

# DIAGNOSTICAREA DEFECTELOR ROTOARELOR ÎN COLIVIE CU AJUTORUL UNEI INSTALAȚII CU FERROFLUID

Ing. Ovidiu-Magdin ȚANȚA<sup>1,2</sup>, Conf. univ. dr. ing. Laurențiu Dan MILICI<sup>1</sup>,  
Ing. Mihaela POIENAR<sup>1</sup>, Ing. Adrian Neculai ROMANESCU<sup>1</sup>, Ing. Mihai CENUȘĂ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universitatea „Ștefan cel Mare” din Suceava, <sup>2</sup> E.ON Distribuție România

**REZUMAT.** Plecând de la observațiile lui R. E. Rosensweig formulate în urma cercetărilor privind comportarea ferofluidelor în prezența câmpurilor magnetice, lucrarea de față prezintă contribuții la dezvoltarea unor noi metode de diagnosticare a defectelor rotoarelor în colivie. Combinând studiul profilului hidrostatic al unui ferofluid cu Metoda privind defectoscopia rotoarelor în colivie prezentată brevetul de invenție RO Nr. 122756 B1, a fost dezvoltată o instalație cu ferofluid destinată verificării defectelor de turnare a acestor rotoare.

**Cuvinte cheie:** ferofluid, rotor în colivie, câmp magnetic.

**ABSTRACT.** Based on observations made by R.E. Rosensweig during the research on ferrofluids behavior in the presence of magnetic fields, this paper presents contributions to the development of new methods for cage rotors diagnosis. Combining the study of hydrostatic profile of a ferrofluid with Method for fault detection in cage rotors described in patent RO Nr. 122756 B1, it has been developed a ferrofluid installation designed for verifying the casting defects of this type of rotors.

**Keywords:** ferrofluid, cage rotors, magnetic field.

## 1. INTRODUCERE

Motoarele electrice asincrone cu rotorul în scurt-circuit sunt cele mai răspândite mașini electrice rotative, fiind utilizate în aproape toate tipurile de acționări industriale. Rotoarele acestor mașini sunt confecționate din aluminiu prin metode statice de turnare, turnare centrifugală, turnare prin vibrație sau sub presiune. În timpul procesului tehnologic, datorită unor cauze diverse, turnarea rotoarelor poate genera un procent însemnat de rebuturi cauzate de fisuri, întreruperea sau îngustarea barelor. Întreruperea se poate produce datorită unei geometrii neraționale a cochilei de turnare sau datorită unei presări excesive ale pachetului înainte de turnare. Fisurile în bare pot apărea în locurile de legătură a două jeturi de metal datorită oxidării sau se pot forma la depresarea dornului dintr-un rotor încă nerăcit când acesta este supus șocurilor [6].

Defectele coliviei rotorice influențează simțitor funcționarea corectă a motorului și se concretizează în reducerea capacității de suprasarcină. Spre exemplu, la trei bare întrerupte se formează o proeminență pe curba momentelor, în zona vitezei semisincrone, cu reducerea cuplului de rotire până la 30% față de cel nominal. Un astfel de motor nu poate fi deloc folosit la sarcini foarte variabile [6].

## 2. SOLUȚII ACTUALE PENTRU DIAGNOSTICAREA ROTOARELOR

În prezent soluțiile privind diagnosticarea rotoarelor în colivie prezentate în literatura de specialitate ori sunt foarte laborioase ori nu sunt suficient de precise (de ex. metoda osciloscopisă și metoda cu pulberi magnetice). În acest scop, în cadrul Centrului de Cercetare în domeniul Mașini, Aparate și Acționări Electrice – EMAD, a fost dezvoltată o soluție ce presupune utilizarea unui detector de flux magnetic. Cererea de brevet de invenție cu titlul *Metodă privind defectoscopia rotoarelor în colivie* a colectivului compus din NEGRU, M. B.; CREȚU, N.; CERNOMAZU, D. et. al. este bazată pe utilizarea detectorului flexibil de flux magnetic realizat dintr-o folie ce conține la interior o pulbere de particule de nichel dispersate într-o masă gelatinoasă. Pentru aplicarea acestei metode, inelele de scurtcircuitare ale rotorului sunt conectate la un transformator coborât cu o tensiune de 1,5 - 2,5 V. Reglând tensiunea de alimentare, în înfășurarea secundară, se obține, un curent de 300 - 500 A. Curentul, trecând prin barele coliviei rotorice înfășurate cu folia detectoare de flux, creează în jurul fiecărei bare un câmp magnetic. După conectarea coliviei rotorice la sursa de curent, pe suprafața foliei detectoare de flux, apar niște urme care diferă între ele prin contrast și

lățime. Aceste urme reprezintă criteriile defectoscopice prin care pot fi diagnosticate defectele cauzate de îngustarea, fisurarea sau chiar de întreruperea barelor coliviei. Dezavantajul metodei descrise constă în faptul că diagnosticarea îngustărilor și fisurilor barelor nu poate fi identificată cu suficientă precizie.

