

Contribuții la perfecționarea echipamentelor și tehnologiilor de monitorizare și diagnosticare a transformatoarelor de putere

Rezumat teză

Sectorul energetic reprezintă infrastructura strategică de bază a economiei naționale și o utilitate publică cu un puternic impact social. În anii 2000 – 2004, restructurarea întregului sector energetic s-a desfășurat în condițiile liberalizării pieței de energie, realizându-se cadrul legal pe termen mediu și lung pentru dezvoltarea acestuia.

În anul 2003 Raportul Final elaborat de Comitetul Tehnic al Uniunii pentru Coordonarea Transportului Energiei Electrice (UCTE) a concluzionat că Sistemul Electroenergetic Național (SEN) îndeplinește condițiile pentru funcționarea sincronă permanentă cu sistemul Uniunii pentru Coordonarea Transportului Energiei Electrice. Interconectarea Sistemului Electroenergetic Național cu sistemul Uniunii pentru Coordonarea Transportului Energiei Electrice necesită funcționarea la standarde înalte de eficiență și calitate a energiei electrice furnizate. Problema calității energiei constituie o preocupare actuală a cercetării naționale și europene – Programul cadru 7, capitolul « Energie ». Uniunea pentru Coordonarea Transportului Energiei Electrice este Asociația Operatorilor de Transport și Sistem (OTS) în Europa și se caracterizează prin :

- asigură funcționarea eficientă și sigură a magistrelor de transport a energiei electrice din sistemul interconectat ;
- include operatorii de transport și sistem din 21 de state europene , cuprinde o rețea de circa 200.000 km de linii de 400kV și 220kV prin care circa 450 de milioane de oameni din Europa sunt alimentați cu energie electrică la înalte standarde de calitate și siguranță cu un consum anual de energie electrică de aproximativ 2100TWh ;

Integrarea în Uniunea pentru Coordonarea Transportului Energiei Electrice reprezintă un argument forte în atragerea unui număr cât mai mare de investitori, în contextul demarării procesului de privatizare în sectoarele de producere, transport și distribuție a energiei electrice.

Privatizarea companiilor de electricitate și a marilor întreprinderi industriale are efect asupra managementului echipamentelor electroenergetice de înaltă tensiune a modalității de optimizare a utilizării activelor prin colectarea și procesarea datelor relevante derivate din mentenanță, din rețehnologizare, din deciziile privind investițiile și din monitorizarea performanțelor activelor.

Competiția de pe piața energetică forțează companiile de electricitate să reducă costurile de exploatare și să minimizeze investițiile, constatându-se deja o reducere generală a fondurilor de investiții. Există tendința de a nu înlocui sau moderniza echipamentele învechite ci de a le exploata până la sfârșitul duratei de viață, riscul de defectare a acestora crescând odată cu vârsta echipamentului și cu absența întreținerii.

Priorități

În literatura de specialitate și la simpozioanele și conferințele științifice, naționale și internaționale, sunt elaborate permanent lucrări destinate monitorizării stării transformatoarelor electrice de putere, monitorizării izolației, monitorizării descărcărilor parțiale, monitorizării conținutului de gaze, monitorizării trecerilor, monitorizării stării înfășurărilor, monitorizării umidității, monitorizării sistemului de răcire. CIGRÉ(Conseil International des Grands Réseaux Electriques à Haute Tension) a promovat constant, atât descrierea metodelor de monitorizare și diagnosticare a transformatoarelor de putere cât și trecerea în revistă a avariilor care aveau loc în diferite țări.

În stațiile electrice, funcționarea fără riscuri a transformatoarelor de putere este importantă deoarece avariile neprevăzute și întreruperile pot duce la accidente grave și conduc la costuri ridicate ce sunt de nedorit într – un mediu tot mai competitiv.

Transformatoarele de putere reprezintă cele mai importante și costisitoare active într-o stație de înaltă tensiune.

Cunoașterea în orice moment a stării tehnice a unui transformator de putere se poate realiza prin trecerea de la mentenanța preventivă, bazată pe timp, la mentenanța bazată pe stare și conduce la reducerea costurilor, element important în condițiile liberalizării pieței.

