

SISTEM PENTRU DIAGNOSTICAREA COMPLEXĂ A STĂRILOR MAȘINILOR ELECTRICE ROTATIVE DE MEDIE ȘI MARE PUTERE (ACRONIM SDCME)

Ștefan-Alexandru BUȘOI¹, Gabriel-Cristian TĂNĂSESCU¹, Ana Mădălina MAFTEI¹

¹Simtech Research SRL

stefan.busoi@yahoo.com¹, gabriel_tanasescu@yahoo.com¹,
anamadalinamaftei07@gmail.com¹

Rezumat. Firma SIMTECH RESEARCH SRL a finalizat, în anul 2023, proiectul intitulat *Sistem pentru diagnosticarea complexă a stărilor mașinilor electrice rotative de medie și mare putere* - acronim SDCME, iar în cadrul acestei lucrări se prezintă pe scurt obiectivele, activitățile și rezultatele acestui proiect, împreună cu concluziile rezultate în urma realizării proiectului, precum și câteva perspective asupra cercetărilor viitoare.

1. INTRODUCERE

Societatea SIMTECH RESEARCH SRL, la 31.08.2023, a finalizat Proiectul nr. 409/390085 având Cod SMIS 2014+ 119972, intitulat Sistem pentru diagnosticarea complexă a stărilor mașinilor electrice rotative de medie și mare putere - acronim SDCME, încheiat cu Ministerul Cercetării, Inovării și Digitalizării în cadrul Programului Operațional Competitivitate 2014-2020, apel Întreprinderi inovatoare de tip start-up și spin-off.

Produsul *Sistem pentru diagnosticarea complexă a stărilor mașinilor electrice rotative de medie și mare putere* (acronim SDCME), al cărui serie zero a fost realizată de firma SIMTECH RESEARCH SRL și pe care urmează să o introducă în piață, corespunde definiției date pentru un produs nou pe piață, în conformitate cu reglementările Uniunii Europene, dezvoltarea sa plecând de la valorificarea rezultatelor din teza de doctorat a directorului de proiect, Ștefan-Alexandru BUȘOI, care se refereau în special la:

- estimarea duratelor de viață ale izolațiilor mașinilor electrice prin metoda îmbătrânirilor termice accelerate, utilizând factorii de diagnostic: pierderea de masă, indicele de polarizare, factorul de conductivitate și curentul maxim relativ;
- studiu comparativ privind solicitările variabile ale mașinilor electrice la diferite regimuri de funcționare și elaborarea unor recomandări legate de acestea;
- estimarea duratei de viață și rezervei de durată de viață a izolațiilor mașinilor electrice supuse unor regimuri termice variabile de funcționare;
- propunerea unei metode de diagnosticare și de estimare a duratei de viață a izolației unei mașini electrice pe baza curenților de absorbție/resorbție;
- elaborarea unei metode de estimare a indicelui de sănătate a unei mașini electrice pe baza unor teste normalizate și a curenților de absorbție/resorbție;
- participarea la realizarea unui sistem de monitorizare și diagnosticare a sistemului de izolație a mașinilor electrice de medie și mare putere pe baza metodei CABS.

Constatându-se insuficiențele unor echipamente de monitorizare și diagnosticare existente pe piață, ținând cont de rezultatele tezei de doctorat amintite, s-a considerat că pentru un produs nou, care să fie considerabil mai bun decât cele existente pe piață la acea dată, trebuie efectuate cercetări pentru a stabili soluții pentru:

- funcții de diagnosticare și factori de diagnosticare aflați la baza diagnosticării complexe a stării mașinii electrice și previzionarea rezervei de durată de viață a mașinii electrice;
- modul adecvat de asociere a ansamblului de componente de câmp pentru prelevarea semnalelor corespunzătoare factorilor de diagnosticare incluși în funcțiile de diagnosticare;

- soluții de comunicare eficientă cu componentele de câmp;
- parametrii cei mai adecvați ai modelelor de amprente ale mărimilor monitorizate de diferitele module asociate;
- algoritmi adecvați de analiză și corelare a amprentelor diferitelor mărimi monitorizate;
- programe de calcul asociate algoritmilor;
- programele numerice, bazate pe metoda elementului finit, pentru simularea defectelor componentelor mașinii electrice;
- aplicațiile software de stocare, vizualizare, diagnosticare și telesupraveghere;
- bazele de date dedicate.

