



**UNIVERSITATEA POLITEHNICA
DIN BUCUREȘTI**



**Școala Doctorală de Electronică, Telecomunicații
și Tehnologia Informației**

Decizie nr. 823 din 21-03-2022

REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT

Ing. Dorin - Mirel STĂNICĂ

**INTELIGENȚA COMPUTAȚIONALĂ APLICATĂ
SISTEMELOR ELECTRONICE UTILIZATE ÎN
INGINERIE NUCLEARĂ**

COMISIA DE DOCTORAT

Prof. Dr. Ing. Ion MARGHESCU Univ. Politehnica din București	Președinte
Prof. Dr. Ing. Nicu BIZON Univ. Politehnica din București	Conducător de doctorat
Prof. Dr. Ing. Radu-Emil PRECUP Univ. Politehnica Timișoara	Referent
Prof. Dr. Ing. Adriana FLORESCU Univ. Politehnica din București	Referent
Prof. Dr. Ing. Ioan LIȚĂ Univ. din Pitești	Referent

BUCUREȘTI 2022

Mulțumiri

În elaborarea acestei teze m-am bucurat de colaborarea unor specialiști cu calitate profesională de excepție, cărora doresc să le mulțumesc.

Doresc să-mi exprim recunoștința și mulțumirile mele conducătorului de doctorat, domnului Prof. Dr. Ing. Nicu BIZON pentru răbdarea cu care m-a susținut și m-a sprijinit pe parcursul anilor de studii doctorale, pentru competența profesională, pentru sprijinul profesional cu care m-a îndrumat pe parcursul elaborării tezei de doctorat. Îi mulțumesc domnului profesor pentru că mi-a oferit libertatea de a aborda această temă de doctorat într-un mod personal, în cadrul echipei de cercetare de la Institutul de Cercetări Nucleare - Pitești, care mă va ajuta în viitorul meu profesional.

Doresc să aduc mulțumiri pentru tot sprijinul acordat domnului Conf. Univ. Dr. Mihai OPROESCU.

Totodată, doresc să îmi exprim gratitudinea față de membri comisiei de evaluare a lucrării pentru sfaturile și sugestiile oferite, dar și membrilor comisiilor de evaluare de pe tot parcursul desfășurării stagiului doctoral.

Îi mulțumesc de asemenea domnului Conf. Univ. Dr. Vasile - Gabriel IANA pentru sprijinul și sfaturile acordate.

Pe această cale doresc să adresez mulțumiri și prietenului meu Dr. Mihai Cătălin ARVA pentru tot suportul tehnic și nu numai acordat în această perioadă.

De asemenea, doresc să adresez mulțumiri colegilor din școala doctorală ETTI UPB, cu care am cercetat numeroase domenii științifice.

Cu deosebită recunoștință și dragoste, doresc să adresez mulțumiri speciale familiei mele și prietenilor care au fost alături de mine, m-au înconjurat cu afecțiunea și răbdarea lor și care m-au sprijinit din toate punctele de vedere în această perioadă.

Vă mulțumesc!

Drd. Ing. Dorin - Mirel STĂNICĂ

Cuprins

_Toc94712875

1. Introducere	1
2. Stadiul actual al cercetării privind inteligența computațională și tehnicile de testare nedistructivă.....	4
2.1 Subdomeniile inteligenței computaționale.....	4
2.2 Tehnici de testare nedistructivă.....	4
2.2.1 Tomografia spectrometriei gama.....	5
2.2.2 Spectroscopia.....	5
2.2.3 Controlul vizual	6
2.2.4 Examinarea folosind curenți turbionari	6
2.3 Concluzii	7
3. Tehnici de reglare pentru motoare electrice.....	8
3.1 Tehnici de reglare predictivă.....	8
3.1.1 Conceptul de reglare cu predicție bazată pe model	8
3.2 Tehnici de reglare fără senzori pentru motoarele electrice	9
3.2.1 Controlul vectorial.....	9
3.2.2 Controlul direct al cuplului (DTC)	10
3.2.3 Metoda de reglare fără senzori pentru un motor sincron cu magnet permanent (MSMP)	10
3.3 Concluzii	10
4. Analiza tehnicilor de reglare a motoarelor pas cu pas bazate pe algoritmi specifici inteligenței computaționale	12
4.1 Motorul pas cu pas	12
4.2 Sisteme suport de decizie în ingineria nucleară – studiu de caz	12
4.2.1 Sistem suport de decizie on-line de examinare nedistructiv – studiu de caz	13
4.2.2 Controlul motoarelor pas cu pas unipolare.....	14
4.3 Sistem de dezvoltare pentru comanda mașinii universale de examinare a probelor din mediul nuclear	15
4.10 Concluzii	16
5. Sisteme de comandă și control pentru acționarea mașinii universale de examinare a materialelor combustibile iradiate.....	17
5.1 Proiectarea și simularea sistemelor de comandă și control.....	17
5.2 Analiza statistică a seturilor de date.....	19

5.3 Implementarea algoritmului de control folosind rețele neuronale artificiale (RNA).....	20
5.4 Concluzii	22
6. Concluzii	23
6.1 Rezultate obținute.....	23
6.2 Contribuții originale	24
6.3 Lista lucrărilor originale.....	25
6.4 Perspective de dezvoltare ulterioară.....	28
Bibliografie	29

Capitolul 1

Introducere

Inteligența poate fi exprimată ca fiind capacitatea de a percepe anumite relații între obiecte și fenomene. Acest lucru poate fi senzorial (la animale) datorat reflexelor condiționate, sau intelectual (la om) în care intervin limbajul și conceptele.

Tehnicile aparținând inteligenței computaționale sunt: logica fuzzy, rețelele neuronale artificiale și calculul evolutiv.

Inteligența computațională în ingineria nucleară a suferit modificări substanțiale în ultimii ani. Principalele activități au fost axate pe dezvoltarea condițiilor de monitorizare și a tehnicilor de diagnoză pentru centralele nucleare însă, activitățile recente se concentrează pe implementarea și dezvoltarea metodelor pentru generația următoare de centrale și reactoare.

1.1 Prezentarea domeniului tezei de doctorat

Unul dintre scopurile principale ale inteligenței computaționale este acela de a înțelege principiile care fac posibil un comportament inteligent în sisteme naturale sau artificiale. În cazul domeniului ingineriei, scopul principal este de a specifica metode pentru proiectarea obiectelor inteligente și utile. Rolul Inteligenței Computaționale (IC) în industria nucleară este într-o constantă tranziție datorită operațiunilor, obiectivelor de operare, nevoilor viitoare și cerințelor care se impun într-o centrală nucleară. Multe din tehnicile dezvoltate în ultimii 30 de ani au ajuns la maturitate și sunt aplicate tehnici noi. Una dintre acestea este analiza nedistructivă cu curenți turbionari (CT) a unui element combustibil.

1.2 Scopul tezei de doctorat

În cadrul Institutului de Cercetări Nucleare Pitești (ICN) compartimentul Laboratorul de examinare post-iradiere (LEPI) sunt realizate examinări atât nedistructive cât și distructive pe elemente combustibile iradiate și materiale de structură. Pentru realizarea examinărilor nedistructive sunt folosite mașini universale de examinare. Elementele combustibile sau materialele de structură ce sunt deplasate

cu ajutorul mașinii universale de examinare provin din centrale nucleare. Scopul cercetării doctorale reprezintă determinarea deplasării a unui element combustibil prin inteligența computațională. În acest sens s-au realizat cercetări referitoare la acționarea mașinii universale de examinare. De asemenea s-a dezvoltat și s-a expus un sistem asemănător celui prezent în LEPI.

1.3 Conținutul tezei de doctorat

Teza de doctorat este structurată în șase capitole incluzând capitolul de concluzii, contribuțiile originale ale autorului, rezultatele cercetării efectuate pe parcursul studiilor doctorale, precum și propuneri de orientări viitoare pentru cercetări ulterioare.

În primul capitol, cel de introducere, sunt prezentate domeniul, scopul și conținutul tezei.

În cel de-al doilea capitol, este prezentat stadiul actual al inteligenței computaționale și tehnicile de testare nedistructivă din domeniul nuclear. Sunt descrise succint subdomeniile inteligenței computaționale: logica fuzzy și rețelele neuronale artificiale. De asemenea, sunt prezentate tomografia spectrometriei gama, spectroscopia, controlul vizual și examinarea folosind curenți turbionari. Acestea sunt tehnici de testare folosite în cadrul laboratoarelor de examinare post iradiere pentru evidențierea posibilelor defecte apărute în urma iradierii din cadrul centralelor nucleare.

În cel de-al treilea capitol, sunt prezentate cercetări privind stadiul actual al reglării predictive, conceptul de bază și modelul reglării predictive. Capitolul trei se finalizează cu evidențierea contribuțiilor cercetărilor de control și monitorizarea senzorilor pe baza metodelor de estimare tradiționale și avansate.

În cel de-al patrulea capitol, este prezentat motorul pas cu pas, componentă de acționare a mașinilor universale de examinare din mediul nuclear. Pentru a evidenția utilitatea inteligenței computaționale în mediul nuclear, s-a prezentat un studiu de caz ce vizează nevoia pentru stabilirea erorilor apărute în urma utilizării motorului pas cu pas și răspunsul obținut prin poziționarea acestuia. În acest sens s-a dezvoltat un alt studiu de caz privind acționarea motoarelor pas cu pas cu magneți permanenți și anume comanda MPP bipolare, unde s-a urmărit comportamentul acestora la diferite frecvențe de lucru. În urma analizelor făcute s-a dezvoltat un sistem pentru comanda mașinii universale de examinare a probelor din mediul nuclear. A fost prezentat întreg sistemul de acționare în urma căruia s-a proiectat sistemul de dezvoltare bazat pe regulator fuzzy pentru comanda MPP. Capitolul se încheie cu impactul proiectării sistemului asupra performanței acționării fără senzor.

