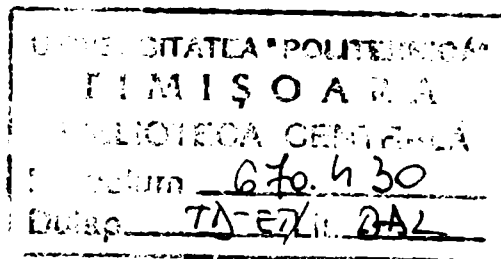


COMISIE
Terbaș Ursel

CONTRIBUȚII PRIVIND MONITORIZAREA ȘI DIAGNOZA PERAMETRILOR FUNCȚIONALI AI TRANSFORMATOARELOR ELECTRICE DIN STAȚIILE DE TRANSFORMARE, PRIN FOLOSIREA BAZELOR DE DATE COMPLEXE

Teză destinată obținerii
titlului științific de doctor inginer
la
Universitatea "Politehnica" din Timișoara
în domeniul INGINERIE ELECTRICĂ
de către

Ing. Cristina Băla



Conducător științific:

Referenți științifici:

prof.dr.ing. Alexandru Vasilevici

prof.dr.ing. Ioan Felea

prof.dr.ing. Dan Călin Peter

prof.dr.ing. Iuliu Deleşega

Ziua susținerii tezei: 19.01.2007

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- | | |
|------------------------|---|
| 1. Automatică | 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații |
| 2. Chimie | 8. Inginerie Industrială |
| 3. Energetică | 9. Inginerie Mecanică |
| 4. Ingineria Chimică | 10. Știința Calculatoarelor |
| 5. Inginerie Civilă | 11. Știința și Ingineria Materialelor |
| 6. Inginerie Electrică | |

Universitatea „Politehnica” din Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2006

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității „Politehnica” din Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,
tel. 0256 403823, fax. 0256 403221
e-mail: editura@edipol.upt.ro

Cuvânt înainte

Sectorul energetic reprezintă o componentă de bază, determinantă, în dezvoltarea social-economică a oricărei țări.

Obiectivul strategic general al ramurii energiei electrice și termice este satisfacerea imediată și pe termen lung a cererii de energie electrică și termică, la un preț cât mai scăzut, în condiții de calitate și siguranță, cu limitarea impactului instalațiilor energetice asupra mediului.

Eficiența energetică are un impact esențial asupra competitivității economice, ameliorarea ei impunând adoptarea unui program complex, care să promoveze instrumentele economice adecvate și, totodată, sensibilizarea consumatorilor de energie pentru înțelegerea superioară a conceptului și implementarea lui voluntară.

În prezent, informatizarea activităților în cadrul RENEL constituie o cerință majoră pentru menținerea parametrilor optimi ai energiei electrice și asigurarea continuității alimentării, precum și pentru creșterea eficienței economice.

Lucrarea are ca obiect studiul comportării în timp, sub influența diferiților factori, a transformatoarelor electrice de putere. Studiul s-a realizat cu ajutorul bazelor de date complexe cu aplicații la stațiile electrice din județul Arad, lucrarea având astfel un puternic caracter interdisciplinar.

Pentru realizarea acestei lucrări, doresc să aduc deosebite mulțumiri conducătorului științific, domnului prof. dr. ing. ALEXANDRU VASILIEVICI, pentru sprijinul și competența îndrumare pe întreaga perioadă de elaborare a tezei.

De asemenea îmi exprim deosebita considerație pentru membrii comisiei de doctorat prof. dr. ing. DUMITRU TOADER – Decanul Facultății de Electrotehnică și Electroenergetică Timișoara, prof. dr. ing. IOAN FELEA de la Universitatea din Oradea, prof. dr. ing. DAN CALIN PETER de la Universitatea de Nord Baia Mare și prof. dr. ing. IULIU DELEȘEGA de la Universitatea Politehnică Timișoara, care au avut amabilitatea de a răspunde solicitării de a face parte din comisia de analiză a tezei, pentru observațiile făcute și pentru timpul acordat lucrării.

Timișoara, ianuarie, 2007

Cristina Băla

Băla, Cristina

„Contribuții privind monitorizarea și diagnoza parametrilor funcționali ai transformatoarelor electrice din stațiile de transformare, prin folosirea bazelor de date complexe”

Teze de doctorat ale UPT, Seria 6 Nr. 1 Editura Politehnica, 2007,
148 pagini, 74 figuri, 21 tabele.

ISSN: 1842-7022

ISBN: 978-973-625-412-3

Cuvinte cheie:

Transformatoare de putere, modelare, mentenanță, monitorizare, diagnosticare.

Rezumat

Funcționarea Sistemului Electroenergetic Național în condiții de siguranță, impune creșterea siguranței în funcționare a sectorului de transport al energiei electrice precum și gestionarea corectă și eficientă a echipamentelor

Astfel, exploatarea și mentenanța corectă a transformatoarelor de putere din exploatare este deosebit de importantă, transformatoarele de putere fiind cele mai costisitoare echipamente, defectarea acestora ducând la reducerea capacității de transport.

Teza își propune ca și obiectiv esențial studiul factorilor care influențează gradul de îmbătrânire și implicit durata de viață a transformatoarelor electrice de putere din cadrul SEE cu scopul efectuării monitorizării acestora folosind bazele de date complexe. Consecința majoră acestui studiu, respectiv monitorizării o constituie reducerea costurilor de existență a energiei electrice (investiții, exploatare, mentenanță) prin luarea unor decizii corecte referitoare la evaluarea acestor echipamente.

Lucrarea pornește de la activitățile de mentenanță desfășurate în cadrul oricărui SEE pentru ca echipamentele aflate în dotare să fie cât mai fiabile, strategiile de mentenanță fiind adoptate pe baza concluziilor trase în urma procesului de monitorizare a acestora.

INTRODUCERE

Actualitatea temei

Sectorul energetic reprezintă o componentă de bază, determinantă, în dezvoltarea social-economică a oricărei țări. Strategia de restructurare și dezvoltare a ramurii energiei electrice și termice se bazează pe multiple studii elaborate atât de institute de specialitate cât și de firme de consultanță străine recunoscute pe plan mondial. La elaborarea strategiei se au în vedere experiența și strategiile de dezvoltare ale unor țări cu sisteme energetice avansate, prezentate de diferite organizații internaționale (Congresul Mondial al Energiei, Comisia Economică O.N.U. pentru Europa, Agenția Internațională pentru Energie, Agenția Internațională pentru Energie Atomică, UNIPED) și cunoscute prin cooperare directă cu societăți de electricitate din alte țări (Franța, Italia, Olanda, Germania, Statele Unite).

Strategia are în vedere necesitatea unui consum rațional de energie și utilizarea diferitelor resurse de energie primară, în funcție de cele existente pe piața internă și de posibilitățile de asigurare de pe cea externă.

Strategia cuprinde un pachet de programe elaborate conform principiului planificării integrate a resurselor, care ține seama de necesitatea satisfacerii cererii pieței și de realizarea, în orice moment, a echilibrului consum-producție de energie electrică cu asigurarea protecției mediului natural și intereselor vitale importante ale omului începând cu impactul negativ posibil al activității energetice, altfel spus cu asigurarea unei securități energetice.

Sectorul energetic este un domeniu de importanță vitală pentru dezvoltarea economică și socială și pentru îmbunătățirea calității vieții populației. Asigurarea alimentării cu energie în volum suficient și accesul larg la serviciile energetice este o exigență de bază în numeroase țări.

Obiectivul strategic general al ramurii energiei electrice și termice este satisfacerea imediată și pe termen lung a cererii de energie electrică și termică, la un preț cât mai scăzut, în condiții de calitate și siguranță, cu limitarea impactului instalațiilor energetice asupra mediului.

Principalele obiective sunt:

- asigurarea necesarului de energie pentru activități social-economice, care să facă posibilă stabilizarea și relansarea activităților economico-productive eficiente
- folosirea cu prioritate a resurselor interne de energie primară (cărbune, potențial hidroenergetic, combustibil nuclear)
- reducerea costurilor prin optimizarea producției și transportului de energie electrică, îmbunătățirea performanțelor tehnice, reducerea consumurilor specifice și a consumurilor proprii, creșterea productivității și îmbunătățirea managementului
- tarifarea corespunzătoare a energiei electrice și termice, astfel încât să fie stimulată utilizarea eficientă a energiei, să asigure acoperirea costurilor și să genereze surse de finanțare pentru reabilitări și dezvoltări de noi capacități

- promovarea concurenței în domeniul producerii energiei electrice și termice, prin încurajarea apariției producătorilor independenți, în special prin investiții cu capital străin.
- reducerea impactului asupra mediului și alinierea la standardele și normele tehnice de protecție a mediului, având în vedere condițiile impuse de asociere la Uniunea Europeană
- promovarea exportului de energie electrică în condiții de eficiență economică
- realizarea unui cadru legislativ adecvat economiei de piață, care să încurajeze investițiile și să asigure premisele unei activități corespunzătoare, în condițiile aderării la Uniunea Europeană și la prevederile Tratatului Cartei Energiei
- realizarea unei structuri organizatorice adecvate, bazate pe centre de cost și profit, rezultată ca optimă pe baza studiilor ce se efectuează în prezent, inclusiv cu firme străine de consultanță.

Politica în domeniul eficienței energetice și conservării energiei trebuie să asigure utilizarea eficientă a resurselor, care sunt limitate. Aceasta contribuie la creșterea eficienței economice și ecologice, a siguranței și securității alimentării cu energie. Pentru realizarea prevederilor actelor legislative și normative naționale și tratatelor internaționale, la care România este parte, se impune continuarea cercetărilor în sectorul energetic prin aprofundarea cercetărilor științifice de evaluare a impactului activității energetice asupra mediului.

Programele de cercetare-dezvoltare în domeniul energetic sunt concentrate pe realizarea obiectivelor strategice ale ramurii, pe termen scurt și mediu, prin asistarea producătorilor, consumatorilor, a celorlalți agenți economici implicați, cu soluții, echipamente, materiale, tehnologii și proceduri performante,

Se are astfel în vedere pe termen scurt creșterea disponibilității, reducerea costurilor și creșterea siguranței în alimentarea cu energie electrică și termică, iar pe termen lung promovarea unor tehnologii "curate", neconvenționale, cu eficiență ridicată și impact redus asupra mediului ambiant.

Programul privind pregătirea ramurii energiei electrice și termice în vederea aderării României la Uniunea Europeană are ca scop principal încadrarea politicii energetice naționale în politica energetică a Uniunii Europene. Principiile avute în vedere pentru atingerea acestui scop sunt următoarele:

- Dezvoltarea și restructurarea sistemului electroenergetic românesc, care să permită interconectarea sa la sistemele electroenergetice ale țărilor din Uniunea Europeană;
- Atingerea unor indicatori tehnici și de siguranță în funcționare, conform cerințelor Uniunii de Coordonare a Producerii și Transportului Energiei Electrice (U.C.P.T.E.);
- Creșterea eficienței economice și apropierea indicatorilor specifici de eficiență economică de valorile celor realizați în țările U.E.;
- Perfecționarea cadrului legislativ și instituțional, care să permită concertarea și cooperarea factorilor decizionali și a celorlalți participanți la elaborarea și implementarea politicii energetice;
- Armonizarea cadrului fiscal și comercial în scopul realizării unei piețe europene integrate a energiei;

- Luarea în considerare a protecției mediului înconjurător în cadrul strategiei energetice.
- Luarea din timp a tuturor măsurilor de securitate nucleară
- Eficientizarea din punct de vedere energetic a economiei și, în primul rând, a industriei

Eficiența energetică are un impact esențial asupra competitivității economice, ameliorarea ei impunând adoptarea unui program complex, care să promoveze instrumentele economice adecvate și, totodată, sensibilizarea consumatorilor de energie pentru înțelegerea superioară a conceptului și implementarea lui voluntară.

În prezent, informatizarea activităților în cadrul RENEL constituie o cerință majoră pentru menținerea parametrilor optimi ai energiei electrice și asigurarea continuității alimentării, precum și pentru creșterea eficienței economice.

Principalele direcții de informatizare în cadrul RENEL sunt plasate în domeniul conducerii operative (sisteme EMS, DMS/SCADA) și în domeniul managementului activităților tehnico-economice și de gestiune cu utilitate în asistarea procesului decizional la toate nivelurile, domeniu aflat în stadiu incipient de informatizare în cadrul RENEL.

În contextul restructurării managementului sistemului energetic, al deregularizării pieții energetice și al competiției din ce în ce mai crescute, reducerea costurilor și creșterea siguranței în livrarea energiei electrice sunt obiective a căror importanță devine mult mai mare față de trecut, pentru întreprinderile de producere, transport și distribuție a energiei electrice.

Privită prin prisma realizării acestor obiective, exploatarea și mentenanța corectă a transformatoarelor electrice de putere devine și mai importantă datorită faptului că acestea sunt printre cele mai costisitoare echipamente, iar defectarea lor afectează nu numai capacitatea de livrare și transport a energiei electrice ci și eficiența economică a întreprinderii respective.

Exploatarea și mentenanța transformatoarelor de putere din exploatare implică o foarte bună corelare între particularitățile constructive și de funcționare a acestora, durata lor de viață, condițiile de funcționare, condițiile de evaluare a stării lor momentane, politica de monitorizare a lor.

Pentru raționalizarea activității de mentenanță și respectiv pentru gestiunea parcului de transformatoare este indispensabil să se constituie bănci de date informatizate, conținând ansamblul informațiilor necesare diagnosticării stării și estimării duratei de viață deja consumate.

Lucrarea are ca obiect studiul comportării în timp, sub influența diferiților factori, a transformatoarelor electrice de putere. Studiul s-a realizat cu ajutorul bazelor de date complexe cu aplicații la stațiile electrice din județul Arad, lucrarea având astfel un puternic caracter interdisciplinar.

Această preocupare este justificată și de certă actualitate din următoarele considerente:

- Echipamentele care fac obiectul studiului sunt esențiale din punct de vedere al fiabilității sistemelor electroenergetice (SEE) și al disponibilității energiei electrice la consumatori;

- Până în prezent nu există studii care să trateze suficient de amplu și de în detaliu comportarea transformatoarelor electrice de putere sub aspectul factorilor de influență și a consecinței lor în timp asupra acestor echipamente;
- Cunoașterea modurilor de defectare și mentenanță este esențială pentru studiul fiabilității transformatoarelor electrice de putere și implicit a SEE, având în vedere că transformatoarele electrice de putere constituie cele mai scumpe echipamente din cadrul SEE;
- Factorii de decizie din cadrul Conel sunt tot mai convingși de necesitatea cunoașterii și sintetizării sub o formă centralizată a parametrilor ce pot caracteriza și determina comportarea în timp a echipamentelor electrice, ceea ce va duce la luarea unor decizii corecte în evaluarea acestora.