2. GENERALITATI CU PRIVIRE LA MONITORIZAREA SI DIAGNOSTICAREA MASINILOR ELECTRICE

Monitorizarea unei mașini înseamnă achiziție de date, determinarea stărilor mașinilor electrice, preluarea în permanentă a semnalelor provenite din proces sau de la sistemul de comandă, recunoașterea și indicarea anomaliilor în comportament ale acesteia [1]. În această definiție, monitorizarea este limitată la funcțiile de achiziție a informațiilor, arhivare etc., fără să acționeze, nici asupra procesului și nici asupra sistemului de comandă. Monitorizarea are deci un rol pasiv vis-a-vis de sistemul de comandă și proces.

Diagnosticarea este pasul următor monitorizării și cuprinde interpretarea datelor măsurate off-line (cu mașina electrică oprită și deconectată de la rețea) și on-line (cu mașina electrică în funcționare normală) [2, 3]. Termenul „diagnosticare” indică adăugarea de analize sofisticate, cum ar fi un sistem special capabil de a asigura evaluarea condiției echipamentului și a sugera acțiunile necesare a fi întreprinse pentru buna lui funcționare.

2.1 Metode de monitorizare

Pe plan mondial nu există normative cu privire la obligativitatea determinărilor anumitor parametri de către sistemele expert. Metodele de monitorizare utilizate pot fi termice (măsurarea temperaturii în anumite puncte, temperatura de „hot spot”, imagini termice etc.), chimice (particule rezultate din degradarea izolațiilor, a miezurilor, starea uleiului etc.), mecanice (vibrațiile miezurilor magnetice, ale capetelor de bobine, defecte ale lagărelor sau rulmenților etc.) și electrice (curenții statorici, spectrul puterii instantanee, tensiunile induse, curenții de scurgere la pământ, scurtcircuiturile între spire, întrefierul, curenții de circulație, fluxul axial, descărcările parțiale etc.) [1]. Fiecare metodă (on-line sau off-line) necesită echipamente adecvate (tot mai complexe și precise), care trebuie să permită o corelare a informațiilor furnizate, în vederea unei interpretări corecte a acestora și a unei diagnosticări cât mai precise a stării mașinii.

2.1.1 Monitorizarea temperaturii

Limitele parametrilor nominali ai mașinilor electrice sunt stabilite, în general, de temperatura maximă la care izolația poate rezista. Așadar, măsurarea temperaturii are un rol foarte important în monitorizarea mașinilor electrice.

Există trei abordări de bază pentru monitorizarea temperaturii: măsurarea locală a temperaturii în diferite zone ale mașinii folosind senzori de temperatură încorporați, utilizarea unei imagini termice pentru a monitoriza temperatura punctului cel mai fierbinte („hot spot”) al mașinii și determinarea câmpului termic în mașină sau a temperaturii fluidelor de răcire [1].

2.1.2 Monitorizarea produșilor chimici

Izolațiile mașinilor electrice conțin materiale organice, care, în urma proceselor de îmbătrânire și degradare (sub acțiunea diferitelor solicitări) produc o gamă largă de produși chimici. De asemenea, substanțele lubrifiante folosite conțin produși rezultați în urma degradării lor, precum și cei datorati uzurii lagărelor și altor piese în mișcare. Cum masa produșilor chimici depinde de starea de degradare a izolațiilor și de uzura lagărelor, rezultă că trebuie utilizate tehnici de monitorizare a acestor produși, în scopul evitării unor deteriorări premature ale mașinilor electrice. Degradarea izolației poate fi monitorizată din punct de vedere chimic prin detectarea macroparticulelor din fluidul de răcire, a gazelor precum CO₂ și O₃, sau a hidrocarburilor precum etilena și acetilena [1].