În cel de-al cincilea capitol, sunt dezvoltate sisteme de comandă și reglare pentru acționarea mașinii universale de examinare a materialelor combustibile iradiate. Au fost realizate proiectarea și simularea sistemelor de comandă și reglare, au fost prezentate modelele experimentale ale acestora, în urma cărora s-au realizat analize statistice ale seturilor de date obținute. S-a realizat o analiză de sensibilitate a erorii de poziționare a motorului, după care s-a implementat algoritmul de control folosind rețele

neuronale artificiale. La sfârșitul capitolului s-au prezentat concluziile aferente cercetării efectuate.

În cel de-al șaselea capitol s-au prezentat rezultatele obținute în cadrul lucrării, contribuțiile originale ale autorului, o listă a lucrărilor și perspective de dezvoltare ulterioară a tezei cu propuneri privind direcțiile viitoare de continuare a cercetării.

În ultima secțiune a lucrării sunt prezentate anexele și referințele bibliografice utilizate.

Capitolul 2

Stadiul actual al cercetării privind inteligența computațională și tehnicile de testare nedistructivă

Domeniul inteligenței computaționale se află într-o stare dezvoltare permanentă, caracterul evolutiv al acestuia poate fi observat din implementarea diferiților algoritmi genetici în seriile de timp, fapt ce duce la rezolvarea de probleme din domenii precum: biologie, economie, analiza și predicția de date (*forecasting and data analytics*) [1]

2.1 Subdomeniile inteligenței computaționale

Inteligența computațională furnizează tehnicile necesare procesării informațiilor în sistemele inteligente.

Principalele direcții de lucru sunt reprezentate de:

- logica fuzzy - utilizată atunci când datele problemei (și relațiile dintre ele) nu pot fi descrise cu exactitate, există un grad de incertitudine („fuzzyness”), ideea de bază este dată de înlocuirea valorilor exacte cu valori vagi (fuzzy), descrise de funcțiile de apartenență;
- rețelele neuronale - utilizat în principal pentru rezolvarea problemelor de asociere, bazate pe extragerea, prin învățare, a unui model bazat pe exemplu. Sursa inspirației, o explicație și funcționarea creierului;
- calculul evolutiv - utilizat în rezolvarea problemelor bazate pe găsirea de soluții într-un spațiu mare de potențiale soluții, sursa de inspirație fiind principiile evoluționismului darwinian.

2.2 Tehnici de testare nedistructivă

Testarea nedistructivă (TNd) este cea una dintre cele mai utilizate tehnici de testare pentru investigațiile structurii materialelor nucleare. Există un număr limitat de fenomene fizice diferite care pot fi detectate prin tehnicile nedistructive din probele de

material în principal deformări termoplastice în urma procesului de iradiere, totuși, acestea pot aplicate în mod diferit în funcție de geometria și localizarea fenomenelor. Metodele de examinare nedistructivă sunt clasificate astfel: acustice (folosind sunete), folosind radiație penetrantă, folosind radiație electromagnetică și optice. Figura 2.7 prezintă o clasificare a metodelor TNd [2].

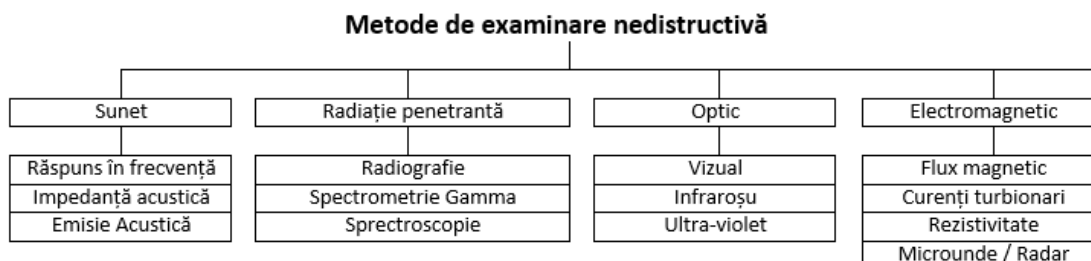


Figura 2.7 Clasificarea metodelor TNd

2.2.1 Tomografia spectrometriei gama

Tomografia spectrometriei gama (TSg) este una dintre cele mai avansate tehnici nedistructive. Aceasta este o metodă de măsurare cu precizie a cantităților de radioizotopi, cât și a activității produșilor de fisiune dintr-un element combustibil. Primul sistem TSg a fost dezvoltat în laboratorul Los Alamos National în anii 1990. Un dispozitiv similar a fost numit A&PCT care a fost fabricat în laboratorul Livemore National. Deși sunt disponibile sisteme comerciale de TSg, această tehnică trebuie îmbunătățită.

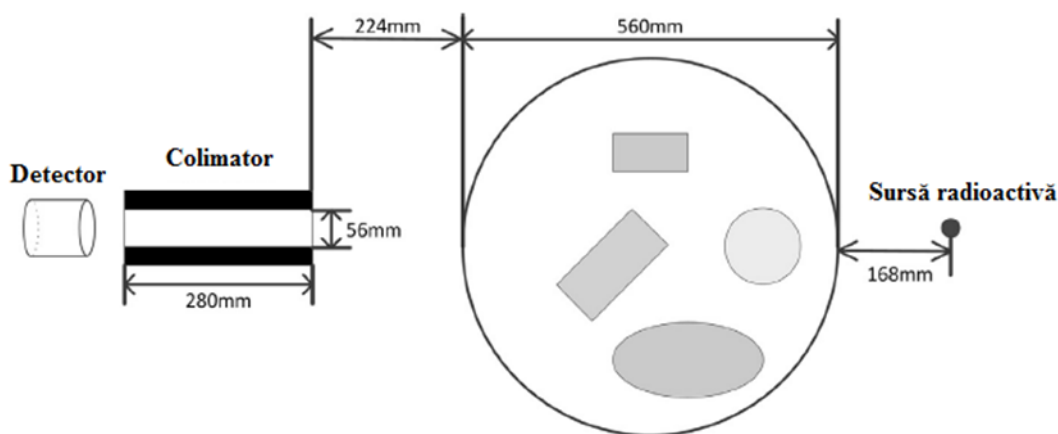


Figura 2.9 Modelul de simulare

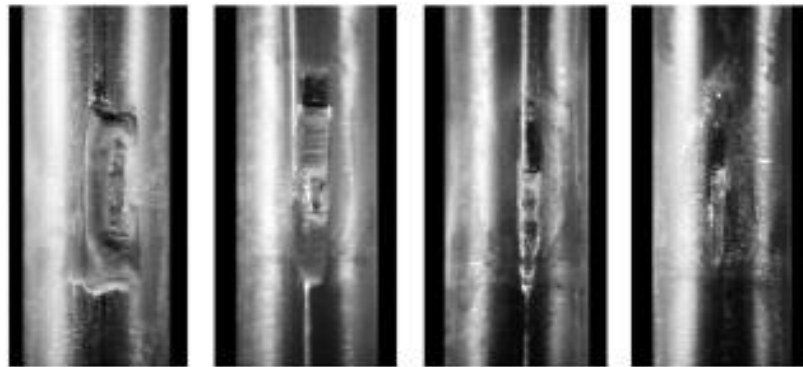
2.2.2 Spectroscopia

Spectroscopia, este folosită ca o abordare alternativă a radiațiilor penetrante, aceasta oferă informații despre compoziția elementară sau mineralogică a materialului.

Elementele spectroscopice din material sunt expuse la un anumit tip de radiații care face în așa fel încât acestea să absoarbă radiația incidentă la anumite frecvențe sau să emită un anumit tip de radiații.

2.2.3 Controlul vizual

Pentru controlul vizual se folosesc diferite ustensile optice cum ar fi periscop, endoscop, lupe, lămpi, etc. Prin control vizual sunt furnizate o serie de indici legate de aspectul suprafeței materialului precum și estimarea unor defecte interne (elemente combustibile, recipiente metalice, tuburi, etc.). În figura 2.10 este prezentată o secvență din controlul vizual al unui element combustibil iradiat în reactorul nuclear tip VVER-400 [3].



*Figura 2.10 Controlul vizual pentru un element combustibil iradiat în VVER-400
Adaptat după [7] - Figura 7*

2.2.4 Examinarea folosind curenți turbionari

Metoda privind detecția defectelor cu ajutorul curenților turbionari (CT) este una dintre principalele metode de monitorizare nedistructivă a elementelor combustibile iradiate.

Metoda folosind CT reprezintă inspecția elementelor combustibile bazate pe o analiză a interacției unui câmp electromagnetic extern cu câmpul curenților turbionari, unde, o sinusoidă sau un câmp magnetic pulsat generat de o bobină induce într-un element combustibil din oțel sau zirconiu curenți turbionari.

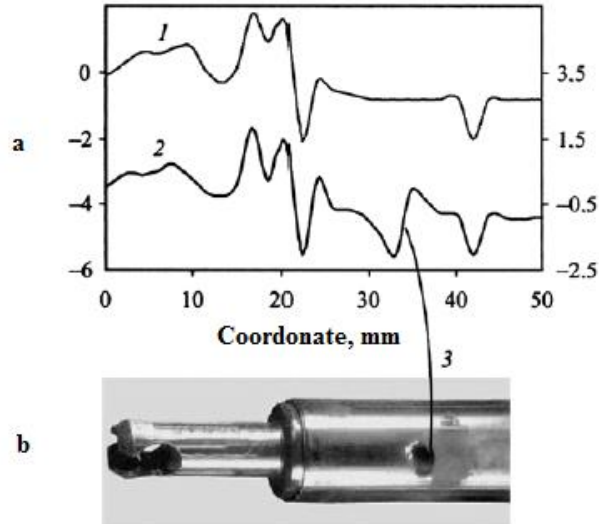


Figura 2.11 a. Diagrama curenților turbionari b. Element combustibil iradiat în VVER-1000

2.3 Concluzii

Rolul inteligenței computaționale în ingineria nucleară a fost ilustrat prin intermediul discuției câtorva abordări actuale cu privire atât la supravegherea și diagnosticarea echipamentelor nucleare cât și a examinărilor efectuate în domeniul nuclear. Cercetările în fiecare dintre aceste zone sunt în curs de desfășurare. Tematica folosită în lucrare se va extinde prin crearea unui sistem bazat pe inteligență computațională, pe un sistem utilizat în domeniul nuclear.

