



UNIVERSITATEA POLITEHNICA din BUCUREȘTI

ȘCOALA DOCTORALĂ ETTI-B

- Rezumatul tezei de doctorat -

**TEHNICI OPTIMIZATE PENTRU ASIGURAREA
MENTENANȚEI PREDICTIVE PENTRU SISTEMELE
ELECTRONICE ȘI PROCESELE DE FABRICAȚIE
AFERENTE ACESTORA**

Doctorand:

Ing. George – Robert Șişman

Conducător științific,

Prof.univ. dr. ing. Nicu BIZON

Mulțumiri

Acum, la finalul stagiului doctoral, mă simt profund marcat de sentimente de fericire și împlinire care provin din mulțumirea profesională și personală a studiilor duse la bun sfârșit.

Pe această cale, doresc să le mulțumesc tuturor acestor oameni care mi-au oferit consultanță științifică și care și-au rupt din timpul lor liber pentru a-mi oferi sprijin și ajutor.

Doresc să aduc mulțumiri speciale coordonatorului meu științific, domnului prof. univ.dr. **Nicu Bizon**, pentru permanenta sa îndrumare, sprijinire și încurajare de-a lungul perioadei de pregătire a doctoratului și de elaborare a tezei. Îi mulțumesc domnului profesor pentru că mi-a oferit libertatea de a exploata și aborda această temă de doctorat într-un mod personal, acordându-mi oportunitatea de a descoperi acea ”nișă de cercetare” pe care îmi doresc să o aprofundez în viitor.

Totodată, doresc să-i adresez mulțumiri pentru tot sprijinul acordat și buna colaborare domnului conf. univ.dr. Mihai Oproescu.

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

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

Mulțumirile mele se îndreaptă și către colegii din școala doctorală FETTI UPB, împreună cu care am dezbătut numeroase teme de cercetare și care, prin prezentările lor din cadrul seminariilor științifice, mi-au lărgit aria de cunoaștere în domeniul științelor ingineresti.

Totodată, doresc să adresez mulțumiri speciale familiei mele și prietenilor pentru încurajările lor și pentru sprijinul devotat, exprimate pe parcursul demersului de cercetare doctorală.

Vă mulțumesc!

Drd. Ing. Șişman George Robert

CAPITOLUL 1	9
INTRODUCERE	9
1.1. Prezentarea domeniului tezei de doctorat	9
a) Structura lucrării	9
1.2. Obiective propuse în lucrare	10
1.4. Stadiul actual în domeniul mentenanței echipamentelor electronice	11
1.4.1. a) Conceptul de mentenanță	11
1.4.3. Modele de management pentru implementarea mentenanței predictive	12
1.4.6. Fiabilitatea echipamentelor bazată pe mentenanță predictivă	12
CAPITOLUL 2	14
TEHNOLOGII ȘI ECHIPAMENTE ELECTRONICE PENTRU REALIZAREA MENTENANȚEI PREVENTIVE	14
2.5.1. Echipamente de tip SIMOCOD cu management integrat de diagnosticare și monitorizare	14
CAPITOLUL 3	17
METODE ȘI INSTRUMENTE APLICATE ÎN MENTENANȚA ECHIPAMENTELOR ELECTRONICE PENTRU ACHIZIȚIA ȘI ANALIZA DATELOR	17
3.1.1. Diagrama Pareto. Studiu de caz privind mentenanța unei stații de energie utilizată în echipamente de telecomunicații	17
3.2.2. Grafuri Fuzzy	20
Studiu de caz aplicat asupra stației de energie	21
CAPITOLUL 4	24
SISTEME AVANSATE DE CONTROL ȘI MONITORIZARE A ECHIPAMENTELOR ELECTRONICE IMPLICATE ÎN PROCESELE DE FABRICAȚIE	24
4.3. Sisteme de monitorizare și analiză a datelor înregistrate de la echipamente electronice implicate în procesele de fabricație bazate pe PLC-uri	24
Studiu de caz: realizarea mentenanței predictive pentru o stație de energie	24
CAPITOLUL 5	28
MENTENANȚA PREDICTIVĂ BAZATĂ PE CONCEPTUL DE METROLOGIE VIRTUALĂ	28
5. 5. Studiu de caz: metrologie virtuală implementată cu ajutorul unui PLC	28
CAPITOLUL 6	30
CONCLUZII, CONTRIBUȚII, TENDINȚE	30
6.1. Rezultate obținute și contribuții originale	30
6.2. Lista lucrărilor originale	31
6.3. Perspective de dezvoltare ulterioară	34

CAPITOLUL 1

INTRODUCERE

1.1.Prezentarea domeniului tezei de doctorat

a) Structura lucrării

Activitățile de cercetare desfășurate pentru îndeplinirea obiectivelor specifice propuse s-au concretizat în lucrarea de față, pe care am structurat-o în 6 capitole, care sunt succint prezentate mai jos.

Capitolul I prezintă stadiul actual al cercetării și dezvoltării în domeniul mentenanței predictive a echipamentelor electronice.

În capitolul II sunt prezentate tehnici și echipamente utilizate în domeniul mentenanței predictive bazate pe analiză în timp și/sau, în frecvență, concepte de inteligență artificială și logică fuzzy aplicate în același domeniu al mentenanței predictive.

Capitolul III face referire la metode și instrumente matematice pentru prelucrarea datelor achiziționate din timpul proceselor de funcționare al sistemelor, monitorizate cu ajutorul echipamentelor electronice. Sunt prezentate metode clasice de analiză a datelor, dar și metode avansate de procesare a datelor bazate pe tehnici propuse recent în literatura de specialitate. Unele dintre aceste metode avansate au fost implementate practic pe o sursă de putere utilizată în telecomunicații.

Capitolul IV este dedicat sistemelor avansate de control și monitorizare a proceselor. Tot aici se evidențiază contribuțiile autorului în proiectarea sistemelor de detectare precoce a defecțiunilor, în utilizarea tehnologiei IO-Link cu interfață software pentru identificarea defectelor, în proiectarea sistemelor industriale bazate pe PLC-uri, dar și în analiza datelor privind mentenanța sistemelor electronice de telecomunicații.

Capitolul V tratează conceptele de metrologie virtuală și controlul secvențial de tip RUN – TO – RUN aplicat în realizarea mentenanței predictive. Autorul a propus un sistem metrologic de timp real cu funcții integrate de mentenanță predictivă bazat pe conceptul de metrologie virtuală.

Capitolul VI concluzionează demersul teoretic și aplicativ al tezei, evidențiind posibile tendințe de dezvoltare în domeniul mentenanței predictive.

Partea finală a lucrării cuprinde bibliografia de specialitate, în care sunt incluse și publicațiile autorului.

1.2. Obiective propuse în lucrare

Obiectivul principal al acestei lucrări este de analiză a sistemelor electronice și a proceselor de fabricație specifice, din punctul de vedere al întreținerii predictive a acestora, prin utilizarea de indicatori specifici de performanță.

Analiza se focalizează pe tehnici de mentenanță predictivă care pot asigura o funcționare optimă a echipamentelor electronice utilizate în sisteme de telecomunicații. Studiile de specialitate, dar și cercetarea experimentală efectuată de mine pe durata stagiului de doctorat, au evidențiat necesitatea utilizării tehnicilor moderne de mentenanță predictivă, tehnici care conduc la prelungirea duratei de funcționare a echipamentelor electronice. În cazul unor condiții deosebite de funcționare este necesară elaborarea de soluții de mentenanță predictivă personalizate pentru aceste echipamente.

Obiectivele principale ale acestei lucrări sunt următoarele:

O1: Analiza mentenanței predictive aplicată sistemelor electronice și a proceselor de fabricație specifice acestora prin utilizarea de indicatori specifici de performanță.

O2. Proiectarea și implementarea de soluții software pentru interfațarea sistemelor de diagnosticare cu echipamentele electronice monitorizate on-line în procesul de funcționare.

Rezultatele obținute în urma cercetării realizate în cadrul tezei de doctorat sunt raportate în Capitolul VI în strânsă corelare cu următoarele obiective specifice:

- OS1. Analiza și sistematizarea tehnicilor de mentenanță utilizate în domeniul echipamentelor electronice, cu evidențierea avantajelor specifice utilizării fiecărei tehnici de mentenanță;
- OS2. Prelucrarea datelor achiziționate din sisteme reale de asigurare a mentenanței pentru echipamentele electronice analizate în studiile de caz prezentate în lucrare;
- OS3. Proiectarea și implementarea de soluții software (algoritmi software și interfețe grafice), realizate în diferite limbaje de programare, dedicate sistemelor de diagnosticare a echipamentelor electronice în procesul de funcționare;

- OS4. Proiectarea și implementarea de interfețe grafice pentru monitorizarea la distanță a echipamentelor electronice;
- OS5. Elaborarea de soluții software optimizate bazate pe concepte clasice, respectiv pe inteligență computațională, pentru identificarea cauzelor potențiale de defectare a echipamentelor electronice.
- OS6. Validarea modelelor și metodelor matematice propuse pentru realizarea mentenanței predictive prin compararea cu cele de bază propuse în literatura de specialitate;
- OS7. Validarea prin simulare și/sau experiment a algoritmilor software și interfețelor grafice elaborate

1.4. Stadiul actual în domeniul mentenanței echipamentelor electronice

1.4.1. a) Conceptul de mentenanță

Dezvoltarea unui nou sistem sau echipament începe cu definirea cerințelor de funcționare, urmând dezvoltarea conceptului de mentenanță, care asigură o bază comună pentru definirea cerințelor de mentenabilitate și de logistică de mentenanță pliate pe cerințele proiectului pentru a corespunde necesităților de funcționare impuse.