2.1.3 Monitorizarea vibrațiilor

O mașină electrică, structura sa de sprijin și sarcina la care este cuplată formează un sistem electromecanic complex. Acest sistem primește impulsuri care îl fac să vibreze la frecvența fundamentală proprie, sau poate vibra la multe alte frecvențe datorită sarcinii, câmpului electromagnetic etc. Aceste frecvențe pot cauza un nivel inacceptabil de zgomot produs de mașină sau pot provoca deteriorări mecanice progresive datorită oboselii materialelor, ce conduc în final la defectarea mașinii electrice [1].

Determinarea vibrațiilor este strâns legată de măsurarea a trei mărimi interconectate între ele prin derivare sau integrare numerică: deplasarea, viteza și accelerația. Prin măsurarea vibrațiilor se obțin informații legate de: starea mecanică a mașinii electrice (integritatea ei structurală) și unele aspecte funcționale (de ex., apariția unui regim de suprasarcină tranzitoriu se va traduce în șocuri mecanice).

2.1.4 Monitorizarea descărcărilor electrice

În funcție de energia și degradarea produsă, descărcările electrice pot fi: descărcări corona, descărcări parțiale, scântei și arcuri electrice [1].

Zonele cele mai vulnerabile ale unei mașini electrice la acțiunea descărcărilor electrice sunt creștăturile statorice (deoarece descărcările parțiale prezente pot eroda și distruge izolația bobinelor), zona de ieșire a bobinelor din miezul statoric (unde izolația este expusă descărcărilor electrice de suprafață) și capetele de bobină (care pot fi supuse unor descărcări parțiale foarte intense, mai ales când suprafața izolației este contaminată cu praf sau umezeală) [1].

Prezența descărcărilor parțiale reprezintă o indicație incipientă a posibilelor defecte în statorul mașinii. Detecția cât mai exactă a descărcărilor poate da informații extrem de utile legate de posibilele defecte ale izolației și totodată legate de durata de viață rămasă a sistemului de izolație.

2.1.5 Monitorizarea parametrilor electrici ai mașinilor

Principalii parametri monitorizați sunt fluxul magnetic prin arbore, curentul statoric, curentul rotoric, precum și curentul sau tensiunea la arbore. Tehnicile pentru monitorizarea parametrilor electrici ai unei mașini au foarte multe în comun una cu cealaltă și sunt utilizate la detectarea posibilelor defecte prin măsurarea efectelor avute de acestea asupra parametrilor mașinii.

Tendința generală este de concepere a unei tehnici pentru detectarea tuturor defectelor de natură electrică ale unei mașini, statorice și rotorice [2, 4].

2.2 Tehnici de diagnosticare

Diagnosticările stărilor componentelor monitorizate sunt mai mult sau mai puțin elaborate, fiind mai mult sau mai puțin insularizate, adică fără corelații între ele. Unele diagnosticări se pot face on-line, emițând alarme automate la depășirea unor praguri prestabilite, alarme ce pot fi colectate în fișiere de istoric. Acest tip de diagnosticare este de regulă asociat monitorizărilor on-line. Alte diagnosticări se fac off-line, sub formă de verdicte simple: acceptat/neacceptat, respectiv neconcludent, așa cum e cazul încercărilor standardizate la diferite faze ale fabricației mașinii electrice, respectiv la punerea în funcțiune.

O formă aparte de diagnosticare off-line este efectuată de experții umani și sistemele expert (care utilizează tehnici bazate pe inteligență artificială) care corelează informațiile obținute prin tipurile de monitorizări descrise mai sus și furnizează o diagnosticare a mașinii, indicând și o localizare (cu o anumită probabilitate) a existenței sau a apariției unui probabil defect [1].