Obiectivele și structura tezei

Teza își propune ca și obiectiv esențial studiul factorilor care influențează gradul de îmbătrânire și implicit durata de viață a transformatoarelor electrice de putere din cadrul SEE cu scopul efectuării monitorizării acestora folosind bazele de date complexe. Consecința majoră acestui studiu, respectiv monitorizării o constituie reducerea costurilor de existență a energiei electrice (investiții, exploatare, mentenanță) prin luarea unor decizii corecte referitoare la evaluarea acestor echipamente.

Având în vedere considerentele enunțate mai sus, se pot identifica următoarele obiective majore:

- Analiza strategiilor de mentenanță aplicate actualmente în cadrul Sistemului Energetic Național cu relevarea avantajelor strategiei de mentenanță bazată pe fiabilitate și avantajele aplicării acestora asupra transformatoarelor electrice de putere;
- Elaborarea modelelor de evaluare a indicatorilor de fiabilitate a transformatoarelor electrice de putere cu stabilirea metodologiei și a algoritmului de lucru pentru analiza fiabilității previzionale a transformatoarelor electrice de putere;
- Identificarea principalilor factori care determină îmbătrânirea transformatoarelor electrice de putere și implicit durata de viață a acestora;
- Realizarea și implementarea unui program riguros de urmărire în exploatare a transformatoarelor electrice de putere, cu specificarea principalilor parametri ce caracterizează comportarea transformatoarelor electrice de putere, a evenimentelor, cauzelor și modurilor de defectare, a factorilor care influențează nivelul de fiabilitate operațională;
- Prelucrarea datelor obținute din exploatare și interpretarea rezultatelor;
- Managementul fiabilității și mentenanței echipamentelor urmărite, aplicând tehnica feed-back-ului informațional, în scopul îmbunătățirii performanțelor de disponibilitate ale SEE.

Lucrarea este structurată în cinci capitole, la care se adaugă cuprinsul, referințele bibliografice și anexele. Lucrarea cuprinde doar o parte din datele statistice aflate la îndemâna autorului, prelucrate și interpretate, redarea completă ocupând un volum foarte mare. Datele statistice primare pot fi puse la dispoziția persoanelor interesate de acestea.

Lucrarea pornește de la activitățile de mentenanță desfășurate în cadrul oricărui SEE pentru ca echipamentele aflate în dotare să fie cât mai fiabile, strategiile de mentenanță fiind adoptate pe baza concluziilor trase în urma procesului de monitorizare a acestora.

Capitolul I al lucrării prezintă noțiunea de mentenanță cu componentele acesteia și efectul pe care îl au acțiunile de mentenanță asupra transformatoarelor electrice de putere. Astfel se pornește de la ideea că prin alegerea unei strategii adecvate de mentenanță se realizează o exploatare corectă și eficientă a echipamentelor aflate în dotare. În cadrul activităților de mentenanță un rol important îl are și monitorizarea și diagnosticarea echipamentelor pe baza mărimilor achiziționate în urma măsurărilor. Sunt astfel prezentate principiile monitorizării și principalii parametri ce pot fi monitorizați în cazul transformatoarelor electrice de putere, precum și principalele elemente hardware și software care permit achiziționarea on-line sau off-line a acestor parametri.

Capitolul II face referire la transformatoarele electrice de putere ca obiecte ale analizelor de fiabilitate. Sunt prezentați principalii indicatori de fiabilitate cu concretizarea lor în studiul fiabilității previzionale și operaționale a transformatoarelor electrice de putere. Pe baza acestor indicatori sunt realizate analize statistice referitoare la echipamentele din cadrul Sistemului ElectroEnergetic Arad (SEEA) și locul pe care îl ocupă transformatoarele electrice de putere în cadrul SEEA. Analiza fiabilității previzionale este realizată atât pe baza structurii transformatoarelor electrice de putere cât și pe baza funcțiilor acestora în cadrul SEEA.

Capitolul III face o analiză a factorilor care determină gradul de îmbătrânire a transformatoarelor electrice de putere și implicit durata de viață a acestora. În acest sens o atenție deosebită s-a dat uzurii termice a izolației transformatoarelor electrice de putere care se consideră că influențează major comportarea în timp a acestora. S-a considerat atât variația liniară cât și variația exponențială a temperaturii în raport cu timpul. Pe baza curbelor trasate au putut fi trase concluzii referitoare durata de viață a transformatoarelor electrice de putere supuse studiului.

Capitolul IV prezintă câteva aspecte ale bazelor de date atât relaționale, cât și orientate obiect cu avantajele și dezavantajele folosirii acestora în monitorizarea transformatoarelor electrice de putere. Este prezentat programul „Electrica” realizat pentru implementarea monitorizării transformatoarelor electrice de putere din cadrul SEEA. În prezentare se pornește de la baza de date care stochează parametrii caracteristici ai transformatoarelor electrice de putere, până la facilitățile pe care le oferă acest program prin interfața pusă la dispoziția utilizatorului.

Capitolul V prezintă concluziile finale la care s-a ajuns în urma studiilor făcute. Sunt prezentate rezultatele obținute în urma evaluării stării transformatoarelor electrice de putere din stațiile de transformare din cadrul SEEA, precum și metodele de mentenanță ce trebuie aplicate pentru optimizarea funcționării acestora și eficientizarea întregii activități.

Astfel de remarcat este caracterul interdisciplinar al lucrării, lucrarea îmbinând studiul teoretic al transformatoarelor electrice de putere din cadrul SEEA cu modul în care pot fi aplicate bazele de date complexe în exploatarea și evaluarea

stării transformatoarelor electrice de putere aflate în dotarea SEEA. Este astfel permisă o optimizare a programului de mentenanță pentru ca echipamentele electrice aflate în dotarea SEEA să fie cât mai fiabile.

Se poate astfel afirma că lucrarea este dominată de cuvintele cheie mentenanță - fiabilitate - monitorizare care duc la o exploatare optimă a echipamentelor electrice și în speță a transformatoarelor electrice de putere din cadrul SEEA.

La sfârșitul fiecărui capitol s-a constituit un paragraf ce conține concluziile care se desprind ca urmare a problemelor abordate și contribuțiile concrete ale autoarei în cadrul capitolului respectiv. Concluziile studiilor efectuate în cadrul tezei de doctorat și o sinteză conținând principalele contribuții ale autoarei sunt prezentate în ultimul capitol al lucrării.

MENTENANȚA ECHIPAMENTELOR DIN INSTALAȚIILE ENERGETICE

1.1. Mentenanța transformatoarelor de putere

Energia electrică constituie forma de energie prin utilizarea căreia s-a realizat dezvoltarea economică a oricărui țări în ritmuri tot mai accelerate, influențând totodată și nivelul de trai al oamenilor. Ca urmare, se poate spune că nu există practic nici un domeniu de activitate care să se poată desfășura fără energie electrică, indicatorii determinați de consumul energiei electrice determinând încadrarea țării respective într-o anumită categorie de dezvoltare economico-socială.

După cum se știe, utilizarea energiei electrice în toate domeniile este justificată de avantajele pe care le oferă aceasta:

- Se obține ușor din orice altă formă de energie primară ;
- Se transformă în toate formele de energie utilă (termică, mecanică, luminoasă) ;
- Poate fi transportată cu randament ridicat ;
- Poate fi măsurată cu precizie ;
- Nu produce reziduuri, efectul nociv asupra mediului înconjurător fiind redus.

Cu toate aceste avantaje pe care le oferă folosirea energiei electrice, aceasta prezintă totuși și un dezavantaj : nu poate fi stocată. Acest dezavantaj impune existența unui raport echilibrat între producție și consum, deci o coordonare permanentă a producției de energie electrică precum și a transportului și distribuției acesteia de la centrale la consumatori.

Funcționarea Sistemului Electroenergetic Național în condiții de siguranță, impune creșterea siguranței în funcționare a sectorului de transport al energiei electrice precum și gestionarea corectă și eficientă a echipamentelor, ceea ce presupune:

- asigurarea serviciilor de transport la calitatea și cantitatea cerută de beneficiari;
- respectarea standardelor de calitate și siguranță în funcționare;
- asigurarea parcului de unități de transformare la nivelul cerințelor;
- optimizarea costurilor de mentenanță;
- prelungirea duratei de viață a unităților de transformare până la 35-40 ani;
- reducerea impactului asupra mediului înconjurător;
- reducerea costurilor legate de funcționare;
- respectarea normelor impuse privind: protecția muncii, cerințele managementului calității, protecția împotriva incendiilor, etc.

Disponibilitatea sistemelor electroenergetice și continuitatea alimentării cu energie electrică a consumatorilor sunt puternic condiționate, printre altele, de calitatea acțiunilor de mentenanță, care pe parcursul exploatării echipamentelor, sunt supuse unui proces permanent de adaptare și modernizare.

Obiectivele principale ale oricărei strategii de mentenanță sunt menținerea în funcționare a echipamentelor un timp cât mai îndelungat, reducerea numărului de avarieri ale echipamentelor și evitarea defectelor neprevăzute ce pot avea consecințe dezastruoase sau costisitoare. Pentru a se putea atinge aceste obiective, trebuie aleasă metoda de mentenanță care se potrivește cel mai bine cu specificul situației analizate.

Astfel, exploatarea și mentenanța corectă a transformatoarelor de putere din exploatare este deosebit de importantă, transformatoarele de putere fiind cele

mai costisitoare echipamente, defectarea acestora ducând la reducerea capacității de transport.

Se cunosc trei tipuri principale de mentenanță:

1. Mentenanță predictivă, care constă în monitorizări ale echipamentelor în scopul depistării unor defecțiuni în faza incipientă, pentru reducerea probabilităților de evoluție a lor în timp și pentru evitarea avarierii echipamentelor
2. Mentenanță corectivă, care se execută după apariția unui defect în scopul readucerii instalațiilor în stare de a-și putea îndeplini funcțiile pentru care au fost proiectate.
3. Mentenanță preventivă, care constă în principalele acțiuni care se întreprind pentru prevenirea defectărilor posibile: verificări, reglaje, măsurători, încercări, eliminarea unor defecțiuni prin înlocuirea unor piese și subansamble uzate, lucrări complexe care restabilesc starea tehnică inițială a instalației.
4. Prin alinierea reglementărilor privind mentenanța în instalațiile electrice de transport la cele folosite pe plan mondial [88, 117,134], lucrările de mentenanță au fost clasificate conform figurii 1.1:

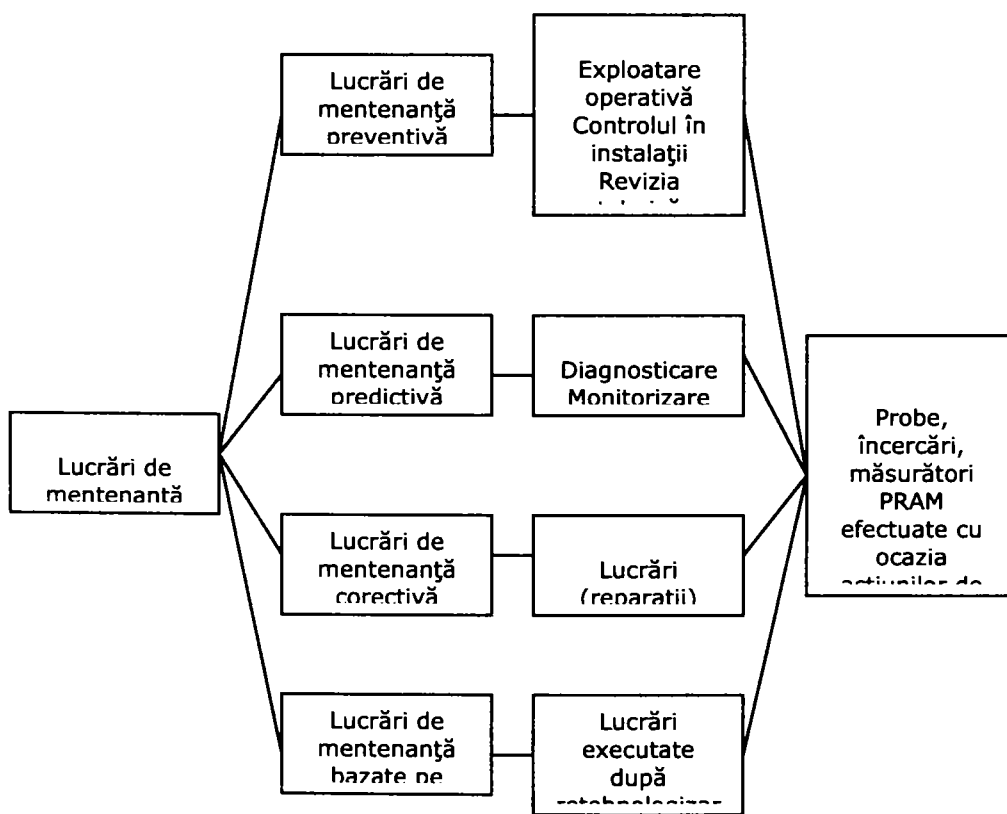


Figura 1.1 Clasificarea lucrărilor de mentenanță

Politicile în domeniul mentenanței se referă în principal la :

- folosirea componentelor de cea mai înaltă fiabilitate;
- utilizarea unui nivel de redundanță ridicat;

- acordarea unei atenții deosebite problemelor de mentenanță în fază de concepție.

Având în vedere costurile de mentenanță corelate cu politica în domeniu, se poate alege una din următoarele variante :

- înlocuirea componentei când se defectează;
- înlocuirea componentei, când ea a atins o anumită vârstă sau există riscuri să se defecteze înainte că ea să fi atins această vârstă;
- înlocuirea preventivă, la perioade fixe, în funcție de vârsta sistemului.

De obicei programul de mentenanță se realizează în trei etape :

1. Dezvoltarea conceptului de mentenabilitate - sunt stabilite scopurile urmărite și nevoile de mentenabilitate;
2. Dezvoltarea unei tehnici de previziune a mentenabilității aplicabilă în etapa de cercetare dezvoltare;
3. Demonstrarea mentenabilității sistemului în utilizare.

Indiferent de tipul de companie, de producere, transport sau distribuție principalele obiective privesc reducerea costurilor de întreținere a echipamentelor precum și creșterea siguranței în funcționare a acestora.

Ca urmare, exploatarea și mentenanța corectă a transformatoarelor de putere devine o prioritate datorită faptului că transformatoarele de putere sunt printre cele mai costisitoare echipamente, o defectare a acestora ducând la reducerea capacității de transport și implicit la reducerea eficienței întreprinderii.

În acest sens, fiabilitatea centrată pe mentenanță are în vedere următoarele obiective:

- asigurarea unei funcționări corecte și fiabile a echipamentelor;
- asigurarea alimentării consumatorilor;
- garantarea siguranței publice și a protecției mediului;
- reducerea costurilor de înlocuire a transformatoarelor îmbătrânite cu altele noi.

Atunci când un transformator depășește vârsta critică, evaluarea stării sale în acel moment și deci capacitatea de funcționare se face prin investigații specifice aprofundate, având în vedere că pentru un același tip de defect pot exista cauze și forme de manifestare diferite.