### 3. INSTALAȚIE CU FEROFUID PENTRU DEFECTOSCOPIA COLIVIEI ROTORICE

Plecând de la dispozitivul cu indicator de flux magnetic anterior descris și folosind tehnicile psihologice de creație (combinarea), a fost dezvoltată o instalație de diagnosticare cu ferrofluid. Principiul de funcționare al instalației se bazează pe studiul profilului hidrostatic al unui ferrofluid, studiu ce confirmă observațiile efectuate de R. E. Rosensweig în cadrul cercetărilor privind comportarea ferrofluidelor în prezența câmpurilor magnetice. S-a constatat atunci faptul că un conductor vertical prin care circulă curent electric, plasat într-o baie de ferrofluid, determină ridicarea ferrofluidului în jurul conductorului, așa cum este prezentat în figura 1.

Instalația pentru defectoscopia coliviei rotorice descrisă în cele ce urmează este constituită, în principal, dintr-o baie circulară de ferrofluid plasată în jurul rotorului investigat, aflat în poziție verticală. Pe traseul barelor rotorice, conectate prin intermediul inelelor de scurtcircuitare la secundarul transformatorului coborâtor de tensiune, se formează niște dungi de ferrofluid. Aceste dungi au o înălțime dependentă de valoarea curentului asociat. În acest fel, pe direcția barelor afectate prin îngustare sau fisurare, coloanele de ferrofluid vor avea o înălțime mai mică în comparație cu înălțimea aferentă barelor fără defect [2].

Instalația pentru defectoscopia coliviei rotorice este constituită, în principal, dintr-o suprafață de sprijin orizontală 1, pe care este plasat un dispozitiv de fixare 2, în care este introdus capătul liber al unui rotor cu o înfășurare în colivie 3, supus analizei diagnostice.

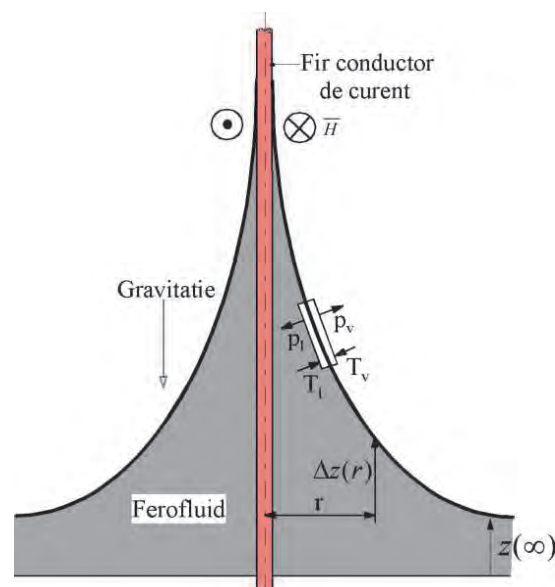


Fig. 1. Stabilizarea suprafeței libere a ferrofluidului în jurul curentului linear vertical [1], [3].

Pe suprafața cilindrică exterioară a rotorului este fixată o placă 4, realizată dintr-un material electroizolant prevăzută cu un canal circular „c”, aflat în contact cu suprafața rotorului. În canalul „c” este depusă o cantitate de ferrofluid 5. Placa 4 este fixată prin intermediul unor tiranți 6, 6', 6'' și 6''' și este etanșată în raport cu rotorul 3 prin intermediul unei pelicule de lac adeziv 7. Coliviea rotorică este conectată la o sursă de curenti tari (o trusă de curent 8) prin intermediul unor conexiuni flexibile fixate pe inelele de scurtcircuitare ale coliviei cu ajutorul unor bride de strângere cu șurub reglabil. Curentul furnizat de trusa de curent 8 este măsurat prin intermediul unui transformator de curent 9 asociat cu un ampermetru 10. Trusa de curent este alimentată de la o sursă de curent alternativ prin intermediul unui autotransformator reglabil 11, tensiunea și curentul fiind controlate prin intermediul unor aparate de măsură 12, 13, 14. Pentru verificarea planeității instalației este folosită o nivelă 15 [2].