3. OBIECTIVELE SI ACTIVITATILE PROIECTULUI SDCME

Scopul proiectului a fost reprezentat de dezvoltarea unui start-up inovator, denumit SIMTECH RESEARCH SRL, care a introdus în piață un produs nou, denumit *Sistem pentru diagnosticarea complexă a stărilor mașinilor electrice rotative de medie și mare putere*, desemnat de acronimul SDCME.

3.1 Obiectivele proiectului SDCME

Obiectivul general al proiectului a reprezentat fabricarea seriei zero a unui sistem pentru diagnosticarea complexă a stărilor mașinilor electrice rotative, capabil să determine durata rămasă de viață, integrând informații referitoare la subansamblurile și componentele de bază ale mașinilor (statoare, rotoare, înfășurări, circuite magnetice, lagăre, carcase, sisteme de răcire/ventilație, etc).

Dintre obiectivele specifice ale proiectului se menționează:

- elaborarea funcțiilor de diagnosticare complexă a stărilor tehnice ale mașinilor electrice rotative și stabilirea rezervei de durată de viață;
- elaborarea structurii configurațiilor sistemului de diagnosticare complexă a stării tehnice a unei mașini electrice rotative și a modulelor de monitorizare;
- elaborarea algoritmilor de analiză, corelare și integrare a informațiilor cuprinse în diferitele mărimi monitorizate, pe baza funcțiilor de diagnosticare complexă;
- proiectarea bazelor de date necesare pentru monitorizare și diagnosticare;
- proiectarea modulelor de comunicație între modulele de diagnosticare, baza de date, punctele de management;
- elaborarea specificațiilor tehnice ale componentelor sistemului pentru monitorizare și diagnosticare;
- realizarea și testarea prototipurilor modulelor și configurațiilor sistemului pentru monitorizare și diagnosticare;
- certificarea sistemului pentru monitorizare și diagnosticare;
- elaborarea documentelor și efectuarea demersurilor de protejare a proprietății intelectuale/industriale;
- executarea (fabricarea) seriei zero;
- elaborarea manualelor de instalare, exploatare, mentenanță și service.

3.2 Activitățile proiectului SDCME

Dintre activitățile proiectului SDCME se menționează:

- elaborarea funcțiilor de diagnosticare complexă a stărilor tehnice ale mașinilor electrice rotative și stabilirea rezervei de durată de viață;
- elaborarea structurii configurațiilor și a modulelor de monitorizare ale SDCME;
- realizarea și experimentarea programelor de simulare a defectelor electrice și mecanice ale mașinilor electrice;
- realizarea și testarea aplicației de diagnosticare on-line conformă cu funcțiile de diagnosticare;
- proiectarea bazelor de date necesare pentru monitorizare și diagnosticare;
- realizarea și testarea aplicației de comunicații între modulele de diagnosticare, baza de date, punctele de management;
- elaborarea specificațiilor tehnice ale componentelor SDCME;
- elaborarea specificației tehnice și documentației de execuție a prototipurilor modulelor și configurațiilor SDCME;
- realizarea și testarea prototipurilor modulelor și configurațiilor sistemului pentru monitorizare și diagnosticare;
- analiza rezultatelor testărilor și definitivarea specificațiilor tehnice ale componentelor și modulelor SDCME;
- certificarea sistemului pentru monitorizare și diagnosticare;
- elaborarea documentației de introducere în fabricația curentă a echipamentului SDCME;
- pregătirea de fabricație (experimentări, testări, încercări, analize);
- executarea (fabricarea) seriei zero a echipamentului SDCME;
- elaborarea manualelor de instalare, exploatare, mentenanță și service;
- informare și publicitate cu privire la proiectul SDCME.