Dezvoltarea noilor tehnici de monitorizare a stării a devenit una dintre cele mai importante sarcini pentru majoritatea companiilor energetice, impusă de apariția următoarelor aspecte :

- durata de viață proiectată a transformatoarelor de putere este de 25 – 30 de ani ;
- vârsta medie a transformatoarelor de putere aflate în exploatare în Europa se apropie de limita duratei de viață nominală. Pe măsură ce transformatoarele îmbătrânesc, starea lor internă se degradează ceea ce conduce la creșterea riscului de defectare ;
- costurile determinate de defectare pot depăși de până la cinci ori costurile unui transformator nou, prin : pierderea încasărilor din cauza energiei nelivrate, costuri mari ale energiei achiziționate în condiții de urgență, costurile decontaminării solului în cazul existenței scurgerilor de ulei, costurile poluării atmosferei în cazul unui incendiu, plata accidentelor de muncă, scăderea încrederii clienților în calitatea energiei livrate ;
- evitarea opririlor planificate care nu sunt în concordanță cu posibilitatea de apariție a defectelor ;
- cu o monitorizare continuă a stării se preconizează că transformatoarele de putere pot să rămână în exploatare până la 60 de ani, cu costuri curente minime;

Problema propusă spre rezolvare

Scopul tezei este acela de realizare a unor echipamente de monitorizare și diagnosticare a unităților de transformare care să permită o evaluare continuă a stării de funcționare a acestor unități.

Obiectivele tezei

Acestea constau din:

- analiza condițiilor impuse echipamentelor de monitorizare și diagnosticare;
- analiza stadiului actual al echipamentelor de monitorizare și diagnosticare a transformatoarelor electrice de putere ;
- contribuții privind metodele și algoritmi pentru monitorizarea și diagnoza stării transformatoarelor;
- contribuții privind realizarea echipamentelor;
- verificarea rezultatelor ;
- rezultate experimentale obținute în condiții de funcționare reale și concluzii finale.

Relevanța

Cercetarea pentru elaborarea tezei s-a materializat prin realizarea unui produs inovativ, nou în România, fiind constituit într-un echipament distribuit, deschis, de monitorizare continuă a unităților de transformare. Echipamentul contribuie la prevenirea apariției defectelor incipiente, asigurându-se în timp real gestionarea situațiilor periculoase printr-o alarmare corespunzătoare și chiar deconectarea unității de transformare. Prin soluția propusă în cadrul tezei se poate asigura un control al unității de transformare cât și un istoric pe durata de funcționare a acesteia.

Suportul metodologic și teoretico-științific

Pentru efectuarea cercetării au fost consultate lucrări științifice tehnice, cărți, brevete de invenție, teze de doctorat, reviste, site-uri internet și normative de interes în domeniile mentenanței unităților de transformare.

Noutatea științifică a rezultatelor obținute

Caracterul de noutate în domeniul monitorizării și diagnosticării unităților de transformare este dat de arhitecturile echipamentelor, algoritmi de monitorizare și diagnosticare, completul de parametri monitorizați, soluții brevetate și verificate experimental.

Valoarea aplicativă a lucrării

Echipamentele de monitorizare și diagnosticare realizate permit evaluarea și controlul continuu al unității de transformare cât și apelarea unui istoric al funcționării acesteia. Aplicabilitatea rezultatelor

obținute în teză a fost demonstrată prin experimentările făcute în stațiile electrice Lacul Sărat și Pitești Sud.

Diseminarea rezultatelor

Rezultatele principale ale tezei, constând într-un număr de 28 lucrări științifice, au fost publicate în reviste de specialitate sau în volumele unor conferințe naționale și internaționale.

Volumul și structura lucrării

Prezenta lucrare, conține un număr de pagini și este structurată în șase capitole în care sunt expuse rezultatele cercetării însoțite de figuri, tabele, relații, un capitol de concluzii finale și contribuții, o listă bibliografică și lucrările publicate ca autor principal și coautor.

Primul capitol „**Analiza stadiului actual al echipamentelor de monitorizare și diagnosticare a transformatoarelor electrice de putere**” prezintă analiza unor echipamente de monitorizare a transformatoarelor electrice de putere produse de constructori cu tradiție ca ABB, AREVA, Maschinenfabrik Reinhausen, MTE, Qualitrol, astfel: analiza structurii echipamentelor, analiza parametrilor monitorizați, analiza soluțiilor software, analiza soluțiilor adoptate pentru vizualizarea mărimilor monitorizate

În capitolul 2 al tezei „**Analiza condițiilor impuse echipamentelor de monitorizare și diagnosticare**”, s-au prezentat:

- conceptele de monitorizare și diagnosticare a stării și implicațiile acestora asupra mentenanței predictive;
- principalele componente ale transformatorului și rata de defectare a acestora;
- setul de parametri a căror monitorizare, atât continuă cât și prin măsurători în perioadele de revizie, poate contribui la evitarea întreruperilor accidentale, a avariilor, cât și la prelungirea duratei de viață a transformatorului;
- cerințele privind prelucrarea informațiilor în vederea unei analize corecte și rapide a datelor de către personalul de exploatare;
- tipurile de perturbații care pot afecta buna funcționare a echipamentelor de monitorizare în condițiile reale din stațiile electrice de înaltă tensiune. Au fost scoase în evidență unele măsuri de creștere a imunității echipamentelor de monitorizare printr-o organizare judicioasă a gospodăriei de cabluri;
- modul de interconectare a unui echipament de monitorizare cu sistemele SCADA, interconectare necesară pentru supravegherea la nivele ierarhice superioare și o comandă rapidă a protecțiilor .

