

STUDIUL PRIVIND RELEELE DE GAZE LA TRANSFORMATOARELE ELECTRICE

Șef lucrări dr. ing. **Cristina PRODAN**, Conf. univ. dr. ing. **Gabriela RAȚĂ**,
Conf. univ. dr. ing. **Mihai RAȚĂ**

Universitatea „Ștefan cel Mare” din Suceava

REZUMAT. Funcționarea protecției de gaze, prin sistemele sale de comutație de semnalizare și (sau) de declanșare se produce în mai multe situații. Lucrarea de față prezintă concluziile în legătură cu studiul efectuat asupra defectoscopiei transformatoarelor electrice și a diagnosticării supraîncălzirilor interne la transformatoarele electrice. Sunt expuse deasemenea, câteva metode pentru diagnosticarea defectelor la transformatoarele electrice de putere propuse în cadrul Centrului de Cercetări pentru Mașini Aparare și Acționări din cadrul Universității „Ștefan cel Mare” Suceava.

Cuvinte cheie: transformatoare electrice, protecția de gaze.

ABSTRACT. Operation of the gas protection, through its switching signaling systems and (or) the tripping, occurs in several situations. This paper presents the findings related to studies on fault detection and diagnosis of the internal overheating in the electrical transformers. Also, are exposed several methods for diagnosing faults in electrical power transformers, proposed in the Research Center for Devices and Drives Machines of the University „Ștefan cel Mare”.

Keywords: electrical transformers, gas protection.

1. INTRODUCERE

Principala protecție contra defectelor cu care sunt prevăzute în mod obișnuit transformatoarele cu puteri peste 100 kVA, este protecția de gaze. Această protecție poate fi aplicată numai transformatoarelor cu ulei și cu conservator, ea acționând numai în cazul defectelor în interiorul cuvei. În aceste condiții, arcul electric sau căldura produsă de un scurtcircuit, provoacă descompunerea uleiului și materialelor organice ce intră în componența pieselor electroizolante, și în consecință formarea de gaze. Acestea, fiind mai ușoare decât uleiul, se ridică spre conservator. În cazul defectelor mai grave, formarea gazelor poate fi atât de violentă, încât presiunea interioară care ia naștere, poate imprima și uleiului o deplasare spre conservator. Gazele pot servi și ca indiciu calitativ al defectului din transformator prin culoarea, mirosul și inflamabilitatea lor.

Aparatul care sesizează formarea gazelor sau a deplasării violente a uleiului, cum și scăderea nivelului acestuia, este releul de gaze, cunoscut și sub numele de releu Buchholz.

2. DEFECTOSCOPIA TRANSFORMATOARELOR ELECTRICE

Metodele convenționale pentru stabilirea defectelor la transformatoarele electrice de putere, sunt:

o prin măsurarea rezistenței înfășurărilor în curent continuu;

- o prin încercarea de mers în gol;
- o prin încercarea de scurtcircuit;
- o în baza probei de încălzire;
- o prin intermediul releului de gaze (releu Buchholz).

Autorii s-au oprit asupra ultimei metode, și anume - protecția prin releu Buchholz, care, după cum se știe, este o protecție sensibilă la defectele interioare sau la funcționarea anormală a transformatorului. Această protecție, în funcție de intensitatea degajării de gaz, acționează asupra semnalizării, asupra circuitului de deconectare al întreruptorului sau asupra ambelor în același timp. Intrarea în acțiune a releului Buchholz se explică prin situații și cauze după cum urmează.

Protecția prin releu Buchholz a acționat asupra semnalizării deoarece:

- o în interiorul transformatorului au apărut defecte mici, care au condus la degajarea slabă de gaze;
- o în timpul umplerii sau curățării uleiului a pătruns aer în transformator;
- o din cauza scăderii temperaturii sau datorită curgerii din cuvă, nivelul uleiului scade treptat.

Protecția prin releu Buchholz a acționat și la semnal și la deconectare sau numai la deconectare, din cauza defectelor interioare însoțite de o degajare intensă de gaz, deoarece s-a produs un scurtcircuit între spirele înfășurărilor primară sau secundară ale transformatorului.

