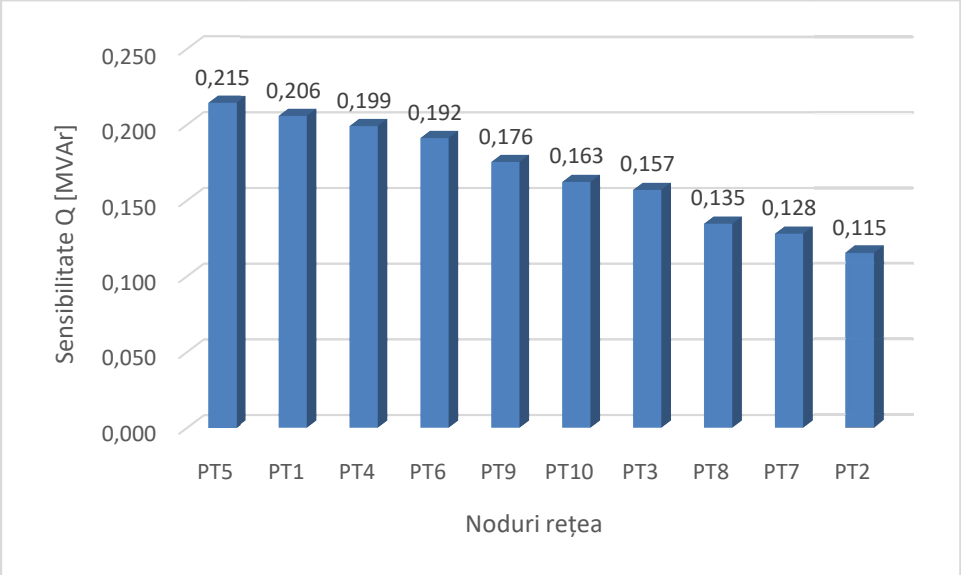


Fig 5. 5. Sensibilitatea nodurilor la variația puterii reactive – producție maximă

Factorii de participare la reglajul puterii reactive si tensiunii din sitem sunt reprezentați in tabelul de mai jos.

Tabel 5. 4 – Factorii de participare ai nodurilor rețelei in condițiile unei producții maxime

Nr.	Factorii de participare ai nodurilor la reglajul puterii reactive in conditiile consumului maxim											
Crt	0,618		9,451		32,742		83,786		113,232		164,763	
1	PT5	0,127	PT2	0,197	PT10	PT9	PT9	0,273	PT2	0,435	PT9	0,496
2	PT1	0,126	PT7	0,191	PT3	PT4	PT4	0,260	PT8	0,300	PT4	0,142
3	PT4	0,123	PT8	0,163	PT2	PT3	PT3	0,112	PT7	0,095	PT3	0,129
4	PT6	0,120	PT5	0,139	PT9	PT5	PT5	0,112			PT5	0,125
5	PT9	0,110	PT1	0,116	PT5	0,104	PT2	0,091				
6	PT10	0,100	PT4	0,087	PT7	0,074	PT4	0,061				
7	PT3	0,095	PT6	0,046	PT1	0,052						
8	PT8	0,075	PT3	0,041								
9	PT7	0,069										
10	PT2	0,056										

Diagramele tensiune – putere reactivă (U-Q) si diagrama putere activa – tensiune (P-U) pentru scenariul producției maxime sunt reprezentate in figurile de mai jos.

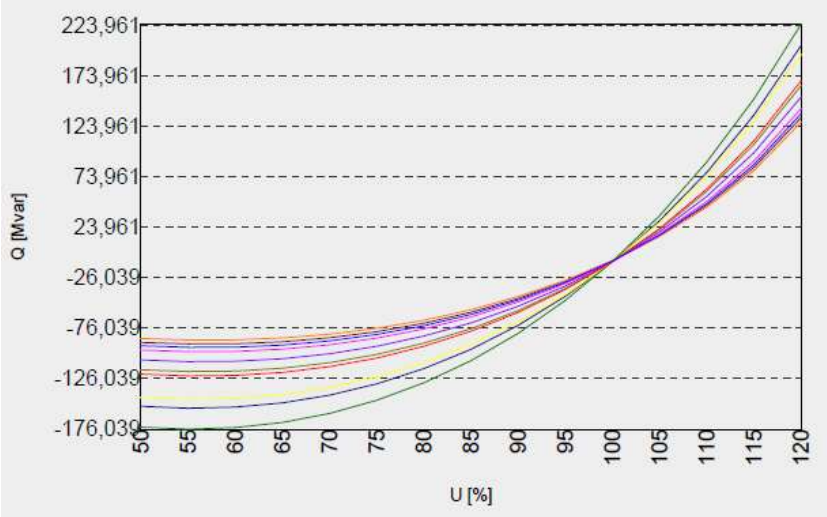


Fig 5. 6. Diagrama U-Q in scenariul producție maximă

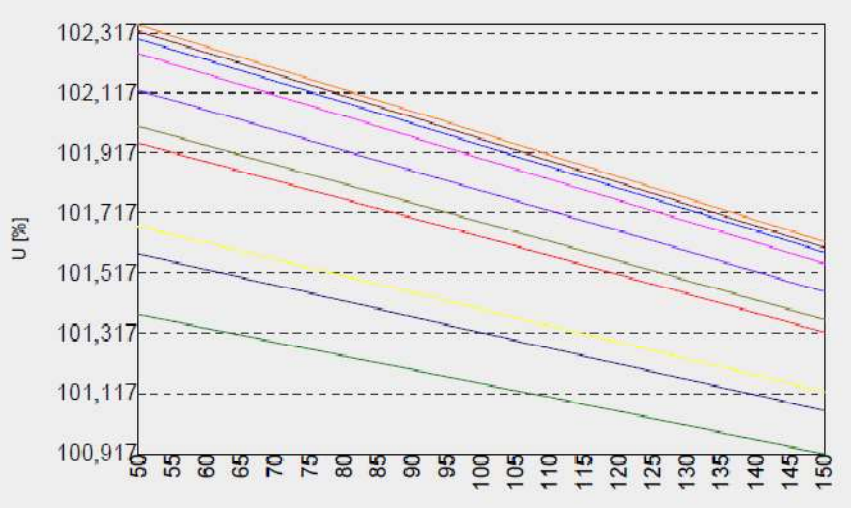


Fig 5. 7. Diagrama P-U in scenariul producție maximă

5.4. Concluzii

Stabilitatea tensiunii în rețelele electrice este un factor foarte important pentru siguranța în alimentare a consumatorilor. Valorile efective ale tensiunii mediate pe 10 minute trebuie să se gasească în intervalul +5%/-10% din tensiunea nominală pentru 95% din valori și în intervalul +10%/-15% din tensiunea nominală pentru toate valorile efective ale tensiunii conform standardului de performanță în domeniul distribuției energiei electrice [23].