4. REZULTATELE PROIECTULUI

Produsul SDCME obținut prin realizarea activităților și subactivităților din cadrul proiectului, conform obiectivelor și rezultatelor de cercetare asumate, este constituit dintr-un ansamblu integrat de componente hardware și software care se pot grupa din punct de vedere funcțional în trei subsisteme:

- subsistem de monitorizare;
- subsistem de diagnosticare;
- subsistem de supraveghere de la distanță.

Fiecare subsistem conține o structură hardware și o structură software specifică.

Subsistemul de monitorizare asigură:

- monitorizarea în timp real a componentelor mașinii electrice, în funcționare, la locul de utilizare (monitorizare on-line in situ);
- monitorizarea în timp real a mașinii sau numai a unor componente ale acesteia pe timpul încercărilor la care sunt supuse la locul de utilizare, în timpul reviziilor planificate (monitorizare off-line in situ).

Subsistemul de diagnosticare asigură:

- alarmarea în timp real la locul de utilizare a mașinii electrice;
- diagnosticarea în timp real a stărilor componentelor mașinii electrice, la locul de utilizare;
- diagnosticarea complexă a stării și rezervei de durată de viață a mașinii.

Subsistemul de supraveghere de la distanță asigură:

- securizarea informatică;
- comunicarea la distanță a datelor și exploatarea bazelor de date;

- analize și rapoarte pentru managementul energetic al mașinii electrice și decizii referitoare la exploatarea acesteia.

Componentele hardware asigură: preluarea semnalelor de la diferite categorii de senzori și traductoare implantate pe componentele mașinilor electrice, prelucrarea primară a semnalelor pentru a le aduce la semnale electrice, achiziția semnalelor electrice, transferul și stocarea informațiilor specifice subsistemului, legăturile fizice între module și pentru comunicarea în exterior.

Componentele software asistă structura hardware la nivel de module, asigură prelucrarea primară a datelor obținute prin monitorizare, transcriu în limbaj informatic algoritmi bazați pe funcții de diagnosticare care integrează și interpretează informațiile furnizate de componentele hardware, asigură diferite aplicații necesare comunicării cu operatorul uman.

Componentele software sunt grupate în aplicații dedicate, printre care se află:

Aplicația on-line de achiziție, transmisie și prelucrare primară a datelor, care lucrează cu echipamentele hardware și recunoaște fiecare tip de senzor, deținând protocolul de comunicație cu aceștia; identifică informațiile achiziționate și le oferă în rețea; prelucrează datele achiziționate într-un mod specific mașinii monitorizate și permite achiziția și monitorizarea simultană a mai multor echipamentele electrice, cu rată de eșantionare reglabilă pentru fiecare.

Aplicația de stocare preia datele oferite de aplicația de achiziție, transmisie și prelucrare primară, le stochează într-o bază de date și memorează alarmele care apar pe durata monitorizării.

Aplicația de vizualizare locală este o aplicație desktop ce permite analiza și vizualizarea on-line, locală, a datelor achiziționate și stocate, efectuează monitorizări și diagnosticări off-line la locul de utilizare a mașinii, cu vizualizarea și analiza „istoriilor” anumitor parametri, afișează date on-line în format numeric și grafic, afișează alarmele și funcțiile de analiză și configurează alarmele și intervalele de urmărire on-line. Funcțiile de analiză ale aplicației permit stabilirea încărcării mașinii, emiterea de avertismente la depășiri de valori ale anumitor parametri, analizează descărcările parțiale și durata de viață consumată, respectiv rămasă a mașinii.

Aplicația de vizualizare – diagnosticare off-line determină starea mașinii într-o anumită perioadă de timp în condiții specificate pe baza datelor introduse din buletinele de măsurători (de exemplu cele conform normelor și standardelor în vigoare), date generale despre mașină, afișează mesaje de avertizare în cazul depășirii limitelor la anumiți parametri, evaluează valorile parametrilor de monitorizare la un moment dat și evoluția acestora în timp, emite mesaje de eroare în cazul depășirii anumitor limite impuse pentru fiecare parametru, memorează în baza de date valorile măsurate sau calculate aflate în limitele admisibile impuse, acordă calificative fiecărei componente analizate și mașinii, asigură vizualizarea stării mașinii, indică tipul de mentenanță recomandată.