Capitolul 3

Tehnici de reglare pentru motoare electrice

3.1 Tehnici de reglare predictivă

Reglarea predictivă generalizată (RPG) este bazată pe algoritmi de reglare predictivă, care au fost implementați cu succes în reglarea multor procese de tipul single-input single-output (SISO) și multiple-input multiple output (MIMO) din domeniul industrial.

3.1.1 Conceptul de reglare cu predicție bazată pe model

Pentru a implementa această strategie a reglării predictive bazate pe model (MBPC), se utilizează structura de bază prezentată în figura 3.1. Este utilizat un model pentru a face predicția valorilor de ieșire ale procesului bazate pe acțiunile de reglare viitoare optime propuse. Aceste acțiuni sunt calculate de dispozitivul de optimizare luând în considerare restricțiile și funcția obiectiv (unde este supervizată eroarea de urmărire) [4].

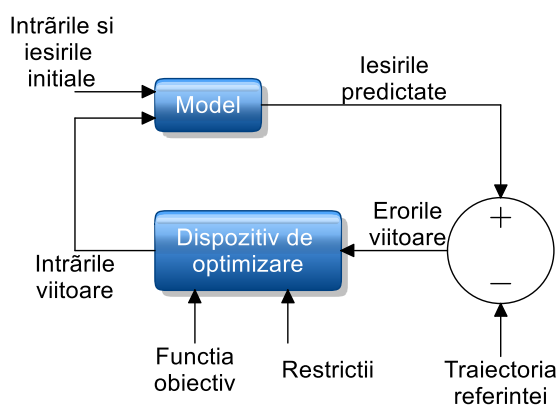


Figura 3.1 Strategia de reglare a comenzii optime în cazul reglării predictive

3.2 Tehnici de reglare fără senzori pentru motoarele electrice

Sistemele de reglare complexe din industrie sunt întreținute de ingineri specializați, aceste sisteme utilizează metode și modele de reglare cu parametri variabili multipli. Atunci când este proiectat un regulator, problemele de reglare creează de obicei diferențe între sistemele și modelele matematice. Acest lucru se datorează în mare parte parametrilor dinamici ai sistemului [5]. În plus, este introdusă strategia de reglare pentru cercetarea practică a aplicațiilor industriale, sistemele avansate fără senzori pentru motoarele cu inducție (MI) și motorul sincron cu magnet permanent (MSMP).

Cu toate acestea, senzorul de viteză determină complexitatea hardware-ului [6]. În figura 3.2, este prezentată o diagramă bloc a estimării tehnicilor fără senzor pentru MI. În ultimele decenii au fost dezvoltate două tipuri de tehnologii: utilizarea modelului matematic în estimarea ecuațiilor vectoriale spațiale și injectarea unui semnal de estimare [30].

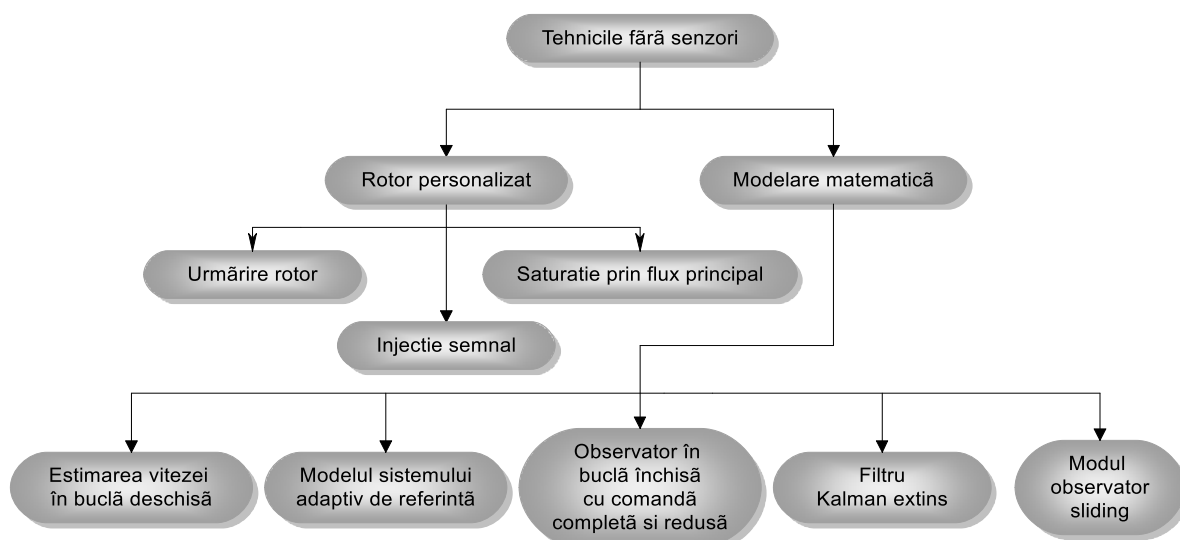


Figura 3.2 Tehnici de estimare fără senzori pentru motorul de inducție

3.2.1 Controlul vectorial

Spre deosebire de controlul scalar, schema de reglare se bazează pe modelul MI dinamic, în care tensiunea și curentul sunt exprimate prin ecuații vectoriale spațiale. Curentul continuu în rotor este proporțional cu viteza de rotație sincronă.

Spre deosebire de controlul scalar, dezvoltarea schemei de control vectorial se bazează pe un model dinamic al MI în care tensiunile, curenții și fluxurile sunt exprimate în forme vectoriale.

3.2.2 Controlul direct al cuplului (DTC)

Datorită optimizării răspunsului cuplului și al algoritmilor de reglare simplificați, metoda de reglare DTC poate fi considerată mai bună decât CV. Schema DTC pentru MI este prezentată în figura 3.5 [7]. DTC este alcătuit din regulatori de cuplu și flux, tabel de căutare și inverter de tensiune. Reglarea cuplului și reglarea fluxului sunt determinate prin selectarea vectorului de tensiune adecvat pentru a menține eroarea de cuplu și fluxul în banda de histererezis. În DTC, precizia estimării fluxului statorului este importantă pentru a asigura atât o selecție corectă a vectorilor de tensiune și reglare a fluxului cât și pentru decuplarea cuplului [8].

3.2.3 Metoda de reglare fără senzori pentru un motor sincron cu magnet permanent (MSMP)

De obicei, metoda de reglare MSMP fără senzori utilizează o tehnică de injecție a unui semnal de înaltă frecvență (HFIM) în rotor pentru a estima poziția rotorului. Poziția rotorului poate fi observată prin tehnici de procesare a semnalului și injectarea de tensiune HF în bobina motorului.

Strategii de control fără senzori. Măsurarea vitezei este esențială atât pentru algoritmul de reglare, cât și pentru reglarea MI. Pentru măsurarea vitezei motorului se poate utiliza un tahometru sau un codificator optic. Cu toate acestea, senzorii mecanici de viteză au mai multe dezavantaje: dimensiuni și costuri ridicate, fiabilitate și durabilitate reduse.

Tendințe recente în controlul modului de alunecare fără senzori pentru MI. Tehnicile de reglare sunt determinate de o nouă structură a observatorului fluxului rotorului care vizează funcționarea fără senzor de viteză a unui MI atât la viteză mică, cât și la viteză mare, unde pot apărea schimburi rapide de viteză. În [9], principiile SMO, DTC și modulația controlului vectorial asigură performanțe ridicate în condiții de echilibru și tranzitorii. Sunt prezentate și precizia, robustețea și funcționarea unității MI fără senzor.

3.3 Concluzii

Utilizarea motoarelor cu inducție (MI) în diferite tipuri de acționări electrice a determinat o reducere semnificativă a consumului de energie. În scopul controlului vitezei MI, sunt necesare informații despre viteza rotorului, care se pot obține prin instalarea senzorilor de viteză sau utilizând observatori. De notat că CV și DTC sunt tehnici pentru reglarea MI care reduc consumul de energie, respectiv oferă o implementare simplă și un răspuns dinamic rapid, deci sunt promițătoare pentru cercetări care să le îmbunătățească performanțele.

Capitolul 4

Analiza tehnicilor de reglare a motoarelor pas cu pas bazate pe algoritmi specifici inteligenței computaționale

4.1 Motorul pas cu pas

Motorul pas cu pas (MPP) este un convertor electromagnetic care realizează transformarea unui șir de impulsuri digitale într-o mișcare proporțională de rotație a axului său. Acesta fiind alimentat cu impulsuri de curent rezultat ca urmare a aplicării unor tensiuni de tip „treaptă” sau combinații între mai multe „trepte”. Una din caracteristicile dedicate a MPP este că deplasarea unghiulară totală, care este constituită dintr-un număr bine determinat de pași reprezentând numărul de impulsuri de comandă aplicat pe fazele motorului. Prin această caracteristică, MPP poate fi definit și ca un element integrator numeric, caracterizat printr-o constantă de integrare egală cu inversul frecvenței de comandă. Poziția finală a rotorului este dată de ultimul impuls de comandă aplicat, iar această poziție este păstrată până la apariția unui nou impuls de comandă.

4.2 Sisteme suport de decizie în ingineria nucleară – studiu de caz

În această secțiune este descrisă funcționarea unui sistem bazat pe controler fuzzy. Realizează un algoritm, care transformă reglarea lingvistică, pe baza cunoștințelor de specialitate într-o strategie de control automat [10].