Au fost realizate simulări în programe specializate pornind de la înregistrările consumului actual, dar luând în considerare ambele scenarii de dezvoltare ale parcului industrial și anume: preponderent consumator prin dezvoltarea sistemului de hale de producție și adăugarea de noi consumatori până la atingerea unui consum maxim sau preponderent producător de energie electrică prin adăugarea de generatoare din surse regenerabile de energie electrică, în special panouri fotovoltaice.

Simulările au relevat că variația tensiunilor din noduri indiferent de scenariul simulat oscilează în intervalul +2%/-3%, astfel că valorile sunt în parametrii ceruți de standardul de performanță în domeniul distribuției energiei electrice. Având în vedere puterea generatoarelor care susțin sistemul energetic în zona parcului industrial mult mai mare decât puterea din generatoare regenerabile care s-ar putea instala în zona, impactul asupra rețelei de distribuție este minim. Cel mai slab nod este utilmul post de transformare din bucla deschisă de distribuție și anume PT5, este cel mai afectat de varațiiile tensiunii, dar procentul este in jurul valorii de 20% ceea ce este acceptabil. Simulările au arătat că rețeaua de 20 kV este pregătită atăt pentru un consum maxim de cca 8MW, cât și pentru o producție maximă de cca 7MW. La determinarea acestor valori s-a luat în considerare puterea instalată în transformatoare și capacitatea de distribuție a cablurilor de legătură dintre posturile de transformare prin care se face distribuția internă 20 kV.

Este indicat ca utilizatorii din incinta parcului industrial să instaleze generatoare din surse regenerabile deoarece asigură o economie de energie în primul rând prin asigurarea producției locale pentru consum și în al doilea rând pentru a o livra în rețeaua de distribuție.

Prezenta analiză a stabilității tensiunii din prezentul capitol poate constitui un precedent pentru studierea rețelelor inteligente într-un alt capitol al prezentei lucrări în care să se analizeze modul în care se poate regla tensiunea automat în rețelele de distribuție, iar rezultatele simulărilor din acest capitol să reprezinte intrări ale unui sistem automat de reglare a tensiunii și puterii reactive în rețea.

Sistemul Fuzzy pentru reglajul tensiunii poate fi utilizat cu succes în rețelele electrice de distribuție deoarece nu are nevoie de măsurători precise pentru mărimile de intrare pentru a putea activa ieșirile care sunt calculate cu aceeași doză de incertitudine cu care sunt măsurate intrările. Sistemul poate fi folosit în aplicațiile de smartgrid deoarece sistemul se autoadaptează și se autoperfecționează în raport cu mărimile de intrare.

6. SUSTENABILITATEA REȚELELOR DE DISTRIBUȚIE A ENERGIEI ELECTRICE PRIN AUTOMATIZĂRI UTILIZÂND INTELIGENȚA ARTIFICIALĂ

6.3. Eficientizarea procesului de producție a energiei electrice utilizând automatizări

Conceptul SMARTGRID încă este la început de drum în România, fiind la stadiu de proiecție de viitor în care se investește pentru optimizarea fluxului de putere și reducerea consumurilor de energie electrică, iar prin aceasta și nivelul emisilor de carbon rezultate în urma procesului de producție a energiei electrice.

Prin instalarea de automatizări în rețelele de distribuție a energiei electrice se urmărește eficientizarea acestora și creșterea siguranței în alimentare a consumatorilor.

Autorul propune două automatizări pentru funcționarea viitoarelor rețele inteligente din România (SMARTGRID) care utilizează informații transmise prin sistemele SCADA existente în cadrul stațiilor de transformare.

6.3.2. Eficientizarea producției de energie electrică de la surse alternative utilizând tehnici Fuzzy

Suntem în plin proces de înlocuire a generatoarelor cu combustibil fosil (pe bază de cărbune) din sistemul energetic cu generatoare din surse regenerabile de energie. Însă această schimbare vine cu două principale dezavantaje: înlocuirea se face nu în același punct al rețelei de unde s-a oprit generatorul cu combustibil fosil și inerția scăzută mai ales a generatoarelor fotoelectrice.

Primul dezavantaj se concretizează în distanță creată între producător și consumator, care provoacă pierderi de energie activă proporționale cu distanța dintre producător și consumator și pierderi de energie reactivă consumate pentru transportul energiei prin rețelele electrice.

Producătorii pe bază de combustibil fosil au un avantaj major, anume că pot produce energia în bandă, puterea fiind menținută constantă prin încărcarea constantă a camerei de ardere sau în cazul generatoarelor pe gaz prin susținerea unui debit constant de gaz pentru motorul cu ardere internă, pe când producătorii din surse regenerabile nu au această calitate, producția fiind inconstantă și imprevizibilă depinzând de condițiile meteorologice, mai ales generatoarele fotovoltaice. Generatoarele fotoelectrice își pot înjumătăți randamentul în cazul unei zile înnorate în comparație cu o zi senină. Generatoarele eoliene au evoluat foarte mult, în prezent existând turbine eoliene cu puteri până la 7 MW și care pot produce puterea maximă pentru o viteză a vântului de cca 10 m/s.

Dezavantajul surselor regenerabile de tensiune în raport cu generatoarele care au la bază combustibil fosil este inerția generatorului. Cu alte cuvinte, generatoarele pe baza de combustibil fosil sunt mult mai mari și au viteze de rotație mai mari decât a generatoarelor eoliene asigurând o frecvență constantă chiar și în cazul unei declansări până viteza de rotație începe să scadă. Frecvența la generatoarelor rotative este direct proporțională cu viteza de rotație a generatorului și cu numărul de poli.

$$f = \frac{N \cdot p}{60} \tag{6.1}$$

Unde:

f- frecvența rețelei

N – viteza de rotație a rotorului

p – numărul de poli

Generatoarele fotovoltaice nu au inerție deloc, acest lucru însemnând o posibilitate de reglaj mai dificilă a frecvenței în cazul unei declanșări a centralei, mai ales dacă are putere considerabilă.

O desincronizare în masă a unor generatoare fotovoltaice care deservesc o zonă, se poate transforma într-o pană uriașă de curent. De aceea se recomandă ca în fiecare zonă să existe o diversificare a surselor de producție și să se mențină un număr suficient de generatoare rotative (hidro, biomasa, biogaz, eolian, fosil) astfel încât inerția sistemului să fie asigurată.

Având în vedere aceste neajunsuri și necesitatea producerii în bandă a energiei electrice sursele regenerabile au început după anii 2020 să fie dotate cu baterii de stocare cu capacitate similară cu centrala pentru a înmagazina energia și a o putea livra în bandă. Bineînțeles, având un control asupra timpului de încărcare/descărcare a bateriei, se poate vinde energia pe piață în momente mai favorabile când prețul acesteia este mai mare.