Cauza acestui defect poate fi și o izolare insuficientă a legăturilor de trecere, deteriorarea

izolației spirelor de presare, sau datorită bavurilor pe spira de cupru, deteriorării mecanice a izolației, degradării ei naturale, desprinderii izolației înfășurătorilor în urma scăderii nivelului uleiului.

În timp ce prin spirele scurtcircuitate trece un curent de mare intensitate, curentul de fază poate să crească puțin; izolația spirelor și uneori chiar spirele se ard; este posibilă distrugerea spirelor învecinate. Dacă avaria ia proporții, scurtcircuitul între spire se poate transforma în scurtcircuit între faze.

Dacă numărul spirelor scurtcircuitate este mare, uleiul se încălzește intens și poate chiar fierbe, într-un interval de timp scurt.

În lipsa releului amintit, poate avea loc aruncarea uleiului și a fumului prin supape de siguranță, în cazul transformatoarelor cu puteri de la 1000 kVA în sus.

Scurtcircuitul între spire se caracterizează nu numai prin încălzirea anormală a uleiului și o oarecare creștere a curentului de alimentare a transformatorului, dar și prin scăderea rezistenței active a fazei în care se produce scurtcircuitul.

S-a produs un scurtcircuit între faze care a evoluat foarte rapid (din aceleași cauze ca și străpungerea izolației); acesta poate fi însoțit de aruncarea uleiului prin conservator sau prin supapa de siguranță în cazul transformatoarelor cu puteri de la 1000 kVA în sus.

S-a produs un scurtcircuit din cauza deteriorării izolației buloanelor de strângere a miezului de oțel al transformatorului; piesele incluse în circuit se încălzesc excesiv, provocând încălzirea uleiului; buloanele și tolele alăturate acestora se pot distruge.

La transformatoarele la care pachetele miezului de oțel sunt țesute prin întrepătrundere, se poate produce un scurtcircuit prin atingerea plăcilor de strângere de coloane sau de juguri.

Există scurtcircuite între tolele miezului datorită deteriorării izolației între tole sau îmbătrânirii izolației.

Din această cauză apar curenții turbionari care produc încălziri locale intense ale miezului de oțel, ceea ce cu timpul poate conduce la deteriorarea locală a miezului. Pot avea loc încălziri excesive a interstițiilor în locurile de întrepătrundere a tolelor miezului, datorită curenților turbionari.

A scăzut mult nivelul uleiului în transformator sau se degajă intens aer din ulei, datorită răcirii bruște a lui sau în urma reparațiilor curente (umplerea cu ulei nou, curățirea uleiului prin centrifugare etc).

Trebuie remarcat că în practică se observă deasemenea, cazuri de semnalizări incorecte a protecției prin releu Buchholz, din cauza defectării circuitelor secundare.

Deoarece impulsurile în circuitul de semnalizare al protecției prin releu Buchholz, pot fi provocate din cauze foarte diferite; înainte de a trece la înlăturarea defectului, este necesar să se stabilească precis cauza care a produs semnalizarea. Pentru

aceasta, se va clarifica care din protecțiile prin releu a acționat, analizându-se gazele colectate în releul Buchholz (inflamabilitatea, culoarea, cantitatea și compoziția chimică a lor).

Inflamabilitatea gazelor se determină prin apropierea unui chibrit aprins de robinetul superior, închis, al releului Buchholz și deschizând apoi robinetul. Inflamabilitatea gazului indică prezența unui defect interior. Dacă gazele sunt incolore și nu ard, atunci cauza declanșării releului este aerul degajat din ulei.

Analizându-se culoarea gazului degajat, se poate aprecia despre ce fel de defect este vorba; culoarea alb-gri a acestuia se datorește hârtiei sau cartonului; galben – lemnului; negru – uleiului. Deoarece culoarea gazului poate să dispară după câțiva timp, este necesar ca ea să fie determinată imediat. După cantitatea de gaz colectată se poate aprecia proporția defectului. Scăderea temperaturii de inflamabilitate a uleiului, deasemenea indică prezența unui defect interior.