Aplicația web servește la vizualizarea și analiza parametrilor mașinilor electrice rotative. Analiza și vizualizarea parametrilor se face prin accesarea url-ului unde este instalată aplicația, printr-un browser web. Aplicația web are o interfață prietenoasă și intuitivă. Acest software înglobează atât aplicații de monitorizare și diagnosticare off-line, cât și aplicații de monitorizare și diagnosticare on-line, precum și blocuri de analiză, diagnosticare, ierarhizare. Această aplicație asigură administrarea echipamentelor și permite emiterea de rapoarte pentru beneficiari sau pentru cei interesați de starea unui echipament și completarea acestora de către executanți.

Elementele de câmp (senzorii și traductoare) se implantează pe stator, rotor, sistem de ungere, sistem de ventilație, lagăre, cutie borne de alimentare și alte componente constructive. Unele traductoare includ și componentele de condiționare a semnalului. Plăcile de achiziție sunt

grupate în module de 8-16 elemente și furnizează semnale digitale către serverele de achiziție și prelucrare date. Între senzorii și transductoarele de mărimi implantate pe diferite părți ale mașinii electrice se interpun sisteme de cablare mai mult sau mai puțin complexe, de tipul legăturilor cu fir, respectiv de tipul transmisiei fără fir, în cazul componentelor în mișcare, cum este situația rotorului.

Numărul și tipul elementelor de câmp sunt dependente de tipul de mașină electrică și de parametrii de monitorizare selecționați.

Parametrii uzuali reținuți pentru monitorizarea on-line la locul de utilizare a mașinilor electrice sunt cei care pot fi preluați în parte din automatizarea existentă, în parte de la senzori și transductoare ce trebuie instalate, după cum urmează:

- temperaturi: ale înfășurărilor statorice, ale miezului statoric, ale lagărelor, ale mediului de răcire; ale mediului ambiant;
- umiditatea mediului de răcire;
- întrefierul, mediana;
- valorile efective și formele de undă: ale curenților și tensiunilor din stator și rotor;
- intensitatea descărcărilor parțiale;
- nivelul de zgomot, vibrații carcasă, miez stator și rotor, bare în creștături, capete de înfășurări, lagăre;
- turație, cuplu.

Monitorizarea acestor mărimi se face în mod permanent, înregistrându-se valorile măsurate.

Parametrii avuți în vedere pentru monitorizarea off-line la locul de utilizare a mașinilor electrice sunt:

- curenții de absorbție/resorbție (CABS);
- rezistențele de izolație;
- rezistențele electrice;
- capacitatea electrică și tangenta unghiului de pierderi;
- informații și date din încercări: - încercări cu tensiune alternativă: verificarea la tensiune alternativă mărită la 50 Hz, de ținere; determinarea sarcinii aparente a descărcărilor parțiale;
- încercări cu tensiune continuă: verificarea la tensiune continuă mărită, determinarea curbei de variație a curentului de absorbție și conducție, măsurarea rezistențelor de izolație și a coeficienților de absorbție; verificarea nivelului de ținere; încercări cu tensiune de impuls; măsurarea rezistenței ohmice;
- încercări ale circuitului magnetic;
- încercări mecanice;
- încercări nestandardizate: metoda CABS; metoda răspunsului în frecvență; altele;
- date de la inspecțiile efectuate pe timpul mentenanței;
- date din cartea tehnică a mașinii;
- date istorice.

Structura componentei hardware a unei configurații a SDCME este dependentă de pretențiile beneficiarului și de tipurile de senzori pe care îi are sau îi dorește instalați pe mașina electrică în cauză. Aplicațiile software sunt aceleași pentru orice variantă de configurație.