În acest sens, principalele puncte critice ale transformatoarelor de putere sunt:

- înfășurările:
 - scăderea parametrilor de izolație sub limitele minime admise, aceasta putând duce la străpungerea izolației la supratensiuni;
 - slăbirea rezistenței la eforturi electrodinamice;
- trecerile izolante datorate calității acestora;
- sistemul de consolidare a înfășurărilor realizat din materiale magnetice, supraîncălzirea pieselor de presare ducând la deformarea și degradarea termică a materialelor izolante;
- comutatoarele cu reglaj sub sarcină;
- circuitul magnetic – putându-se produce scăderea izolației tolelor, respectiv a schelelor;
- sistemul de răcire – în sensul reducerii capacității de răcire în urma înfundării canalelor de circulație a aerului sau uleiului.

Din punct de vedere economic și funcțional, este eficient să se folosească la maxim transformatoarele existente, dar prin luarea unor măsuri de prevenire și îndepărtare a defectelor majore.

Pe măsură ce numărul transformatoarelor mai vechi de 20 sau 30 de ani a crescut, s-a constatat că și frecvența de defectare în regim de serviciu este tot mai mare.

În cazul transformatoarelor de mare putere costul total în cazul unui defect are în vedere următoarele considerente:

- înlocuirea transformatorului defect cu unul nou presupune pe lângă costul unui nou transformator și cheltuielile de transport și instalare;
- daune cauzate perioadei de nefuncționare a transformatorului necesar în exploatare;
- contractarea de energie electrică de la un alt furnizor la limita de avarie;
- eliberarea amplasamentului;
- daune aduse echipamentelor aflate în vecinătate;
- alte costuri indirecte.

Transformatoarele de putere din stațiile de transformare de distribuție a energiei electrice reprezintă un echipament dintre cele mai costisitoare, motiv pentru care buna funcționare constituie o constantă preocupare a personalului de exploatare. Managementul preventiv reprezintă o cale posibilă de abordare, iar progresele înregistrate în tehnicile de mentenanță aduc multe promisiuni. Costul per unitate este dintre cele mai ridicate din echipamentul aferent rețelei de distribuție și ca atare deteriorarea sau ieșirea din funcțiune definitivă atrag costuri de înlocuire dintre cele mai mari.

În cazul transformatoarelor de putere, se consideră necesare acele acțiuni care au ca scop menținerea transformatoarelor la parametrii normali până la terminarea duratei de viață a miezului sau înfășurărilor transformatoarelor: înlocuirea echipamentelor auxiliare, reprocessarea sau înlocuirea uleiului, refacerea înfășurărilor atunci când acest lucru este posibil. S-a constatat că totalitatea acestor operații reprezintă 20-30% din costul unui transformator nou.

Astfel este necesară realizarea unei analize prin care să se stabilească dacă prelungirea duratei de viață a transformatorului justifică investițiile necesare. În general, evoluția strategiilor de mentenanță utilizate sau în curs de utilizare în sistemele electroenergetice este prezentată în figura 1.2 [33, 43]:

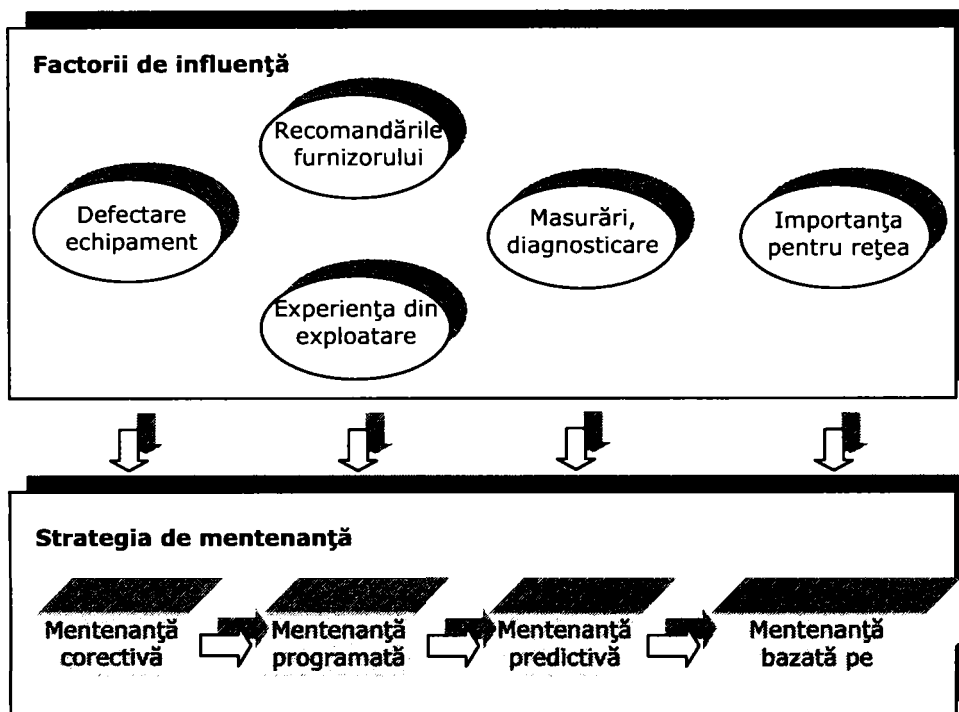


Figura 1.2 Evoluția strategiilor de mentenanță

Un program de mentenanță corect aplicat va duce la :

- îmbunătățirea fiabilității instalațiilor;
- evaluarea stării tehnice a echipamentelor;
- stabilirea importanței pe care o are fiecare echipament în ansamblul sistemului (influența fiabilității componentelor asupra fiabilității rețelei în ansamblu);
- corelarea și evaluarea informațiilor de mai sus în vederea ierarhizării echipamentelor din punct de vedere al priorității acțiunilor de mentenanță.

1.2. Analiza componentelor mentenanței corective

Principalii indicatori ce caracterizează performanțele obținute din punctul de vedere al siguranței în exploatare a rețelelor electrice [1] sunt numărul de defecte apărute în instalații și durata necesară remedierii acestor defecte. Această durată de remediere a defectelor este influențată de modul de organizare a mentenanței corective.

Tendențele existente în prezent pe plan mondial au arătat că are loc o diminuare a importanței care se dă numărului de defecte în exploatarea echipamentelor [1]. Datorită fiabilității echipamentelor s-a ajuns în situația că pe durata a 20-30 de ani de viață să nu apară nici un incident major.

Astfel s-a constatat experimental că apariția incidentelor în funcționarea transformatoarelor de putere are loc în timp conform figurii 1.4 [56, 70]:

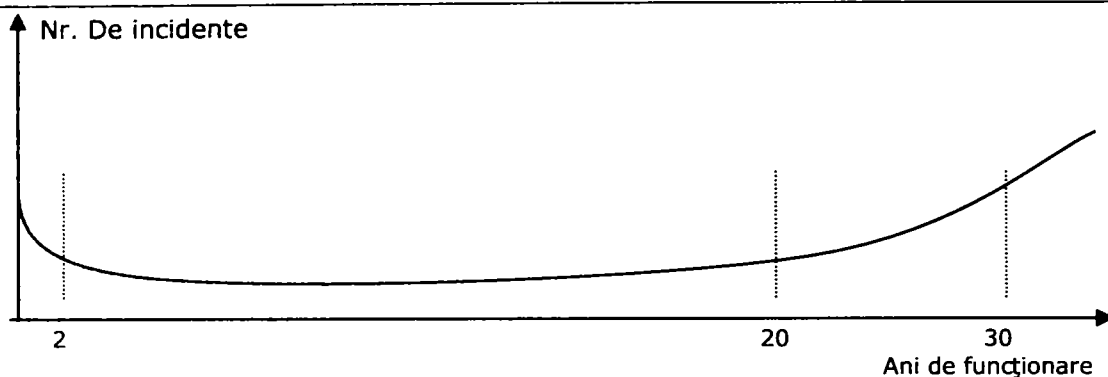


Figura 1.3 Apariția în timp a incidentelor la funcționarea transformatoarelor de putere

- În primii 2 ani de viață defectele care se produc se datorează în principal:
 - defectelor de fabricație (exemplu: contacte imperfecte, suduri slabe, piese la potențiale electrice diferite, defecte ale miezului magnetic);
 - montajelor în stație (contaminare accidentală cu apă, impurificare la umplerea/completarea cu ulei ; montaj defectuos al trecerilor izolante);
 - exploatare necorespunzătoare.
- Între 2 și 20 de ani viața unui transformator este caracterizată de o îmbătrânire constantă și normală, ea depinzând în mare măsură de condițiile de exploatare. Defectele majore ce apar în această perioadă pot fi:
 - umezeală în izolația lichidă și solidă;
 - depolimerizarea hârtiei (sciziuni) ;
 - îmbătrânirea chimică a izolației lichide ;
 - îmbătrânirea serviciilor proprii transformatoarelor (sistem răcire, garnituri, echipamente protecție, monitorizare etc....).
- Peste 20 de ani riscurile în exploatare cresc cu fiecare an de viață, cheltuielile cu mentenanța fiind substanțiale. Defectele sunt caracteristice celor arătate mai sus.

Pentru transformatoarele care depășesc durata de viață de 40 de ani, în cazul defectelor majore, se recomandă casarea lor avându-se în vedere progresul tehnologic:

 - diferența calitativă a noilor materialelor (în special la tabla silicioasă);
 - reducerea pierderilor în fier și înfășurări;
 - schimbătoare de căldura performante;
 - proiecte asistate de calculator cu dimensionarea judicioasă din punct de vedere tehnico - economic;
 - reducerea consumului de materiale / manopera.

Consecință a fiabilității echipamentelor este faptul că se urmărește mai puțin evaluarea exactă a numărului de incidente într-o perioadă de timp, ci o evaluare cât mai corectă a ceea ce se întâmplă în cazul apariției unui incident nedorit. Din momentul apariției evenimentului nedorit, la nivelul companiei se declanșează un proces complex care presupune atât acțiuni de natură tehnică, cât și acțiuni organizatorice sau legate de factorul uman.

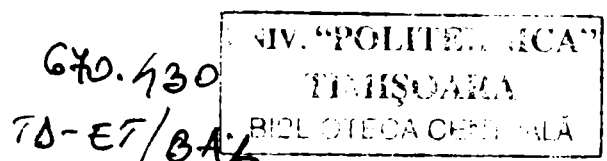
O estimare cât mai corectă a duratei de revenire a echipamentului, se poate face printr-un indicator care să țină seama de toate componentele aleatoare și deterministe specifice. Toate aceste componente au fost grupate în două tipuri de activități:

- a. Activități de natură tehnică – care presupun timpi activi de mentenanță corectivă.

Din această categorie fac parte acțiunile legate de localizarea și remedierea efectivă a defectului, adică localizarea defectului, diagnosticarea, repararea propriu-zisă, verificările și probele finale premergătoare repunerii în funcțiune.

- b. activități de natură administrativă – care presupun timpi anexă pentru mentenanța corectivă, timpi în care se include durata scursă din momentul apariției defectului și momentul în care este adus la cunoștința companiei, durata în care are loc organizarea activităților de logistică propriu-zise și durata deplasării la locul defectului.

O structură a mentenanței corective este prezentată în figura 1.4 [1]:



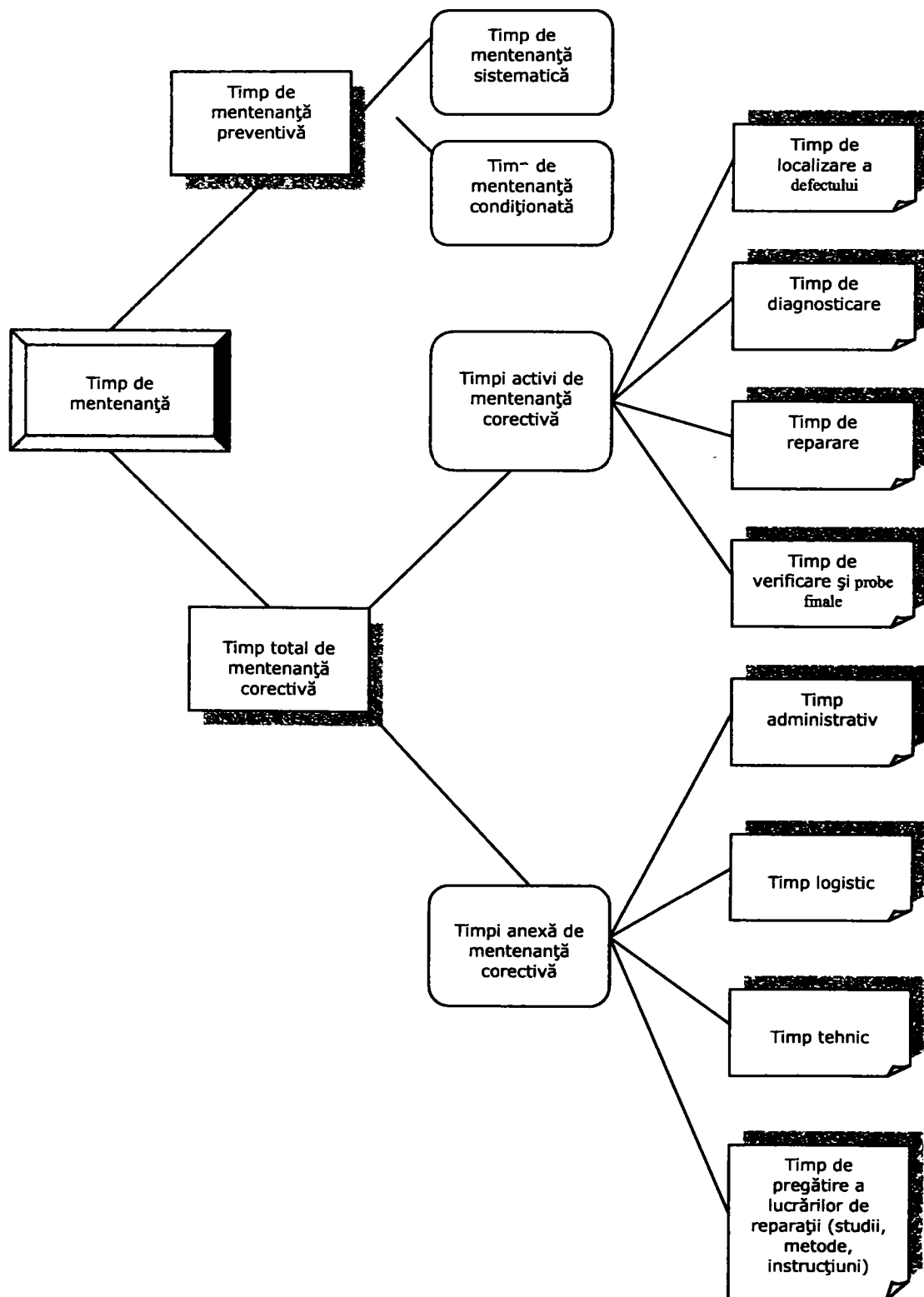


Figura 1.4 Structura mentenanței corective

Lucrările de mentenanță corectivă se face cu costuri atât de timp, cât și materiale.