În cazul în care releul Buchholz a acționat din cauza degajării aerului din ulei, este necesar ca aerul din releu să fie evacuat.

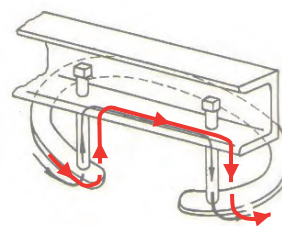
Când se completează uleiul, trebuie avut grijă ca protecția să nu acționeze la deconectare. După terminarea umplerii cu ulei, când încetează degajarea aerului, se reintroduce protecția în circuitul de deconectare a transformatorului.

În cele ce urmează, sunt prezentate câteva exemple de defecte la transformatoarele electrice, sesizate prin intermediul protecției de gaze.

Defectările provocate de curenții paraziți, reprezintă una din cauzele frecvente care conduc la supraîncălziri și la activarea funcționării releului de gaze. Curenții paraziți pot să apară într-un circuit din cauza lipsei izolației între buloane și inelele de strângere (figura 1).



a.



b.

Fig. 1. Defect provocat de curenții paraziți, rezultați în urma distrugerii izolației sistemului pentru strângerea bobinajelor. a - sistem de strângere fără defect; b - explicativ la formarea circuitului parcurs de curenții paraziți.

În figura 2 este prezentat cazul unor curenți paraziți, asociat circuitului constituit de grinzile de jug, buloanele de capăt pentru strângerea grinzilor și cele pentru strângerea jugului frontal superior, iar în figura 3, sunt prezentate urmările reale ale defectului explicat în figura anterioară.

Unul din cele mai interesante cazuri este ilustrat în figura 4, unde circuitul este constituit din legătura de împământare la miez, tolele jugurilor și coloanelor și așchiile din tolă electrotehnică, provenite în urma debitării defectuoase a tolelor din rulourile cu tablă electrotehnică.

Bavurile rezultate în urma procesului de tăiere necorespunzător, se desprind de marginile tolelor tăiate, sub acțiunea vibrațiilor din funcționare, și cad pe fundul cuvei, unde sunt atrase pe suprafața inferioară a jugului frontal inferior, alcătuind un strat conductor, care închide circuitul de constituire a curenților paraziți. Acest circuit fiind parcurs de o fracțiune considerabilă a fluxului magnetic principal, dă naștere, prin inducție, unui curent care generează pierderi de căldură, și care poate să producă chiar arderea legăturii de împământare a miezului.

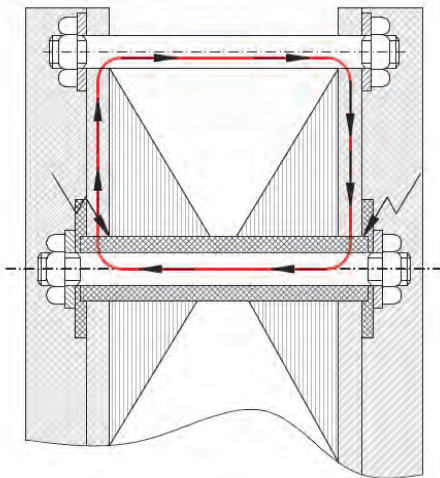


Fig. 2. Explicativă la formarea circuitului parcurs de curenții paraziți; circuitul este constituit din grinzile de jug, buloanele de strângere a grinzilor la capeteși unul dintre buloanele folosite pentru strângerea tolelor jugului frontal.

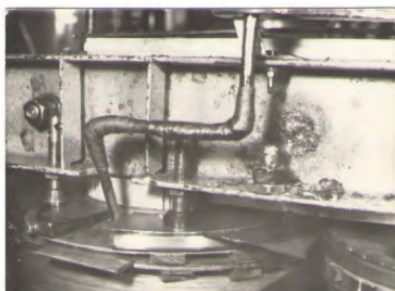


Fig. 3. Cazul defectului provocat de curenții paraziți, la un transformator electric de 1000 kVA.

