

Invenția se referă la diagnoza tehnică a stării izolației pe baza măsurărilor nedistructive ale parametrilor spectrului perturbațiilor radio generate de descărcările parțiale (DP) în izolația echipamentului energetic și electrotehnic.

Este cunoscută metoda de depistare a DP prin conectarea directă la bornele obiectului cercetat a aparatului de măsurat DP [1] și determinarea parametrilor impulsurilor DP.

Necesitatea măsurărilor DP în contact direct cu obiectul aflat sub tensiunea de încercare prezintă un pericol iminent pentru persoanele încadrate în măsurări, ceea ce este un dezavantaj esențial al metodei. Din cauza fenomenului de disipare a energiei undelor în înfășurării echipamentului amplitudinea undelor pe parcursul înfășurării variază și valoarea semnalului măsurat la borne depinde de locul apariției lui, ceea ce este un dezavantaj al metodei. Astfel este greu de apreciat starea tehnică a izolației după valoarea absolută măsurată a DP.

Complexitatea proceselor de undă în înfășurările echipamentului, de exemplu satorice, și necunoașterea locului apariției DP în înfășurare determină faptul că valorile absolute măsurate ale DP nu asigură o precizie și veridicitate satisfăcătoare la estimarea stării tehnice a izolației echipamentului.

Este cunoscută metoda de apreciere indirectă a stării tehnice a izolației după intensitatea DP. Intensitatea DP se determină după nivelul perturbațiilor radio generate de DP și măsurate în bandă îngustă sau largă de frecvență [2]. Această metodă este cea mai apropiată de soluția tehnică propusă.

Prin această metodă se măsoară de regulă valorile medii ale tensiunii sau ale intensității câmpului electromagnetic la 1-2 frecvențe. Alt dezavantaj constă în lipsa unei relații liniare între intensitatea DP și valorile mărimilor de ieșire ale aparatelor de măsurat și este greu de identificat după rezultatele măsurărilor parametrilor fizici ai DP. Metoda utilizată în prezent nu permite determinarea timpului apariției DP cu energie mare în izolație, care prezintă pericol pentru izolație, și a parametrilor fizici ai descărcărilor parțiale.

Problema pe care o rezolvă prezenta invenție este majorarea obiectivității și veridicității controlului.

Esența invenției constă în aceea că mai întâi se măsoară amplitudinile armonicilor superioare ale spectrului perturbațiilor radio, apoi se selectează armonica superioară de ordinul  $n$  cu valoarea maximă a amplitudinii și se calculează depășirea de către aceasta a valorilor amplitudinilor armonicilor superioare de ordinul  $n \pm 1$ , iar depășirea valorii limită 1,3 se estimează ca începutul derulării fazei de îmbătrânire rapidă și periculoasă a izolației.

Se efectuează supravegherea permanentă a devierii particularităților spectrului perturbațiilor radio generate de DP, care se măsoară într-o bandă de frecvență largă cu un aparat tipic sau se determină după rezultatele măsurărilor duratei și perioadei impulsurilor DP în trenurile de pe tensiunea alternativă de încercare prin metode matematice cunoscute.

În calitate de particularitate esențială servește apariția în spectrul de amplitudini a armonicilor cu amplitudini majorate față de armonicile superioare ale spectrului din stânga și dreapta armonicilor cu amplitudinea majorată. Amplitudinile acestor armonici superioare de ordinul  $n$  depășesc valorile amplitudinilor armonicilor din vecinătate de ordinul  $n \pm 1$ . Aceste armonici apar la frecvențe, care corespund valorilor maxime ale amplitudinii curbei de învelire a spectrului discret al trenurilor de impulsuri ale DP. Armonicile cu amplitudine majorată sunt cauzate de apariția impulsurilor cu energie mare în trenurile de impulsuri ale DP. Cu majorarea numărului de impulsuri cu energie mare diferența dintre armonicile cu amplitudini mari și armonicile vecine se micșorează, crescând concomitent valorile absolute ale amplitudinilor armonicilor spectrului. Se iau în considerație armonicile vecine cu armonicile la care a fost observată creșterea amplitudinii.