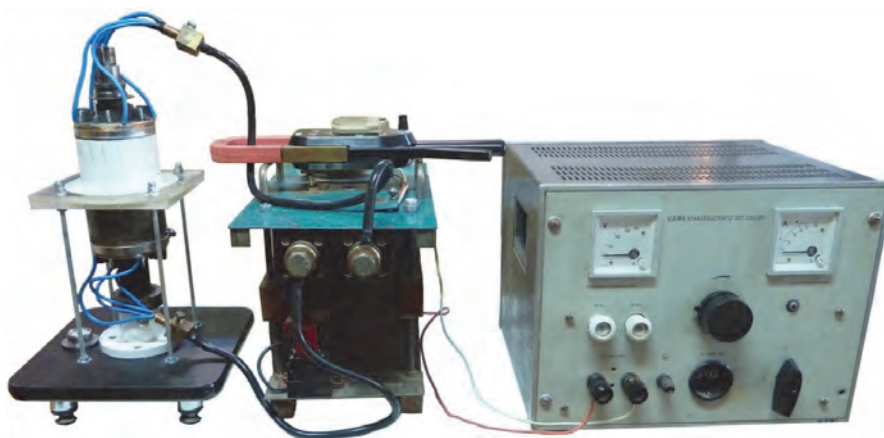
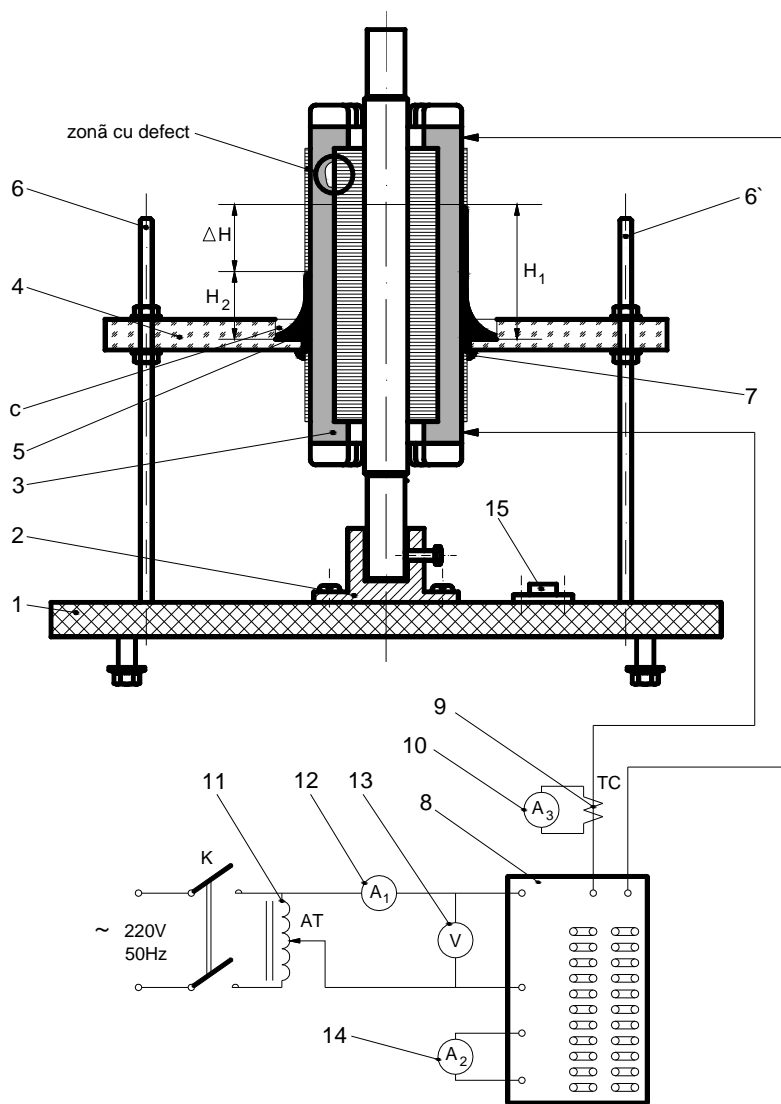


Fig. 2. Model experimental al instalației pentru defectoscopia coliviei rotorice [9].



**Fig. 3** Instalație pentru defectoscopia coliviei rotorice – secțiune longitudinală [2]:

1 – suprafață de sprijin; 2 – dispozitiv de fixare; 3 – rotor cu înfășurare în colivie; 4 – placă electroizolantă; c – canal circular; 5 – ferofluid; 6, 6', 6'' și 6''' – tiranți; 7 – peliculă de lac adeziv; 8 – trusă de curent; 9 – transformator de curent; 10 – ampermetru; 11 – autotransformator; 12, 13, 14 – instrumente de măsură; 15 – nivelă.