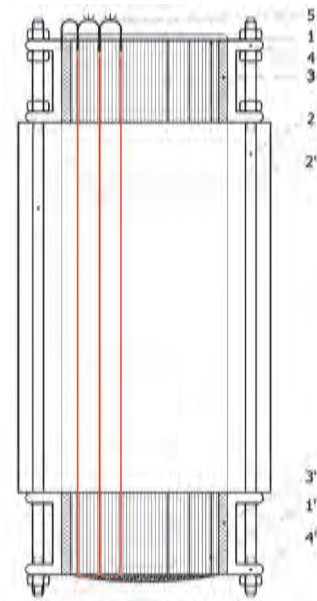


Fig. 4. Defect provocat de curenții paraziți, formați în circuite închise, alcătuite din: bandă de cupru pentru legarea la pământ, tole de jug și de coloane, aglomerare de așchii pe suprafața exterioară a jugului frontal superior; așchiile reprezintă consecința debavurării

3. METODE PROPUSE ÎN CADRUL CENTRULUI DE CERCETARE EMAD

Metoda concepută și experimentată în cadrul centrului de cercetare EMAD, poartă numele de *metoda comparației codurilor*.

În [3, 4], este descrisă metoda alimentării în curent continuu, folosită pentru identificarea indicelui orar al unui transformator trifazat. Aplicarea ei presupune utilizarea unei surse de curent continuu (acumulator, baterie uscată, etc.), un întrerupător cu buton și un aparat magnetoelectric (miliampermetru sau voltmetru), de preferință cu „0” la mijlocul scalei. Sursa de curent continuu este conectată prin intermediul unui întrerupător *Q*, la perechile de borne ale uneia din înfășurările transformatorului verificat, în timp ce, pentru fiecare poziție a sursei de alimentare, aparatul este conectat succesiv, la perechile de borne ale celeilalte înfășurări, respectând întotdeauna o anumită polaritate.

Varianta acestei metode, prezentată în literatura de specialitate din România [2, 3, 4], presupune, o succesiune de nouă încercări. Comparația evoluției semnalelor corespunzătoare schemelor prezentate de această metodă, înainte și după defect, constituie principalul criteriu pentru diagnosticarea scurtcircuitelor în înfășurările transformatoarelor electrice trifazate.

Următoarea contribuție, bazată pe aceeași *metodă a alimentării în curent continuu*, este prezentată în continuare. Semnalele care alcătuiesc fiecare cod, sunt notate prin: „+”; „-”; și „0”, codul obținut, reprezentat printr-un tabel cu trei linii și trei coloane, a fost asociat cu denumirea de **codul analogic al**

indicelui orar. Dacă polaritățile semnalelor sunt exprimate prin intermediul funcției **sgn**, se obține codul numeric al indicelui orar:

$$G_i = \begin{pmatrix} \eta_{11} & \eta_{12} & \eta_{13} \\ \eta_{21} & \eta_{22} & \eta_{23} \\ \eta_{31} & \eta_{32} & \eta_{33} \end{pmatrix} \quad (1)$$

unde fiecare element η_{ij} , este definit astfel:

$$\eta_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{pentru un semnal pozitiv;} \\ -1 & \text{pentru un semnal negativ;} \\ 0 & \text{pentru un semnal nul.} \end{cases} \quad (2)$$

Codul numeric astfel obținut, a fost asociat cu termenul de **model matematic matriceal al indicelui orar.**

Pe baza acestui model matematic, a fost identificată ecuația care exprimă principalele erori de montaj în schema de conexiuni a transformatorului: inversiunea începutului cu sfârșitul la înfășurările de fază; inversiunea legăturilor la borne; modificarea legăturilor din **N** în **Z** sau din **Z** în **N**; permutări circulare; inversiunea primarului cu secundarul.

Formula generală a acestei ecuații este:

$$G_x = (-1)^m \cdot (T)^n \cdot G_i \quad (3)$$

unde: G_x este matricea rezultată în urma modificărilor; G_i – matricea inițială; m – constantă; $m \in [1, 2]$; n – constantă; $n \in [1, 3]$; T – matricea de transfer.