Evidențierea schimbărilor în forma spectrului în timpul funcționării mașinii permite formularea concluziilor obiective despre pericolul pe care îl prezintă la momentul curent DP pentru izolație, iar după nivelul de depășire de către armonica evidențiată de ordinul  $n$  cu cea mai mare valoare depistată a amplitudinii a valorii curbei de învelire a spectrului din vecinătatea armonicilor (de ordinul  $n \pm 1$ ,  $n \pm 2$ ,  $n \pm 3$ ) cu amplitudinea majorată se apreciază timpul apariției DP cu energie mare, pericolul pentru izolație a evoluției defectului și se determină parametrii DP. Momentul apariției DP cu energie mare (începutul fazei de îmbătrânire rapidă și chiar necontrolabilă a izolației) se depistează prin fixarea depășirii raportului ( $A^* = A_n / A_{n \pm 1}$ ) armonicilor evidențiate în spectru a unei valori criteriale și micșorarea acestui raport în timp, concomitent cu creșterea valorilor absolute ale tuturor armonicilor spectrului.

Metoda constă în următoarele: măsurarea valorilor amplitudinilor armonicilor superioare din spectrul produs de descărcările parțiale din izolația înfășurării statorului mașinii electrice și selectarea (determinarea) armonicii superioare de ordinul  $n$  cu cea mai mare valoare a amplitudinii. După selectare se calculează depășirea de către valoarea amplitudinii acestei armonici a valorilor amplitudinilor armonicilor de ordinul  $n \pm 1$  din vecinătatea ei. Valoarea obținută pentru acest raport  $A^* = A_n / A_{n \pm 1}$  în sistemul de unități relative se compară cu valoarea limită (criteriu numeric) egală cu 1,3. Dacă este depășită această valoare (1,3) de mărimea obținută  $A^*$ , reiese că în izolația înfășurării statorului a început derularea fazei rapide de îmbătrânire, care în curând se finalizează cu o străpungere a izolației. Străpungerea izolației mașinii în timpul funcționării are consecințe grave pentru mașină. Oprirea mașinii la depășirea valorii  $A^* > 1,3$  și intervenția operativă de lichidare a defectului în evaluare exclude deteriorarea necontrolabilă a mașinii, deci conduce la creșterea eficienței exploatării echipamentului și micșorarea cheltuielilor de exploatare. Succesiunea logicii descrise de evaluare a acțiunilor și ordinii de realizare a metodei asigură în ansamblu atingerea rezultatului tehnic preconizat de evitare a refuzurilor necontrolabile cu consecințe grave.

Rezultatul tehnic al invenției constă în utilizarea în calitate de parametru informațional a modificării raportului armonicilor spectrului, ceea ce constituie un criteriu mai obiectiv decât valoarea absolută.

Invenția se explică prin fig. 1-4, care reprezintă:

- fig. 1, schema de principiu a instalației de măsurare a descărcărilor parțiale;
- fig. 2, schema principală a instalației de măsurare indirectă a perturbațiilor radio;
- fig. 3, spectrul amplitudinilor înfășurării statorice fără defecte evidente în izolație;
- fig. 4, spectrul amplitudinilor înfășurării statorice cu defecte evidente, care prezintă pericol pentru rezistența izolației.

În fig. 3 și 4 sunt următoarele marcări:

G1 - grupări de armonici superioare care sunt funcții ale intensității DP (numărul de DP pe tensiunea alternativă de încercare sau de lucru);

G2 - grupări de armonici superioare care sunt determinate de particularitățile individuale ale trenurilor de impulsuri produse de DP;

$A_{f_{G2}}$  - valoarea cea mai mare a amplitudinii armonicii superioare de ordinul n depistată în spectrul măsurat;

$A_{G2}$  - valoarea amplitudinilor armonicilor superioare de ordinul  $n \pm 1$ ;

$f_T$  - frecvența limită a curbei de învelire (la trecerea prin zero);

$\Delta f_{G2}$  - banda de frecvență determinată de impulsurile cu energie mare.

Metoda propusă se utilizează în modul următor. Aparatul pentru măsurarea spectrului semnalelor electrice 1 se cuplează direct (fig. 1) la bornele 2 ale obiectului cercetat 3 prin intermediul condensatorului de cuplaj 4 și șuntului 5 sau indirect prin intermediul sondei 6 de recepție a undelor radio (fig. 2). Se determină spectrul amplitudinilor armonicilor superioare (fig. 3) pentru obiectul 3. Durata și perioada de apariție, dacă este necesar, se măsoară cu osciloscopul conectat la șuntul 5.