4.2.1 Sistem suport de decizie on-line de examinare nedistructiv – studiu de caz

Sistemul de examinare nedistructiv (SEN) din cadrul Institutului de Cercetări Nucleare Pitești este conceput pentru examinarea atât a combustibilului nuclear cât și a materialelor testate în diferiți reactori sau centrale nucleare. FLC oferă un algoritm care transformă reglarea lingvistică într-o strategie de control automat pe baza cunoștințelor de specialitate.

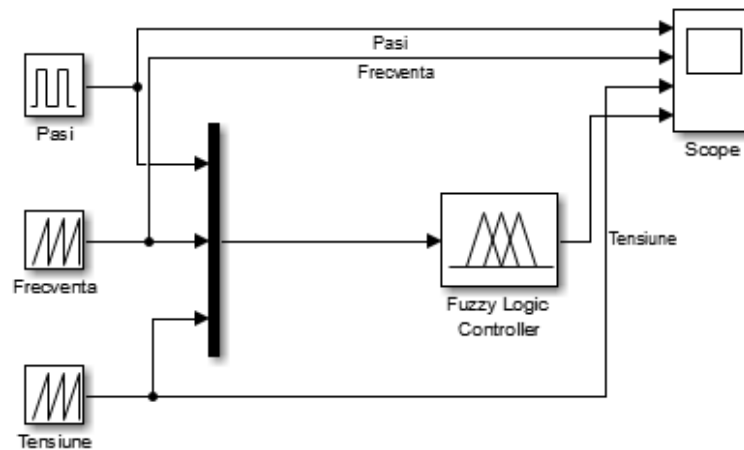


Figura 4.7 Model de implementare a controlerului fuzzy cu MPP în Matlab / Simulink

Pentru stabilirea erorii inițiale, în simulare a fost folosit intervalul [0 0.8].

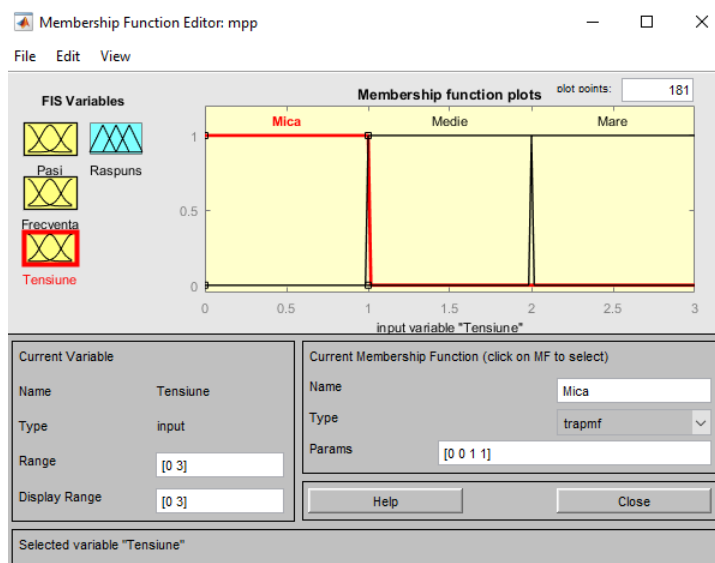


Figura 4.9 Funcția de apartenență folosită în setul fuzzy pentru stabilirea erorii inițiale

Graficul de suprafața al FLC este prezentat în figura 4.16.

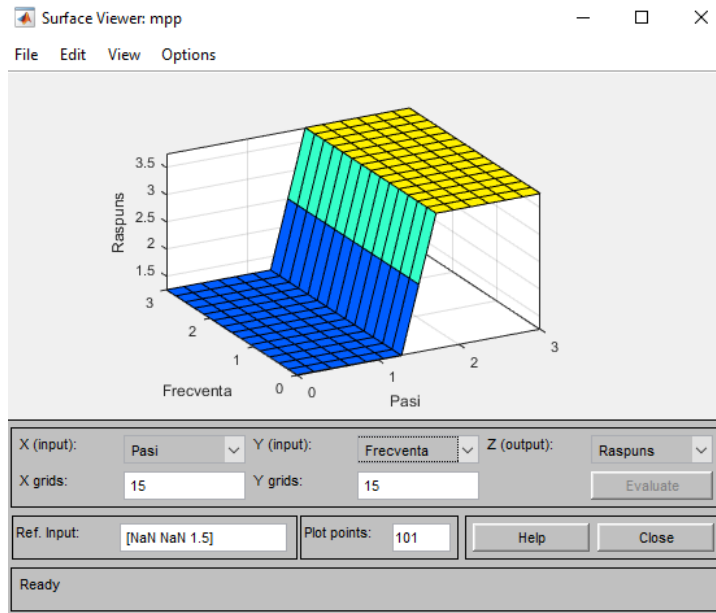


Figura 4.12 Graficul de suprafață FLC

4.2.2 Controlul motoarelor pas cu pas unipolare

Trebuie menționat încă de la început că deși este cea mai simplă și ieftină modalitate de a regla un motor pas cu pas, se obține un cuplu cu aproximativ 30% mai mic decât în cazul unui motor bipolar, acest tip de driver se numește driver L / R sau driver de tensiune constantă.

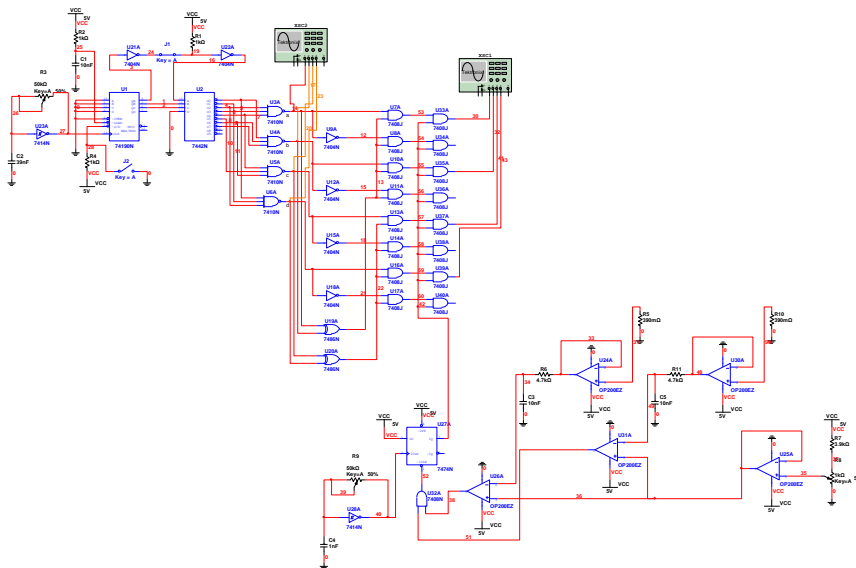


Figura 4.17 Schema electrică a unui driver pentru MPP unipolare

Practic pentru "pas întreg" se efectuează o rotație de 360° a arborelui motorului în 200 de secvențe de reglare, obținând o rotație a axei, pentru un impuls de reglare de 2,5 s.

Comanda „jumătate de pas” împarte o rotație de 360° a arborelui motorului în 400 de secvențe de comandă, cu o rotație a arborelui, pentru un impuls de reglare de 0,9 s. Figura 4.22 prezintă semnalele MPP pentru „pas complet”.

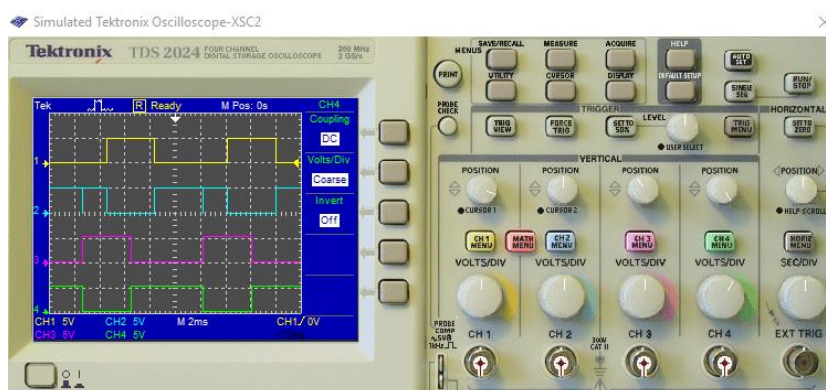


Figura 4.19 Semnalele MPP pentru „pas întreg”

4.3 Sistem de dezvoltare pentru comanda mașinii universale de examinare a probelor din mediul nuclear

Laboratorul de examinare post-iradiere din cadrul Institutului de Cercetări Nucleare a fost conceput și realizat pentru a examina prin metode nedistructive atât combustibilul nuclear cât și materiale testate în reactorii nucleari și supuse procesului de iradiere. Echipamentele principale de examinare, instalate în celula de examinare (locul unde se efectuează procesul de examinare), constau în mașini universale de examinare asemănătoare cu care se fac analize pentru control vizual, dimensional și gama scanning.