În figura 3 este analizat cazul în care una din barele coliviei rotorice este afectată de o îngustare. Îngustarea are ca efect creșterea rezistenței ohmice a traseului conductor și drept urmare o diminuare a curentului care traversează bara. În consecință, înălțimea coloanei de ferofluid,  $H_1$ , asociată barei cu defect va fi mai mică decât înălțimea coloanei de ferofluid,  $H_2$ , asociată unei bare normale. Existența diferenței  $\Delta H$ , dintre înălțimile coloanelor de ferofluid aferente celor două bare analizate, indică existența unei îngustări sau a unei fisuri în bara cu defect. Cu cât diferența  $\Delta H$  este mai mare, cu atât îngustarea barei este mai pronunțată [2].

Așa cum se observă din imagini, pentru evidențierea înălțimii ferofluidului de pe suprafața rotorului, partea superioară a acestuia (deasupra canalului cu ferofluid) a fost vopsită în alb. De asemenea, pentru distribuția uniformă a potențialului pe toată circumferința rotorului s-au utilizat două inele de egalizare

din cupru conectate la cablul principal prin patru conductoare poziționate simetric. Pentru asigurarea presiunii de contact dintre inelele de egalizare și rotor s-au montat două coliere metalice [9].

În figura 4 sunt surprinse trei cazuri distincte:

a) Rotor intact, fără defecte de fabricație pe suprafața căruia se observă înălțimi egale ale coloanelor de ferofluid ce urcă pe canalele rotorului.

b) Rotor cu defect de turnare simulat prin practicarea unui orificiu pe una din bare. În acest caz se disting clar înălțimi mai mici ale coloanei de ferofluid în dreptul zonei cu defect.

c) Rotor cu defect pe suprafața căruia s-a aplicat un detector de flux magnetic din folie flexibilă ce conține în interior particule de nichel dispersate într-o masă gelatinoasă, așa cum este descris în cererea de brevet [8]. Această variantă a fost testată în scopul efectuării unui studiu comparativ între cele două soluții descrise în [8] și [2].

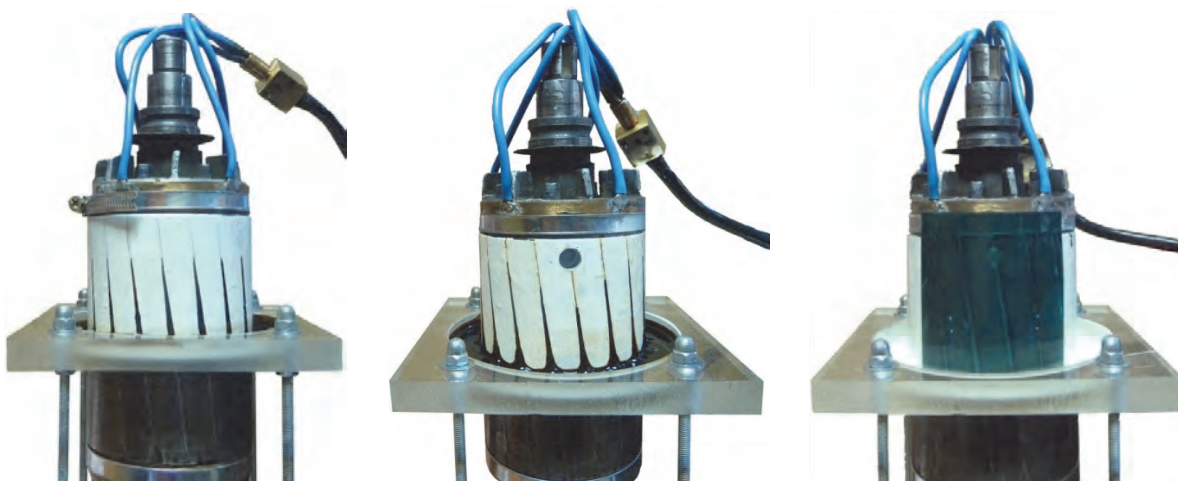


Fig. 4 Detalii ale rotorului supus încercărilor [9]:

- a) rotor fără defecte de fabricație; b) rotor cu defect simulat încercat cu instalația cu ferrofluid;  
c) rotor cu defect simulat încercat prin metoda cu indicator de flux magnetic.