În acest sens, în tabelul 1.1, respectiv figura 1.5, sunt reprezentate pe categorii de instalații, costurile în miliarde de lei făcute în intervalul de timp 2000-2005 în cadrul SEEA:

Instalația	LEA	LES	PT	SE	Total
2000	141627	347879	869803	323786	1685095
2001	224563	452453	123675	287656	1090348
2002	326970	385674	134785	193453	1042884
2003	287675	537864	144654	254878	1227074
2004	181243	498760	158657	287675	1128339
2005	250897	587689	164879	365749	1371219
Total	1412975	2810319	1596453	1713197	7544959

Tabelul 1.1 Costurile lucrărilor de mentenanță corectivă în cadrul SEEA

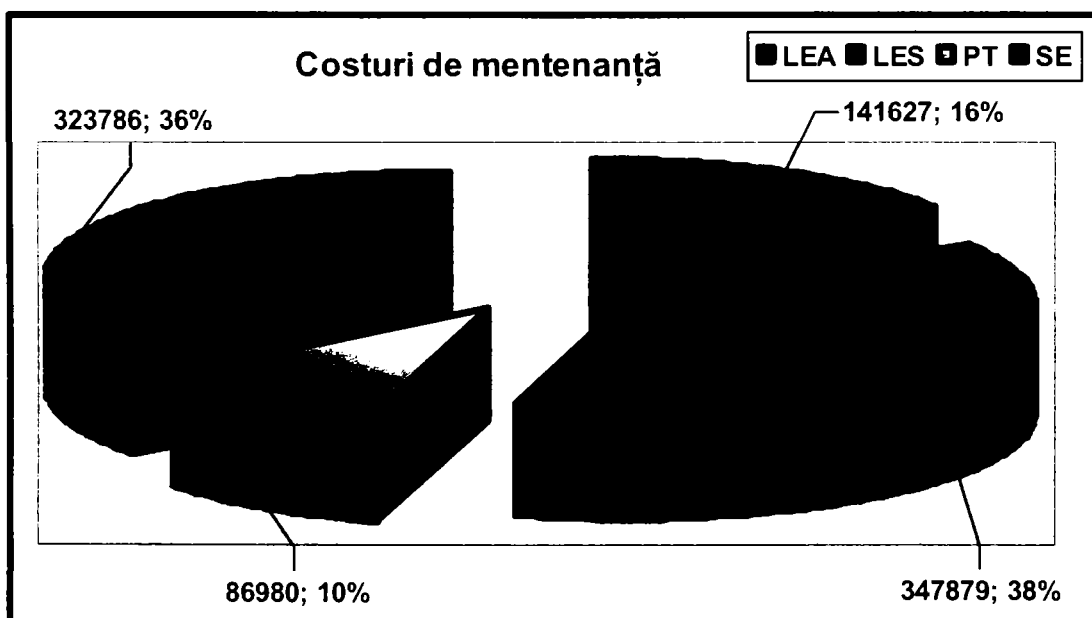


Figura 1.5 Graficul costurilor de mentenanță corectivă pe categorii de instalații în cadrul SEEA

Astfel se poate constata că prin utilizarea structurii mentenanței corective coroborat cu costurile pe care le impune se poate realiza o optimizare a întregii activități cu evidențierea factorilor care pot contribui la reducerea costurilor și duratei de remediere.

1.3. Analiza mentenanței preventive

Funcționarea corectă a instalațiilor electrice presupune realizarea unor verificări periodice [53, 164]. Corectitudinea stabilii periodicității verificărilor presupune existența unei baze de date rezultată din observațiile făcute de personalul care exploatează instalațiile.

Inițierea unor măsuri eficiente de creștere a fiabilității și mentenabilității impun existența unor date coerente și semnificative care să reflecte comportarea în exploatare a echipamentelor și instalațiilor. Astfel, pe baza datelor înregistrate și prelucrate, se realizează o activitate de monitorizare a echipamentelor din stațiile de transformare, putându-se lua decizii obiective și eficiente de îmbunătățire a activităților de exploatare, întreținere, reparație, proiectare, execuție și dezvoltare a instalațiilor energetice. Datele vor oferi astfel informații referitoare la frecvența și durata întreruperilor din în alimentarea consumatorilor, a daunelor cauzate acestora, cât și informații referitoare la costurile de mentenanță preventivă și corectivă.

Orice decizie privind planificarea unor acțiuni în exploatarea operativă sau în activitatea de mentenanță, implică acceptarea unui anumit nivel de risc referitor la realizarea sau nerealizarea evenimentului care face obiectul deciziei.

Pentru asistarea deciziilor în activitatea de exploatare sau de mentenanță este necesar să se dispună de două tipuri de indicatori:

- Indicatori rezultați din prelucrarea sau actualizarea periodică a datelor statistice din observațiile efectuate asupra unor loturi de entități de același tip montate în diferite instalații. Acești indicatori reprezintă valori medii pe tip de entitate și pot fi folosiți pentru evaluarea comportării în exploatare a unor scheme în diferite structuri, permițându-se optimizarea acestora.

- Indicatori rezultați din prelucrarea statistică a unor date privind un anumit tip de entitate dintr-o anumită instalație în anumite perioade de timp (în diferite anotimpuri sau în condiții de exploatare deosebite). Acești indicatori pot fi folosiți pentru asistarea și actualizarea deciziilor operative în activitatea de exploatare sau de mentenanță, aceste activități efectuându-se asupra unor anumite entități și nu asupra unor entități medii.

Astfel indicatorul „rata de defectare” pentru un anumit tip de transformator obținută pe baza prelucrărilor statistice a datelor de comportare în exploatare a unui număr semnificativ de transformatoare de același tip și pentru care s-a înregistrat o valoare medie de 0,05/an, se poate folosi în cazul în care se efectuează calcule de optimizare a unor structuri de scheme de stații sau de posturi de transformare în care se prevede echiparea cu tipul de transformatoare considerat.

În cazul strategiilor de mentenanță pentru transformatoarele dintr-o anumită stație, pentru care s-au observat valori care diferă de cele medii, de cele mai multe ori în sens defavorabil (0,2/an), este necesară adaptarea la condițiile specifice constatate.

Ca urmare sunt necesare următoarele:

- Urmărirea corespunzătoare a comportării în exploatare a instalațiilor;
- Planificarea pentru un anumit tip de entitate a unor intervale de timp între acțiunile de mentenanță preventivă. Corecția intervalului de timp între două acțiuni de mentenanță preventivă va fi bazată pe rezultatele diagnozei „off” și „on line” și a defectabilității înregistrate în perioada de timp considerată;
- Eliminarea unor acțiuni de mentenanță preventivă constatate ca fiind ineficiente, ceea ce poate duce la reducerea costurilor de exploatare.

Are loc astfel trecerea strategiilor de exploatare și mentenanță de la mentenanța bazată exclusiv pe timp, la o mentenanță bazată pe fiabilitate.

Algoritmul mentenanței bazată pe fiabilitate, cu evidențierea unor planificări inițiale pe baza comportării în timp real a instalațiilor și echipamentelor, a feedback-ului informațional permanent referitor la comportarea în exploatare a acestora este reprezentat în figura 1.6:

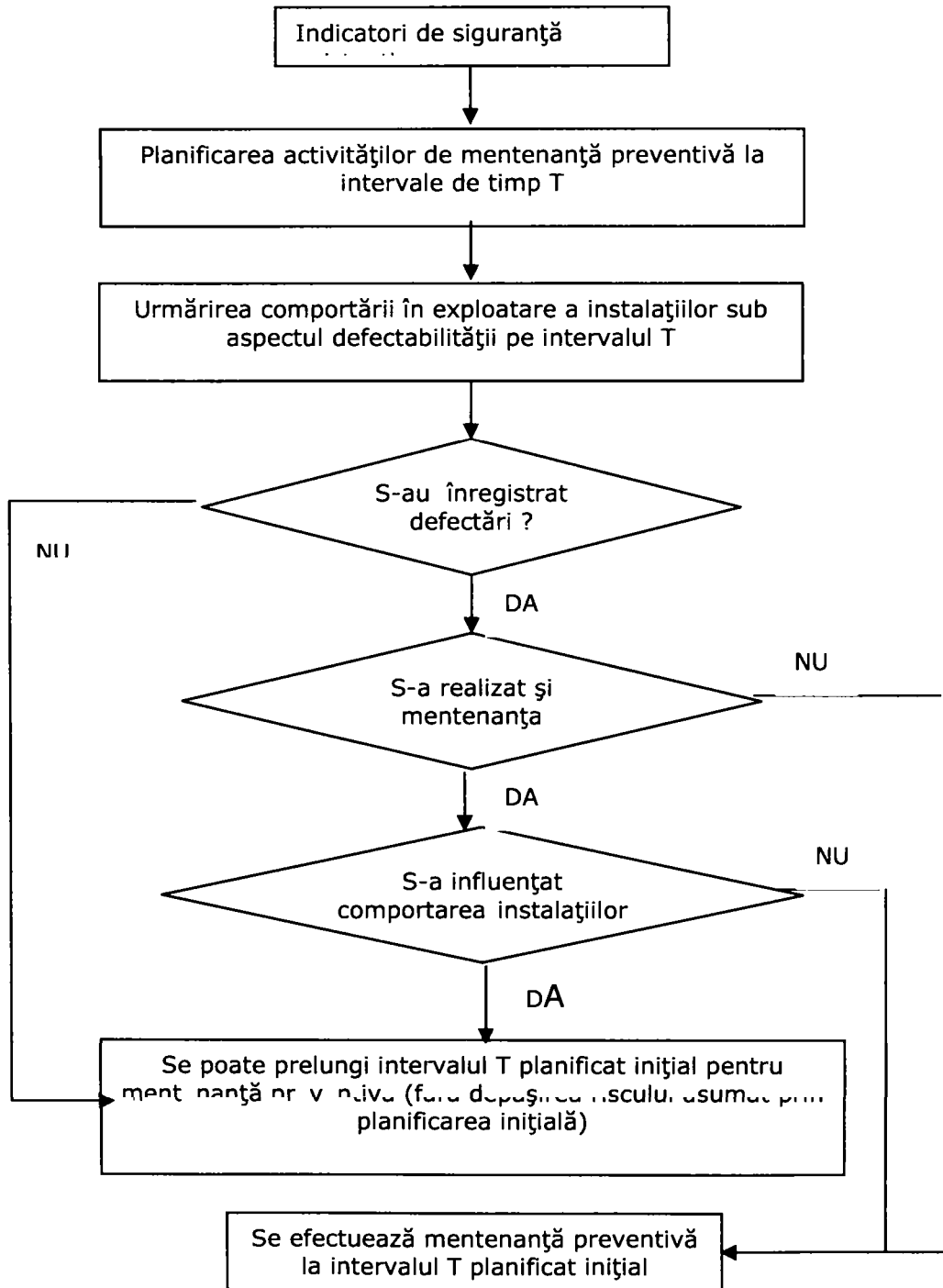


Figura 1.6. Algoritmul activităților de mentenanță

Ca urmare se poate spune că realizarea sistemului informațional de urmărire a comportării în exploatare a echipamentelor și instalațiilor electrice permite:

- Furnizarea informațiilor necesare la diferite nivele ierarhice;
- Alinierea la cerințele unor organisme internaționale;
- Adoptarea unui sistem unificat de codificare în cadrul sistemului energetic național;
- Fundamentarea măsurilor eficiente de îmbunătățire a performanțelor echipamentelor și instalațiilor, a exploatării și întreținerii acestora.

Monitorizarea stării echipamentului on-line și/sau folosirea bazelor de date of-line determină:

- Optimizarea raportului dintre menținanțele preventive și corective, reducându-se astfel întreruperile la valori optim economice.
- Reducerea timpilor menținanțelor corective, oferindu-se informații complete sub formă de protocoale pentru personalul de intervenție privind:
 - Schema
 - Echipamentul (istoric)
 - Tehnologia, înlăturându-se astfel subiectivismul și riscurile.
- Optimizarea secvențelor de localizare și izolare a defectelor în rețelele radiale cu separatoare fără detectoare de defect. Prin prognozare se poate reduce timpul de localizare a defectelor.

Astfel, se poate afirma că, activitatea de urmărire a comportării în exploatare, organizată, permanentă, corect structurată și care beneficiază de un sistem informatic corespunzător constituie un instrument deosebit de eficient într-o exploatare modernă a unei rețele în condiții tehnico-economice favorabile.

Serviciul de menținanță, oferă posibilitatea de a anticipa defecțiunile și de a planifica intervențiile, realizând eficientizarea procesului de întreținere și reparare a echipamentelor industriale.

1.4. Monitorizare. Diagnosticare. Conducere

Evaluarea stării transformatoarelor de mare putere se face practic prin urmărirea evoluției degradării sistemului de izolație. În acest sens verificările la care sunt supuse transformatoarele constituie surse de date pentru realizarea monitorizării și diagnosticării stării transformatoarelor la un moment dat.

Un control asupra funcționării transformatoarelor poate fi realizat printr-o continuă supraveghere, însoțită de prelucrarea datelor stocate în bazele de date.

Bazele de date conțin ansamblul informațiilor necesare unor operații cum ar fi:

- diagnosticarea stării;
- estimarea riscurilor de exploatare;
- programarea eficientă a fondurilor de menținanță;
- estimarea duratei de viață rămase a transformatoarelor.

Aceste baze de date permite elaborarea unei strategii de restructurare/ dezvoltare a parcului de transformatoare prin:

- înlocuirea unor echipamente uzate moral sau fizic în nodurile energetice strategice cu echipamente de ultimă generație;
- reparații / modernizări de transformatoare și autotransformatoare de putere;
- reducerea pierderilor în sistemul energetic;

- Întocmirea bugetelor de reparații și investiții pe baza unor specificații tehnice întocmite pe familii de transformatoare și planificate pe perioade de timp determinate.

Aplicațiile monitorizării stării în stațiile de transformare și dezvoltarea noilor tehnici au devenit una dintre cele mai importante sarcini pentru majoritatea companiilor energetice de la începutul anilor '90.

Aceasta cerință s-a impus din două puncte de vedere: în stațiile de transformare funcționarea fără șocuri a echipamentelor electrice și implicit a transformatoarelor de putere este importantă deoarece avariile și întreruperile neprevăzute pot duce la accidente grave și pot avea ca rezultat penalități ridicate într-un mediu tot mai competitiv.

De asemenea transformatoarele de putere reprezintă active costisitoare și au nevoie de costuri mari de întreținere.

Ca urmare, companiile energetice trebuie să găsească modalități pentru a evita întreruperile bruște, pentru a minimiza timpii de întrerupere, pentru a reduce costurile de întreținere și pentru a extinde durata de viață a transformatoarelor.