Dezvoltarea conceptului de mentenanță reprezintă una dintre cele mai importante etape în ciclul de realizare a sistemului, deoarece se poate realiza planificarea mentenanței și logisticii de mentenanță încă din această fază de proiectare, aceste activități putând fi disociate de activitățile tehnice de mentenabilitate.

Conceptul de mentenanță descrie un plan logistic pentru întreținerea sistemelor echipamentului într-un mediu operațional în funcție de:

- criteriile de alegere a modelului și nivelelor de mentenanță ;
- politica și cerințele privind logistica fundamentală de mentenanță (structura acestei logistici);
- criteriile referitoare la echipamentele de control și de încercare (pot fi integrate automat sau utilizate la apariția unei cereri de control) [2].

Mentenanța predictivă reprezintă “mijlocul de îmbunătățire și creștere a productivității, calității produselor și a randamentului total al sistemelor de fabricație și producție”[4].

Acest tip de mentenanță are la bază programarea activităților în funcție de parametrii de funcționare ai echipamentului sau componentelor electronice. Totodată, mentenanța predictivă presupune un întreg sistem logistic.[5].

1.4.3. Modele de management pentru implementarea mentenanței predictive

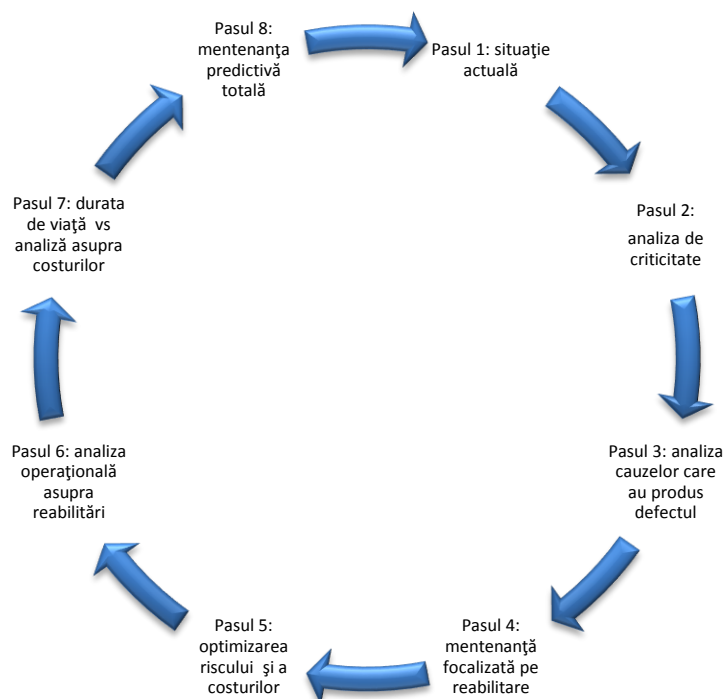


Figura 1.7. Model pentru realizarea unui plan de mentenanță predictivă

1.4.6. Fiabilitatea echipamentelor bazată pe mentenanță predictivă

Fiabilitatea reprezintă capacitatea unui sistem tehnic (echipament electronic, element, aparat sau ansamblu) de a funcționa fără defecțiuni într-un interval de timp și în condiții date, îndeplinind funcția care îi este atribuită în condițiile stabilite de către factorul uman. Pentru a beneficia de o fiabilitate ridicată a echipamentelor electronice trebuie avute în vedere încă din stadiul de proiectare elementele de exploatare ale echipamentului ce urmează să fie fabricat pentru o eficiență maximă în utilizare.

Termenul de fiabilitate provine din limba franceză “fiabilite”. Acesta face referire la studiul defectărilor sistemelor, însușirea de a fi fiabil (de siguranță în exploatare).

Dacă prin calitatea unui produs înțelegem gradul sau nivelul prin care acesta corespunde necesităților la un moment dat, atunci prin fiabilitatea echipamentelor se

înțelege utilizarea produsului la parametrii proiectați, exploatarea lui sigură și continuă, în condiții determinate, pe parcursul unei durate de timp date.

Toate aceste lucruri sunt posibile prin realizarea mentenanței predictive și respectarea planului de mentenanță.

Fiabilitatea unui echipament poate fi descrisă și prin caracteristicile numerice ale unui parametru aleator. Aceste caracteristici sunt:

- media
- abaterea medie patratică
- dispersia

Media timpului de bună funcționare a unui echipament electronic la care se realizează mentenanță predictivă corespunzătoare planului de lucrări se definește utilizând relația:

$$m = \int_0^{\infty} t \times f(t) dt, t \in (0, \infty) \quad (1.1)$$

$$m = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (1.2)$$

Indicatorii specifici de performanță sunt determinați de media timpului de bună funcționare a unui echipament electronic, care în lucrările de specialitate se diferențiază prin indicatorii următori:

- MTBF – reprezintă Mean Time Between Failures – media timpului de funcționare între defectări;
- MTTF – reprezintă Mean Time To Failures – media timpului de funcționare până la defectare, pentru echipamente fără realizarea mentenanței predictive conform planului;
- MTTFE – reprezintă Mean Time To First Failures – media timpului de funcționare până la prima defectare.

Fiabilitatea echipamentelor electronice poate fi caracterizată și printr-un indicator de evaluare a fiabilității la punerea în funcțiune a echipamentului. Acest indicator de fiabilitate poate fi calculat experimental, prin extragerea din fabricație a unor eșantioane de componente electronice: condensatori, integrate, rele, etc.

Fiabilitatea unui sistem complex poate fi mărită pe două căi:

- simplificarea structurii sistemului și folosirea unor componente de calitate superioară;
- implementarea conceptului de toleranță la defectare.

CAPITOLUL 2

TEHNOLOGII ȘI ECHIPAMENTE ELECTRONICE PENTRU REALIZAREA MENTENANȚEI PREVENTIVE

2.5.1. Echipamente de tip SIMOCOD cu management integrat de diagnosticare și monitorizare

Utilizarea echipamentelor pentru mentenanță predictivă a cunoscut o creștere semnificativă în ultima perioadă, deși, în prezent, tehnologia este destul de costisitoare, iar procesul de instalare poate fi unul de durată.

Obiectiv

Obiectivul acestui studiu de caz este de a evidenția modul de diagnosticare a unui motor trifazat asincron utilizând un modul de diagnosticare și monitorizare de tip SIMOCOD.

Rezultate obținute

Datele înregistrate cu acest modul au fost achiziționate din teren, cu ajutorul unor senzori, cum ar fi: senzor de temperatură, senzor de turație, senzor pentru monitorizarea fazei electrice.

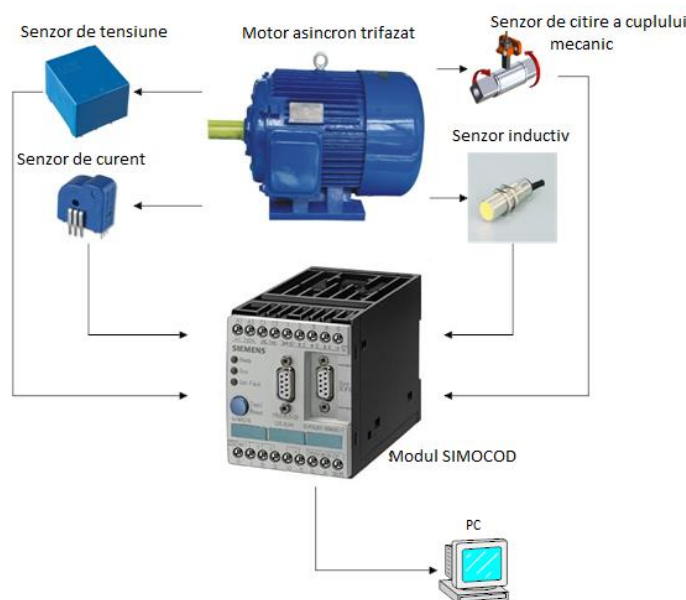


Figura 2.15. Schema bloc a unui sistem de diagnosticare a unui motor de curent continuu cu magneți permanenți utilizând modul SIMOCOD [43]

În figura 2.15 este prezentată schemă bloc a unui sistem de diagnosticare a unui motor electric, cu ajutorul unui modul SIMOCOD. Această schemă cuprinde senzori de turație, de cuplu, de curent și inductivi, cu ajutorul cărora se achiziționează

date privind parametrii funcționali ai motorului. Aceste date sunt transmise către modulul SIMOCOD cu ajutorul protocoalelor de comunicație PROFIBUS, Ethernet sau IO-Link.[43][44]. Scopul utilizării acestei aplicații îl reprezintă prevenția deteriorării componentelor prin setarea anumitor parametri nominali de funcționare ai motorului [44].

Monitorizarea regimului de lucru a unui motor trifazat se face cu ajutorul interfeței prezentate în figura 2.16. În această figură este prezentat regimul de funcționare al motorului, putând observa procentual gradul de încărcare a fiecărei faze. Informația este prezentată numeric și grafic. Orice dezechilibru apărut între fazele electrice oferă informații care ar putea preveni apariția unui defect [43].