Se propune în cele ce urmează studierea și implementarea unui sistem cu logica Fuzzy care să eficientizeze producția de energie electrică și să folosească la maxim capacitatea bateriilor instalate în sistemul energetic în funcție de necesitatea de consum din acea zonă.

Ca mărimi de intrare a sistemului va fi necesarul de putere care poate fi estimat de sistemul inteligent de măsură și inerția sistemului energetic care va fi reprezentată de viteza de variație a frecvenței (*df/dt*). O variație a frecvenței mică asigură informația despre sistem că sunt suficiente generatoare rotative funcționale. O variație a frecvenței mare înseamnă stabilitate scăzută a sistemului și necesitatea de a porni generatoare rotative care asigură o frecvență constantă și o stabilitate crescută. Pentru mărimile de ieșire au fost alese puterea activă generată și tipul de generator utilizat, inclusiv bateriile de stocare.

În sistemul Fuzzy, variabilele de intrare pot lua valori între 0 și 1 și, pe baza regulilor create, se pot determina valorile ieșirilor utilizând aproximări ale valorilor de intrare.

Pentru fiecare intrare, au fost selectate 3 niveluri: "L" – Mic, "N" – Normal, "H" – Mare pentru a le putea aproxima nivelul și pentru a putea aplica regulile evidențiate în tabelul de mai jos.

Tabel 6. 1 – Reguli pentru regulatorul Fuzzy pentru eficientizarea producției

Reguli	Variabile de Intrare		Variabile de Ieșire			Descriere stări sistem
	df/dt	ΔP	P_G	P_R	P_B	
1.	L	L	L	L	L	Absorbție putere activă in baterii
2.	L	N	N	L	N	Injecție putere activă din generatoare regenerabile
3.	L	H	H	L	H	Injecție putere activă din generatoare si baterii
4.	N	L	L	N	L	Absorbție putere activă in baterii si injecție putere activă din generatoare regen
5.	N	N	N	N	N	Injecție putere activă din generatoare regenerabile si rotative
6.	N	H	H	N	H	Injecție putere activă din generatoare si baterii
7.	H	L	L	H	L	Absorbție putere activă in baterii si injectie putre activa din generatoare rotative
8.	H	N	N	H	N	Injecție putere activă din generatoare rotative
9.	H	H	H	H	H	Injecție putere activă din generatoare rotative si baterii

Unde :

N – valoare normală

L – valoare mică

H – valoare mare

df/dt– variația frecvenței sistemului

ΔP – Necesarul de putere activă din sistem

P_G – Injectie de putere din generatoare regenerabile

P_R – Injectie de putere din generatoare rotative

P_B – Injectie de putere din baterii (L-incărcare/H – Injecție)

Definirea funcțiilor de apartenență se vor determina pentru fiecare variabilă în parte. Se va defini utilizând sistemul Mamdani atât pentru variabilele de intrare cât și pentru cele de ieșire. Variabilele de intrare sunt variația frecvenței și necesarul de putere activă. Pentru toate aceste variabile de intrare se definesc trei niveluri de aproximare.[29,30]

L – valoare mică – [-0,5 0 0,5]

N – valoare normală – [0 0,5 1]

H – valoare mare – [0,5 1 1,5]

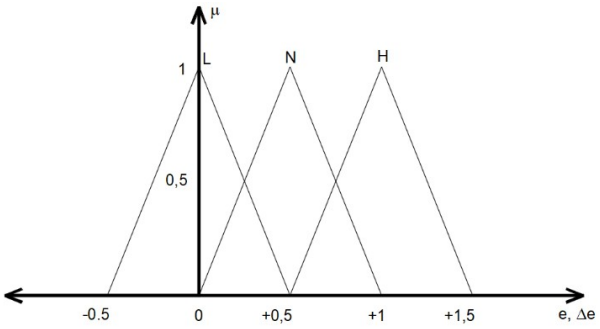


Fig 6. 1. Variația intrărilor pentru sistemul Fuzzy

Variabilele de ieșire sunt comenzile pentru creșterea/descreșterea puterii active, respectiv pornirea diferitelor tipuri de generatoare pentru care se definesc următoarele intervale pentru funcțiile de apartenență și conform figurii 6. 2:

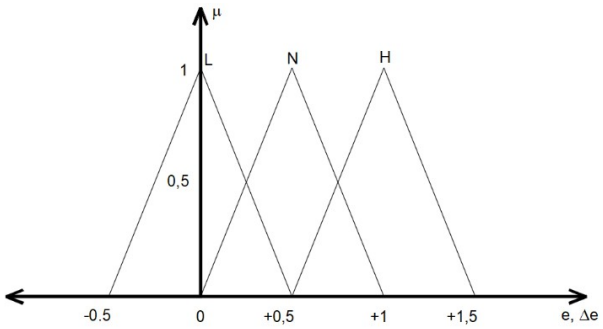


Fig 6. 2. Funcțiile de ieșire pentru sistemul Fuzzy

Sistemul Fuzzy pentru eficientizarea sistemului de distribuție a energiei electrice în ceea ce privește sursele de energie funcționează după următoarele reguli.

11. Dacă $\boldsymbol{df/dt}$ este „L" ***si*** $\boldsymbol{\Delta P}$ este „L", atunci P_G este „L" si P_R este „L" și P_B este „L"
12. Dacă $\boldsymbol{df/dt}$ este „L" ***si*** $\boldsymbol{\Delta P}$ este „N", atunci P_G este „N" si P_R este „L" și P_B este „N"
13. Dacă $\boldsymbol{df/dt}$ este „L" ***si*** $\boldsymbol{\Delta P}$ este „H", atunci P_G este „H" si P_R este „L" și P_B este „H"
14. Dacă $\boldsymbol{df/dt}$ este „N" ***si*** $\boldsymbol{\Delta P}$ este „L", atunci P_G este „L" si P_R este „N" și P_B este „L"
15. Dacă $\boldsymbol{df/dt}$ este „N" ***si*** $\boldsymbol{\Delta P}$ este „N", atunci P_G este „N" si P_R este „N" și P_B este „N"
16. Dacă $\boldsymbol{df/dt}$ este „N" ***si*** $\boldsymbol{\Delta P}$ este „H", atunci P_G este „H" si P_R este „N" și P_B este „H"
17. Dacă $\boldsymbol{df/dt}$ este „H" ***si*** $\boldsymbol{\Delta P}$ este „L", atunci P_G este „L" si P_R este „H" și P_B este „L"
18. Dacă $\boldsymbol{df/dt}$ este „H" ***si*** $\boldsymbol{\Delta P}$ este „N", atunci P_G este „N" si P_R este „H" și P_B este „N"
19. Dacă $\boldsymbol{df/dt}$ este „H" ***si*** $\boldsymbol{\Delta P}$ este „H", atunci P_G este „H" si P_R este „H" și P_B este „H"

În figura 6.3 este reprezentat răspunsul sistemului Fuzzy propus pentru eficientizarea surselor de producție pe criterii legate de mediu, dar și de stabilitate a tensiunii în rețeaua de distribuție a energiei electrice. S-a luat în calcul starea în care variația frecvenței este mare, adică există o stare de instabilitate în sistem și necesarul de putere activă este minim. Atunci sistemul va alege pentru comandă generatoarele cu inerție mare, adică cele rotative, se observa minimul producției din surse regenerabile, maximul producției din generatoare cu inerție mare și surplusul de energie care intervine în rețea ca urmare a necesității de a stabiliza sistemul, va încărca bateriile de acumulatoare.