O evaluare eronată a stării transformatoarelor din acel moment poate duce la o exploatare incorectă, ceea ce poate conduce la pagube importante. De aceea, o deosebită importanță o are interpretarea rezultatelor investigațiilor, previzionarea evoluției în timp a stării și comportamentului transformatoarelor, astfel încât să se ajungă la luarea unor decizii corecte.

În urma procesului de evaluare și diagnosticare este necesar să se ia una din următoarele măsuri:

- monitorizarea transformatoarelor;
- efectuarea de noi teste pentru o evaluare mai precisă;
- scoaterea din funcțiune a transformatorului îmbătrânit și înlocuirea cu unul de rezervă, până la repararea acestuia.

Evaluarea stării unui transformator se face în trei etape:

- culegerea tuturor informațiilor referitoare la defect:
 - starea sistemului și a echipamentului înainte de defect, putându-se astfel determina cauza defectului;
- identificarea celor mai bune soluții:
 - repararea la locul amplasării;
 - retragerea din funcționare pentru efectuarea procesului de reparare;
 - modificarea transformatorului astfel încât acesta să fie capabil ca în viitor transformatorul să poată suporta acest tip de defect;
- luarea deciziei.

Un echipament își poate pierde din capacitatea de a-și îndeplini funcția pentru care a fost construit fără a fi complet sau definitiv scos din funcțiune. În acest caz se spune că echipamentul a suferit o cădere sau o defectare. O astfel de cădere poate fi determinată de depășirea valorilor limită și se poate manifesta printr-un scurtcircuit sau prin ruperea unei piese.

Cauzele care pot determina defectarea unui echipament pot proveni din faza de proiectare, din faza de fabricare sau din faza de exploatare.

Defectele în funcționarea unui echipament apar treptat, după o curbă de tip „cadă de baie”, așa cum este ilustrat în figura 1.7 [56]:

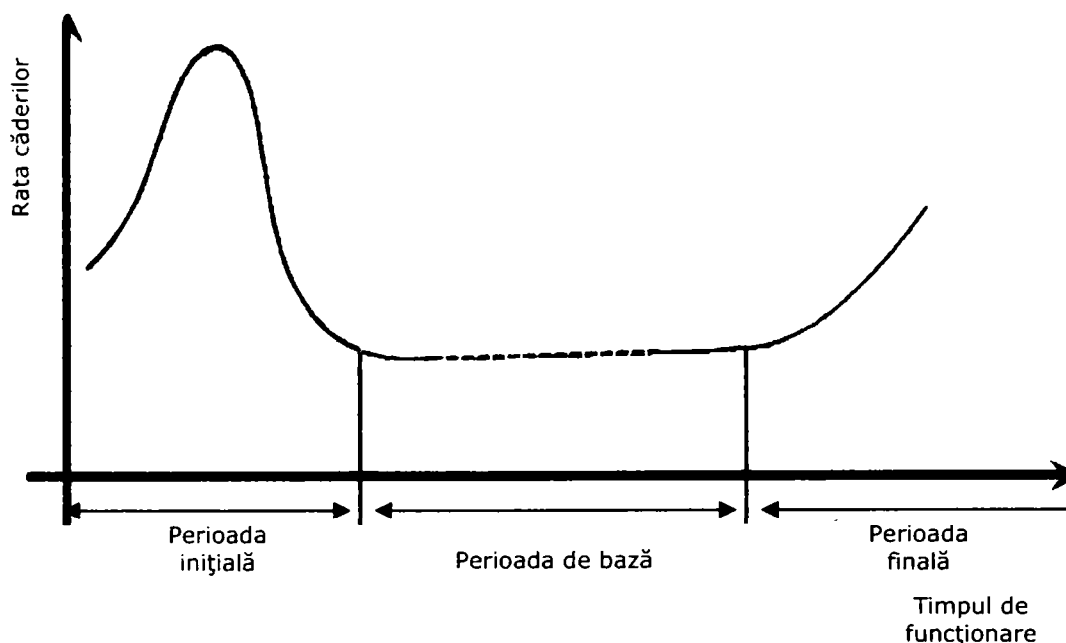


Figura 1.7 Evoluția defectiunilor în raport cu timpul

Astfel, se disting trei perioade:

- Perioada de rodaj, de maturizare în care defectele au o frecvență foarte ridicată. În această perioadă se defectează elementele cele mai sensibile, cele care cad de la primele solicitări. După eliminarea acestor defecte și eliminarea cauzelor lor, defectele din această perioadă apar tot mai rar. Este motivul pentru care unele echipamente sunt furnizate beneficiarului după o perioadă în care sunt supuse încercărilor în condițiile nominale specificate.

- Perioada de bază în care defectele au o frecvență redusă, nivelul curbei fiind aproximativ constant. Defectele care apar în această perioadă sunt rare și nu pot fi prevăzute. În această perioadă se efectuează și studiile referitoare la fiabilitatea echipamentului.

- Perioada finală în care se înregistrează o creștere bruscă a defectelor datorită uzurii (îmbătrânirii) echipamentului. De remarcat este faptul că unele produse nu ajung în această perioadă datorită uzurii lor morale care determină înlocuirea lor înainte ca acestea să fi ajuns la stadiul maxim al uzurii fizice.

Durata fiecărei perioade depinde de natura produsului. Astfel, în cazul dispozitivelor electrice perioada de bază este în general foarte lungă, în timp ce în cazul dispozitivelor mecanice perioada de bază este mai scurtă datorită fenomenului de uzură care este mult mai accentuat.

Ținând cont de implicațiile financiare în creștere, precizia diagnosticului și evaluarea corectă a riscului potențial de avarie a devenit semnificativă. Varietatea și complexitatea metodelor folosite și dificultatea interpretărilor a condus la ierarhizarea operațiilor de urmărire pe diferite niveluri de intervenție și de decizie [36]:

Metodele de verificare efectuate asupra transformatoarelor cu cauze și efecte posibile, precum și măsurile care pot fi luate sunt reflectate în figura 1.8 [36]:

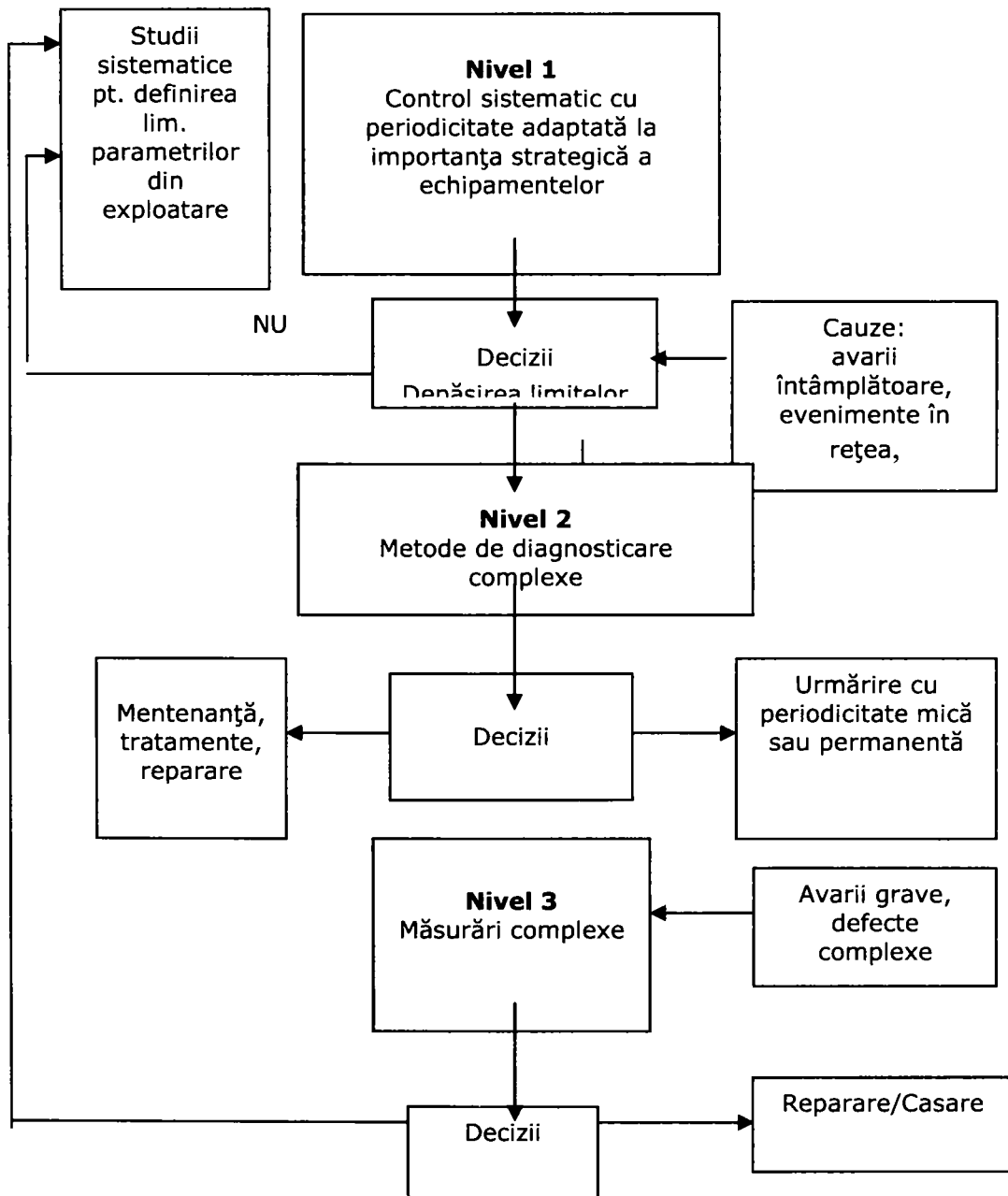


Figura 1.8 Nivele de verificare a stării transformatoarelor

Metodele de verificare de nivel 1 sunt :

- a) sistematice (control sub tensiune):
 - temperaturi și niveluri ulei;
 - numărul conectări/deconectări;
 - numărul de comutări în sarcină;
- b) periodice și sistematice:
 - controale prin inspectare (vizuale, auditive, funcționale, etc.);

- controale prin măsurări electrice „simple” (rezistențele înfășurărilor, rezistențele de izolație, capacități, tgδ);
- prelevare probe ulei pentru măsurări și analize fizico-chimice.

În cadrul nivelului 1, un rol important în politica de control și mentenanță îl au probele de uleiului, ce permit verificarea :

- funcției dielectrice a uleiului (rigiditate dielectrică, factor de pierderi dielectrice - tgδ, conținut de apă, numărul particule, etc.);
- funcției de agent de răcire a uleiului (culoare, densitate, viscozitate, aciditate);
- stării părții active a transformatorului prin analiza gazelor dizolvate.

Metodele de verificare de nivel 2 sunt condiționate de depășirea limitelor parametrilor sau de producerea diverselor evenimente (avarii). Aceste metode au scopul de a investiga :

- defectele latente;
- gradul de îmbătrânire al transformatoarelor;
- cauzele producerii diverselor evenimente și stabilirea măsurilor imediate ce se impun.

Verificările suplimentare aferente metodei de nivel 2 sunt:

- analize speciale ulei (rezistivitate de volum, natura particulelor,);
- localizare descărcări parțiale ;
- termografie în infraroșu, etc.

Metodele de verificare de nivel 3 sunt utilizate pentru depistarea defectelor cu evoluții atipice sau deosebite ca;

- incluziuni de metal în structura inelului de gardă;
- scurtcircuit la nivelul sistemului de împământare a schelelor și inelelor de presare metalice, etc.

1.5. Principiile monitorizării

În scopul reducerii riscului de avariere a celor mai scumpe echipamente din cadrul sistemului energetic, transformatoarele de putere, este necesară aplicarea unor măsuri de mentenanță preventivă.

În acest sens, o monitorizare a funcționării acestora, prin colectarea și prelucrarea informații detaliate despre starea transformatoarelor, poate determina prevederea unor eventuale avarieri a acestora.

Rezultatul acestei monitorizări este mărirea duratei de viață a transformatoarelor realizată prin:

- supravegherea, foarte strictă, pe toată durata funcționării;
- îmbunătățirea metodelor de diagnosticare;
- intensificarea cercetării în domeniul diagnosticării transformatoarelor.

În conformitate cu aceste noi orientări se acționează, din ce în ce mai mult, pentru repararea (reabilitarea) transformatoarelor la locul de montaj și nu în fabrica constructoare sau la o altă unitate specializată, în scopul reducerii cheltuielilor de deplasare a transformatorului la fabrica constructoare, precum și pentru micșorarea timpului de retragere temporară din exploatare (perioada transportului și cea a staționării la fabrică).

Monitorizarea presupune deci observarea automată a parametrilor caracteristici ai aparatelor electrice și a performanțelor acestora în funcționare, prin

măsurarea unuia sau mai multor parametri și compararea automată a valorilor măsurate cu valori de referință [161].

Monitorizarea poate fi realizată:

- Off-line
 - On-line
- respectiv
- Periodică – care poate genera date folositoare despre condiția echipamentului, dar prezintă dezavantajul de a nu înregistra o problemă apărută între timp (ca deteriorarea bruscă a echipamentului).
 - Continuă – care elimină dezavantajul monitorizării periodice și în plus, oferă avantajul că poate fi realizată la distanță, evitându-se deplasarea în stație.

Tehnicile de diagnoză presupun inspecții, măsurători și/sau monitorizare, fără acțiune de demontare, chiar cu echipamentul în funcțiune, pentru a indica starea acestuia și/sau detectarea anormalității și pentru determinarea programului optim de revizii.

Există o diferență între monitorizare și diagnosticare [13, 69, 161].

Monitorizarea înseamnă achiziție de date, condiționarea semnalelor de la senzori și dezvoltarea modelelor pentru determinarea stării transformatoarelor.

Diagnosticarea este pasul următor monitorizării și cuprinde interpretarea datelor măsurate „off-line” sau „on-line”. Monitorizarea stă la baza diagnosticării, dar, fără diagnosticare, datele măsurate nu au nici o valoare.

Un sistem de monitorizare a transformatorului trebuie să satisfacă anumite cerințe:

- În primul rând sistemul de monitorizare trebuie proiectat pentru o funcționare de lungă durată și pentru o siguranță sporită, în concordanță cu durata de viață a transformatoarelor (uneori peste 20 de ani).
- Trebuie asigurat un raport rezonabil între costurile instalării și eficiența monitorizării.
- Monitorizarea trebuie să asigure informații pentru o estimare foarte sigură a duratei de viață, rămasă, a transformatorului.

În realizarea monitorizării se pune problema eficienței reabilitării transformatoarelor din exploatare, echipate cu sistemele de monitorizare.

Ca urmare se au în vedere doua aspecte:

- riscul defectării unui transformator crește după 10 ani de funcționare, astfel că un sistem de avertizare este strict necesar;
- având în vedere prețul ridicat al achiziționării unui nou transformator și chiar al unei reparații (în funcție de defect), necesitatea introducerii unui sistem de monitorizare și diagnosticare, în combinație cu o protecție rapidă și eficace este pe deplin justificată.