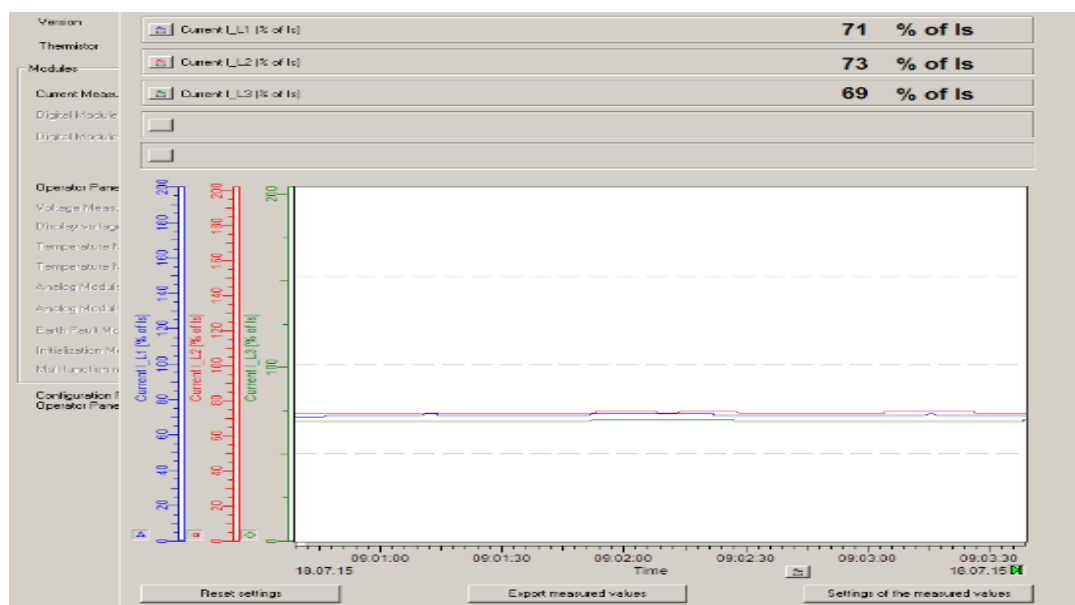


Figura 2.16. Interfață dedicată monitorizării unui motor asincron trifazat [43]

Pentru realizarea mentenanței preventive aplicate unui motor electric, modulul SIMOCOD, prin intermediul unor interfețe personalizate, permite setarea parametrilor nominali de funcționare ai echipamentului monitorizat. Astfel de interfețe personalizate sunt prezentate în figura 2.17.

Prin configurarea modulului SIMOCOD avem posibilitatea de a seta valori pentru următorii parametri:

- ✓ temperatura de lucru la care motorul să se oprească;
- ✓ monitorizarea legăturii la masă a motorului;
- ✓ lipsa existenței unei faze electrice.
- ✓ tipul pornirii motorului: stea și / sau triunghi;

- ✓ viteza de lucru a motorului și rampa de accelerare pentru convertizor [45].

Current Limits
(Monitoring of max. Current I_{max})

I > (upper limit)

Trip Level: 120 % of I_s

Response at Trip Level: tripping

Trip Delay: 5.0 s

Warning Level: 116 % of I_s

Response at Warning Level: warning

Warning Delay: 0.5 s

I < (lower limit)

Trip Level: 0 % of I_s

Response at Trip Level: disabled

Trip Delay: 0.5 s

Warning Level: 0 % of I_s

Response at Warning Level: disabled

Warning Delay: 0.5 s

Hysteresis for Current Limits: 5 % of adjusted level

Figura 2.17. Interfață pentru setarea parametrilor de lucru ai unui motor trifazat [43]

Software-ul de programare a modului SIMOCOD-ului ne permite crearea unor pagini de mentenanță în care putem introduce, pe lângă principalele funcții monitorizate, funcțiile vitale și o serie de parametri care trebuie monitorizați permanent, cum ar fi: gradul de încărcare al motorului, curentul consumat, sensul de rotație al motorului, stadiul comunicației cu DCS (Digital Control System) senzorii utilizați în funcționarea echipamentului monitorizat (senzor de temperatură, de vibrații, senzori optici). Toți acești senzorii sunt încorporați în sistemul monitorizat și pot conduce la depistarea apariției unui defect al întregului sistem. [43][44].

În submeniul software al modului SIMOCOD există posibilitatea de creare a unor parametri noi care trebuie verificați înainte de pornirea motorului. Aceste teste oferă informații cu privire la starea motorului, a canalului de comunicație cu DCS, a modului de lucru (on-line sau local), la starea tuturor senzorilor implicați în pornirea echipamentului. O interfață care utilizează astfel de funcții este prezentată în figura 2.19 [43].

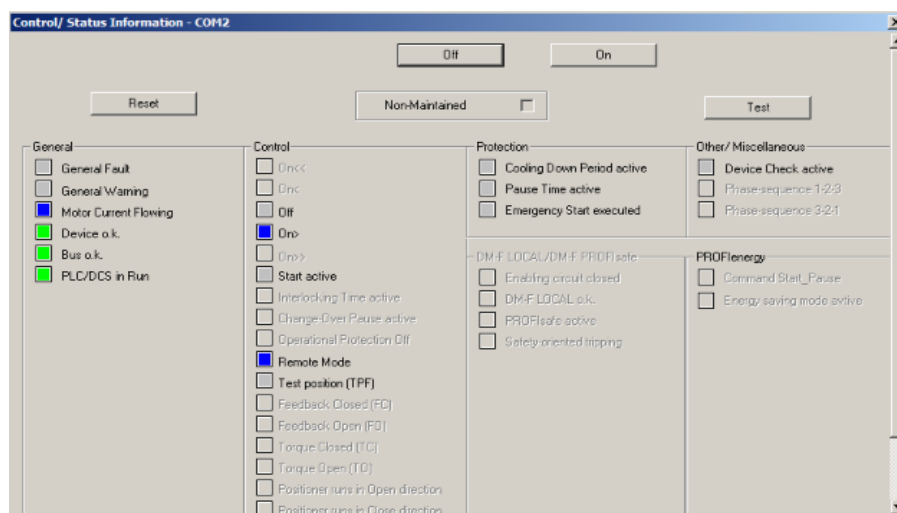


Figura 2.19. Interfață pentru inițializarea senzorilor și verificarea motorului înainte de pornire [43]

Concluzii

În urma rezultatelor obținute în studiul de caz se poate observa ca introducerea și dezvoltarea sistemelor de mentenanță pe baza modulelor cu management integrat permite îmbunătățirea funcționării echipamentelor electronice monitorizate cu aceste module. Prin realizarea studiului de caz cu modulul de tip SIMOCOD am dorit sa evidențiez importanța respectării condițiilor generale de pornire și funcționare a echipamentelor electronice [43].

CAPITOLUL 3.

METODE ȘI INSTRUMENTE APLICATE ÎN MENTENANȚA ECHIPAMENTELOR ELECTRONICE PENTRU ACHIZIȚIA ȘI ANALIZA DATELOR

3.1.1. Diagrama Pareto. Studiu de caz privind mentenanța unei stații de energie utilizată în echipamente de telecomunicații

În continuare se prezintă un studiu de caz asupra unei stații de energie utilizată în echipamente de telecomunicații utilizând analiză bazată pe diagrama Pareto.

Stația de energie studiată este compusă din următoarele elemente (subansamble):

- 2 convertoare ca-cc (redresoare);
- 1 controler;
- 1 cartelă Ethernet;
- 2 grupe de baterii.

Obiectiv

Acest studiu de caz are ca principal obiectiv aplicarea metodei Pareto prin monitorizarea funcționalității stației de energie pe o perioadă determinată de timp. Rolul monitorizării este acela de a identifica principalele defecte în scopul aplicării metodei Pareto.

Rezultate obținute

Monitorizarea funcționalității stației de energie s-a realizat în perioada 10.12.2015 – 10.02.2016, iar numărul stațiilor monitorizate a fost de 9 unități. Această monitorizare s-a realizat de la distanță (remote), cu ajutorul unei aplicații dedicate pentru acest echipament. În momentul în care s-a semnalat un defect, s-a efectuat o analiză locală (hardware) asupra echipamentului. Evenimetele au fost centralizate sub formă de tabel, în excel, fiind marcate toate defectele apărute conform tabelului 5[49].

Tabel 5. Înregistrarea datelor monitorizate [49]

Nr crt	Data	Subansamblu	Componenta care a provocat oprirea
1	10.12.2015	Redresor	Ventilator
2	10.12.2015	IFIP	Un pin al portului cartelei ethernet oxidat
3	12.12.2015	Redresor	Condensator de filtraj
5	15.12.2015	Controler	Placa de monitorizare a convertorului C.C.
6	17.12.2015	Controler	Display local
7	19.12.2015	Redresor	Cablu comunicație între Controler și redresor
8	19.12.2015	Controler	Condensator de pe PCB-ul de comunicație la distanță
9	24.12.2015	Redresor	Senzorul de temperatura al redresorului
10	25.12.2015	Baterii	1 baterie dintr-o grupa este descarcată sub nivelul minim admis
11	28.12.2015	Redresor	Ventilator
12	31.12.2015	Controler	Condensator de pe PCB-ul de comunicație la distanță
13	02.01.2016	Controler	Eprom
14	02.01.2016	Redresor	Condensator de filtraj
15	05.01.2016	Baterii	Senzor citire temperatură legat la grupele de bateri
16	10.01.2016	Redresor	Condensator de filtraj
17	13.01.2016	Controler	Ventilatorul intern al Controlerului
18	18.01.2016	Controler	Cablu comunicație între Controler și redresor
19	21.01.2016	Controler	Monitorul de tensiune
20	23.01.2016	Redresor	Ventilator
21	26.01.2016	Controler	Condensator de pe PCB-ul de comunicație la distanță
22	30.01.2016	Redresor	Eprom inter

23	05.02.2016	Redresor	ventilator
24	07.02.2016	IFIP	Un pin al portului cartelei ethernet oxidat
25	10.01.2016	Redresor	Condensator de filtraj

În urma analizei datelor prezentate în tabelul 5 a fost realizat tabelul 6. În acest tabel se prezintă o centralizare a frecvențelor de apariție a defectelor. Ulterior, pentru o interpretare facilă, se realizează o diagramă conform figura 3.1.