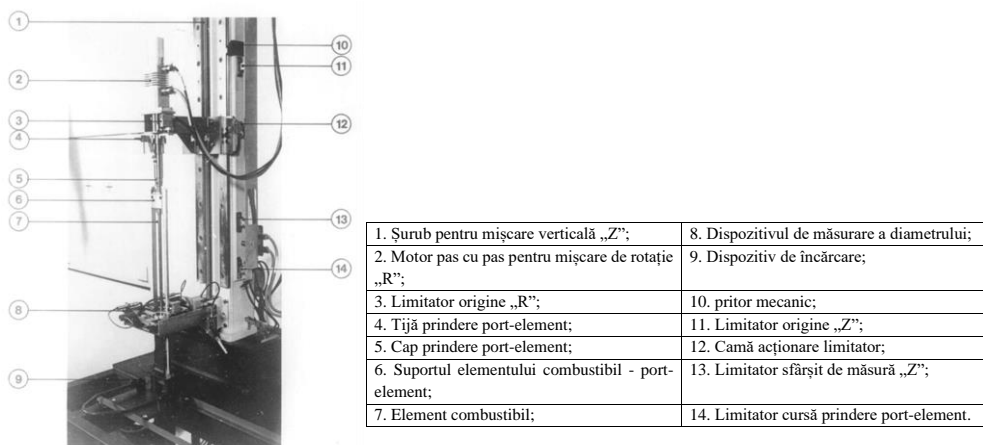


Figura 4.29 Mașina universală de examinare

Aceste mașini universale de examinare au posibilitatea deplasării pe trei axe limitate „X”, „Y”, „Z” cu ajutorul a unor motoare pas cu pas de tipul NEMA 34.

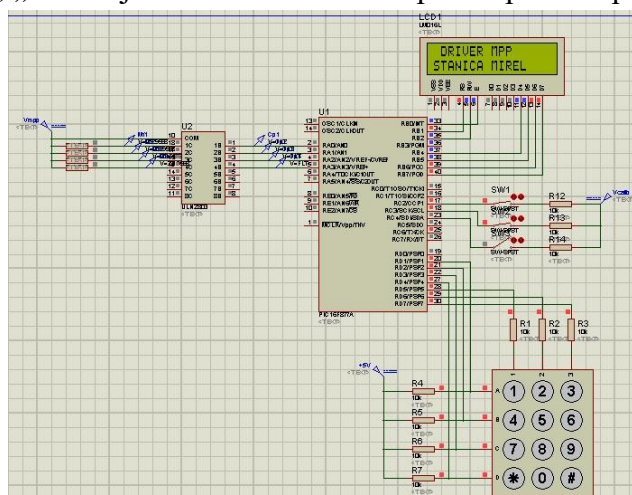


Figura 4.31 Schema electrică de acționare a mașinii universale de examinare

Controler fuzzy pentru comanda MPP. Un controler fuzzy se proiectează pe baza cunoștințelor oferite de un expert uman, fără să fie necesară cunoașterea unui model matematic al procesului. Microcontrolerul utilizat în proiectarea plăcii de dezvoltare poate avea și funcția de regulator fuzzy pentru comanda MPP prezentat în figura 4.40.

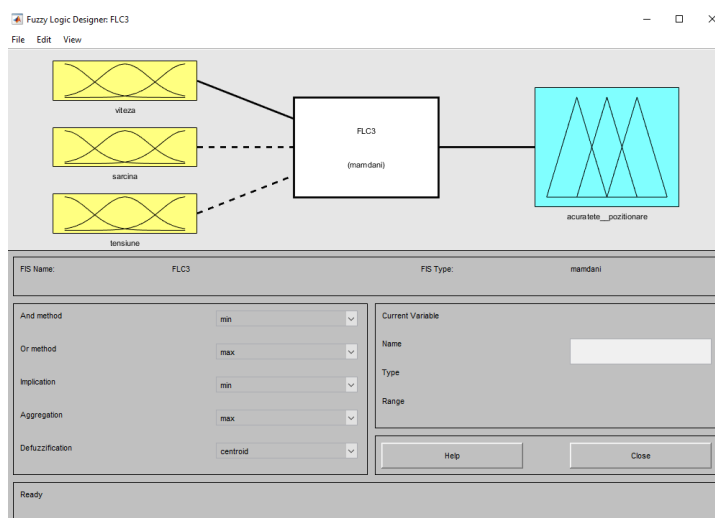


Figura 4.37 Regulator fuzzy

4.10 Concluzii

Acest capitol oferă o prezentare generală a soluțiilor de reglare fără senzori pentru acționările cu motor cu magnet permanent, inclusiv impactul proiectării sistemului asupra performanței acționării fără senzor. În plus, acest capitol a analizat și funcționarea fără senzori a magnetului permanent și modul în care proiectarea motorului trebuie optimizată pentru a obține cele mai bune rezultate.

Capitolul 5

Sisteme de comandă și control pentru acționarea mașinii universale de examinare a materialelor combustibile iradiate

Sistemele de comanda și control folosesc în bucelele de reacție informații furnizate de dispozitivele de instrumentație, în zonele cu radioactivitate ridicată, dispozitivele de instrumentare (senzori și traductoare) sunt afectate în timp de efectele distructive ale radiațiilor și cedează relativ repede. În acest capitol sunt prezentate etapele privind soluția tehnică propusă pentru acționarea motorului pas cu pas pentru zone cu activitate gama ridicată.

5.1 Proiectarea și simularea sistemelor de comandă și control

Conform schemei bloc prezentată în figura 5.3, s-a realizat o schemă electrică a sistemului care conține un microcontroler de tip PIC 16F877 pentru comanda driverului.

La simularea sistemului s-a folosit deplasarea pe o singură axă în programul software ISIS Proteus 7.6.

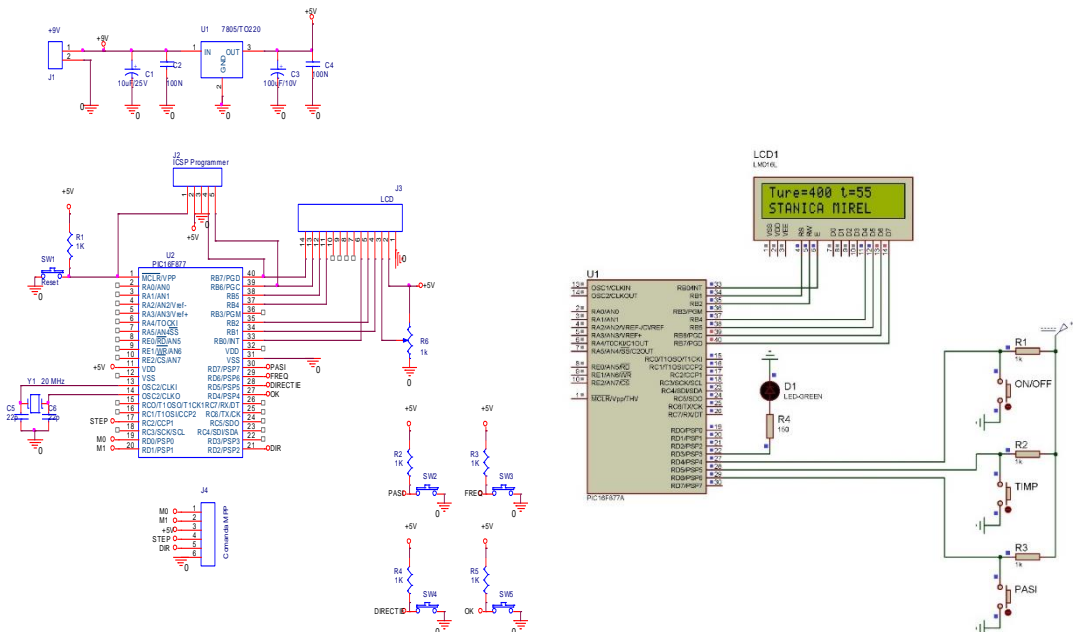


Figura 5.1 Schema electrică a sistemului; **Figura 5.2** Simularea schemei electrice a sistemului

Prima soluție tehnică implementată are la bază un microcontroler PIC16F87 și a fost utilizat pentru testarea funcțiilor de comandă și control a motorului pas cu pas.

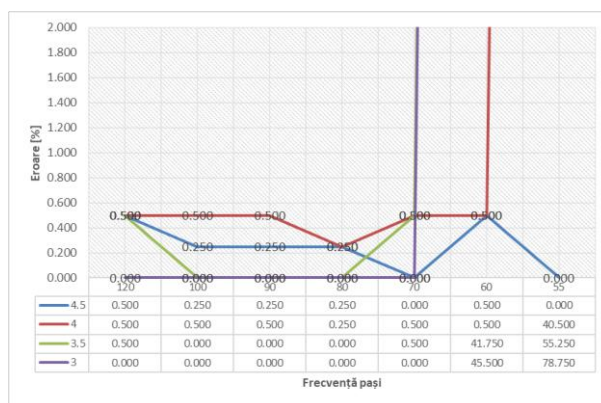
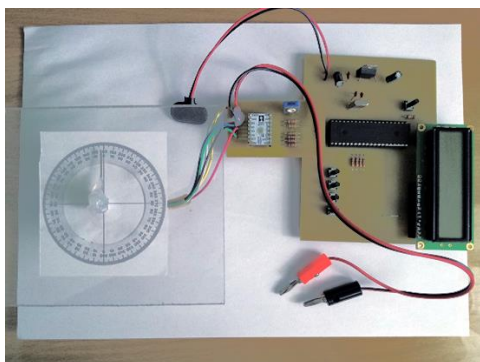


Figura 5.5 Sistem de comandă și control cu MPP; **Figura 5.6** MPP 400 pași, sens stânga la diferite tensiuni de alimentare

Deoarece acest sistem nu putea realiza și achiziția parametrilor în timp real s-a optat pentru actualizarea sistemului cu unul mai performant ce folosește un microcontroler de tipul Arduino Uno. Astfel pe aceeași platformă de dezvoltare s-a putut realiza un sistem de achiziție, comandă și reglare al motorului pas cu pas. A fost testat un MPP pentru diferite frecvențe, pentru diferiți pași și pentru diferite tensiuni cu scopul de a se observa eficiența poziționării MPP. Sistemul a fost setat astfel încât să funcționeze cu 400, 800 și 1200 de pași, 400 de pași reprezentând o rotație completă, MPP specific documentației folosește $0,90/pas \cdot 3600(\text{rotație completă}) = 400$ pași (rotație completă).