Obiectivele urmărite prin proiectarea, realizarea și implementarea unui sistem de monitorizare și diagnosticare sunt:

a. Monitorizarea „on-line” a unui transformator sau a mai multor transformatoare cu funcționare în regim permanent, aflate într-o stație electrică de transformare, prin care se asigura:

- determinarea încărcării transformatorului și a puterii tranzitate;
- măsurări de parametri în regim tranzitoriu;
- determinarea îmbătrânirii termice și, eventual calculul temperaturii,
- determinarea condiției de izolație (conținutul de gaz și umiditate);
- eficiența sistemului de răcire;
- determinarea variației volumului de ulei; stabilirea condițiilor de funcționare a pompelor și a ventilatoarelor;

- stabilirea stării izolatoarelor de trecere;
 - automatizări și protecții;
 - determinarea răspunsului în frecvență;
 - determinarea zgomotului și a spectrului de vibrații;
 - determinarea nivelului descărcărilor parțiale;
 - analiza multirezoluție a curentului sau a tensiunii;
 - determinarea forțelor electrodinamice și a solicitărilor locale;
- b. Monitorizarea „off-line” a transformatorului în scopul determinării stării acestuia în exploatare, prin introducerea de la consola, a rezultatelor măsurărilor efectuate off-line;
- În acest fel se asigură:
- determinarea stării izolației transformatorului;
 - determinarea stării înfășurărilor;
 - determinarea stării comutatorului de ploturi.
- c. Predeterminarea rezervei de viață a transformatorului, inspectarea regimurilor de funcționare, reprezentarea variației în timp a mărimilor măsurate și analizei evoluției parametrilor transformatorului.
- Determinarea duratei de viață se va face luând în considerare următoarele elemente:
- viteza relativă de degradare termică a izolației;
 - încărcarea transformatorului și timpul de funcționare la încărcarea respectivă;
 - timpul de atingere a limitelor parametrilor măsurați.
- d. Achiziția valorilor mărimilor electrice în regim de avarie pentru analiza cauzelor avariei și evaluarea stării funcționale a transformatorului.
- e. Supravegherea permanentă a funcționării transformatorului, comutatorului de prize, ventilatoarelor, pompelor, precum și a aparaturii de comanda și control.
- f. Avertizarea și, eventual, transmiterea unor comenzi corespunzătoare de schimbare a regimului de funcționare, în cazul în care valorile limită admisibile sunt depășite.
- g. Stabilirea comenzilor pentru acționările electrice, ale comutatorului de prize, ventilatoarelor și pompelor, în funcție de regimul de sarcină respectiv și de temperaturile specifice ale transformatorului.

1.6. Mărimi achiziționate „on-line” pentru un transformator

Se consideră necesară achiziționarea a cel puțin 50 de mărimi diferite, grupate astfel:

- Tensiunile de linie primare și secundare, curenții de linie primari și secundari, puterea electrică în primar și secundar, energia electrică transformată într-un interval de timp, frecvența, curenții prin conductoarele de legătură la masa.
- Temperaturile uleiului în diferite zone ale transformatorului ale înfășurărilor și miezului, conținutul de gaze, umiditatea uleiului și a aerului din conservator, nivelul uleiului, viteza uleiului prin radiatoarele de răcire, temperaturile uleiului la intrarea și la ieșirea din radiatoare;
- Zgomotele și vibrațiile transformatorului, presiunea în cuva și solicitările mecanice ale cuvei în regim anormal de funcționare.
- Curenții de descărcări parțiale în izolatoarele de trecere pe partea de înalta tensiune.

Sisteme supervizate sunt: înfășurările, izolația complexă, comutatorul de prize pentru reglajul tensiunii, ventilatoarele și pompele de răcire ale uleiului, automatizările și protecțiile.

1.7. Elementele hardware și software ale sistemului de monitorizare și diagnoza

Elementele hardware principale ale unui sistem de monitorizare sunt:

- un calculator industrial PC,
- un sistem modular de achiziție de date,
- senzori și traductoare,
- module pentru condiționarea semnalelor și conversia analog-digitală,
- interfețe seriale pentru achiziția/transmisia de la/la distanță a datelor.

Sistemul de monitorizare poate fi conceput în două variante:

- într-o primă variantă, calculatorul și sistemul de achiziție de date sunt amplasate în camera de comandă a transformatoarelor;

- a doua variantă presupune amplasarea calculatorului în camera de comandă, sistemul de achiziție de date fiind amplasat lângă transformator, într-un compartiment special amenajat, cu încălzire și ventilație, pentru a evita condițiile climatice externe.

În figura 1.9 [43] este prezentată schema simplificată a unui sistem de achiziție și prelucrare a datelor în timp real, destinat pentru supravegherea proceselor dintr-o rețea electrică, care realizează:

- culegere de date;
- stocare de date;
- actualizare baza de date;
- prelucrarea datelor în vederea luării unei decizii;
- transmiterea informației (către un centru de decizie sau către un operator).
- supraveghere și corectare on-line a regimului.

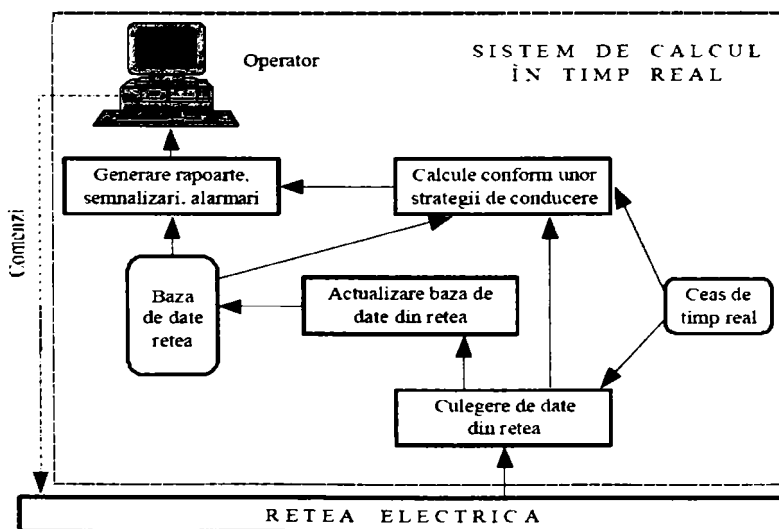


Figura 1.9 Schema unui sistem de achiziție și calcul, în timp real, pentru supravegherea unei rețele electrice.

Sistemele de achiziție de date asociate cu micro sistemele de calcul, în timp real, au ca principale avantaje:

- flexibilitatea și adaptabilitatea la o mare varietate de situații;
- creșterea gradului de automatizare a unor operații;
- mărirea preciziei măsurărilor;
- fiabilitate bună (număr redus de componente, posibilitatea de autotestare datorită programelor încorporate);
- miniaturizarea echipamentelor;
- posibilitatea prelucrării complexe a datelor din proces;
- simplificarea proiectării electrice și tehnologice datorită existenței familiilor de componente cu interconectări standard.

Așa cum se observă din figura 1.9 în procesul de prelucrare a informațiilor primare se disting mai multe etape:

- achiziția semnalelor din proces;
- adaptarea nivelului semnalului la valorile de intrare ale echipamentului de calcul;
- conversia analog-digitală a semnalelor (precum și eșantionarea/memorarea semnalului);
- procesarea eșantioanelor;
- înregistrarea și afișarea (opțional) a semnalelor achiziționate.

Datorită structurii sale modulare, sistemul de monitorizare poate fi echipat conform cerințelor clienților: se poate mări sau micșora numărul de senzori, fapt care determină numărul și tipurile modulelor de achiziție de date.

Baza software pentru monitorizare poate fi mediul de dezvoltare grafic LabVIEW sau Matlab sub Windows. Cu ajutorul acestor programe se poate crea și interfața utilizator, prin intermediul seturilor de instrumente grafice de care dispune pachetul grafic LabVIEW sau Matlab.

Aplicația software preia mărimile de intrare, le formatează și le înscrie în fișiere împreună cu datele de configurare a măsurării și cu informațiile de timp. Aplicația de monitorizare poate lucra sub orice sistem de operare Windows. În varianta finală, aplicația se prezintă sub forma unui fișier direct executabil ce poate rula independent.

Programul de monitorizare poate fi structurat astfel:

- O prima etapă este achiziția datelor la un anumit moment de timp și calcularea mărimilor derivate (putere, pierderi, conținut de gaze în ulei etc.). Pentru fiecare dintre ele se stabilesc limite permise;
- În etapa următoare se stabilește dacă una sau mai multe valori măsurate se află în afara limitelor; În situația existenței unor astfel de valori se pornește o procedură de alarmare, care constă din două sub-etape:
 - a. prima dată se creează un fișier de alarmă care conține informațiile despre valorile alarmante măsurate în ultima oră înainte de eveniment,
 - b. apoi, opțional, se execută transmiterea informațiilor de avertizare și la alte computere (de exemplu, la dispecer), prin modem sau satelit;
- În final, după procedura de alarmare, și nu numai, se face o verificare dacă s-au înregistrat valorile mărimilor pe durata întregului interval de măsură. În caz afirmativ este pornită procedura de diminuare a datelor: se reține o singură valoare a fiecărei mărimi măsurate, adică valoarea medie a mărimii măsurate de-a lungul intervalului de timp stabilit.

Un algoritm simplificat al aplicației software pentru monitorizarea transformatoarelor electrice de putere este prezentat în figura 1.10:

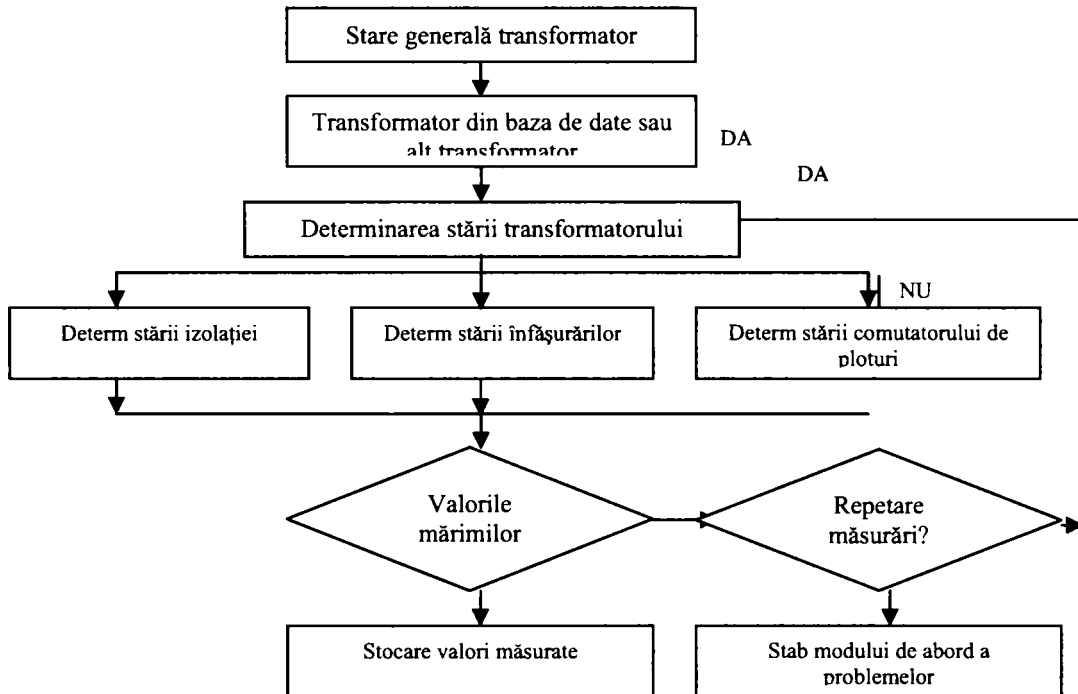


Fig. 1.10 Algoritm de monitorizare a transformatorului

Având în vedere considerațiile de mai sus, se poate afirma că monitorizarea este în strânsă relație cu:

- Starea echipamentului.
- Tensiunea și curentul în circuitele primare.
- Diagnosticul pentru mentenanța predictivă.
- Diagnostice pentru prevenirea apariției defectelor – monitorizarea putând să identifice defectele specifice care pot apărea în exploatare și nu au putut fi depistate la instalare. Tehnicile de diagnoză pot fi specifice sau generale.
- Suportul pentru exploatare sau mentenanță – de exemplu senzorii pentru detectarea temperaturii verifică dacă echipamentul poate fi utilizat la nivelul optim de încărcare pentru a putea suporta condițiile de suprasarcină. În plus, în cazul apariției unui defect intern localizarea rapidă a defectului poate deveni esențială în asigurarea realimentării rapide cu energie a consumatorilor.

1.8. Concluzii

Având în vedere considerațiile prezentate anterior, se poate spune că:

- În timpul funcționării transformatoarelor de putere, unul dintre cele mai complexe procese ce se desfășoară este migrația umidității din izolația solidă în ulei și invers, proces ce este foarte dependent de temperatură (atât a înfășurărilor cât și a uleiului);
- Temperatura de funcționare a transformatoarelor este influențată de mai mulți factori (pierderi suplimentare mari, contacte imperfecte, calitățile proaste ale agentului de răcire, funcționarea defectuoasă a bateriilor de răcire), dar factorul cel mai important îl constituie încărcarea (sarcina) acestora.

➤ Majoritatea parametrilor mășurați ce caracterizează starea tehnică a transformatoarelor de putere, sunt :

- dependenți de temperatură (R_{iz} , R_{Ω} , $tg\delta$, conținut de apă,);
- dependenți de conținutul de apă, de numărul și natura particulelor (E_{str} ulei, $tg\delta$ ulei, R_{iz} și $tg\delta$ înf.);
- influențați de condițiile mediului ambiant (R_{iz} , $tg\delta$,);
- influențați de gradul de curățire al trecerilor izolate (R_{iz} , $tg\delta$,);
- influențați de gradul de curățire al recipientilor în care se face prelevarea probelor de ulei;
- influențați de tipul și de clasa de precizie a aparatelor.

Atât din considerente tehnice, cât și din considerente economice, este necesară modernizarea stațiilor de transformare, prin instalarea unor sisteme de monitorizare și diagnosticare, care pun la dispoziție informațiile necesare pentru luarea la timp a măsurilor necesare pentru creșterea duratei de utilizare a transformatoarelor existente în exploatare. Costul unui sistem de monitorizare capabil să măsoare parametrii care influențează vital funcționarea transformatorului este relativ redus ($\sim 0,5$ % din costul unui transformator nou) și este în continuă scădere datorită reducerii continue a costului componentelor.