Tabel 6 Centralizarea datelor conform frecvenței apariției defectelor [49]

Nr crt	Subansamblu	Nr opriri accidentale
1	Redresor	11
2	Controler	9
3	IFIP	2
4	Baterii	2

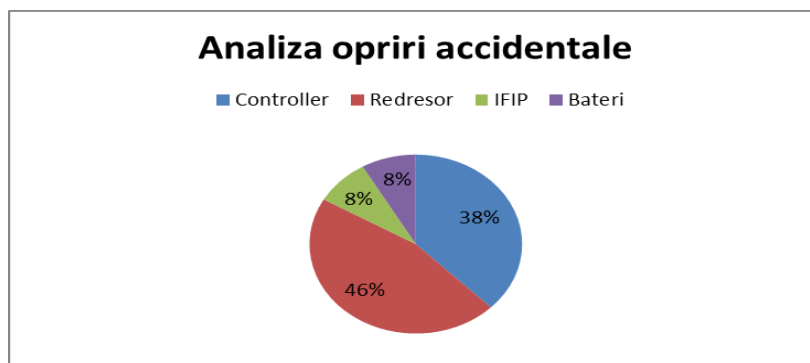


Figura 3.1. Analiza Pareto asupra opririlor accidentale [49]

În urma analizei datelor înregistrare în tabelul 5, reiese faptul că echipamentul cu cele mai multe opriri accidentale este redresorul. Pentru a putea identifica defectele, se extrag din datele înregistrate componentele care conduc la defectarea acestui echipament. Astfel, ne rezultă, separat, tabelul 7. Pe baza datelor din tabelul 7 se realizează o nouă diagramă Pareto, conform figuri 3.2 [49] [50].

Tabelul 7. Analiza componentelor defecte ale redresorului [49]

Nr crt	Subansamblu	Componenta care a provocat oprirea	Nr opriri
1	Redresor	Condensator filtraj	4
2	Redresor	Eprom intern	1
3	Redresor	Cablu comunicație	1
4	Redresor	Ventilator	4
5	Redresor	Senzor temperatură	1

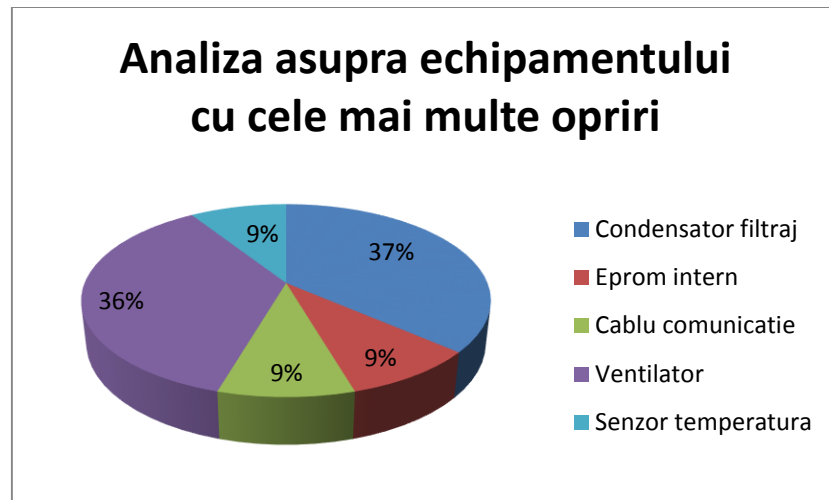


Figura 3.2. Analiza asupra Subansamblui cu cele mai multe opriri [49]

Concluzii

În urma analizei Pareto rezultă faptul că vital pentru stația de energie este subansamblul (modulul) redresor. Acesta a prezentat, conform datelor înregistrate și studiate, cele mai multe opriri accidentale. Din analiza cauzelor defectelor reiese faptul că acțiunile de mentenanță preventivă care trebuie să se realizeze sunt următoarele:

- curățarea ventilatoarelor;
- ungerea rulmenților de la ventilator;
- reglarea pragurilor tensiunilor nominale ale redresoarelor;
- instalarea unui releu de protecție (supravegherea echilibrului fazelor electrice) pentru a evita distrugerea condensatorilor de filtraj;
- verificarea cablurilor de comunicație și realizarea unui traseu de comunicație printr-un mediu sigur fără perturbații; [50].

3.2.2. Grafuri Fuzzy

O problemă de decizie nu poate fi întotdeauna formulată de la început într-un limbaj matematic clasic.

În mod frecvent, în formularea problemei de decizie, sunt întâlnite interferențe între limbajul natural și limbajul artificial. Teoria mulțimilor fuzzy permite o tratare adecvată a informațiilor vagi prin intermediul variabilelor lingvistice [58].

Studiu de caz aplicat asupra stației de energie

Obiectiv

Pentru a realiza mentenanța predictivă a unei surse de alimentare cu energie prin analiza datelor achiziționate de la aceasta sursă, implementăm următoarea metodă ce utilizează Grafuri Fuzzy (FG).

Rezultate obținute

Mulțimile utilizate ca noduri ale FG sunt următoarele:

Mulțimea subsistemelor - $S = \{S_1, S_2, S_3, S_4\}$;

Mulțimea nivelelor de risc de defectare - $R = \{R_1, R_2, R_3\}$;

Mulțimea componentelor - $C = \{C_1, C_2, C_3, C_4, C_5\}$.

În cadrul acestei analize s-au considerat 4 subsisteme, așa cum sunt precizate în tabelul următor. La aceste 4 subsisteme apar defecțiuni, în special din cauza celor 5 componente identificate și prezentate în tabel. Riscul de defectare este împărțit pe 3 niveluri [49].

Nr crt	Mulțimi	Elementele mulțimii	Definiția elementelor
1	S – subsistem	S_1	Redresor
		S_2	Controler
		S_3	Cartela IFIP
		S_4	Grup acumulatori
2	R – nivele de risc de defectare	R_1	Risc scazut
		R_2	Risc mediu
		R_3	Risc mare
3	C – componente	C_1	Ventilatoare
		C_2	Condensator comunicatie PCB
		C_3	Cablu comunicatie
		C_4	Condensator de filtraj
		C_5	Eprom

Tabel 8. Definirea nodurilor din graful fuzzy

$$\tilde{R}_4 = \left\{ \frac{0.4}{c_1}, \frac{0.5}{c_2}, \frac{0.7}{c_3}, \frac{0.7}{c_4}, \frac{0.45}{c_5} \right\} \quad (3.20.d)$$

	$\alpha=0.7$				$\alpha=0.8$			$\alpha=0.9$		$\alpha=1$
S	S ₄	S ₃	S ₂	S ₁	S ₃	S ₂	S ₁	S ₂	S ₁	S ₁
C	C ₃	C ₃	C ₁ ; C ₂	C ₁ ; C ₅	C ₃	C ₂	C ₁	C ₂	C ₁	C ₁

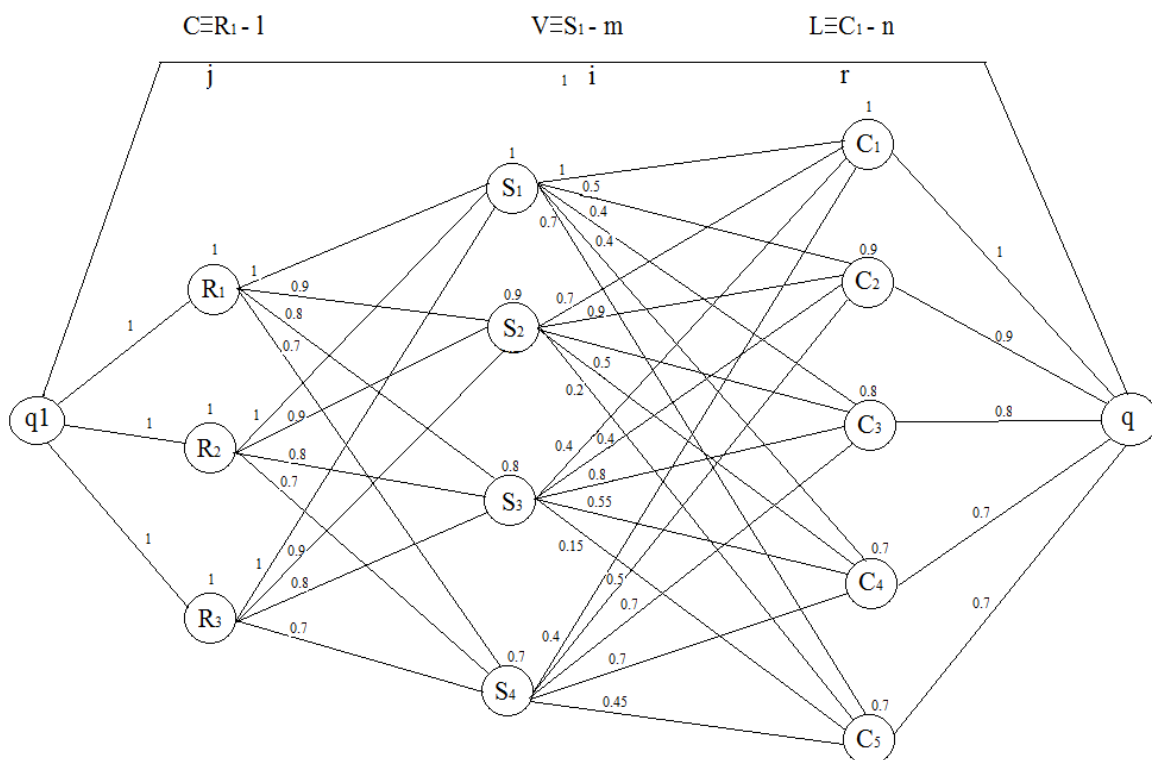


Figura 3.7. FTN pentru studiu de caz: o problemă multi-atribut [49]