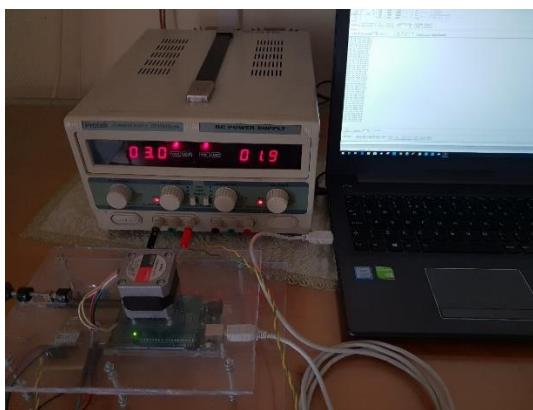


Figura 5.9 Sistem de comandă și control cu MPP

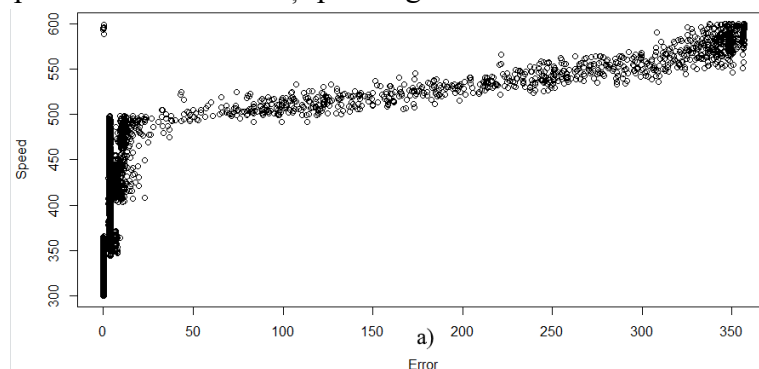
Având în vedere scopul dezvoltării acestui sistem prin poziționarea cât mai precisă a MPP, s-a stabilit ca motorul să fie acționat de 10 ori la viteze diferite (300 ÷ 600 rpm) și tensiuni de la 3V la 4V.

Voltage	Direction	Repetitior	Microstep	No. Rotati	Speed	RawAngle	Error
3	1	10	4	1	300	301.85	0.09
3	1	10	4	1	301	114.53	172.69
3	1	10	4	1	302	287.43	172.9
3	1	10	4	1	303	104.16	176.73
3	1	10	4	1	304	276.45	172.28
3	1	10	4	1	305	100.65	184.2
3	1	10	4	1	306	283.74	183.1
3	1	10	4	1	307	100.73	176.99
3	1	10	4	1	308	283.83	183.1
3	1	10	4	1	309	107.68	183.85
3	1	10	4	1	310	287.43	179.76

Figura 5.11 Date achiziționate la tensiunea de 3V

5.2 Analiza statistică a seturilor de date

Toate datele legate de parametrii motorului au fost stocate în seturi de date grupate după cele trei regimuri dinamice: FC, CJ și CM. Fiecare set de date conține mai multe subseturi (10-11 subseturi), iar fiecare subset conține măsurători (3010 măsurători). Reprezentarea erorii în funcție de viteza de deplasare a motorului pas cu pas (figura 5.13) este importantă deoarece, pe baza analizei reprezentării, putem extrage informații legate de comportamentul acestuia și putem găsi intervale de neliniaritate.



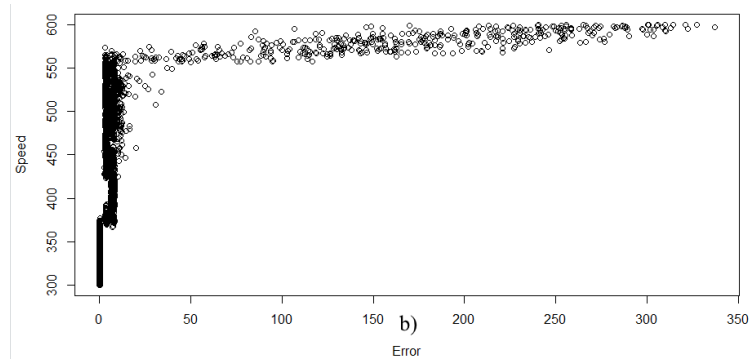


Figura 5.13 Reprezentarea grafică a erorii în funcție de viteză: a) Tensiunea de alimentare a MPP cu 3V; b) Tensiunea de alimentare a MPP cu 4V

5.3 Implementarea algoritmului de control folosind rețele neuronale artificiale (RNA)

Poziția rotorului pentru motoarele electrice, în special pentru tipul de motor sincron, reprezintă o informație importantă în aplicațiile de reglare a vitezei sau al mișcării. Informațiile de poziție ale sistemelor rotative pot fi măsurate prin intermediul codificatorului incremental / absolut, al resolverului sau al senzorilor de tip hall.

Mai recent, rețelele neuronale artificiale (RNA) au atras atenția ca tehnici de identificare. RNA-urile au fost utilizate în aplicații de reglare, identificarea sistemului și observații de incertitudine. Pe baza seturilor de date prelucrate în secțiunea anterioară s-a realizat și antrenat următoarea rețea neuronală.

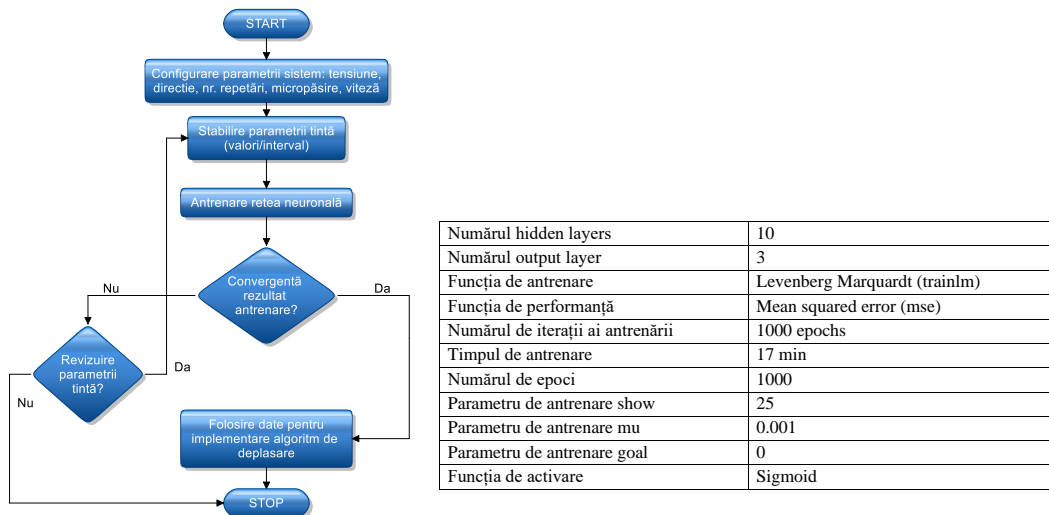


Figura 5.19 Diagrama de flux pentru RNA Tabel. 7 Parametrii de antrenare ai RNA cu date specifice FC

La rularea programului Matlab, sunt efectuate trei sesiuni de antrenare specifice celor trei situații: Cazul 1 în care datele provin de la MPP fără sarcină mecanică (FC), Cazul 2 datele provin de la MPP cu sarcină mecanică 60% (CJ) și cazul 3, datele provin de la MPP cu sarcină mecanică 85% (CM).

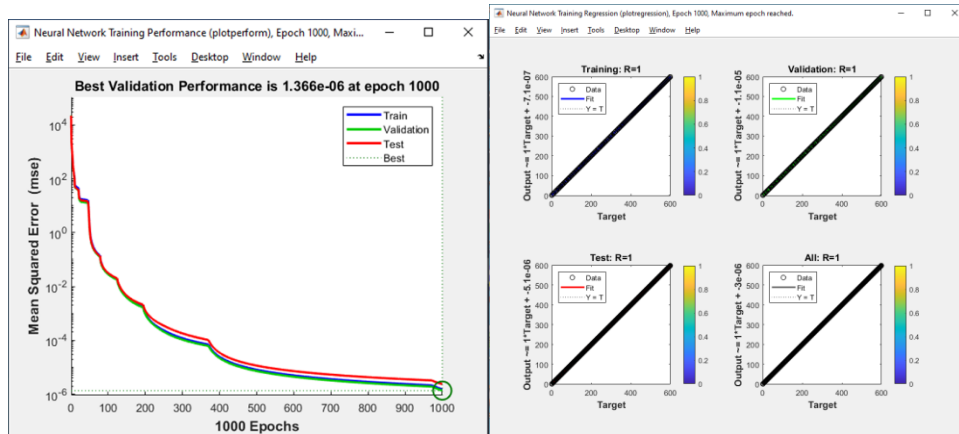


Figura 5.21 Reprezentarea grafică a performanței în procesul de învățare cu date specifice FC (axa OX – numărul de iterații (Epochs), axa OY – Eroarea Medie Pătratică (mse); **Figura 5.24** Graficele de regresie ale rețelei neuronale cu date specifice FC: a) poziționat „stânga-sus” graficul de antrenare; b) poziționat „dreapta-sus” graficul de validare; c) poziționat „stânga-jos” graficul de testare; d) poziționat „dreapta-jos” toate dreptele de regresie (suprapunerea celor trei grafice).

Cazul #2 – Antrenarea rețelei neuronale cu date specifice CJ. În cazul de față s-a determinat evoluția erorii pătratice totale a rețelei pentru 1000 de epoci. Antrenarea rețelei s-a oprit la 355 iterații din 1000 de epoci.