Valorile constantelor m și n , sunt dependente de tipul de eroare survenită în montajul real al transformatorului, și de categoria în care se încadrează indicele orar al matricei inițiale: categoria indicilor impari, categoria indicilor pari, categoria {1, 4, 7, 10}; categoria {2, 5, 8, 11}; categoria {3, 6, 9, 12}.

În cadrul EMAD, pornind de la comparația semnalelor corespunzătoare celor nouă măsurări implicate în metoda alimentării în curent continuu, a fost propusă și se află în studiu, o metodă de diagnosticare bazată pe evoluția curbei curentului, în cadrul timpului tranzitoriu asociat metodei măsurării în curent continuu a rezistenței înfășurărilor transformatoarelor electrice.

Încercările preliminare efectuate, au scos în evidență faptul că, prezența unui scurtcircuit în înfășurările transformatorului, modifică atât alura curbei $i = f(t)$, cât și durata regimului tranzitoriu. Pentru a înțelege acest lucru, se pleacă de la schema echivalentă prezentată în figura 5.

În perioada tranzitorie este valabilă relația:

$$U = U_R + U_X = i \cdot R_a + U_X \quad (4)$$

În partea inițială a perioadei tranzitorii $U \approx U_X$, iar în partea finală $U \approx U_R$, curbele de variație ale curentului și tensiunii de inducție (U_X) având forma prezentată în figura 6.

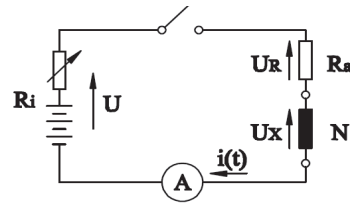


Fig. 5. Schema echivalentă a circuitului de măsură a rezistențelor înfășurărilor în curent continuu. U – tensiunea sursei de alimentare în curent continuu; $i(t)$ – curent în circuitul de măsură; R_a – rezistența înfășurării; R_i – rezistența bateriei; N – numărul de spire al înfășurării.

Timpul t după care curentul se consideră stabilizat, se poate determina prin calcul folosind relația:

$$t \approx 1,5 \cdot \frac{U_N \cdot \sqrt{2}}{U \cdot \omega} \quad [s], \quad (5)$$

în care: U_N este tensiunea nominală a înfășurării încercate, în V; U – tensiunea sursei de alimentare în curent continuu, în V; $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ – pulsația.

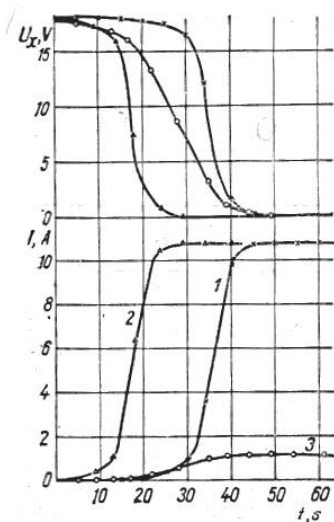


Fig. 6. Curbele de variație ale curentului și tensiunii induse în perioada tranzitorie la conectarea curentului continuu pe înfășurarea unui transformator de 85 / 3 MVA, 244 / kV, 60 Hz, fabricație Brown-Boveri.

5. CONCLUZII

✓ Deși mijloacele de protecție a transformatoarelor electrice împotriva defectelor interne și externe au fost perfecționate și diversificate, protecția de gaze realizată prin releul Buchholz (releu de gaze) continuă să constituie principala protecție contra defectelor interne a transformatoarelor, avându-se în vedere, desigur, calitățile remarcabile ce-o însoțesc, și anume: simplitate, sensibilitate, rapiditate în cazul defectelor grave, precum și posibilitatea semnalizării sau declanșării transformatoarelor, funcție de gravitatea defectului. Se apreciază că protecția de gaze constituie cea mai sensibilă dintre protecțiile transformatorului în cazul scurtcircuitului între spire.