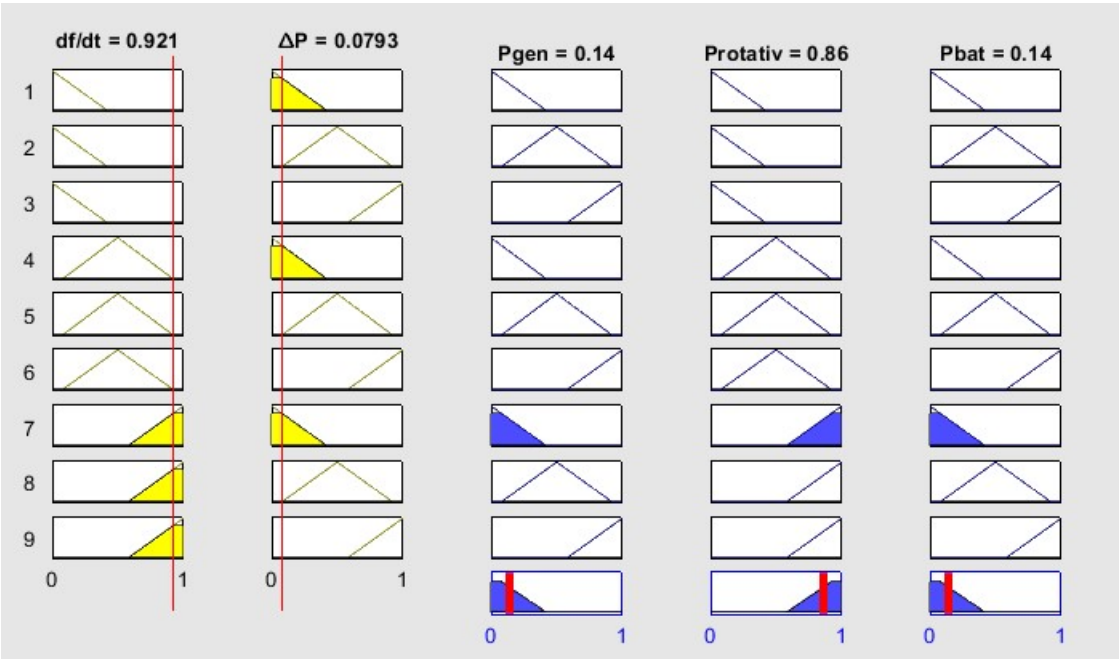


Fig 6. 3. Răspunsul sistemului Fuzzy în condiții de dt/dt maxim și ΔP minim

6.4. Concluzii

Rețelele electrice trebuie să țină pasul cu tehnologia și nevoile utilizatorilor acesteia. Acest lucru înseamnă că nodurile rețelelor electrice trebuie să fie pregătite în orice moment să primească sau să cedeze energie, să alimenteze producători sau consumatori, fără să fie necesar ca în prelabil să fie oprită tensiunea pentru a se face setări pentru un nou regim de functionare.

Optimizarea vizată de acest capitol este asigurarea producției locale pentru fiecare loc de consum, dar mai ales pentru locurile mari de consum și egalizarea producției cu consumul pe cât posibil, astfel ca tranzitarea energiei electrice prin rețelele de distribuție să fie redusă la minim și astfel să se reducă pierderile.

Această viziune poate fi extrapolată la nivel înalt astfel încât pentru fiecare consumator mare dintr-o zonă să fie instalat un grup de producere a energiei electrice, preferabil din surse neconvenționale care să ofere abilitatea de a produce energie electrică pentru consumator în cantitatea consumată de acesta la un anumit moment de timp.

În viitor sistemele SMARTGRID vor putea controla producția de energie electrică în raport cu consumul dintr-o zonă, vor înmagazina energie în baterii atunci când consumul este mai mic decât producția și vor avea abilitatea de a selecta sursele generatoare pe criterii de eficiență și poluare.

7. SISTEM DE DETECȚIE A TENSIUNII DE PAS ÎN REȚELELE DE DISTRIBUȚIE

7.3. Contribuții în determinarea tensiunii de pas a rețelelor electrice

Protecția suplimentară a instalațiilor electrice este reprezentată de priza de pământ. Priza de pământ este formată din electrozi orizontali și verticali din material bun conducător de curent electric, care în cazul unui defect să asigure scurgerea curentului de defect în pământ, protejând persoanele din zona instalației. În funcție de rezistența de dispersie a prizei de pământ este realizată și protecția. O priză de pământ cu o rezistentață de dispersie mică duce la dispersarea rapidă a curentului de defect și implicit asigură o protecție sporită.

Tensiunea de pas apare în momentul defectelor la instalațiile electrice, în proximitatea acestora. În timpul defectului, curentul de defect se va dispersa prin priza de pământ. În funcție de cât de bună este rezistența de dispersie a acesteia și de acoperirea ei, în timpul scurgerii curentului de defect la pământ va aparea la suprafața prizei de pământ și în imediata apropiere o diferență de potențial care cu cât este mai mare cu atât este mai periculoasă.[60]

7.3.1. Sistem de măsurare a tensiunii de pas în rețelele electrice

Metoda propusă, aflată în stadiul de cercetare în cadrul tezei de doctorat, urmărește creearea unui dispozitiv portabil pentru măsurarea tensiunii de pas, astfel încât măsurătorile să poată fi realizate cu rapiditate și precizie, implicând un singur operator.

Dispozitivul portabil ar ajuta personalul operativ care realizează lucrări de mentenanță sau intervenții la instalațiile electrice de distribuție să fie avertizate din timp în cazul intrării într-o zonă periculoasă, având tensiune de pas peste valoarea impusă de normative, astfel menținând siguranța personalului operativ pe tot parcursul lucrărilor în zona instalațiilor electrice.

Dispozitivul propus va fi utilizat chiar de către operator, la care atașăm de echipamentul de protecție (cizme electroizolante) a unor plăcuțe cu rezistența foarte scăzută pentru a facilita circulația curentului electric.