Pentru monitorizarea transformatoarelor, pe lângă măsurările „on-line”, se folosesc și măsurările „off-line”. În cadrul măsurărilor „off-line” se folosesc valorile parametrilor mășurați cu ajutorul instrumentelor de măsură și înregistrare directă sau grafică a datelor caracteristice, pentru evaluarea stării funcționale a transformatoarelor. Pentru obiectivitatea rezultatelor, precum și pentru măsurarea cu precizie a parametrilor este necesară utilizarea unor instrumente de măsură performante, mai ales pentru determinarea parametrilor vitali (rezistența de izolație, tangenta unghiului de pierderi dielectrice, valoarea descărcărilor parțiale, conținutul de umiditate etc.), precum și a parametrilor uzuali ai transformatorului: pierderile în transformator, rezistența și reactanța de scurtcircuit, conținutul de gaze din ulei, rigiditatea dielectrică a uleiului. Prin intermediul aplicației software pentru monitorizarea transformatoarelor electrice de putere, se poate determina cu precizie starea transformatoarelor și rezerva duratei de viață, realizându-se o bază de date pentru beneficiar, asigurând cunoașterea (vizualizarea) stării transformatoarelor în orice moment. De asemenea, se pot prelucra datele achiziționate în scopul stabilirii tendinței de evoluție în timp a parametrilor transformatorului.

Contribuțiile aduse de autor sunt:

- Sistematizarea și prezentarea într-o formă specifică echipamentelor electrice a materialelor referitoare la noțiunile de menținere și monitorizare existente în literatura de specialitate;
- Analiza componentelor menținerei corective și a menținerei preventive, prezentarea unui algoritm de realizare a menținerei;
- Prezentarea ierarhică, pe nivele de complexitate a modurilor de verificare a transformatoarelor electrice de putere;
- Prezentarea într-o formă adecvată a unui algoritm de monitorizare a transformatoarelor electrice.

ASPECTE PRIVIND FIABILITATEA ECHIPAMENTELOR ELECTRICE

2.1. Conceptul de fiabilitate

Indiferent de tipul de companie, de producere, transport sau distribuție principalele obiective privesc reducerea costurilor de întreținere a echipamentelor precum și creșterea siguranței în funcționare a acestora.

Noțiunea de fiabilitate [54, 70, 163], numită inițial siguranță în funcționare, s-a desprins inițial din conceptul de calitate. Astfel, calitatea reprezintă totalitatea proprietăților unui produs care-l fac corespunzător scopului pentru care a fost creat, în timp ce fiabilitatea este definită ca fiind capacitatea produsului de a-și păstra calitățile pe toată durata de funcționare, pe toată durata sa de viață.

Astfel, conceptul de fiabilitate poate fi privit astfel:

- mărime care caracterizează siguranța în funcționare a unui sistem tehnic;
- ansamblul proprietăților calitative ale unui sistem tehnic, proprietăți datorită cărora sistemul tehnic va fi utilizat un timp cât mai lung în condițiile prescrise;
- măsură a probabilității de bună funcționare la parametrii specificați.

Conceptul de fiabilitate este inseparabil de capacitatea produsului de a fi reparat, de a fi repus în funcțiune după defectare, capacitate numită mentenabilitate.

Proprietatea produselor de a fi fiabile, presupune funcționarea optimă a acestora în scopul pentru care au fost create, ele îndeplinind o anumită funcție sau un anumit serviciu. Dacă inițial se urmărea funcționarea produsului un timp nelimitat, în concordanță cu progresul tehnico-științific, concepția s-a schimbat, în sensul că se urmărește funcționarea unui produs un timp limitat, dar la nivelul optim al performanțelor. Se poate spune că în prezent se poate vorbi de conceptul de calitate în timp. Ca urmare, se poate spune că timpul este o componentă intrinsecă, inseparabilă a fiabilității. Un alt factor care influențează fiabilitatea unui produs îl constituie factorii de mediu care determină funcționarea la parametrii optimi a produsului. Mediul influențează atât performanțele produsului, cât și durata de utilizare, durata de viață a acestuia. Dacă produsul este utilizat în alte condiții decât în cele pentru care a fost proiectat, funcționarea acestuia poate fi perturbată, ducând în timp la defectarea produsului.

Conceptul de fiabilitate este strâns legat de conceptul de probabilitate. Astfel, dacă în trecut se făcea o previzionare certă a bunei funcționări a unui produs, practica a demonstrat că funcționarea corespunzătoare în timp unui produs nu poate fi considerată niciodată certă 100%, existând întotdeauna un factor de risc. Ca urmare, comportamentul unui produs în timp, este descris prin prisma teoriei probabilităților.

Fiabilitatea are un caracter dual: ca noțiune și ca domeniu [69, 70, 118].

Ca și concept, fiabilitatea are două laturi: latura calitativă, respectiv latura cantitativă.

Din punct de vedere calitativ, fiabilitatea definește capacitatea unui produs de a funcționa la un moment dat sau un timp dat, în scopul pentru care a fost construit.

Din punct de vedere cantitativ, fiabilitatea definește probabilitatea ca produsul să-și îndeplinească corect funcția pe toată durata de timp și în condițiile de funcționare specificate.

Ca și domeniu, fiabilitatea presupune siguranță, disponibilitate, mentenanță și securitate. În acest sens, calitatea poate fi considerată ca fiind fiabilitatea la momentul zero.

O clasificare a fiabilității se poate face din două puncte de vedere:

Din punct de vedere a modului de estimare, se deosebește:

- fiabilitate nominală – ca fiind fiabilitatea unui produs prescrisă prin specificații ca standarde, norme tehnice, respectiv inscripționată pe produs.
- fiabilitate estimată – ca fiind fiabilitatea unui produs determinată cu un interval de încredere, pe baza unor încercări în condiții de laborator sau de exploatare pentru produse identice.

Din punct de vedere al etapei de realizare a fiabilității, se deosebește:

- fiabilitate proiectată – ca fiind fiabilitatea unui produs determinată pe baza considerentelor privind concepția și proiectarea produsului, inclusiv pe baza fiabilității componentelor produsului în condițiile specificate;
- fiabilitatea experimentală – ca fiind fiabilitatea unui produs determinată pe baza încercărilor experimentale în condiții de laborator similare cu cele din exploatare;
- fiabilitatea operațională – ca fiind fiabilitatea unui produs determinată prin rezultate obținute din comportarea produsului în condiții de exploatare, un anumit timp, pentru un număr mare de produse similare.

Modul de depreciere a fiabilității este ilustrat în figura 2.1[56].

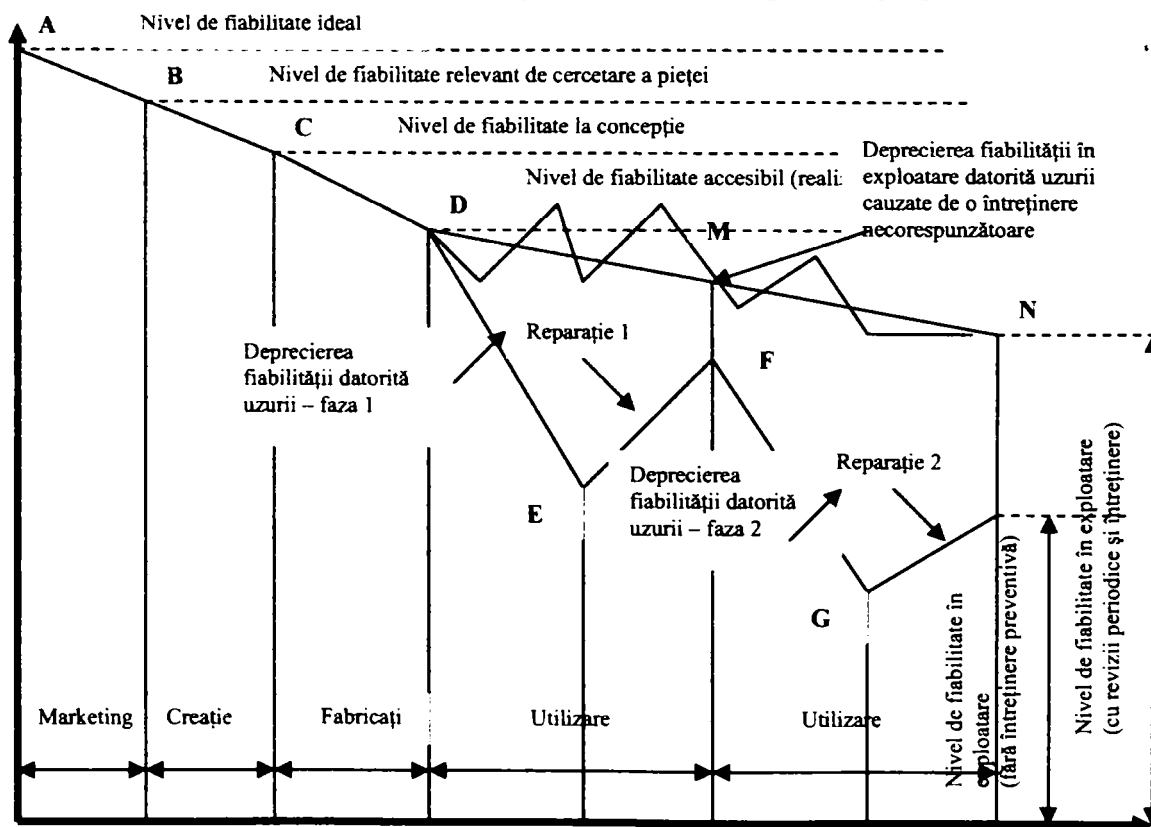


Figura 2.1 Deprecierea fiabilității între concepție și exploatare

Fiabilitatea centrată pe mentenanță are în vedere următoarele obiective:

- asigurarea unei funcționări corecte și fiabile a echipamentelor; asigurarea alimentării consumatorilor;
- garantarea siguranței publice și a protecției mediului;
- reducerea costurilor de înlocuire a transformatoarelor îmbătrânite cu altele noi.

2.2. Transformatoarele de putere, obiecte ale analizelor de fiabilitate

Transformatoarele de putere constituie echipamente care au rolul de a adapta valorile mărimilor electrice (tensiune, curent) de la nivelul rețelilor la nivelul consumatorului.

În analizele de fiabilitate, transformatorul electric de putere este considerat cu structura sa maximală, adică este privit ca un sistem format din următoarele subsisteme:

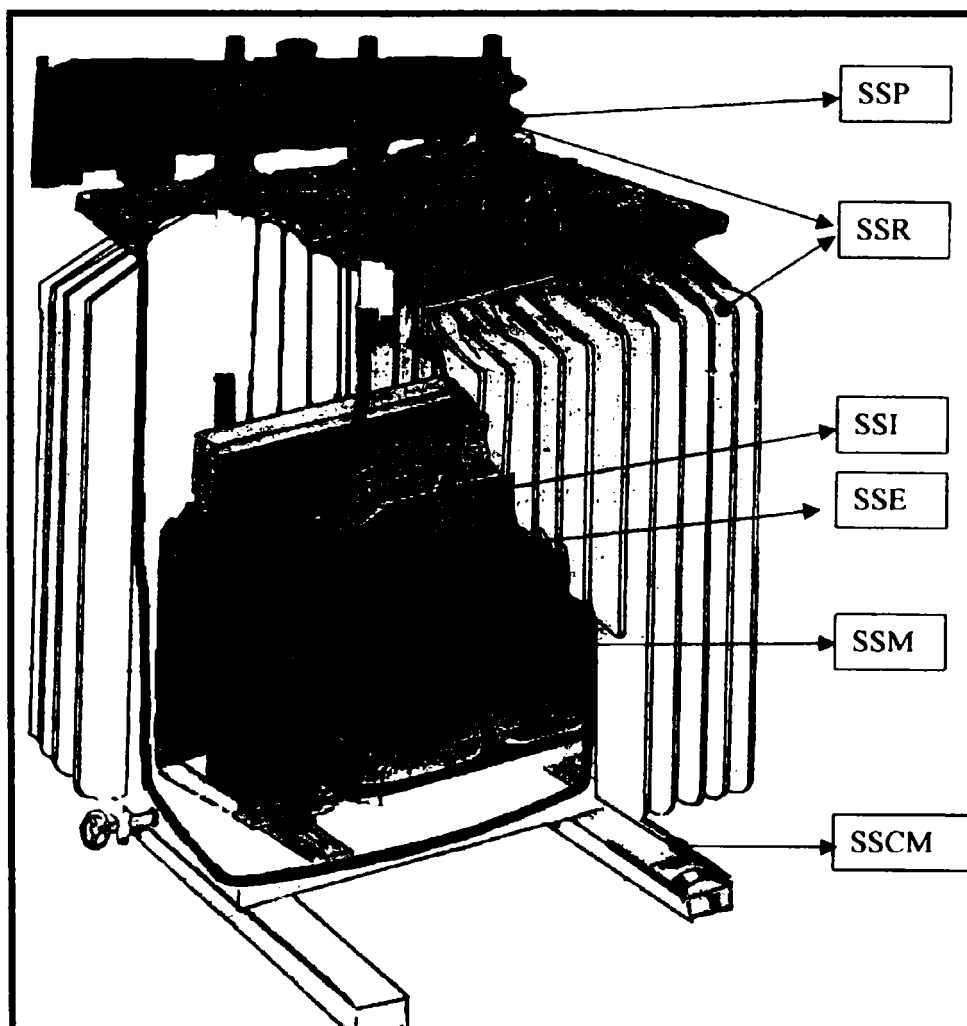


Figura 2.2 Structura transformatorului electric

- Subsistemul magnetic SSM;
- Subsistemul electric SSE;
- Subsistemul de izolație SSI;
- Subsistemul de consolidare mecanică SSCM;
- Subsistemul de răcire SSR;
- Subsistemul de autoprotecție SSP.

În aprecierea stării transformatoarelor se au în vedere atât parametrii tehnici ai transformatoarelor, cât și factorii care influențează comportarea acestora.

Într-o prezentare succintă, transformatoarele de putere sunt caracterizate prin următorii parametri tehnici [48, 68]:

Parametru - Descriere

Tensiunea nominală U_n - Tensiunea de linie la care sunt destinate să funcționeze în gol înfășurările transformatorului când cursorul comutatorului se află pe priza mediană;

Raportul de transformare nominal k_n - Raportul dintre tensiunea nominală a unei înfășurări și cea a unei alte înfășurări cu tensiunea nominală mai mică;

Puterea nominală S_n - Valoarea convențională a puterii aparente, luată ca bază la construcția transformatorului, la garanții și încercări;

Curentul nominal I_n - Curentul stabilit cu relația $S_n/\sqrt{3}\cdot U_n$

Frecvența nominală f_n - Frecvența la care este destinat să funcționeze transformatorul;

Pierderile nominale de mers în gol - Puterea activă absorbită când se aplică unei înfășurări tensiunea nominală la frecvența nominală, celelalte înfășurări fiind în gol;

Curentul nominal la mersul în gol i_0 - Media aritmetică a curenților pe fiecare fază a unei înfășurări în condiții de încercare de mers în gol;

Tensiunea nominală de scurtcircuit u_{sc} - Tensiunea necesară a fi aplicată uneia dintre înfășurările transformatorului, astfel încât prin înfășurarea respectivă să circule curentul nominal când bornele celeilalte înfășurări sunt scurtcircuitate (încercarea în scurtcircuit);

Pierderile nominale de scurtcircuit - Puterea activă absorbită de transformator în condiții de încercare de scurtcircuit.