Spectrogramele perturbațiilor conțin două grupări de armonici superioare G1 și G2. Cu majorarea intensității DP se modifică repartiția energiei în spectru și această modificare constă în micșorarea relativă a valorilor armonicilor grupărilor G1 și creșterea valorilor amplitudinilor armonicilor grupărilor G2. Repartiția amplitudinilor armonicilor în grupările G2 depinde de numărul de DP cu energie mare în trenurile de impulsuri pe tensiunea alternativă de încercare. Apariția în grupările G2 a armonicilor, amplitudinea cărora depășește esențial valorile amplitudinilor armonicilor (de ordinul  $n \pm 1$ ) din stânga și dreapta armonicilor de ordinul n cu cea mai mare amplitudine din gruparea G2 (fig. 3 și fig. 4), care depășește valoarea 1,3, este o indicație obiectivă a timpului apariției DP cu energie mare care prezintă pericol pentru izolație din cauza îmbătrânirii ei rapide. Micșorarea în timp a amplitudinilor armonicilor de ordinul n evidențiate în grupările G2 și majorarea valorilor absolute ale celorlalte armonici superioare din spectru indică creșterea numărului de DP cu energie mare. Dispariția diferenței dintre amplitudinile armonicilor evidențiate din grupările G2 și majorarea în continuare a valorilor amplitudinilor grupărilor G2 este un parametru (fenomen) informativ al începutului derulării procesului, care poate prezenta pericol pentru izolația echipamentului în funcționare (străpungere necontrolabilă).

Timpul apariției și evoluției monotone (de micșorare) până la dispariția diferenței dintre valorile amplitudinilor armonicilor de ordinul n și ale armonicilor superioare de ordinul  $n \pm 1$  în grupările G2 la o creștere monotonă în timp a valorilor armonicilor din G1 și G2 este un fenomen informativ și obiectiv, determinarea căruia asigură majorarea veridicității aprecierii stării tehnice curente a izolației.

După determinarea benzii de frecvențe a grupării de armonici G2 din spectru în schema de măsurare se introduce un subansamblu de filtre trecere sus 7 și filtre trecere jos 8 în scopul majorării preciziei de măsurare a parametrilor armonicilor grupării G2 în urma măririi sensibilității măsurărilor. După aprecierea benzii de frecvență a grupării G2 se pot utiliza pentru observare aparate selective cu banda îngustă a frecvenței de măsurare, de exemplu, de tip radio cu coeficientul de amplificare constant, ceea ce micșorează costul instalației de supraveghere permanentă a stării tehnice a izolației mașinilor în timpul funcționării, fără micșorarea exactității metodei utilizate. Esențial pentru momentul dat este stabilirea corectă a benzii de frecvență în care se realizează măsurările, ceea ce lipsește în metodele utilizate în prezent.

Din spectrogramele obținute se află frecvențele, care corespund valorilor maxime ale amplitudinilor armonicilor grupărilor G2:  $f_{1G2}$ ;  $f_{2G2}$ ; ...;  $f_{nG2}$  și frecvența  $f_T$  pentru primul minim al curbei valorilor de vârf ale grupărilor de armonici G2, care în general se descrie (curba) de relația  $(\sin(nw))/(nw)$ .

Din spectrogramele măsurate se determină parametrii trenurilor de impulsuri ale DP în conformitate cu relațiile:

$$T_1 = \frac{1}{f_T}; \quad (1)$$

$$T_{DP} = \frac{1}{f_{1G2}}; \quad (2)$$

unde  $T_1$  este durata impulsurilor DP;

$f_T$  - frecvența la care curba de învelire a amplitudinilor maxime ale grupărilor de armonici atinge prima dată valoarea zero;

$T_{DP}$  - perioada de apariție a descărcărilor parțiale în trenurile de impulsuri;

$f_{1G2}$  - frecvența armonicilor cu amplitudinea maximă din gruparea de armonici G2, care se află în centrul acestei grupări.

Numărul  $N_{DP}$  de DP pe alternarea pozitivă sau negativă se determină din relația:

$$N_{DP} = \frac{2}{\Delta f_{G2} T_{DP}}; \quad (3)$$

unde  $\Delta f_{G2}$  este lățimea benzii de frecvență ocupată de gruparea de armonici superioare G2, care se determină din spectrograme.