Tensiunea măsurată de aceste plăcuțe va fi utilizată de circuitul electronic pe care îl propunem în 3 variante: avertizare acustică, avertizare optică și avertizare haptică. Realizând astfel montajul, vom realiza măsurarea directă a tensiunii de pas cu ajutorul unui operator, practic realizând măsurători în timp real din zonele pe care le dorim monitorizate. Conexiunile la rezistență se vor realiza cu cabluri având izolația de 1 kV pentru a nu afecta operatorul în timpul măsurătorilor. Se pot realiza semnalizări optice și acustice în cazul depășirii unui nivel prestabilit a tensiunii de pas conform schemei din fig. 7.1.

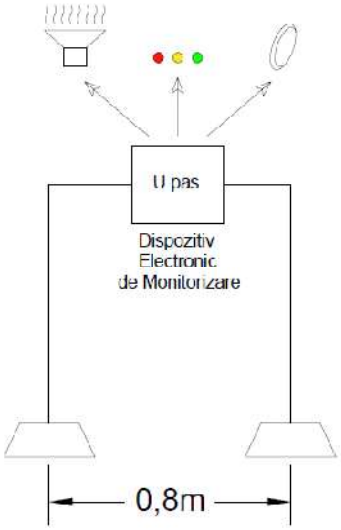


Fig 7. 1. Schema pentru realizarea măsurării tensiunii de pas (metoda propusă)

Tensiunea de pas este un parametru important în ceea ce privește siguranța lucrului în zona unei instalații electrice sau simpla prezență în proximitatea acesteia. Fie că în zona instalațiilor electrice se afla personal autorizat sau dacă personalul nu este instruit, acesta trebuie sa fie în siguranță indiferent de starea prin care trece instalația electrică: funcționare normală sau funcționare în regim de avarie – ca exemplu se poate enumera: scurtcircuite monofazate sau bifazate cu pământul.

Dispozitivul portabil de măsurare a tensiunii de pas va alarma optic, acustic si haptic operatorul în cazul în care tensiunea de pas de referință a fost depașită.

7.3.1.1. Traductorul portabil pentru avertizare acustică

Va utiliza un circuit de curent continuu cu rezistență reglabilă. Tensiunea de pas măsurată va fi redresată cu o punte redresoare și va fi aplicată schemei, rezultând în funcție de nivelul acesteia o alarma acustică.

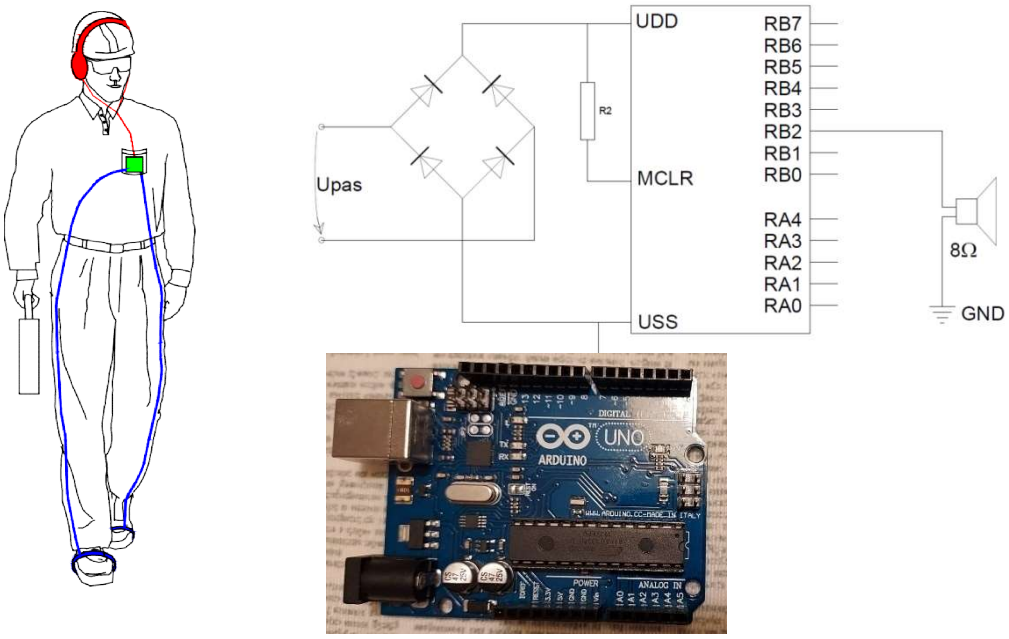


Fig 7. 2. Traductor pentru avertizare acustică – Schema electrică și placa de dezvoltare

Operatorul va fi echipat corespunzător cu salopetă, cască și încălțăminte electroizolantă. Pe încălțări se vor aplica doi electrozi conectați la schema de alarmare acustică ca în fig. 7.2 unde cu culoare albastră au fost figurați electrozii și cablurile de 1kV care vor alimenta dispozitivul de monitorizare, poziționat în buzunarul salopetei. Tensiunea măsurată va fi o tensiune alternativă care va fi redresată cu o punte redresoare și apoi va fi aplicată circuitului proiectat. În funcție de nivelul tensiunii măsurate va fi și intensitatea sunetului.

7.4. Concluzii

Mentenanța preventivă este calea spre o funcționare a instalatiilor electrice cu cât mai puține întreruperi neprogramate. Măsurătorile electrice realizate periodic împreuna cu observarea instalatiei, curățirea acesteia și testarea funcțională la rece aduce după sine siguranța în funcționare, planificarea producției și un plan de afaceri care să nu fie afectat de incidente neprevăzute, oferind predicitbilitate atât conductorilor companiei precum și personalului din departamentul electric care astfel va cunoaște instalația foarte bine și va putea propune înlocuiri de echipamente/materiale dacă este cazul.

Metodele studiate în acest capitol pot deveni metode utilizate în mentenanța preventivă a rețelelor electrice, direcțiile de cercetare putând fi aprofundate pentru a realiza în viitor această acțiune robotizat la comanda unui RTU, integrându-se perfect în conceptul SMARTGRID, o tendință națională și internațională.

8. CONCLUZII ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE

În acest capitol sunt sintetizate principalele contribuții ale autorului asupra eficientizării rețelelor de distribuție, actiuni propuse pe larg în capitolele prezentei lucrări.
Sunt subliniate principalele inovații atât la nivel teoretic cât și practic, diseminarea rezultatelor și direcții viitoare de cercetare în domeniul studiat.

8.1. Concluzii generale

Prin realizarea acestei lucrari, autorul a efectuat cercetări în automatizarea sistemelor de distribuție, aducând un aport pozitiv funcționării rețelelor de distribuție, îmbunătățind sau propunând metode noi de automatizări pentru rețelele electrice de distribuție care în final eficientizează procesul de distribuție a energiei electrice la nivel național.