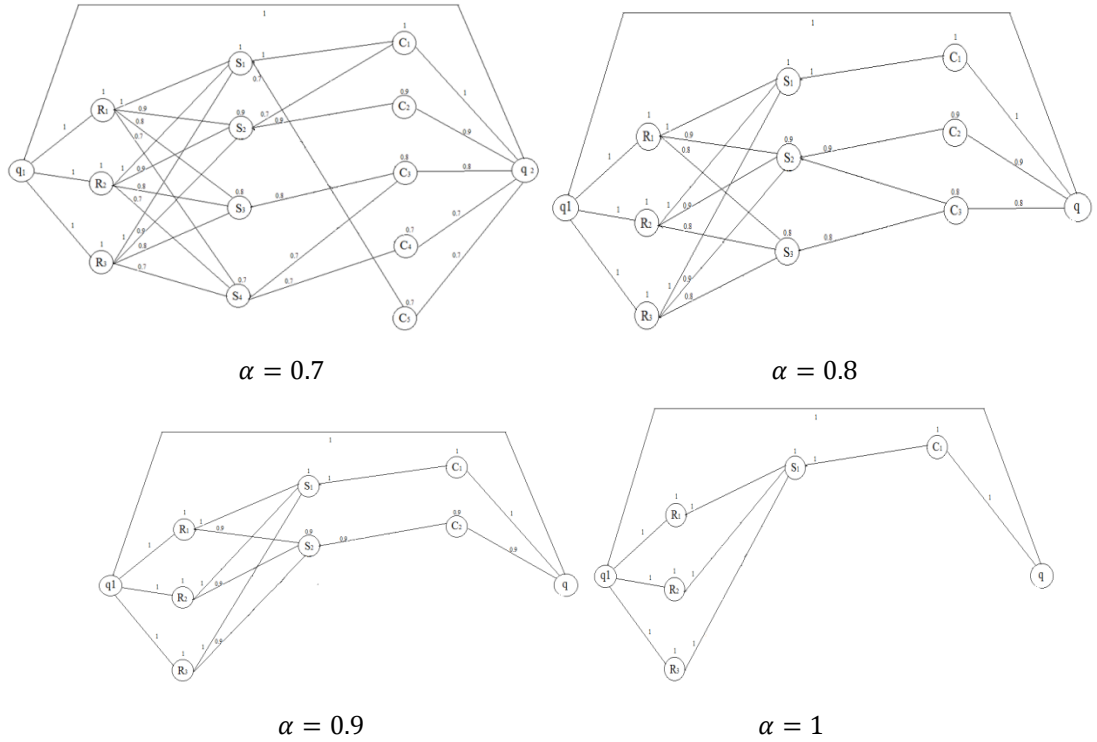


Figura 3.8. Tăieturile de nivel α în FTN asociate studiului de caz [49]

Relația completa deasociereeste:

$$\begin{aligned} \tilde{\mathcal{R}}_{S \times C} = & \left\{ \frac{1}{(S_1, C_1)}, \frac{0.9}{(S_2, C_2)}, \frac{0.8}{(S_3, C_3)}, \frac{0.7}{(S_1, C_5)}, \frac{0.7}{(S_2, C_1)}, \frac{0.7}{(S_4, C_3)}, \frac{0.7}{(S_4, C_5)}, \frac{0.7}{(S_1, C_1)}, \frac{0.55}{(S_3, C_4)}, \frac{0.5}{(S_1, C_2)} \right\} \cup \\ & \left\{ \frac{0.5}{(S_2, C_4)}, \frac{0.5}{(S_4, C_2)}, \frac{0.45}{(S_4, C_5)}, \frac{0.4}{(S_1, C_3)}, \frac{0.4}{(S_1, C_4)}, \frac{0.4}{(S_3, C_1)}, \frac{0.4}{(S_3, C_2)}, \frac{0.4}{(S_4, C_1)}, \frac{0.3}{(S_2, C_3)}, \frac{0.25}{(S_2, C_5)}, \frac{0.15}{(S_3, C_5)} \right\} \end{aligned} \quad (3.21)$$

Afinitatea fuzzy dintre mulțimile S și C este :

$$\left\{ \frac{1}{(S_1, C_1)}, \frac{0.9}{(S_2, C_2)}, \frac{0.8}{(S_3, C_3)}, \frac{0.7}{(S_4, C_3)}, \frac{0.7}{(S_4, C_5)} \right\} \quad (3.22)$$

Concluzii

Soluția problemei multiatribut utilizând metoda graphurilor fuzzyeste $S^* = (S_4, S_3)$. Sub sistemele S_4 și S_3 (Cartela IFIP și Grupul de acumulatori) prezintă un risc de defectare scăzut, iar subsistemele S_1 și S_2 (Redresor și Controler) prezintă un risc de defectare mare (1, respectiv 0.9). În consecință, tehnicile de diagnosticare la distanță se pot focaliza pe aceste doua subsisteme, S_1 și S_2 , identificate ca fiind mai vulnerabile la defectare.[49] [60]

CAPITOLUL 4

SISTEME AVANSATE DE CONTROL ȘI MONITORIZARE A ECHIPAMENTELOR ELECTRONICE IMPLICATE ÎN PROCESELE DE FABRICAȚIE

4.3. Sisteme de monitorizare și analiză a datelor înregistrate de la echipamente electronice implicate în procesele de fabricație bazate pe PLC-uri

Studiu de caz: realizarea mentenanței predictive pentru o stație de energie

În acest subcapitol am realizat un studiu caz asupra unei stații de energie utilizată în telecomunicații.

Obiectiv

În studiul de caz doresc să implemetez o serie de măsuri preventive pentru a evidenția importanța mentenanței predictive asupra echipamentului studiat.

Rezultate obținute

În acest scop am realizat o serie de achiziții de semnale cu ajutorul unei plăci de achiziții de date.

La achiziționarea semnalelor am utilizat placa de achiziții DAQ USB – 6211 de la National Instruments. [75].

Soft-ul utilizat pentru a interpreta și vizualiza datele achiziționate este Matlab.

În studiul de caz am analizat influența capacităților C40, C41 din cadrul convertorului CC – CC folosit în stația de energie (figura 4.15) [50] [73][78].

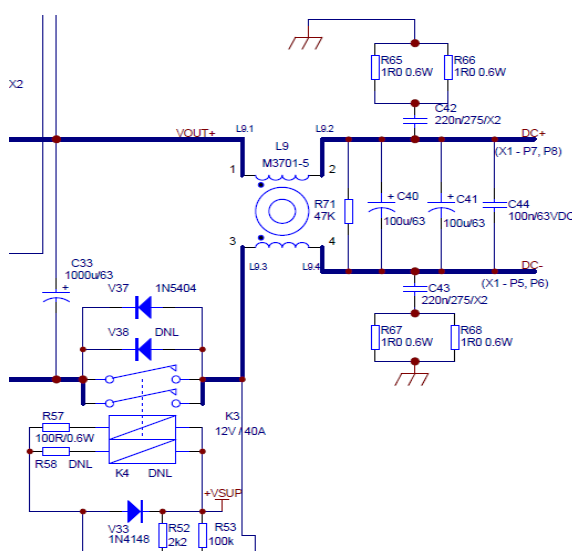


Figura 4.15. Schema electric pentru etajul de alimentare al stației de energie

Cele 2 capacități asigură filtrarea tensiunii de la ieșirea convertorului. Convertorul ne furnizează o tensiune în gama $[54,5 \div 55]$ V la un curent de 0.5 A.

Deoarece tensiunea de ieșire depășește valoarea tensiunii analogice de intrare a plăcii de achiziție, am interpus un circuit de formatare a semnalului, realizat dintr-un divizor rezistiv R1 ; R2 și o diodă Zener PL8V2 [73] [78].

În cadrul simulării prezentate în figura 4.18, tensiunea de intrare în divizor este în gama $[0 \div 60]$ V, iar tensiunea de ieșire este prezentată cu culoarea roșie.

În cadrul experimentului pentru sarcina electrica am folosit două becuri auto de tip H7 conectate în serie, cu următoarele caracteristici: tensiune alimentare 24 V, putere 70 W [78].

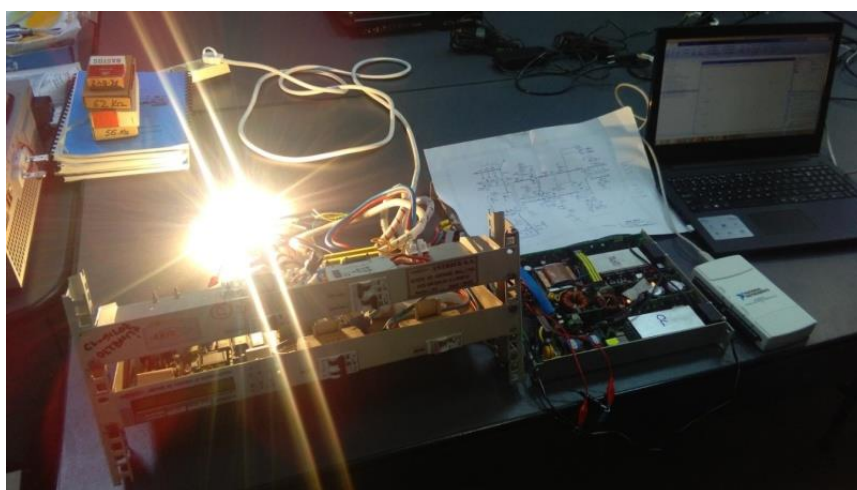


Figura 4.19.Montaj utilizat în achiziția datelor de la stația de energie [73]

Pentru convertorul monitorizat, acestea reprezentau o sarcină electronică ce absorbea un curent de 3A. Condensatorii electrolitici polarizați C40 și C41 au avut, pe rând, valorile de 1 μ F, 47 μ F si 100 μ F (la o tensiune nominal de 63V).