✓ În cadrul EMAD, pornind de la comparația semnalelor corespunzătoare celor nouă măsurări implicate în metoda alimentării în curent continuu, a fost propusă și se află în studiu, o metodă de diagnosticare bazată pe evoluția curbei curentului, în cadrul timpului tranzitoriu asociat metodei măsurării în curent continuu a rezistenței înfășurărilor transformatoarelor electrice.

✓ Acest timp este cu atât mai scurt, cu cât este mai mare tensiunea sursei de alimentare în curent continuu. Pentru micșorarea acestui timp, se recomandă utilizarea unei surse de alimentare în curent continuu cu tensiune cât mai mare, crescând apoi corespunzător rezistența externă a circuitului pentru a limita valoarea curentului continuu.

Mulțumiri

La această lucrare, infrastructura a fost partial 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] Cernomazu, D.; Michiu, Gh. *Aprecieri privind evoluția releelor de gaze și contribuții la perfecționarea lor*. În: Energetica, nr. 5 – 6, mai – iunie, 1980, p.213-242.
- [2] Cernomazu, D.; Mandici, L.; Cojocariu, I.; Tihon, P.; et al. *Soluții privind diagnosticarea supraîncălzirilor interne la transformatoarele de mare putere*. În: Volumul „Electrotehnica – 80” - Sesiunea jubilară de 80 de ani de la înființarea primului institut electrotehnic din România, Iași, 22 – 24 octombrie, 1992, p. 389 – 398.
- [3] Prodan, C. *Contribuții teoretice și experimentale privind conexiunile și grupele de conexiuni la transformatoarele electrice de forță* – Teză de doctorat. Coordonator științific prof. dr. Ing. Cernomazu, D. Suceava : Universitatea „Ștefan Cel Mare”, Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor, 2008.
- [4] Prodan, C. *Studiu privind protecția de gaze la transformatoarele electrice*. Lucrare realizată în cadrul Proiectului: „Progres și dezvoltare prin cercetare și inovare post-doctorală în inginerie și științe aplicate – PriDE, Contract nr. POSDRU/89/1.5/S/57083”, proiect cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operational Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013, cu tema „Cercetări privind modelul matematic al indicelui orar și grupele de conexiuni speciale la transformatoarele electrice trifazate”.

About the authors

Lecturer . Eng. **Cristina PRODAN**, PhD

University „Ștefan cel Mare” from Suceava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Electrotechnic Department.
email:cristinap@eed.usv.ro

Cristina Prodan was born in Suceava, Romania, in 1976. She received the Ph.D. degree in electrical engineering from "Ștefan cel Mare" University of Suceava, Romania, in 2008. She is currently an Lecturer PhD with the Electrical Engineering and Computer Science Faculty, University "Ștefan cel Mare" from Suceava, Romania. Her areas of interest include electrical machines, inventics and design, electrical measurements, sensors and transducers.

Assoc. Prof. Eng. **Gabriela RAȚĂ**, PhD.

University „Ștefan cel Mare” from Suceava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Electrotechnic Department.

Gabriela Rață was born in Bacău, Romania, in 1971. She received the M.S. degrees and the Ph.D. degree in electrical engineering from "Gheorghe Asachi" Technical University of Iasi, Romania, in 1996 and 2004, respectively. She is currently an Associate Professor with the Electrical Engineering and Computer Science Faculty, Ștefan cel Mare University of Suceava, Romania. Her areas of interest include power quality of electrical energy, electrical measurements, sensors and transducers.

Assoc. Prof.. Eng. **Mihai RAȚĂ**, PhD.

University „Ștefan cel Mare” from Suceava, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Electrotechnic Department.

Mihai Rață was born in Suceava, Romania, in 1970. He received the M.S. and the Ph.D. degrees in electrical engineering from "Gheorghe Asachi" Technical University of Iasi, Romania, in 1996 and 2004, respectively. He has been working at the Ștefan cel Mare University of Suceava, Electrical Engineering Faculty, Electrotechnical Department from 1995. He is currently an Associate Professor. His research topics are power electronics, digital control of electrical drives and applications of PLC.