- **În capitolul 2 a fost analizată protecția maximală de curent** pentru liniile electrice aeriene care ține cont de temperatura exterioară, studiul de caz realizat a pus în evidență o serie de avantaje:
  - Eficientizarea protecței maximale existente prin protecția conductorului în funcție de curba de capabilitate la nivel de temperatură și nu doar de un prag fix.
  - Asigurarea unei plaje de protecție mărite urmărind curba de capabilitate, astfel evitandu-se declansări ale liniei fară a atinge praguri limită, având în vedere setarea unui prag fix care nu ține cont de temperatura conductorului.
  - Evită suprasolicitarea conductorului la temperaturi înalte prin protejarea acestuia proporțional cu curba de capabilitate.
  - Evitarea începerii unor lucrări ample de reconductorare sau de construcție a unor noi linii electrice folosind la maxim capacitatea de conducție a liniilor existente, capacitate maximă care în prezent nu este exploatată.
- **În capitolul 2 a fost analizat sistemul de detecție a înclinări stâlpilor liniilor aeriene.** Prin determinarea accelerației la vârful stâlpilor și comandarea declașării liniei în stațiile de capăt la detectarea unui defect, sistemul prezintă următoarele avantaje:
  - Previne accidente soldate cu morți sau răniți în cazul unui defect
  - Identificarea oricărei modificări a înclinării stâlpilor, oferind posibilitatea unei acțiuni de mentenanță preventivă.
  - Asigura reducerea costurilor prin monitorizarea stâlpilor, nefiind necesară înlocuirea acestora – în special a stâlpilor din beton la liniile de înaltă tensiune.
  - Constituie un precedent și o bază pentru viitoarele dezvoltări ale monitorizării fizice a liniilor electrice aeriene cu costuri minime.
- **Capitolul 3** a analizat sisteme de monitorizare a cablurilor electrice care să permită identificarea cât mai rapidă a defectului și restrângerea pe cât posibil a zonei de

căutare prin identificarea unor semnale din teren utilizând bucle de inducție electrică. S-a pus în evidență sistemul cu bucle de inducție care permite semnalizarea către camera de comandă a stării cablului electric fără a consuma energie din surse auxiliare. Tensiunea indusă în bucle din cablul electric este redresată utilizând scheme dedicate, folosite pentu a semnaliza defectarea porțiunii de cablu electric care este monitorizată.

- **Capitolul 4** sintetizează în detaliu automatizările realizate la nivelul stațiilor de transformare, autorul a dezvoltat programe în limbajul de programare C++ pentru principalele automatizări. Autorul a dezvoltat și implementat o aplicație de verificare a posibilității punerii în paralel a unor transformatoare în funcție de caracteristicile lor tehnice. Pentru automatizarea detecției defectelor din rețelele de medie tensiune s-a realizat un studiu comparativ între metoda admitanței și injecției de curent și metoda de detecție utilizând tehnici Fuzzy elaborată de autor. Simulările au fost realizate în programul Matlab utilizând Fuzzy App. Sistemul Fuzzy nu este influențat de erorile de măsurare, deoarece detecția se realizează în mai mulți pași prin aproximarea/ valorilor de intrare, astfel că detecția se face cu precizie, fără a permite declașari eronate.
  Sistemele Fuzzy inteligente pot fi folosite cu succes în acest caz cu rezultate superioare metodei admitanței și injecției de curent, deoarece, prin utilizarea valorilor ambigue măsurate prin aproximări mic, mare, mediu pentru tensiunile și curenții din sistem, pot fi luate decizii similare cu ale unui operator uman care este prezent în stație în cazul unui defect.
- **Capitolul 5** a analizat impactul producătorilor din surse regenerabile asupra rețelei electrice de distribuție a unui parc industrial prin sintetizarea rezultatelor într-un studiu de caz utilizând programul de calcul NEPLAN și propunerea unui sistem de reglare a tensiunii și puterii reactive cu tehnici Fuzzy prin măsurarea frecvenței, tensiunii și puterii reactive.
- **Capitolul 6** a descris evoluția sistemului energetic de la înființare până la atingerea conceptului de SMARTGRID. Conceptul SMARTGRID a început să fie implementat în România, procesul fiind unul laborios și de lungă durată. Autorul a dezvoltat o aplicație utilizând inteligență artificială cu concepte Fuzzy pentru pentru alagerea surselor de producere a energiei electrice: convenționale sau regenerabile și momentul în care să se utilizeze bateriile de acumulatoare pentru a eficientiza procesul de distribuției a energiei electrice în viitoarele rețele inteligente. Simulările au fost realizate prin aplicația Fuzzy din programul de calcul Matlab. Prin aceasta automatizare se urmărește utilizarea cât mai frecventă a surselor regenerabile cu condiția ca sistemul energetic să funcționeze în parametrii setați.
- **În Capitolul 7** autorul a realizat un sistem mobil de detectare a tensiunii de pas fără ajutorul unei surse auxiliare utilizând o placă Arduino, LED-uri, o brățară pentru avertizare haptică și o hupă. În funcție de nivelul tensiunii de pas detectate sunt 3

nivele de avertizare: în parametrii, la limită și nivel periculos, astfel încât operatorul să poată trage concluzii în urma măsurătorilor privind locurile cu tensiune de pas periculoasă și să ia măsuri. Sistemul se evidențiază prin ușurința cu care se fac măsurătorile și numărul acestora într-un timp foarte scurt.

8.2. Contribuții personale teoretice

Cercetările realizate în prezenta lucrare sunt în teoretice și aplicative. Rezultatele teoretice pot fi un subiect pentru cercetării viitoare practice și realizarea unor prototipuri care în final se pot transforma în soluții adoptate pe termen lung pentru rețelele de distribuție. Sunt recapitulate în continuare contribuțiile personale aduse la rezolvarea problematicii automatizărilor în domeniul liniilor electrice de distribuție din sistemul energetic national:

1. **Contribuții la îmbunătățirea sistemelor de protecție și monitorizare a liniilor electrice aeriene și subterane:**
   - **Conceperea și dezvoltarea unei aplicații privind protecția maximală de curent** care să poată fi setată la valori diferite în funcție de temperatura exterioară măsurată în proximitatea liniilor electrice aeriene. A fost promovată prin această etapă de cercetare curba de declanșare a protecției maximale dinamice, înlocuind pragul de protecție clasic. Scopul a fost atins, curba de declanșare a protecției urmărind curba de capabilitate a conductorului și mai ales în timpul anotimpurilor cu temperaturi scăzute, putându-se înregistra o mărire a capacității de distribuție prin schimbarea pragului de protecție în funcție de temperatură.
   - **Conceperea și realizarea unui sistem de monitorizare a integrității stâlpilor liniilor electrice aeriene** prin monitorizarea înclinării și a accelerației la vârf în special a stâlpilor de susținere din beton care sunt o vulnerabilitate a rețelelor electrice aeriene. Sistemul automat de monitorizare comandă declanșarea liniei electrice în cazul detectării unor valori incompatibile cu funcționarea normală, în acest mod evitându-se accidente.
   - **Propunerea unei metode de detectare a defectelor cablurilor electrice** prin măsurarea curentului indirect pe tronsoane și identificarea locației cu defect cât mai precis, monitorizarea prin inducție fiind o soluție alternativă la sistemele de monitorizare actuale.
2. **Contribuții la dezvoltarea automatizărilor din stațiile de transformare:**
   - **Conceperea și dezvoltarea unei aplicații pentru detectarea posibilității punerii în paralel a transformatoarelor cu caracteristici tehnice diferite**, foarte uzuală în procesul de retehnologizare a stațiilor electrice de transformare sau a proiectării unora noi prin detectarea imediată a compatibilității unităților de transformare pentru a putea fi puse în paralel.

- **Analiza stabilității tensiunii la racordarea surselor regenerabile de producere a energiei electrice.** Racordarea prosumatorilor și a surselor regenerabile a devenit o provocare pentru stabilitatea tensiunii în rețelele de distribuție din cauza dependenței acestora de climatul înconjurător. Analiza în rețelele de distribuție de medie tensiune care sunt afectate de creșterea prosumatorilor, poate aduce informații dispecerului pentru a lua măsuri înainte ca parametrii electrici ai rețelei să impună deconectarea surselor de producție a energiei sau a unor linii electrice.

3. **Contribuții la eficientizarea funcționării rețelelor electrice utilizând inteligența artificială**
   - **Conceperea si realizarea unei aplicații cu logica Fuzzy pentru reglarea tensiunii si puterii în rețelele electrice de distribuție care a subliniat urmatoarele avantaje**:
     - Timp de răspuns foarte scurt
     - Socuri de tensiune scăzute având în vedere modul de lucru al aplicațiilor Fuzzy cu modificări sensibile ale funcțiilor de ieșire în intervale apropiate.
   - **Conceperea și realizarea unei aplicații cu logică Fuzzy pentru detectarea defectelor din rețelele de medie tensiune care aduce următoarele avantaje:**
     - Sistem rapid – identificarea defectului se face la nivel de ms
     - Sistem eficient – procentaj 100% de identificare a defectelor
     - Nu are nevoie de măsurători exacte a mărimilor de intrare
   - **Conceperea și realizarea unei aplicații cu logică Fuzzy pentru eficientizarea producției de energie electrică care prezintă urmatoarele avantaje**:
     - Prioritizarea surselor de producție în funcție de variația frecvenței
     - Încărcarea bateriilor de acumulatori cu surplusul de energie din sistem
     - Contribuția la un mediu mai curat cu emisii mai scăzute de CO_2 prin prioritizarea surselor regenerabile în condiții stabile ale rețelei electrice
4. **Contribuții în sistemul de încercări și verificări ale rețelelor electrice**
   - **Conceperea și dezvoltarea unei metode de monitorizare a tensiunii de pas în proximitatea rețelelor electrice care prezintă următoarele avantaje:**
     - mecanism simplu și compact de monitorizare nefiind necesare echipamente complexe de măsurare.
     - Rezultate imediate fără surse auxiliare de injecție curent

Obiectivele propuse pentru această lucrare au fost îndeplinite în totalitate.

Prezentele cercetări sunt un precedent ca analizele să nu fie oprite în acest punct și să fie continuate și în alte lucrări având în vedere importanța crucială a rețelelor de distribuție pentru desfășurarea normală a vieții cotidiene, detaliate în subcapitolul 8.5.

8.3. Contribuții personale cu caracter practic

8.3.1. Realizări practice

Pentru obiectivul al IV-lea al prezentului document - **Mentenanța preventivă în rețelele electrice de distribuție - Monitorizarea tensiunii de pas în proximitatea rețelelor electrice,** s-a analizat și s-a construit și o machetă utilizând un controller Arduino, un dispozitiv portabil pentru măsurarea tensiunii de pas, astfel încât măsurătorile să poată fi realizate cu rapiditate și precizie, implicând un singur operator.

Dispozitivul portabil ar ajuta personalul operativ care realizează lucrări de mentenanță la instalațiile electrice de distribuție să fie avertizat din timp în cazul intrării într-o zonă periculoasă, având tensiune de pas peste valoarea impusă de normative, astfel menținând siguranța personalului operativ pe tot parcursul lucrărilor în zona instalațiilor electrice.

Dispozitivul propus poate să fie utilizat chiar de către operatorul care efectuează intervenția, în timp real, acestuia fiindu-i atașat la echipamentul de protecție (cizme electroizolante) a unor plăcuțe cu rezistenta foarte scazută pentru a facilita circulația curentului electric.

Tensiunea de pas masurată poate fi convertită într-un semnal de tensiune mai mică și cu ajutorul unei punți redresoare și a unui transformator se poate converti semnalul în:

- semnal acustic utilizând un difuzor montat pe casca de protecție a operatorului
- semnal optic utilizând leduri având 3 culori repartizate pe nivele de tensiune: sigur, atentie si nu trece. Ledurile vor fi montate la casca de protecție sau la ochelarii de protecție.
- semnal haptic utilizând o brățară pe mâna operatorului care în urma nivelului de tensiune înregistrat va realiza un semnal senzorial asupra mâinii: încălzire sau vibrație.

Prin utilizarea schemelor de monitorizare/măsurare a tensiunii de pas cu placuțe Arduino se pot efectua măsurători ale tensiunii de pas instantaneu, fără a fi necesară o sursă adițională de injecție, fără a necesita echipamente voluminoase sau mai mulți operatori pentru a realiza măsurătorile.

8.3.2. Participarea la proiecte energetice în perioada doctorală

Aplicațiile practice în energia regenerabilă au fost dezvoltate împreună cu colegi de la mai multe companii, în special cu compania Electroprecizia AG S.R.L. în cadrul căreia activez ca și Șef Birou Proiectare.

Printre cele mai importante proiecte dezvoltate în perioada 2021-2026 au fost următoarele aplicații pentru racordarea surselor de energie regenerabilă la sistemul energetic național.