Fără sarcină cuplată nu s-a sesizat nicio diferență, indiferent de valoarea condensatorului folosit. Cu sarcina cuplată, au rezultat următoarele valori medii ale tensiunii achiziționate pentru diferite valori ale capacității condensatoarelor C40, C41[73] [78].

Valoare condensatori	Valoare medie tensiune [V]	Procentul din V_{nominal} [%]	Diferența de tensiune față de V_{nominal} [V]
<i>Condensatori de 100μF</i>	54,51012	100,00	0,00
<i>Condensatori de 47μF</i>	53,82307	98,74	0,69
<i>Condensatori de 1μF</i>	52,93794	97,12	1,57

Pentru toate cazurile am exportat valorile rezultate în urma achiziției și am trasat corelat toate graficele în Excel, rezultând figurile:

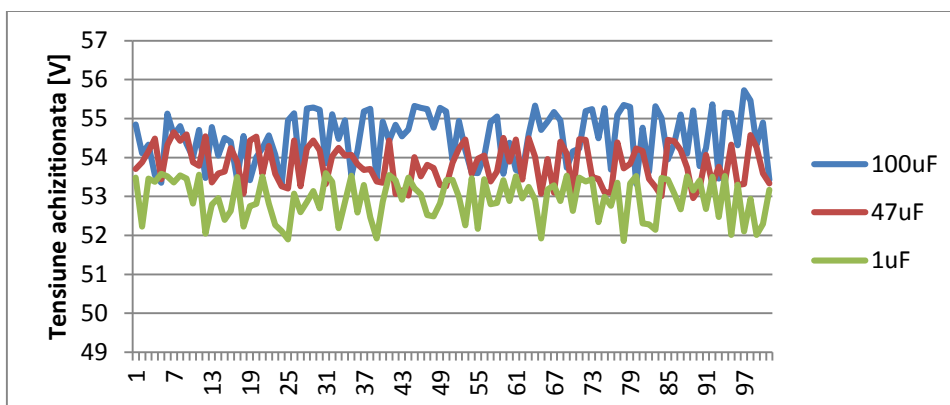


Figura 4.22. Achiziție semnale pentru diferite valori ale condensatoarelor (ZOOM) (gri - 1μ, roșu- 47μ albastru - 100μ)

În urma analizei rezultatelor simulate, am obținut un factor de transfer (raportul dintre tensiunea de ieșire din redresor și tensiunea de ieșire din circuitul de formare) de 7,199. În urma realizării practice a circuitului, factorul real de transfer este de 7.676.

Valoarea filtrului capacitiv de la ieșirea redresorului este importantă atunci când sarcina este suficient de mare și capacitatea este mai mică cu 50% față de valoarea nominală.

Am simulat defectarea componentei care are rata cea mai mare de defectare, și anume ventilatorul. Pe toată perioada testelor am utilizat o sarcină electrică ce absoarbe un curent de 4A pentru a observa rapiditatea supraîncălzirii componentelor electrice.

Am realizat o serie de achiziții cu camera în infraroșu, pentru a crea o bază de date de imagini etalon. După aceste achiziții am redus turațiile ventilatoarelor pentru a observa efectele. În urma acestei acțiuni a rezultat supraîncălzirea radiatorului (vezi fig 4.24, 4.25) [73] [78].

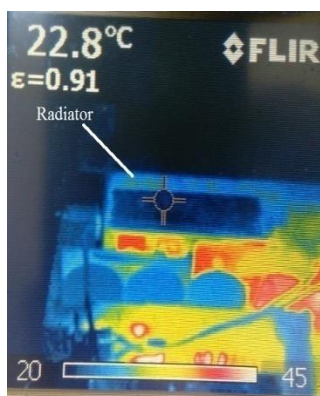


Figura 4.24. Radiatorul la temperatură normală [78]

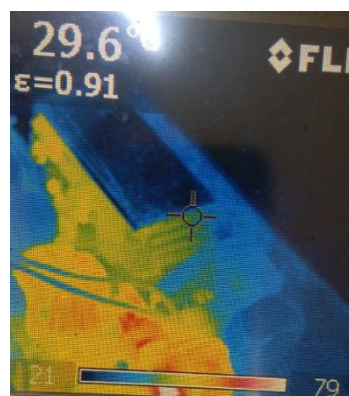


Figura 4.25. Radiatorul supraîncălzit odată cu reducerea turatiilor ventilatorului [78]

În momentul opririi totale a ventilatoarelor, pe lângă supraîncălzirea radiatoarelor, se observa supraîncălzirea tranzistorului din cadrul sursei auxiliare a redresorului.

Dacă în cadrul fotografiilor etalon acesta avea o temperatură medie de $\sim 20^{\circ}\text{C}$, odată cu lipsa ventilării temperaturi tranzistorului a urcat până la valoarea de 80°C (vezi fig 4.26, fig 4.27) [73] [78].



Figura 4.26. Valoarea temperaturii tranzistorului cu turațiile reduse ale ventilatorului de răcire [78]



Figura 4.27. Valoarea temperaturii tranzistorului cu ventilatorul complet oprit [78]

Pe lângă potențială deteriorare a acestui tranzistor, pot apăre și o serie de probleme la lipiturile de pe placa de circuit (PCB) aferente acestuia.

Concluzii

În urma rezultatelor obținute în cadrul studiului de caz am putut identifica o serie de componente electronice din cadrul stației de energie care corelate cu anumite fenomene cum ar fi: supraîncălzirea, sarcină electrică prea mare la pornire conduc către apariția defectelor.

La testul de supratensiune realizat a rezultat pierderea din capacitate sau distrugerea totală a condensatorilor de filtraj.

La testul de supraîncălzire am putut observa că tranzistorul IRFGB 20 cedează, și ne rezultă o serie de defecte:

- generarea impulsurilor de comandă pentru tranzistoarele din etajul de reglare a factorului de putere nu mai este calibrată.
- nu mai are loc generarea de impulsuri de comandă pentru tranzistoarele din etajul de conversie c.c. – c.c. [73][76][78].

CAPITOLUL 5

MENTENANȚA PREDICTIVĂ BAZATĂ PE CONCEPTUL DE METROLOGIE VIRTUALĂ

5. 5. Studiu de caz: metrologie virtuală implementată cu ajutorul unui PLC

Obiectiv

În următorul studiu de caz sunt prezentate interfețe software utilizate în industrie pentru monitorizarea echipamentelor electronice implicate în procesul de fabricație. Aceste interfețe au rolul de verificarea parametrilor de funcționare.

Rezultate obținute

În funcție de numărul de echipamente pe care dorim să le monitorizăm, se pot crea tab-uri individuale în paginile de mentenanță.

În figura 5.6 este prezentată o interfață în care sunt declarate mai multe echipamente electronice care alcătuiesc un subsistem. Fiecare compartiment are o poziție exactă și fixă în ansamblul de echipamente implicat în procesul de fabricație. Alocarea greșită a unui compartiment pe altă poziție poate conduce la deteriorarea majoră a sistemului industrial. Prin interogarea senzorilor de poziție din sistemul industrial cu ajutorul interfeței se confirmă că echipamentul se află în poziția corespunzătoare etapei de funcționare. De asemenea, prin această interogare în mod automat este verificată și comunicația între echipament și camera de control, funcționarea butoanelor de acționare și sursa de alimentare a echipamentului denumit, în acest caz, “compartiment” [80].

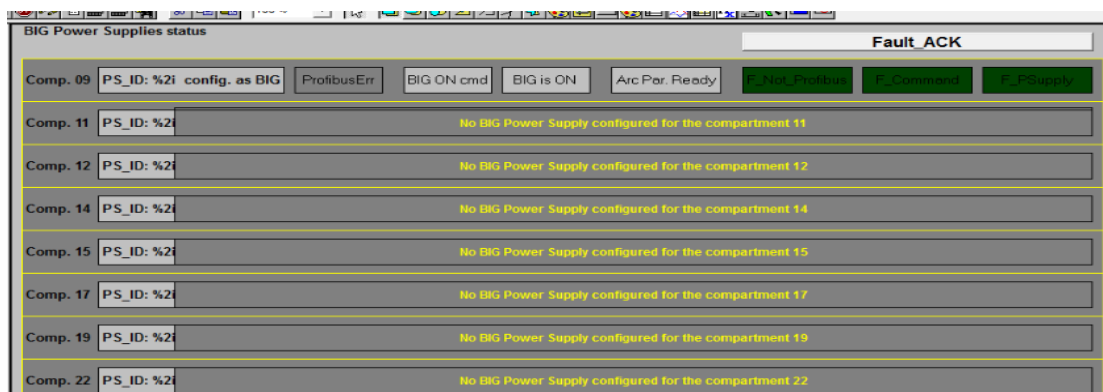


Figura 5.6. Interfața software pentru interogarea sistemului de echipamente electronice implicate în procesul tehnologic [80]

Din punctul de vedere al metrologiei virtuale, cu ajutorul acestui program software, se obțin o serie de valori ai parametrilor echipamentului. “Compartimentul”, așa cum l-am denumit anterior, este format dintr-o serie de mini echipamente electronice. Fiecare compartiment conține un senzor de presiune, de temperatură, de poziție și interogator de comunicație (figura 5.7) [80].