Pentru excluderea erorilor măsurărilor și excluderea estimărilor incorecte ale stării tehnice a izolației se urmărește permanent sau în momente prescrise devierea armonicilor cu amplitudinile majorate în spectru.

Metoda propusă de diagnostic tehnic exclude interpretarea incorectă a rezultatelor măsurărilor perturbațiilor radio, deoarece în calitate de parametru informativ se utilizează forma spectrului și schimbarea raportului armonicilor superioare. Grupările de armonici G2 utilizate în calitate de parametru informativ și raportul dintre amplitudinile armonicilor caracteristice ale spectrului din gruparea G2 sunt criterii cu mult mai obiective de estimare a stării tehnice curente în comparație cu valoarea lor absolută, fiindcă acest raport se schimbă într-o gamă limitată și este ușor controlabil. Stabilitatea acestui parametru este o particularitate esențială a metodei propuse pentru estimarea stării tehnice a izolației echipamentului de tensiune înaltă.

S-a stabilit că raportul amplitudinilor evidențiate din gruparea G2 cu creșterea numărului impulsurilor cu energie mare în tren tinde spre unitate. Pentru valoarea raportului mai mare de valoarea critică  $A^* = A_n / A_{n \pm 1} = (A_{f1G2} / A_{G2}) > 1,3$  aportul impulsurilor cu energie mare depășește 40 la sută din energia sumară a trenului de impulsuri măsurate. Tinderea acestui raport spre unitate, concomitent cu creșterea valorii amplitudinilor în G2, după depășirea valorii de 1,3, indică la trecerea proceselor energetice ale DP din izolația mașinii în faza de străpungere. În calitate de criteriu la estimarea stării tehnice a izolației se utilizează în metoda propusă valoarea critică 1,3 a raportului dintre amplitudinile evidențiate din gruparea de armonici G2 a spectrului și creșterea valorilor absolute ale amplitudinilor armonicilor spectrului.

Utilizarea metodei propuse majorează obiectivitatea și veridicitatea controlului, permite fixarea corectă a apariției impulsurilor DP cu energie mare, care prezintă pericol pentru izolație și indică timpul intervenției urgente pentru prevenirea evoluției rapide a defectelor cu finalizarea printr-o avarie grea a mașinii. Metoda descrisă micșorează esențial eroarea estimării stării tehnice a izolației, întrucât se bazează pe criteriul de apreciere exprimat în unități relative și banda de variație a căruia este determinată, se indică concret frecvența și armonicile spectrului care trebuie supravegheate și controlate. Decizia despre starea tehnică a izolației nu depinde de valoarea absolută măsurată a semnalelor informative, deoarece se bazează pe tendința devierii raportului dintre amplitudinile armonicilor spectrului, folosit în calitate de criteriu cantitativ, și caracterul devierii în timp a valorii amplitudinilor spectrului în creștere.

Metodele utilizate în prezent nu conțin acest element esențial, care prescrie parametrii frecvenței de măsurare, caracterul evoluției în timp a grupărilor de armonici G1 și G2 și a raportului armonicilor evidențiate în gruparea G2. În [3] sunt prezentate rezultatele măsurărilor perturbațiilor radio la frecvențele 0,58 MHz cu aparatul ИП-12М și 1,9 MHz cu defectoscopul Coshi. Pentru un defect artificial - străpungerea mecanică a izolației barei, aparatul ИП-12М n-a indicat schimbări ale valorii măsurate, iar valoarea mărimilor măsurate cu defectoscopul a crescut de la 120 până la 180  $\mu\text{V}/\text{m}$ .

Izolația s-a străpuns la 4,5 kV.

În altă secție a înfășurării s-a efectuat o fisură în izolație și valorile indicate de aparatele utilizate nu s-au schimbat.

La evoluția defectului până la cuprul barei valoarea măsurată de aparatul ИП-12М a crescut de la 120 până la 190  $\mu\text{V}$ , iar mărimea măsurată de defectoscop s-a micșorat de la 175 până la 120  $\mu\text{V}/\text{m}$ . Aceste evoluții ale mărimilor DP în defectul "străpungere mecanică" și formarea fisurii în izolație excită spectre cu diferite repartiții ale amplitudinilor.

Utilizarea metodelor de control și diagnoză a izolației, care nu țin cont de caracterul spectrului DP și devierii lui la evoluția defectelor, nu permite o estimare corectă a stării tehnice a izolației echipamentului de tensiune înaltă după rezultatele măsurărilor.