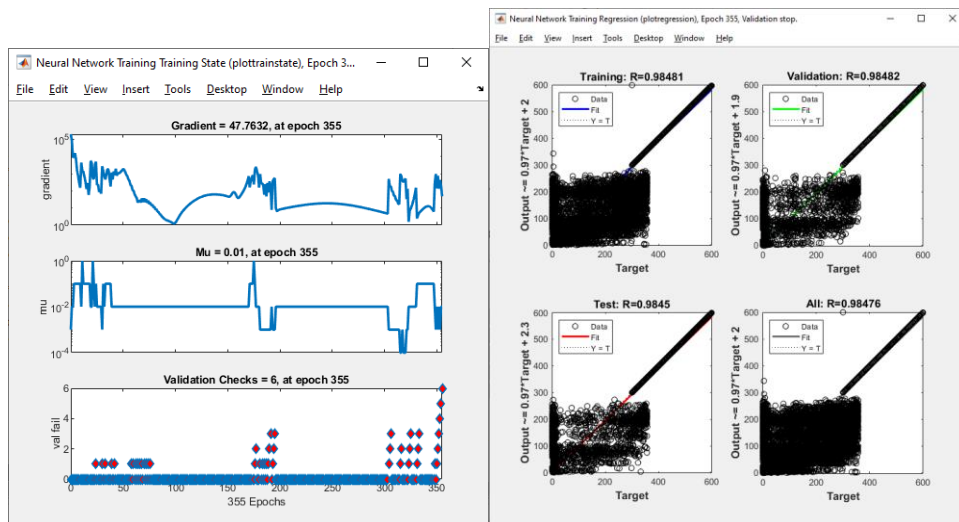


Figura 5.27 Reprezentarea grafică a stării de antrenare a rețelei neuronale cu date specifice CJ; **Figura 5.29** Graficele de regresie ale rețelei neuronale cu date specifice CJ: a) poziționat „stânga-sus” graficul de antrenare; b) poziționat „dreapta-sus” graficul de validare; c) poziționat „stânga-jos” graficul de testare; d) poziționat „dreapta-jos” toate dreptele de regresie (suprapunerea celor trei grafice).

5.4 Concluzii

Analiza statistică a parametrilor care descrie comportamentul de încărcare dinamică pentru motorul pas cu pas și determină zonele cu precizie ridicată se bazează pe instrumente statistice încorporate în programe software complexe (Matlab ©) sau limbaje de programare dedicate precum programarea statistică R. În acest sens, s-a proiectat și implementat urmărirea precisă a comportamentului bazat pe RNA a unui MPP. Performanța controlerului este testată pentru proprietatea de urmărire utilizând diferiți parametri ai MPP în cadrul simulării și experimentelor. Rețeaua neuronală a fost antrenată cu succes cu valori de intrare, tensiune, direcție, viteză, număr de rotații, număr de repetări pentru a da valorile corespunzătoare poziției unghiulare. Prin urmare, valorile poziției rotorului au fost estimate cu exactitate și reglarea vitezei sistemului este obținut într-un mod eficient și simplu folosind o rețea neuronală artificială, aceasta putând fi utilizată în multe aplicații industriale.

Capitolul 6

Concluzii

În acest capitol sunt prezentate rezultatele obținute, contribuțiile originale, lista lucrărilor originale și posibilitățile de dezvoltare ulterioară.

6.1 Rezultate obținute

În capitolul numărul unu s-a făcut o introducere despre domeniul inteligenței computaționale. S-a prezentat utilitatea acestei teze în domeniul cercetării nucleare prin rezultatele obținute în cercetarea doctorală. S-a evidențiat atât scopul cât și conținutul acestuia.

În capitolul numărul doi s-a prezentat detaliat stadiul actual al cercetării privind inteligența computațională și tehnicile de examinare nedistructivă din mediul nuclear.

În capitolul numărul trei s-au făcut cercetări asupra tehnicilor de reglare pentru motoarele electrice și anume tehnicile de reglări predictive și tehnicile de reglare fără senzori. Au fost analizate tehnicile de reglare fără senzori pentru motoarele electrice. Tehnica cea mai utilizată în reglarea poziției și vitezei motoarelor induse este metoda controlului orientat spre câmp.

În capitolul numărul patru s-a prezentat funcționarea, acționarea, comanda motoarelor pas cu pas, un studiu de caz privind sistemele suport de decizie în ingineria nucleară, acționarea motoarelor pas cu pas cu magneți permanenți, analiza motoarelor pas cu pas reglate în buclă deschisă și închisă, și în final s-au analizat tehnicile de detecție ale poziției rotorului MPP.

În capitolul numărul cinci se face o analiză complexă a unor sisteme de comandă și control pentru acționarea mașinii universale de examinare a materialelor combustibile iradiate din mediul nuclear. S-a realizat analiza statistică a parametrilor care descrie comportamentul de încărcare dinamică pentru MPP. Au fost prezentate principalele metode de analiză statistică și sensibilitatea seturilor de date pentru parametrii MPP. Rezultatele analizei statistice au arătat că există o legătură directă între eroarea de poziționare și parametrii de viteză, respectiv tensiunea de alimentare a MPP. În urma acestor analize, s-a proiectat și implementat un sistem pentru urmărirea precisă a comportamentului bazat pe RNA a unui MPP.

6.2 Contribuții originale

În urma demersului de cercetare teoretică și aplicativă au rezultat următoarele contribuții care sunt prezentate în capitolele 2,3,4 și 5.

1. S-a efectuat un studiu privind tendințele actuale în inteligența computațională aplicată în ingineria nucleară, focalizate pe tehnicile de examinare nedistructive din mediul nuclear. Lucrarea se regăsește la referința bibliografică [11] și în lista lucrărilor originale la punctul 8).
2. S-a efectuat un studiu privind tehnicile de detecție a poziției motoarelor electrice, unde s-a analizat MSMP și clasificarea metodelor de reglare fără senzori, metode fără senzori care utilizează cunoașterea de bază a semnalului de excitație și diferite metode de detecție a poziției motorului PMBLDC. Lucrarea se regăsește la referința bibliografică [12] și în lista lucrărilor originale la punctul 1).
3. S-a realizat o analiză comparativă a tehnicilor de reglare a motoarelor de curent alternativ fără senzori, în care s-au studiat metodele de reglare fără senzori pentru motoarele cu inducție, controlul vectorial, controlul direct al cuplului și metoda de reglare fără senzori pentru un motor sincron cu magnet permanent. Lucrarea se regăsește la referința bibliografică [13] și în lista lucrărilor originale la punctul 2).
4. S-a analizat comportarea MPP în buclă deschisă în diferite condiții de lucru (la diferite frecvențe și sarcini) pentru a constitui un referențial pentru cercetările care au fost efectuate. Lucrarea se regăsește la referința bibliografică [14] și în lista lucrărilor originale la punctul 7).
5. S-a realizat o analiză comparativă a comenzii MPP în buclă deschisă, respectiv controlului MPP în buclă închisă, evidențiind avantajele și dezavantajele, inclusiv în cazul utilizării acestor sisteme în mediul nuclear. Lucrarea se regăsește la referința bibliografică [15] și în lista lucrărilor originale la punctul 6).
6. S-a analizat nivelul de eroare în ceea ce privește poziționarea mașinii universale de examinare utilizată în mediul nuclear, pe baza regresiei polinomiale. Evaluarea propusă a fost utilizată pentru a prezice eroarea de estimare a poziției MPP și s-a propus un sistem de reglare pe baza estimării erorii. Lucrarea se regăsește la referința bibliografică [16] și în lista lucrărilor originale la punctul 4).
7. S-a realizat o analiză statistică și de sensibilitate a parametrilor MPP pentru identificarea parametrilor critici asupra erorii de poziționare. În urma dezvoltării și testării unui sistem de comandă și control a MPP a rezultat un set de date analizând poziționarea acestuia la secvențe repetate de acționare. S-a realizat analiza statistică a seturilor de date, care au fost reprezentate prin aproximare polinomială. S-a realizat o analiză a sensibilității pentru a determina măsura în

care variază eroarea de poziție în funcție de parametrii MPP. Lucrarea se regăsește la referința bibliografică [17] și în lista lucrărilor originale la punctul 3).

8. S-au realizat teste preliminare de control bazat pe reguli fuzzy pe un sistem de examinare nedistructiv. În acest studiu de caz s-a demonstrat fezabilitatea controlului fuzzy în domeniul nuclear. Acest studiu este prezentat în referința bibliografică [18] și în lista lucrărilor originale la 9).

6.3 Lista lucrărilor originale

Publicate în conferințe indexate ISI WOS

- 1) ECAI-2019 - PROCEEDINGS OF THE 11TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRONICS, COMPUTERS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE (ECAI-2019), A Review of Different Estimation Methods of DC Offset Voltage For Periodic-Discrete Signals. Arva Mihai-Catalin, Nicu Bizon, Dorin-Mirel **Stanica**, Eugen Diaconescu. DOI: 10.1109/ECAI46879.2019.9042099, **WOS:000569985400120**
- 2) ECAI 2018 - 10th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), 28-30 June, 2018, Iasi, ROMANIA, Paper: "Determining the Risk Level Regarding to the Positioning of an Exam Machine Used in the Nuclear Environment, based of polynomial regression", Author: Mihai Oproescu, Dorin-Mirel **Stanica**, Vasile-Gabriel Iana, Ioan Lita, Mirela Gheorghe. DOI: 10.1109/ECAI.2018.8679054, **WOS:000467734100124**
- 3) ECAI 2018 - 10th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), 28-30 June, 2018, Iasi, ROMANIA, Paper: Analysis on vibration and resonance characteristics of an low speed 3-phase stepper motor. Arva Mihai-Catalin, Dorin-Mirel **Stanica**, Eugen Diaconescu, Nicolae Anghel. DOI: 10.1109/ECAI.2018.8678993, **WOS:000467734100063**
- 4) SIITME 2017 - IEEE 23rd International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), 26-29 October, 2017, Constanta, ROMANIA, Paper: "Intelligent control system with application in nuclear equipment", Author: Dorin-Mirel **Stanica**, Ioan Lita, Mihai Oproescu. DOI: 10.1109/SIITME.2017.8259923, **WOS:000428032300074**
- 5) SIITME 2017 - IEEE 23rd International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), 26-29 October, 2017, Constanta, ROMANIA, Paper: "Comparative analysis of stepper motors in open

loop and closed loop used in nuclear engineering” Authors: Dorin-Mirel **Stanica**, Ioan Lita, Mihai Oproescu. DOI: 10.1109/SIITME.2017.8259924, **WOS:000428032300075**