Astfel, SDCME asigură evaluarea stării tehnice a mașinilor electrice supuse monitorizării, integrând informații referitoare la subansamblurile și componentele de bază ale mașinilor (statoare, rotoare, înfășurări, circuite magnetice, lagăre, carcase, sistem de răcire-ventilație, etc). Rezultatul evaluării se poate exprima prin indici de sănătate ai componentelor și mașinii în ansamblu și prin exprimarea cantitativă a rezervei de durată de viață.

5. CONCLUZII

A fost realizata implementarea (realizarea și utilizarea) unui sistem modular de monitorizare și diagnosticare a mașinilor electrice de mare putere, prin următoarele:

- aplicarea unor metode de evaluare a stării sistemelor de izolație ale mașinilor electrice bazate pe cunoștințe științifice dintre cele mai recente legate de comportarea materialelor electroizolante la solicitări curenți din exploatare (descărcările parțiale, analiza curenților de absorbție și resorbție, măsurarea sarcinii spațiale, combinate cu tehnicile de măsurare sub tensiune);
- aplicarea unor metode de evaluare a stării componentelor magnetice și mecanice ale mașinii electrice plecând de la vibrații;
- aplicarea unor metode de evaluare a stării lagărelor plecând de la analiza complexă a uleiului de ungere;
- aplicarea unor metode de analiză a emisiilor rezultate în urma degradării sistemului de izolație;
- aplicarea unor algoritmi originali de corelare și interpretare a datelor măsurate on-line, respectiv off-line;
- definirea unei structuri modulare a sistemului pentru a acoperi o plajă cât mai largă de aplicații;
- utilizarea unor procedee performante de transmisie numerică a datelor.

Atingerea obiectivului general al proiectului va contribui, pe termen lung, la creșterea economică și dezvoltarea durabilă a regiunii București-Ilfov, prin crearea de noi locuri de muncă și realizarea unor produse de înaltă tehnicitate.

6. PERSPECTIVE ASUPRA CERCETĂRILOR ULTERIOARE

În vederea continuării cercetărilor efectuate pe durata elaborării acestui proiect, pot fi menționate următoarele aspecte:

- realizarea unei metode de estimare a duratelor de viață ale mașinilor electrice de medie și mare putere pe baza unor diagrame ale temperaturii izolațiilor mașinilor electrice, în funcție de ciclul de încărcare a acestora;
- îmbunătățirea echipamentului SDCME prin includerea în criteriile de diagnosticare a unor noi tipuri de încercări ale mașinilor electrice și conceperea unor baze de date dedicate estimării duratelor de viață pentru mașinile electrice de același tip (motoare și generatoare asincrone, motoare și generatoare sincrone, etc).

CONFIRMARE

Menționăm în mod deosebit sprijinul acordat de ICMET Craiova pentru realizarea testării prototipurilor modulelor și configurațiilor sistemului SDCME.

Lucrarea a fost prezentată la Simpozionul de Mașini Electrice SME'XIX, ediția 2023.

BIBLIOGRAFIE

1. P.J. Tavner, L. Ran, J. Penman, H.G. Sedding, *Condition Monitoring of Rotating Electrical Machines*, The Institution of Engineering and Technology, London, 2008.
2. G.C. Stone, E.A. Boulter, I. Culbert, H. Dhirani, *Electrical Insulation for Rotating Machines – Design, Evaluation, Aging, Testing, and Repair*, IEEE Press, John Wiley & Sons, Inc., 2004.
3. IEC Standard 60270:2000, *High-voltage test techniques – Partial discharge measurements*.
4. F.C. Trutt, J. Sottile, J.L. Kohler, *Online condition monitoring of induction motors*, IEEE Transactions on Industry Applications, **IA-38**, pp. 1627-1632, 2002.