8.3.2.1. Racordarea la SEN a CEF 60 MW Teiuș, Jud. Alba

Proiectul s-a desfășurat între 2023-2025 și a prevăzut racordarea la SEN a unei centrale fotovoltaice amplasate în zona Teius, Jud. Alba prin construirea unei stații 110/20 kV 63 MVA

racordată intrare-ieșire într-o LEA 110 kV, inclusiv prevederea protecțiilor pe noile linii electrice formate prin secționarea liniei 110 kV existente. Pentru realizarea protecției diferențiale pe LEA 110 kV și transmiterea parametrilor de funcționare către dispecerat s-a prevăzut montarea unui cablu cu fibra optică între stațiile de capăt și noua centrala electrică.

8.3.2.2. Racordarea la SEN a CEE 75 MW Avrămeni, jud. Botoșani

Proiectul este în curs de desfășurare începând cu lucrările de construcție a noii stații de transformare 110/30 kV 2x100 MVA racordată intrare-ieșire într-o LEA 110 kV. Racordarea stației se va realiza cu LES 110 kV pe o lungime de cca 0,9 km. Punerea în funcțiune este programată pentru anul 2027.

8.4. Diseminarea rezultatelor

O parte a rezultatelor obținute în cadrul tezei au fost publicate, în reviste de prestigiu şi în volumele unor manifestări ştiințifice recunoscute din străinătate sau din țară: 3 articole publicate în reviste de renume la nivel național și 3 articole publicate în conferințe de recunscute la nivel internațional.

- **R.A. Moise, A. Fratu,** *Parallel Operation of Transformers with Different Voltage Ratio*, Revista RECENT nr. 67, 2022, p.81-86.
- **R.A. Moise, A. Fratu,** *Protecția maximală dinamică a liniilor electrice*, buletinul AGIR nr. 1, 2023, p.45-49.
- **R.A. Moise,** *Earth-fault detection using Fuzzy Logic in electrical distribution networks,* ERAZ Conference, 2023, p.550-565.
- **R.A. Moise, A. Fratu,** *Artificial Intelligence in Power Distribution Systems*, SMART Mobile Communication, 2024, p.151-159.
- **R.A. Moise, M. Fratu,** *Riscurile la care sunt supuse rețelele de distribuție a energiei electrice și soluții de reducere a acestora*, buletinul AGIR nr. 1, 2025, p.30-35.
- **R.A. Moise, A. Fratu,** *Voltage Stability Analysis in Power Distribution Networks for Connecting Renewable Energy Sources*, AI SMART Conference, 2025, p.353-362.

8.5. Direcții viitoare de cercetare

Cercetarea își are locul în acest proces, elemente rezultate în urma cercetării sunt utilizate în sistemul energetic național. Invenții care au facut în trecut parte din studiile și cercetările energetice, sunt azi utilizate pentru protecțiile și automatizările din rețelele electrice.

Domenii de cercetare cum ar fi modul de transmitere a energiei fără fir pe zone reduse unde nu se pot folosi cablurile electrice sunt direcții de luat în seamă în aprofundarea cercetărilor.

Analizele teoretice şi practice realizate în cadrul tezei de doctorat, precum şi rezultatele obținute, deschid o serie de perspective şi direcții de continuare şi aprofundare ulterioară a cercetărilor în domeniu:

- Implementarea conceptului SMARTGRID cu tendința de creștere a autonomiei rețelelor electrice prin automatizări implementate în puncte cheie
- Sporirea securității cibernetice la nivelul rețelelor electrice de distribuție

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

[1] R.A. Moise, A. Fratu, *Protecția maximală dinamică a liniilor electrice,* buletinul AGIR nr. 1, 2023, p.45-49.

[2] R.A. Moise, M. Fratu, *Riscurile la care sunt supuse rețelele de distribuție a energiei electrice și soluții de reducere a acestora,* buletinul AGIR nr. 1, 2025, p.30-35.

[6] C. Rucăreanu, P. Militaru, V. Hotoboc, V. Chiricescu, V. Prioteasa, *Linii aeriene și subterane*, Editura Tehnică București, 1989.

[12] ***Electromax – *Fișă tehnică sistem solar pentru alimentarea lămpilor de balizaj a stâlpilor - Solar Power System.*

[20] ***SR 832/2008 – *Influențe ale instalațiilor electrice de înaltă tensiune asupra liniilor de telecomunicații.*

[21] ***Ordinul nr. 239/2019 *Norma Tehnică privind delimitarea zonelor de siguranță și protective aferente capacităților energetice*.

[23] *** Ord 46/2021, *Standardul de performanță în domeniul distribuției energiei electrice* .

[26] R.A. Moise, A. Fratu**,** *Parallel Operation of Transformers with Different Voltage Ratio,* Revista RECENT nr. 67, 2022, p.81-86.

[27] R.A. Moise**,** *Earth-fault detection using Fuzzy Logic in electrical distribution networks,* ERAZ Conference, 2023, p.550-565.

[28] R.A. Moise, A. Fratu, *Artificial Intelligence in Power Distribution Systems,* SMART Mobile Communication, 2024, p.151-159.

[29] T. Takagi, M. Sugeno, *Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control*, IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. 1985.

[30] L.A. Zadeh, *Knowledge Representation in Fuzzy Logic*, IEEE transactions on knowledge and data engineering, vol. I, no. I., 1989.

[51] R.A. Moise, A. Fratu, *Voltage Stability Analysis in Power Distribution Networks for Connecting Renewable Energy Sources,* AI SMART Conference, 2025, p.353-362.

[52] ***Ord. ANRE – 631/2016, *Normă tehnică privind cerințele tehnice de racordare la rețelele electrice de interes public pentru modulele de generare.*

[60] ***IP30/2004, *Îndrumar de proiectare a instalațiilor de legare la pământ pentru instalațiile energetice.*

[61] ***I227/2002 *Instrucțiuni de determinare prin măsurări a tensiunilor de atingere și de pas la instalațiile din sistemul de distribuție a energiei electrice.*

LISTA CU ARTICOLELE PUBLICATE

[1] **R.A. Moise, A. Fratu,** *Parallel Operation of Transformers with Different Voltage Ratio,* Revista RECENT nr. 67, 2022, p.81-86.
[2] **R.A. Moise, A. Fratu,** *Protecția maximală dinamică a liniilor electrice,* buletinul AGIR nr. 1, 2023, p.45-49.
[3] **R.A. Moise,** *Earth-fault detection using Fuzzy Logic in electrical distribution networks,* ERAZ Conference, 2023, p.550-565.
[4] **R.A. Moise, A. Fratu,** *Artificial Intelligence in Power Distribution Systems,* SMART Mobile Communication, 2024, p.151-159.
[5] **R.A. Moise, M. Fratu,** *Riscurile la care sunt supuse rețelele de distribuție a energiei electrice și soluții de reducere a acestora,* buletinul AGIR nr. 1, 2025, p.30-35.
[6] **R.A. Moise, A. Fratu,** *Voltage Stability Analysis in Power Distribution Networks for Connecting Renewable Energy Sources,* AI SMART Conference, 2025, p.353-362.