- 6) ECAI 2016 - 8th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), 30 June-2 July, 2016, Ploiesti, ROMANIA, Paper: ”The analysis of different frequency for a stepper motor open loop operation” Authors: Dorin-Mirel **Stanica**, Ion Man, Mihai Oproescu. DOI: 10.1109/ECAI.2016.7861187, **WOS:000402541200123**
- 7) ECAI 2015 - 7th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), 25-27 June, 2015, Bucharest, ROMANIA, Paper: ”Trends in computational intelligence applied in nuclear engineering and non-destructive examination techniques of nuclear units” Authors: Dorin-Mirel **Stanica**, George Robert Sisman. DOI: 10.1109/ECAI.2015.7301174, **WOS:000370971100039**

Publicate în conferințe indexate Scopus (IEEEExplore); in curs de indexare in ISI WOS

- 8) ECAI 2021 – 13th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), 1-3 July, Pitesti, ROMANIA, Paper: ”A brief review of sensorless motors position control”, Authors: Dorin-Mirel **Stanica**, Nicu Bizon, Mihai-Catalin Arva. DOI: **10.1109/ECAI52376.2021.9515050**
- 9) ECAI 2021 - 13th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), 1-3 July, Pitesti, ROMANIA, Paper: ”A brief review of sensorless AC motors control”, Authors: Dorin-Mirel **Stanica**, Nicu Bizon, Mihai-Catalin Arva. DOI: **10.1109/ECAI52376.2021.9515049**
- 10) ECAI 2021 – 13th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), 1-3 July, Pitesti, ROMANIA, Paper: ”Statistical and sensitivity analysis of stepper motor parameters used in high gamma radiation field”, Authors: Mihai Catalin Arva, Dorin-Mirel **Stanica**, Nicu Bizon and Cosmin Ivan. DOI: **10.1109/ECAI52376.2021.9515038**

Publicate în jurnale indexate in alte baze de date internationale (Google Scholar)

- 11) IJTPE 2015 - International Journal on ”Technical and Physical Problems of Engineering (IJTPE), Published by International Organization of IOTPE, 3 September, 2015, Issue 24, vol 7, no.3. Paper: ”Preliminary tests based on fuzzy

intelligence on a system of non-destructive examination” Authors: Dorin-Mirel Stanica. ISSN 2077-3528

Nota. IJTPE este indexat în Scopus începând cu 2020.

Publicate în conferințe internaționale

- 12) ICTPE 2015 - 11th International Conference on “Technical and Physical Problems of Electrical Engineering” 10-12 September 2015, University of Pitesti & LUMINA - University of South-East Europe Bucharest, Romania. Paper: Preliminary tests of a system based on fuzzy intelligence on a system of non-destructive examination. Authors: Dorin-Mirel **Stanica**, Nicu Bizon.

Rapoarte științifice

1. **Raportul științific nr. 5:** *Monitorizarea on-line a centralelor nucleare*, autor **Stănică** Dorin-Mirel, Coordonator Prof. Dr. Ing. BIZON Nicu, Comisia de evaluare: Prof. Dr. Ing. Liță Ioan, Șl. Dr. Ing. Iana Vasile-Gabriel, Șl. Dr. Ing. Răducu Marian
2. **Raportul științific nr. 4:** *Tehnici de control predictiv și agenți inteligenți cu aplicații în ingineria nucleară*, autor **Stănică** Dorin-Mirel, Coordonator Prof. Dr. Ing. BIZON Nicu, Comisia de evaluare: Conf. Dr. Ing. Diaconescu Eugen, CPI Dr. Ing. Talpalariu Mihail Corneliu, Conf. Dr. Ing. Anghelescu Petre
3. **Raportul științific nr. 3:** *Analiza comparativă a tehnicilor de control și luare a deciziilor bazate pe inteligența computațională aplicată în domeniul ingineriei*, autor **Stănică** Dorin-Mirel, Coordonator Prof. Dr. Ing. BIZON Nicu, Comisia de evaluare: Prof. Dr. Ing. Șerban Gheorghe, CPI Dr. Ing. Talpalariu Mihail Corneliu, Șl. Dr. Ing. Iana Vasile-Gabriel
4. **Raportul științific nr. 2:** *Sisteme support de decizie în ingineria nucleară*, autor **Stănică** Dorin-Mirel, Coordonator Prof. Dr. Ing. BIZON Nicu, Comisia de evaluare: Conf. Dr. Ing. Eugen Diaconescu, CPI Dr. Ing. Corneliu Mihail Talpalariu, Șl. Dr. Ing. Mihai Oproescu
5. **Raportul științific nr. 1:** *Domenii de cercetare ale Inteligenței computaționale aplicate în ingineria nucleară*, autor **Stănică** Dorin-Mirel, Coordonator Prof. Dr. Ing. BIZON Nicu, Comisia de evaluare: Prof. Dr. Ing. Ioan Liță, Prof. Dr. Ing. Silviu Ioniță, Șl. Dr. Ing. Alin Mazăre

Proiecte de cercetare

Proiect cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Sectorial pentru Dezvoltarea Resurselor Umane 2007 – 2013 (POSDRU), Titlul proiect: Promovarea științei și calității în cercetare prin burse doctorale, Cod Contract: 155420, Beneficiar: Universitatea POLITEHNICA din București

6.4 Perspective de dezvoltare ulterioară

Direcțiile viitoare de cercetare sunt legate de ideile care au fost prezentate în cadrul tezei. Dezvoltarea de noi soluții hardware și software de acționare a MPP în vederea efectuării examinărilor nedistructive din cadrul laboratorului de examinare post iradiere.

Tendința generală este de acționare cu precizie ridicată și într-un timp cât mai scurt a mașinilor universale de examinare din cadrul LEPI.

Bibliografie

- [1] E. Robert, Uhrig, J. Wesley Hines, „Computational Intelligence in Nuclear Engineering,” Department of Nuclear Engineering, University of Tennessee, February 2005.
- [2] Livingston, A. R., „Nondestructive Testing of Historic Structures,” Research and Development, Federal Highway Administration, USA, Archives and Museum Informatics, vol. 13, pp. 249-271, 1999 - 2001.
- [3] D. M. Stănică, I. Man, „Examinarea Nedistructivă a Elementelor Combustibile Iradiate,” Universitatea Pitești, Facultatea de Științe, 2014.
- [4] J. Rodrigues, P. Cortes, „Predictive Control of Power Converters and Electrical Drives,” 1edn. (Wiley – IEEE Press) Chichester , 2012.
- [5] T. Geyer, D.E. Quevodo, „Multiset direct model predictive control for power electronics – Part. 2,” Analysis, in Proceedings of the Energy Conversion Congress and Exposition, ECCE, 2013.
- [6] Rockwell Automation, „Energy savings with variable frequency drives,” (http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/ar/7000-ar002_en-p.pdf), [accessed 28.02.13], 2007.
- [7] G. Wang, D. Xiao, N. Zhao, X. Zhang, W. Wang, and D. Xu, „Low-Frequency Pulse Voltage Injection Scheme-Based Sensorless Control of IPMSM Drives for Audible Noise Reduction,” IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 64, pp. 8415-8426, 2017.
- [8] GS Buja, MP Kazmierkowski, „Direct torque control of PWM inverter-fed AC motors—a survey,” IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 51, p. 744–57, 2004.
- [9] SA Davari, DA Khaburi, W. Fengxiang, RM Kennel, „Using full order and reduced order observers for robust sensorless predictive torque control of induction motors,” IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 27, p. 3424–33, 2012.
- [10] M. Jin, „Distributivity integrated intelligent control theory and system realization exploitation platform and applied research,” Chang sha: Zhong nan University, 2000
- [11] Stănică Dorin – Mirel, Șișman George Robert, „Trends in computational intelligence applied in nuclear engineering and non-destructive examination techniques of nuclear units,” ECAI 2015 - International Conference – 7th Edition, 2015.
- [12] Dorin – Mirel Stănică, Nicu Bizon, Mihai – Catalin Arva, „A brief review of sensorless motors position control,” 13th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), 2021.
- [13] Dorin – Mirel Stănică, Nicu Bizon, Mihai – Catalin Arva, „A brief review of sensorless AC motors control,” 13th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), 2021

- [14] Stănică Dorin – Mirel, Man Ion, Oproescu Mihai, „The analysis of different frequency for a stepper motor open loop operation,” ECAI 2016 - International Conference – 8th Edition Electronics, Computers and Artificial Intelligence, 2016.
- [15] Stănică Dorin - Mirel, Ioan Lita, Mihai Oproescu, „Comparative analysis of stepper motors in open loop,” 23st International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), 2017.
- [16] Mihai OPROESCU, Mirel-Dorin STANICA, Vasile-Gabriel IANA, Ioan LITA, Mirela GHERGHE, „Determining the Risk Level Regarding to the Positioning of an Exam Machine Used in the Nuclear Environment, based of polynomial regression,” International Conference – 10th Edition Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), 2018.
- [17] Mihai-Catalin Arva, Dorin – Mirel Stănică, Nicu Bizon, „Statistical and sensitivity analysis of stepper motor parameters used in high gamma radiation field,” 13th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), 2021
- [18] S.D. Mirel, „PRELIMINARY TESTS BASED ON FUZZY INTELLIGENCE ON A,” International Journal on “Technical and Physical Problems of Engineering” (IJTPE), vol. 7, nr. 24, pp. 37-41, September 2015