În cel de-al treilea capitol „**Contribuții privind metodele și algoritmi pentru monitorizarea și diagnoza stării transformatoarelor**” sunt prezentate aspecte privind:

- analiza procesului de monitorizare a izolației înfășurărilor, constând în:
 - ecuația de încălzire și de răcire a transformatorului în ipoteza că acesta este un corp omogen;
 - metoda de determinare a temperaturii punctului cel mai cald al înfășurării ;
 - aspecte privind monitorizarea și analiza gazelor dizolvate și a conținutului de apă din ulei ;
 - aspecte privind monitorizarea descărcărilor parțiale;
 - aspecte privind monitorizarea factorului de pierderi dielectrice al trecerilor izolate ;
 - elaborarea algoritmilor de monitorizare și diagnoză:
 - algoritmul de monitorizare și analiză a temperaturii uleiului;
 - algoritmul de monitorizare și analiză a temperaturii înfășurării;
 - algoritmul de diagnosticare a eficienței sistemului de răcire;
 - algoritmul de monitorizare a nivelelor de ulei din cuvă și comutatorul de reglaj;
 - algoritmul pentru monitorizarea nivelului de îmbătrânire;
 - algoritmul de monitorizare și diagnosticare a conținutului de H_2 dizolvat în ulei;
 - algoritmul de monitorizare și diagnosticare a conținutului de CO dizolvat în ulei;
 - algoritmul de monitorizare și diagnosticare a conținutului de H_2O din ulei și hârtie;
 - algoritmul de monitorizare și diagnosticare a descărcărilor parțiale;

- algoritmul de monitorizare și diagnosticare a stării trecerilor izolate;
- monitorizarea nivelului de ulei din transformator și comutatorul de reglaj sub sarcină;
- parametrii monitorizați și algoritmi utilizați în procesul de monitorizare a comutatorului de reglaj sub sarcină ;
- metodele de achiziție și prelucrare a mărimilor achiziționate în vederea monitorizării;
- principiile de prelucrare numerică pentru o mărime de proces sinusoidală;
- posibilitățile utilizării aparaturii numerice pentru monitorizarea stării transformatoarelor și s-au prezentat propuneri de scheme bloc și structuri de echipamente de monitorizare.

Capitolul al patrulea al tezei „ **Contribuții privind realizarea echipamentelor pentru monitorizarea și diagnosticarea transformatoarelor electrice de putere**” abordează elemente referitoare la concepția și realizarea echipamentelor de monitorizare și diagnosticare a transformatoarelor de putere astfel:

- Echipament pentru monitorizarea funcționării transformatoarelor de putere – Varianta de bază .
- Echipament pentru monitorizarea funcționării transformatoarelor de putere – Varianta complementară.
- Echipament pentru monitorizarea funcționării transformatoarelor de putere – Varianta extinsă.
- Echipament pentru măsurarea, înregistrarea, și diagnosticarea comutației ruptoarelor aferente comutatoarelor de reglaj sub sarcină ce echipează transformatoarele de putere. Echipamentul a fost realizat în cadrul unui contract de cercetare – Programul CALIST. Acesta a fost testat la S.C. Electroputere Craiova - Divizia Aparataj Electric și în prezent completează laboratorul de încercări comutatoare de reglaj sub sarcină.

A fost realizată arhitectura echipamentelor de monitorizare, ca sisteme distribuite din care fac parte senzorii, traductoarele, echipamentele specializate de monitorizare, achiziție și comunicație. Au fost concepute trei arhitecturi de monitorizare configurabile, astfel încât să se poată adapta cât mai bine la cerințele reale de monitorizare a stării transformatoarelor electrice de putere. Pentru aceste structuri s-au realizat:

- structura hardware a unităților centrale;
- interfața intrărilor analogice;
- modulul de condiționare pentru monitorizarea temperaturii uleiului;
- modulul de condiționare pentru monitorizarea transformatorului;
- modulul de condiționare pentru monitorizarea nivelelor de ulei;
- modulul de condiționare pentru monitorizarea gazelor dizolvate, H_2 și CO ;
- modulul de condiționare pentru monitorizarea conținutului de apă din uleiul transformatorului;
- modulul de condiționare pentru monitorizarea descărcărilor parțiale;
- modulul de condiționare a semnalelor la trecerile izolate;
- modulele de condiționare pentru monitorizarea funcționării pompelor și ventilatoarelor;
- interfața de ieșiri analogice și numerice.