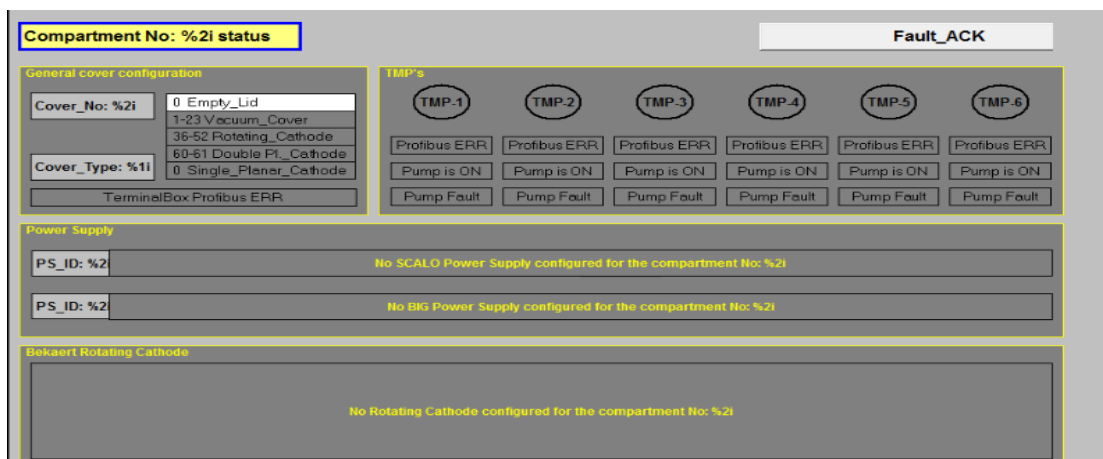


Figura 5.7. Verificarea parametrilor echipamentelor aflate în subsisteme [80]

Concluzii

Orice eroare apărută este semnalată în interfața software și este centralizată în DCS. Se poate observa că există un buton de “Fault-ACK” care reprezintă luarea la cunoștință a unei alarme și care prin acționarea lui conduce la continuarea procesului tehnologic, dacă alarma nu periclitează funcționarea echipamentului sau nu poate conduce către apariția stării de defect a sistemului [80].

CAPITOLUL 6

CONCLUZII, CONTRIBUȚII, TENDINȚE

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

6.1.Rezultate obținute si contribuții originale

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

În continuare este prezentat un tabel care sintetizează contribuțiile ce au o relevanță aparte pentru domeniul abordat în lucrare.

Obiectiv specific	Rezultate obținute	Rezultate publicate în lucrări științifice
OS 1	evidențierea aplicării conceptelor de metrologie virtual în procesul de mentenanță predictivă a echipamentelor electronice teoretic și practice prin studiu de caz în secțiunea 5.5.3 – Metrologie virtual implementată cu ajutorul unui PLC.	JEECCS 2015 - Predictive maintenance of power industrial electronic equipment 1. Raportul științific nr.5 – Metrologie virtuală și control secvențial (Run-to-Run) aplicate în întreținere predictivă
OS 2	realizarea studiilor de caz care au la baza tehnici clasice de monitorizare a echipamentelor electronice, secțiunea 3.1.1 analiză Pareto.	ATEE 2017 - Monitoring parameters of electronics components to realization the maintenance of a power
	implementarea de interfețe software pentru diagnosticarea echipamentelor electronice.	
OS 3	implementarea de programe de monitorizare software în echipamente cu management integrat, secțiunea 4.2.	ECAI 2018 The importance of PLC in the predictive maintenance of electronic equipment
OS 4	dezvoltarea de software pentru mediile industriale cu scopul de a preveni apariția opririlor accidentale datorate echipamentelor	ATEE 2017 - Monitoring parameters of electronics components to realization the

	implicate în procesul tehnologic.	maintenance of a power Raportul științific nr.4 - Sisteme avansate de control a proceselor
	validarea rezultatelor obținute în capitolul 4 prin simulare și aplicare experimentală a interfețelor de monitorizare, diagnosticare și semnalare a defectelor.	
OS 5	elaborarea de soluții software optimizate pe concepte clasice.	Raportul științific nr.3 - Metode și instrumente matematice pentru achiziția și analiza datelor din procese monitorizate
	identificarea componentelor electronice cu rata cea mai mare de defectare, secțiunea 3.2.2.	
OS 6	aplicarea logicii Fuzzy pentru evidențierea legături între simptom - cauză - efect.	ECAI 2015 - Predictive maintenance of electronics systems based on analysis with thermographic camera and fuzzy graphs
OS 7	crearea unor baze de date cu defectele înregistrate în timpul funcționării a echipamentelor testate.	IJTPE 2016 - Failure Risk Analysis Using Data from a Power Station Remote Monitored
	dezvoltarea de interfețe software pentru echipamente electronice cu capacitatea de diagnosticare rapidă a componentelor aflate în sistem, secțiunea 4.3.	JEECCS 2015 - Predictive maintenance of power industrial electronic equipment ICTPE 2016 - Remote diagnostics for power supply equipment used in telecommunications

6.2 Lista lucrărilor originale

Rezultatele obținute de către autor în domenii relevante tezei de doctorat au fost diseminate prin participarea la conferințe și sesiuni de comunicări științifice și prin publicarea de articole dintre care sunt de menționat următoarele:

Publicate în conferințe indexate ISI WOS

1. **ECAI 2015** - International Conference – 7th Edition Electronics, Computers and Artificial Intelligence 25 June -27 June, 2015, Bucharest, România.

Authors: Stanica Mirel Dorin, **Șișman** George Robert.

Paper: *Trends in computational intelligence applied in nuclear engineering for non-destructive examination techniques;*

WOS:000370971100039

2. **ECAI 2015** - International Conference – 9th Edition Electronics, Computers and Artificial Intelligence 25 June -27 June, 2017, Bucharest, România.

Authors: **Șișman** George Robert, Bizon Nicu, Oproescu Mihai.

Paper: *Predictive maintenance of electronics systems based on analysis with thermographic camera and fuzzy graphs;*

WOS:000425865900026

3. **ATEE 2017** -THE 10th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADVANCED TOPICS IN ELECTRICAL ENGINEERING March 23-25, 2017 Bucharest, România.

Authors: **Șișman** George Robert, Oproescu Mihai.

Paper: *Monitoring parameters of electronics components to realization the maintenance of a power supply*

WOS:000403399400162

4. **ECAI 2018** - International Conference – 10th Edition Electronics, Computers and Artificial Intelligence 28 June -30 June, 2018, Iasi, România.

Authors: **Șișman** George Robert, Bizon Nicu, Oproescu Mihai.

Paper: *The importance of PLC in the predictive maintenance of electronic equipment***WOS:000467734100096**

Publicate în jurnale indexate SCOPUS

5. **IJTPE 2015** - International Journal on “Technical and Physical Problems of Engineering” (IJTPE). Published by International Organization of IOTPE, December 2015, Issue 25, vol 7, nr.4

Authors: **Șișman** George Robert, Oproescu Mihai.

Paper: *Predictive maintenance at the electronic equipment - a brief review*

ISSN 2077-3528

6. **IJTPE 2016** - International Journal on “Technical and Physical Problems of Engineering” (IJTPE).Published by International Organization of IOTPE, September 2016, Issue 28, vol 8, number 3, pp 42-51.

Authors: Bizon Nicu, Oproescu Mihai, **Șișman** GeorgeRobert.

Paper: *Failure Risk Analysis Using Data from a Power Station Remote Monitored*

ISSN 2077-3528

**Publicate în jurnale indexate în alte baze de date internationale
(Copernicus, Google Scholar etc.)**

7. **JEECCS 2015** - Journal of Electrical Engineering, Electronics, Control and Computer Science – JEECCS, 2015.

Author: **Șișman** George Robert, Oproescu Mihai.

Paper: *Predictive maintenance of power industrial electronic equipment*

Publicate în conferințe internaționale

8. **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.

Authors: **Șișman** George Robert, Bizon Nicu, Oproescu Mihai

Paper: *Predictive maintenance at the electronic equipment - a brief review*

9. **ICTPE 2016** - 12th International Conference on “Technical and Physical Problems of Electrical Engineering” 7-9 September 2016 **University of the Basque Country** Bilbao, Spain.

Authors: **Șișman** George **Robert**, Bizon Nicu, Oproescu Mihai

Paper: *On the remote diagnostic of the power source used in telecommunications.*

10. **ICTPE 2016** - 12th International Conference on “Technical and Physical Problems of Electrical Engineering” 7-9 September 2016 **University of the Basque Country** Bilbao, Spain.

Authors: **Șișman** George **Robert**, Bizon Nicu, Oproescu Mihai

Paper: *Predictive Maintenance Prioritization using Fuzzy Graphs*

6.3 Perspective de dezvoltare ulterioară

Direcțiile viitoare de cercetare sunt strâns legate de ideile originale care au fost evidențiate în cadrul tezei. Dezvoltarea de noi soluții software de monitorizare a echipamentelor electronice. Transmiterea datelor înregistrate prin diverse medii și stocarea lor inclusiv în cloud pentru a preveni alterarea acestora. Interconectări ale echipamentelor pentru o monitorizare mult mai facilă și rapidă a acestora.

Dezvoltarea segmentului de monitorizare a proceselor de fabricație de la distanță pe baza tehnologiei bazate pe Internet of things.

Realizarea de interfețe web cu capacitatea de autodiagnoză prin clasificarea defectelor pe baza relațiilor simptom- efect.

Tendința generală este de monitorizare on-line la distanță a echipamentelor electronice, deci eforturile de cercetare-dezvoltare sunt focalizate în această direcție.