## 4. CONCLUZII

➤ Un conductor vertical parcurs de curent electric plasat într-o baie de ferrofluid determină apariția unei interacțiuni între câmpul magnetic produs de conductor și particulele de ferrofluid care au tendința de a se orienta pe direcția câmpului magnetic aplicat. Acest fapt determină atracția ferrofluidului în jurul conductorului și crearea unei colane de fluid ce se ridică vertical, sub forma unui trunchi de con.

➤ Înălțimea colanei de ferrofluid este direct proporțională cu curentul ce parcurge conductorul analizat și variază funcție de materialul din care este realizat conductorul, secțiunea și forma acestuia.

➤ Datorită faptului că la turnarea rotoarelor în colivie, în special la cele turnate prin metoda statică, există un procent semnificativ de rebuturi, iar funcționarea cu rotorul dezechilibrat influențează capacitatea de suprasarcină și funcționarea stabilă a motorului, se impune identificarea unei soluții facile, fiabile și cât mai precise pentru diagnosticarea coliviei rotorice.

➤ Așa cum se observă din imaginile prezentate în figura 4, diagnosticarea coliviei rotorice cu o instalație cu ferrofluid redă informații mult mai concludente și sugestive comparativ cu alte metode utilizate, precum metoda cu indicator de flux magnetic, și este totodată mai puțin laborioasă decât metoda osciloscopică.

## Mulțumiri

La această lucrare, infrastructura a fost parțial susținută de proiectul POSCCE "Centru integrat de cercetare, dezvoltare și inovare pentru materiale Avansate,

Nanotehnologii și Sisteme distribuite de fabricație și control", Contract Nr. 671/09.04.2015, Programul Operational Sectorial Creșterea Competitivității Economice co-finanțat prin Fondul European de Dezvoltare Regională.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Buzduga, C. *Contribuții la extinderea aplicațiilor ferrofluidelor și pulberilor feromagnetice în electrotehnică*. Teză de doctorat. Suceava: Universitatea „Ștefan cel Mare”, Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor, 2012.
- [2] Cernomazu, D.; Țanța, O. M.; Mandici, L.; Poienar, M.; Romanescu, A. N.; Nițan, I.; Olariu, E. D.; Ungureanu, C. *Instalație pentru defectoscopia coliviei rotorice*. Cerere de Brevet de Invenție nr. A/00570 din 28.07.2014.
- [3] Luca, E.; Călugăru, Gh.; Bădescu, R.; Cotae, C.; Bădescu, V. *Ferrofluidele și aplicațiile lor în industrie*. București: Editura Tehnică, 1978.
- [4] Minescu, D.; Negru, M. B. *Contribution regarding the driving currents distribution in solid mediums using ferrofluid display device*. În: 6<sup>th</sup> International Conference on Electromechanical and Power Systems - SIELMEN 2007-vol. I, ISSN: 1842-4805, Chișinău, Rep. Moldova, 4-6 October, 2007, pag. 225.
- [5] Minescu, D.; Negru, M. B.; Sorea, N.; Jeder, M.; Prisacariu, I.; Crețu, N.; Olariu, E. D.; Cernomazu, D. *Stand pentru studiul spectrelor magnetice*. Brevet de invenție RO Nr. 122879 B1, 30.03.2010, OSIM București.
- [6] Negru, M. B. *Contribuții privind extinderea aplicațiilor ferrofluidelor și a pulberilor feromagnetice în electrotehnică*. Teză de doctorat. Suceava: Universitatea „Ștefan cel Mare”, Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor, 2012.
- [7] Negru, M. B.; Prisacariu, I.; Minescu, D.; Sorea, N.; Cernomazu, D. *Considerations and contributions about fault detection of cage winding-type rotors*. În: International Symposium on Electrical Engineering and Energy Converters-ELS2007. ISBN: 973-666-259-1, Suceava, România, 27-28 septembrie 2007, pag. 29.

- [8] Negru, M. B.; Sorea, N.; Crețu, N.; Baci, I.; Avrămia, C.; Jeder, M.; Olariu, E. D.; Cernomazu, D. *Metodă privind defectoscopia rotoarelor în colivie*. Brevet de invenție RO Nr. 122756 B1, 30.12.2009, OSIM București.
- [9] Țanța, O. M. *Contribuții teoretice și experimentale preliminare cu privire la unele efecte particulare legate de*

*utilizarea pulberilor feromagnetice și a ferrofluidelor în tehnică – Raport II în cadrul stagiului de pregătire pentru doctorat*. Suceava: Universitatea „Ștefan cel Mare”, Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor, 2015.