Pentru fiecare dintre arhitecturile propuse am prezentat structura și funcțiile, luând în considerare aspectele legate de siguranța în funcționare și performanțele pe care trebuie să le ofere. Au fost analizate și selectate componentele utilizate pentru realizarea echipamentelor, pentru a se asigura pe cât posibil un cost cât mai scăzut al echipamentelor, fără afectarea performanțelor astfel încât implementarea să fie viabilă.

Am realizat structura hardware a echipamentului pentru diagnosticarea funcționării și a oscilografiei, înregistrării și măsurării timpilor de comutare ai comutatoarelor de reglaj sub sarcină aferente transformatoarelor electrice de putere.

Capitolul al cincilea al tezei „ **Verificarea rezultatelor**” prezintă verificarea în laborator a performanțelor echipamentelor de monitorizare a transformatoarelor electrice de putere prin simularea senzorilor și traductoarelor care deservește echipamentul, cu ajutorul unor aparate electronice care generează semnalele necesare.

Verificările s-au făcut în condițiile de mediu specificate și cu etaloane, calibratoare și echipamente de verificare etalonate.

S-a efectuat verificarea următoarelor funcții ale echipamentelor realizate:

- funcția de măsurare a temperaturii uleiului;
- funcția de măsurare a curenților;
- funcția de măsurare a nivelelor de ulei;
- funcția de măsurare a conținutului de gaze;
- funcția de măsurare a conținutului de apă din ulei;
- funcția de măsurare a factorului de pierderi dielectrice la trecerile izolate;
- funcția de măsurare a descărcărilor parțiale;
- funcția de monitorizare a mărimilor numerice;
- verificarea echipamentului de diagnosticare a funcționării comutatoarelor de reglaj sub sarcină;

Contribuțiile se referă la:

- simularea senzorilor și traductoarelor ;
- asigurarea condițiilor de mediu specifice și a echipamentelor de măsură;
- înregistrarea datelor sub formă de tabele și oscilograme;
- prelucrarea datelor sub formă de curbe de variație pentru fiecare parametru monitorizat;
- demonstrarea corectitudinii soluțiilor adoptate și buna funcționare a echipamentelor realizate

Capitolul al șaselea „**Rezultate experimentale obținute în condiții de funcționare reale**” prezintă experimentările din stațiile electrice obținute cu echipamentele realizate:

- experimentarea echipamentelor de monitorizare pe două tipuri de unități de transformare :
 - un transformator de 400 MVA, unitate principală și de reglaj, din stația electrică Lacul Sărat, care a fost echipat cu un echipament de monitorizare în varianta de bază;
 - un autotransformator de 200MVA, din stația electrică Pitești Sud, echipat cu un echipament de monitorizare în varianta complementară .
- experimentarea s-a efectuat prin înregistrarea mărimilor monitorizate din care s-au extras date pe o perioada determinată de timp, au fost prelucrate valorile măsurate și trasate curbele de variație cu ajutorul programului EXCEL 2003;
- experimentarea echipamentului pentru diagnosticarea funcționării comutatoarelor de reglaj pe două tipuri de comutatoare: un comutator tip 3 MI 501 și un comutator tip MIII 300 60/B.

Contribuțiile se referă la:

- montajul și punerea în funcțiune a echipamentului;
- înregistrarea comutărilor pe echipamentul local;
- transferul înregistrărilor la calculator;
- prelucrarea și analiza înregistrărilor;
- tipărirea înregistrărilor pentru emiterea buletinului de încercări.

În ultimul capitol „**Concluzii finale și contribuții personale**” au fost prezentate principalele concluzii rezultate din lucrarea de doctorat și contribuțiile originale ale autorului tezei de doctorat. Lucrarea are la bază preocupările de cercetare teoretică și experimentală și informarea bibliografică, care cuprinde lucrări din țară și străinătate.

Rezultatele cercetărilor au fost obținute/aplicate în 9 proiecte de cercetare-dezvoltare naționale, și într-un proiect de cercetare internațional .

Pentru echipamentele realizate și prezentate la expoziții interne și internaționale s-au obținut 5 diplome și medalii. Pentru „ Echipament pentru monitorizarea on-line a trecerilor izolate tip condensator de înaltă tensiune” s-a obținut brevetul de invenție 121620/2007.

În prezent echipamentele de monitorizare prezentate în teză echipează unități de transformare din câteva stații electrice din țară: Tulcea, Medgidia, Slatina, Craiova, Ișalnița, Ploiesti, Suceava, etc.