Rapoarte științifice

1. **Raportul științific nr.5:** *Metrologie virtuală și control secvențial (Run-to-Run) aplicate în întreținere predictivă*, autor **Șişman** George Robert, Coordonator Prof. Dr. Ing. BIZON Nicu, Comisia de evaluare: Conf. dr. ing. Eugen Diaconescu, CPI dr. ing. Corneliu Mihai Talpalariu, Conf. dr. ing. Petre Anghelescu
2. **Raportul științific nr.4:** *Sisteme avansate de control a proceselor*, autor **Șişman** George Robert, Coordonator Prof. Dr. Ing. BIZON Nicu, Comisia de evaluare: Prof. dr. ing. Ioan Liță, Prof. dr. ing. Gheorghe Șerban, Sl. dr. ing. Corina Savulescu
3. **Raportul științific nr.3:** *Metode și instrumente matematice pentru achiziția și analiza datelor din procesele monitorizate*, autor **Șişman** George Robert, Coordonator Prof. Dr. Ing. BIZON Nicu, Comisia de evaluare: Prof. dr. ing. Gheorghe Șerban, CPI dr. ing. Corneliu Mihail Talpalariu, Sl. dr. ing. Iana Gabriel
4. **Raportul științific nr.2:** *Tehnologii și echipamente electronice pentru realizarea întrețineri predictive*, autor **Șişman** George Robert, Coordonator Prof. Dr. Ing. BIZON Nicu, Comisia de evaluare: Conf. dr. ing. Eugen Diaconescu, CPI dr. ing. Corneliu Mihail Talpalariu, Sl. dr. ing. Mihai Oproescu
5. **Raportul științific nr.1:** *Modele de întreținere predictivă și corectivă – o privire de ansamblu*, autor **Șişman** George Robert, Coordonator Prof. Dr. Ing. BIZON

Nicu, Comisia de evaluare: prof. dr. ing. Ioan Liță, prof. dr. ing. Silviu Ioniță, Sl. 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: Cunoaștere, inovare și dezvoltare prin burse doctorale, Cod Contract: 155536, Beneficiar: Universitatea POLITEHNICA din București

Bibliografie

- [1] Ivas, D., Munteanu, Fl., s.a., Fiabilitate, Mentenanța, Disponibilitate, Performabilitate în Hidroenergetică. Editura Prisma, Rm. Vâlcea, 2000;
- [2] Fleser, T., Mentenanța utilajelor tehnologice. Oficiul de informare documentară pentru Industria construcțiilor de mașini, București, 1998;
- [3] Jansen, A.L.J., Degen, W., Heising, Ch.R., Bruvik, H., Colombo, E., Lanz, W., Fletcher, P., Sanchis, G., Final Report of the Second International Enquiry on high Voltage Circuit-Breaker Failures and Defects in Service. CIGRE WG 13.06 (Reliability of HV circuit-breakers) and published at the request of the Chairman of SC 13, June, 1994.
- [4] Lung B, (2006) Research and development on E-maintenance: Survey of some recent advantages and directions. In: Proceedings of the 2nd international conference on Maintenance and Facility Management, Sorrento, Italy.
- [5] Laszkiewicz M, (2003) Collaborative maintenance: A strategy to help manufacturers become lean, mean, and agile. Plant Engineering, 57(9): 30-36.
- [6] Tsang A, (2002) Strategic dimensions of maintenance management. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 8(1): 7-39.
- [7] Ucar M, Qiu RG, (2005) E-maintenance in support of e-automated manufacturing systems. Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers, 22(1): 1-10.
- [8] Baldwin RC, (2004) Enabling an e-maintenance Infrastructure. www.mt-online.com
- [..]
- [38] L. Zhang and T. S. Cheang. A new prototype of diagnosis system of inner faults for three-phase induction motors developed by expert system. IEEE Conference on Electrical Machines and Systems, Vol. 1, Pages: 312-316, 2001.
- [39] M. S. Ballal, Z. J. Khan, H. M. Suryawanshi, and R. L. Sonolikar. Adaptive neural fuzzy inference system for the detection of inter-turn insulation and bearing wear faults in induction motor. IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 54, No. 1, Pages: 250-258, 2007.
- [40] F. Zidani, D. Diallo, M. E. H. Benbouzid, and R. N. Said. A fuzzy-based approach for the diagnosis of fault modes in a voltage-fed PWM inverter induction motor drive. IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 55, No. 2, Pages: 586-593, 2008.

- [41] T. C. Du and P. M. Wolfe. Implementation of fuzzy logic systems and neural networks in industry. Elsevier: Computers in Industry, Vol. 32, Pages: 261-272, 1997.
- [43] Raportul științific nr.2: Tehnologii și echipamente electronice pentru realizarea întreținerii predictive, autor **Șișman** George Robert
- [44] JEECCS 2015 - Journal of Electrical Engineering, Electronics, Control and Computer Science – JEECCS, 2015. Author: **Șișman** George Robert, Oproescu Mihai. Paper: *Predictive maintenance of power industrial electronic equipment*
- [46] Documentatie Antricea S.A
- [47] Mind Tools. "Pareto Analysis: Selecting the Most Important Changes to Make." http://www.mindtools.com/pages/article/newTED_01.htm
- [49] Raportul științific nr.3: Metode și instrumente matematice pentru achiziția și analiza datelor din procesele monitorizate, autor **Șișman** George Robert
- [50] ATEE 2017 -THE 10th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADVANCED TOPICS IN ELECTRICAL ENGINEERING March 23-25, 2017 Bucharest, România. Authors: **Șișman** George Robert, Oproescu Mihai. Paper: *Monitoring parameters of electronics components to realization the maintenance of a power supply* WOS:000403399400162
- [...]
- [60] ECAI 2015 - International Conference – 9th Edition Electronics, Computers and Artificial Intelligence 25 June -27 June, 2017, Bucharest, România. Authors: **Șișman** George Robert, Bizon Nicu, Oproescu Mihai. Paper: *Predictive maintenance of electronics systems based on analysis with thermographic camera and fuzzy graphs*; WOS:000425865900026
- [...]
- [71] IFM electronics io-link tehnologi
- [72] IFM electronics line recorder – LR
- [73] Raportul științific nr.4: *Sisteme avansate de control a proceselor*, autor **Șișman** George Robert
- [74] Beckhoff PLC data sheet
- [76] National Instrument manual DAQ USB – 6211
- [77] ECAI 2018 - International Conference – 10th Edition Electronics, Computers and Artificial Intelligence 28 June -30 June, 2018, Iasi, România. Authors: **Șișman** George Robert, Bizon Nicu, Oproescu Mihai. Paper: *The importance of PLC in the predictive maintenance of electronic equipment* WOS:000467734100096
- [78] ECAI 2015 - International Conference – 9th Edition Electronics, Computers and Artificial Intelligence 25 June -27 June, 2017, Bucharest, România. Authors: **Șișman** George Robert, Bizon Nicu, Oproescu Mihai. Paper: *Predictive maintenance of electronics systems based on analysis with thermographic camera and fuzzy graphs*; WOS:000425865900026
- [79] Metrology in Industry, French College of Metrology, Dominique Placko
- [80] Raportul științific nr.5: Metrologie virtuală și control secvențial (Run-to-Run) aplicate în întreținere predictivă, autor **Șișman** George Robert.
- [...]

- [84] Ignacio Lira, *Evaluating the Measurement Uncertainty: Fundamentals and Practical Guidance*, Institute of Physics Publishing (2002) ISBN 0-7503-0840-0
- [85] M. Priel and B Schatz, “Organisation d'un laboratoire d'étalonnage” (Organization of a calibration laboratory) *Techniques de l'ingénieur – R 1215 – France*
- [86] Virtual metrology frame technique for improving dynamic performance of a small size machine tool, Jonathan Abira, Stefano Longo, Paul Morantz, Paul Shore, *Precision Engineering* 48 (2017) 24–31
- [87] Real-time Virtual Metrology and Control of Plasma Electron Density in an Industrial Plasma Etch Chamber, Shane A. Lynn, Niall Macgearailt, John. V. Ringwood
- [88] ILAC-G17: 2002, Introducing the Concept of Uncertainty of Measurement in Testing in Association with the Application of the Standard ISO/IEC 17025 (www.ilac.org)
- [89] ILAC – 17: 2002, Introducing the concept of uncertainty of measurement in testing in association with the application of the standard ISO/IEC 17025
- [90] A novel automatic virtual metrology system architecture for TFT-LCD industry based on main memory data base Min-Hsiung Hung, Wen-Huang Tsai, Haw-Ching Yang, Yi-Jhong Kao, Fan-Tien Cheng, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 28 (2012) 559–568
- [91] Multi-step virtual metrology for semiconductor manufacturing: A multi level and regularization methods-based approach Gian Antonio Susto, Simone Pampuri, Andrea Schirru, Alessandro Beghi, Giuseppe De Nicolao, *Computers & Operations Research* 53(2015)328–337.
- [92] INTELLIGENT FACTORY AGENTS WITH PREDICTIVE ANALYTICS FOR ASSET MANAGEMENT, Jay Lee, Hung-An Kao, Hossein Davari Ardakani, David Siegel
- [93] Boning, D., Castillo, E., Hurwitz, A., Moyne, J., Ning, Z., Smith, T., and Yeh, J., “A Comparative Analysis of Run-to-Run Control Algorithms in the Semiconductor Manufacturing Industry,” *Seventh Annual SEMI/IEEE ASMC Boston*. Document 2783A.
- [94] Design and Simulation of Voltage Fluctuation Rate Monitor System Based on Virtual Instrument Technology, Wen Xinling, Zhao Cheng, *Energy Procedia* 17 (2012) 450 – 455
- [95] Del Castillo, E. A multivariable self-tuning controller for run-to-run process control under shift and trend disturbances, *IIE Transactions*, 28, 12, pp. 1011-1021
- [96] Run-to-Run Control in SEMICONDUCTOR MANUFACTURING, James Moyne, Enrique del Castillo, Arnon Max Hurwitz
- [97] A semi-continuous Roll-to-Roll (R2R) electrohydro dynamic jet printing System, Erick Sutanto, Andrew Alleyne, *Mechatronics* 31 (2015) 243–254.
- [102] ICTPE 2016 - 12th International Conference on “Technical and Physical Problems of Electrical Engineering” 7-9 September 2016 University of the Basque Country Bilbao, Spain. Authors: **Şişman George Robert**, Bizon Nicu, Oproescu Mihai Paper: *Remote diagnostics for power supply equipment used in telecommunications*.