Pe lângă acești parametri tehnici se mai urmăresc acele mărimi care pot caracteriza evoluția în timp a stării transformatorului:

- Rezistența de izolație a înfășurărilor R_{60} - folosită pentru stabilității umidității înfășurărilor; nu se normează, se compară valorile măsurate anterior la aceeași temperatură, dar nu trebuie să scadă sub 70% din rezistența de izolație inițială;
- Coeficientul de absorbție R_{60}/R_{15} - la PIF nu trebuie să fie mai mic decât cele din fabrică cu mai mult de 5%, iar în exploatare nu se normează;
- Tangenta unghiului de pierderi dielectrice $tg\delta$ și a capacității izolației complexe a înfășurărilor - creșterea acestuia fiind determinată de degradarea chimică a uleiului, de umezirea acestuia, de îmbătrânirea izolației solide afectată de umezeală, oxigen și temperatură; la PIF valoarea $tg\delta$ nu trebuie să depășească cu mai mult de 30% valoarea de fabrică, iar în exploatare se compară cu valorile anterioare obținute la aceeași temperatură;

- Rezistența ohmică – prin care se urmărește depistarea eventualelor întreruperi, verificarea sudurilor sau lipiturilor la conductoarele bobinelor sau determinarea rezistenței reale a înfășurărilor;
- Raportul de transformare – pentru care se fac cel puțin patru citiri, valoarea raportului de transformare fiind media aritmetică a citirilor efectuate; valoarea măsurată luată pe aceleași prize nu trebuie să difere cu mai mult de 2% între faze;
- Grupa de conexiuni.

Volumul de echipamente din categoria transformatoare și autotransformatoare de putere din cadrul SEEA și care fac obiectul studiului de fiabilitate operațională este prezentat în tabelul 2.1.

COD TRAFO	STATIA	TRAFO		IT (KV)	JT (KV)
		NR TRAFO	PUTERE (MVA)		
T1, T2	LIPOVA	2	16	110	20
T3, T4	SEBIS	1	25	110	20
		1	16	110	20
T5	PANCOTA	1	16	110	20
T6, T7, T8	MURESEL	1	25	110	20
		1	25	110	6
		1	16	20	6
79, T10	PADURICE	1	25	110	6
		1(răcire forțată)	25	110	6
T11	TEBA	1	25	110	20
T12, T13	POLTURA	2	25	110	20
T14, T15	FANTANELE	2	25	110	20
T16, T17	CURTICI	2	25	110	20
T18	PECICA	1	25	110	20
T19, T20	SEMLAC	2	16	110	20
T21, T22	BUJAC	2	25	110	25
T23, T24	CHISNEU CRIS	1	16	110	20
		1	25	110	20
T25, T26	UVA	2	25	110	6
T27, T28	GAI	2	25	110	20

Tabelul 2.1. Volumul de transformatoare electrice de putere din cadrul SEEA

2.3. Indicatorii de fiabilitate

Deoarece procesele care duc la îmbătrânirea echipamentelor nu pot fi identificate cu certitudine pentru a putea preveni momentul apariției defectărilor, se apelează la evaluări statistice a principalelor mărimi urmărite, cum ar fi durata de viață sau momentul apariției defectului.

Astfel, cu ajutorul teoriei probabilităților și a statisticii matematice, s-au definit indicatori de fiabilitate care pot exprima fiabilitatea echipamentelor.

Principalii indicatori de fiabilitate sunt [54, 56, 74, 93, 163]:

➤ Probabilitatea de bună funcționare $R(t)$

Probabilitatea de bună funcționare reprezintă probabilitatea ca un produs (dispozitiv, echipament) de a-și îndeplini funcția specificată în condiții date și de lungul unei durate de date și se exprimă prin expresia:

$$R(t) = \text{Prob}(t \geq T) \quad (2.1)$$

Unde: t – variabilă de timp (timp de misiune);

T – o limită specificată a duratei de bună funcționare.

Aplicând metode statistice, dacă se consideră:

N – numărul de produse a unei populații statistice;

N_0 – numărul de produse statistice din lotul studiat;

n – numărul de produse defectate;

t_i – intervalul de timp pe care s-a făcut studiul;

atunci probabilitatea de bună funcționare va fi:

$$R^*(t_i) = \frac{N_0 - n}{N_0} = \frac{N}{N_0} \quad (2.2)$$

unde $N = N_0 - n$ reprezintă numărul produselor aflate în funcțiune la sfârșitul duratei de timp pe care s-a făcut studiul t_i .

➤ Probabilitatea de defectare $F(t)$

Probabilitatea de defectare este o mărime complementară probabilității de bună funcționare și se definește prin expresia:

$$F(t) = \text{Prob}(t < T) \quad (2.3)$$

Considerând că dispozitivul se poate afla fie în stare de funcționare, fie în stare de defect, se poate scrie:

$$R(t) + F(t) = 1 \quad (2.4)$$

Pentru determinarea experimentală a probabilității de defectare se folosește relația:

$$F^*(t_i) = 1 - R^*(t_i) = \frac{n}{N_0} \quad (2.5)$$

➤ Funcția de frecvență sau densitatea distribuției $f(t)$

Densitatea distribuției arată frecvența relativă a căderilor Δn_i în intervalul de timp dat Δt_i conform relației:

$$\begin{cases} \Delta n_i = N(t_i) - N(t_i + \Delta t_i) \\ f^*(t_i) = \frac{\Delta n_i}{\Delta t_i * N_0} \end{cases} \quad (2.6)$$

unde: $\Delta n_i = f_i$ - frecvența absolută;

$\Delta t_i * N_0 = T_i$ - numărul total de ore de încercare în intervalul de timp dat.

Între cei trei indicatori de fiabilitate se poate stabili următoarele relații:

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt \quad (2.7)$$

$$R(t) = 1 - F(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt$$

➤ Rata căderilor (defecțiunilor) $Z(t)$

Rata căderilor sau intensitatea defecțiunilor se definește prin relația:

$$Z(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.8)$$

Experimental, rata căderilor se determină cu ajutorul expresiei:

$$Z^*(t_i) = \frac{f^*(t_i)}{R^*(t_i)} = \frac{\frac{\Delta n_i}{\Delta t_i * N_0}}{\frac{N}{N_0}} = \frac{\Delta n_i}{\Delta t_i * N} \quad (2.9)$$

➤ Media (m)

Media sau speranța matematică este dată de valoarea variabilei „ t ” egală cu suma produselor dintre valorile pe care le ia variabila și probabilitățile de apariție.

Dacă se consideră distribuția continuă, la limită, se poate scrie:

$$m = MTBF = \int_0^{\infty} R(t) dt = \int_0^{\infty} t f(t) dt \quad (2.10)$$

unde MTBF reprezintă timpul mediu de bună funcționare, adică media timpului de bună funcționare.

Determinările experimentale se fac cu ajutorul relației:

$$m^* = MTBF = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_{f_i}}{N_0} \quad (2.11)$$

unde: N_0 – numărul de dispozitive;
 t_f – durata de funcționare pentru fiecare dispozitiv;
 m – media;
 $t_{f_1}, t_{f_2}, \dots, t_{f_n}$ – valorile discrete ale duratei de funcționare.

➤ Dispersia σ^2

Dispersia σ^2 reprezintă abaterea valorilor variabile „ t ” de la media m a acestora și este dată de relația:

$$\sigma^2 = \int_0^{\infty} (t - m)^2 f(t) dt \quad (2.12)$$

Mărimea σ se numește abaterea medie pătratică și arată gradul de împrăștiere a valorilor variabilei (timpul de bună funcționare) în jurul mediei. Pentru o populație statistică, determinarea experimentală se face prin relația:

$$\sigma^{*2} = \frac{1}{N_0 - 1} * \sum_{i=0}^{N_0} (t - m)^2 \quad (2.13)$$

În practică, fiabilitatea echipamentelor electrice se determină prin indicatorii $Z(t)$, respectiv m și $R(t)$.

2.4. Mentenabilitatea și disponibilitatea echipamentelor

Așa cum a fost arătat anterior, mentenabilitatea reprezintă un concept care poate fi privit din două puncte de vedere: calitativ și cantitativ.

Din punct de vedere calitativ, mentenabilitatea reprezintă capacitatea unui echipament de a fi menținut sau repus în funcțiune în condiții date de utilizare, atunci când acțiunile de mentenanță au loc în condiții prestabilite și într-un timp dat cu metodele specificate.

Din punct de vedere cantitativ, mentenabilitatea reprezintă probabilitatea ca echipamentul să fie repus în funcțiune prin acțiuni specifice de mentenanță caracterizate ca și procedee, timp, remedii.

În acest sens funcția de mentenabilitatea poate fi definită ca fiind:

$$M(t) = \text{Prob}(t \leq T_r) , \quad (2.14)$$

unde : t – reprezintă timpul de reparare sau repunere în funcțiune ;

T_r – reprezintă limita impusă pentru timpul de restabilire ;

$M(t)$ – reprezintă funcția de mentenabilitate.

Probabilitatea ca repunerea în funcțiune să fie finalizată într-un interval de timp $[t+dt]$, pornind de la premiza că reparația a început în intervalul $[0,t]$ va fi:

$$dM(t) = [1 - M(t)] * Z(t) , \quad (2.15)$$

unde: $1-M(t)$ – reprezintă probabilitatea ca reparația să nu se finalizeze în timpul $[0,t]$;

$Z(t)=\mu(t)dt$ - reprezintă probabilitatea condiționată a finalizării reparației în intervalul de timp $[t, t+dt]$ atunci când echipamentul se află în reparație în intervalul $[0,t]$;

$\mu(t)$ – reprezintă rata (intensitatea) reparației (mentenanței).

Pornind de la condițiile inițiale nule, adică dacă se consideră $M(0)=0$, soluția ecuației diferențiale va fi:

$$M(t) = 1 - e^{-\int_0^t \mu(t) dt} \tag{2.16}$$

Considerând că acțiunea de mentenanță are loc în intervalul $[t_1, t_2]$, se obține :

$$M\left(\frac{t_1}{t_2}\right) = 1 - e^{-\int_{t_1}^{t_2} \mu(t) dt} \tag{2.17}$$

Considerând $\mu(t) = const = \frac{1}{MTR}$, MTR fiind media timpului de reparație, atunci se va obține:

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} = 1 - e^{-\frac{t}{MTR}} \tag{2.18}$$

Timpii de reparare t_1 și t_2 pot fi determinați fie prin experimentare, fie prin examinarea datelor tehnice, fie cu ajutorul arborilor de mentenanță.

Disponibilitatea reprezintă capacitatea unui echipament de a-și îndeplini funcția specificată sub aspectele de fiabilitate, mentenabilitate și management al acțiunilor de mentenanță la un moment dat sau într-un interval de timp specificat.

Astfel disponibilitatea poate fi definită ca fiind:

$$D(t) = R(t) + F(t) * M(t) \tag{2.19}$$

Considerând o distribuție exponențială pentru timpii de funcționare și restabilire, coeficientul de disponibilitate K_D va putea fi exprimat astfel:

$$K_D = \frac{MTBF}{MTBF + MTR} = \frac{\mu}{\mu + \lambda} \tag{2.20}$$

Similar pot fi definiți următorii coeficienți:

Coeficientul de indisponibilitate (proporția timpului inactiv):

$$K_I = \frac{MTR}{MTBF + MTR} = \frac{\lambda}{\mu + \lambda} \tag{2.21}$$

Coeficientul (proporția) de utilizare:

$$K_U = \frac{MTBF}{T_A}, \tag{2.22}$$

unde T_A reprezintă durata de analiză care include timpii de utilizare efectivă, timpii de mentenanță și timpii de stagnare.

Ca o concluzie se poate spune că în prezent caracterizarea unui echipament se poate face prin nivelul performanțelor tehnice, indicatorii de fiabilitate, mentenabilitate și disponibilitate, suportul mentenanței și costul care-l implică deținerea echipamentului.

2.5. Legi de distribuție ale variabilelor aleatoare folosite în studiul fiabilității echipamentelor electrice

Studiul fiabilității echipamentelor se face cu ajutorul unor legi care reflectă variația indicatorilor de fiabilitate în raport cu timpul [33, 53, 70, 109, 163].

2.5.1. Distribuția exponențială

Legea de distribuție exponențială face parte din categoria distribuțiilor continue.

Această lege de distribuție se caracterizează prin:

$$Z(t) = \text{constant} = \lambda \quad (2.23)$$

Principalii indicatori de fiabilitate au expresiile:

$$f(t) = \lambda * e^{-\lambda t}$$

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2.24)$$

$$m = \frac{1}{\lambda}$$

$$D = \frac{1}{\lambda^2}$$

în care indicatorii au semnificația specificată anterior.

Legea de distribuție exponențială permite un studiu optim al fiabilității transformatoarelor electrice de putere.

Variația principalilor indicatori în raport cu timpul este prezentată în figura 2.3:

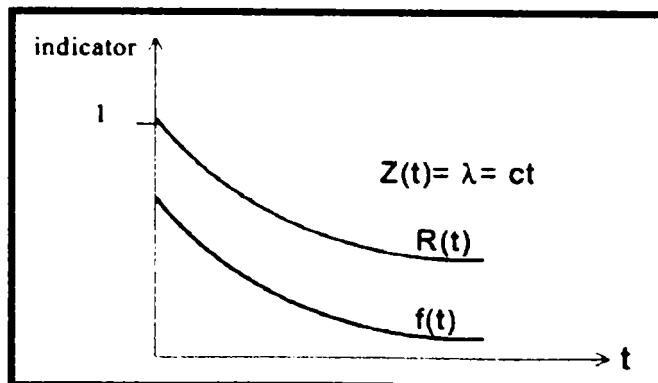


Figura 2.3 Variația în timp a indicatorilor de fiabilitate în cazul distribuției exponențiale

2.5.2. Distribuția Weibull

Această lege are un caracter mai general și se caracterizează prin :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.25)$$

în care:

γ – parametru de poziție care arată până la care nu se manifestă nici un defect;

η – parametru de dispersie (viața caracteristică);

β – parametru de formă care reflectă nivelul procesului intim de degradare.

Legea este folosită în mod special în cazul studiului duranței elementelor electrice și mecanice, în studiul oboselii materialelor.

Ceilalți indicatori de fiabilitate sunt:

$$Z(t) = \frac{\beta}{\eta} * \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (2.26)$$

$$f(t) = Z(t) * R(t)$$

Variația indicatorilor de fiabilitate în funcție de parametrii β (variabil), respectiv γ , η (constante) este reprezentată în figura 2.4:

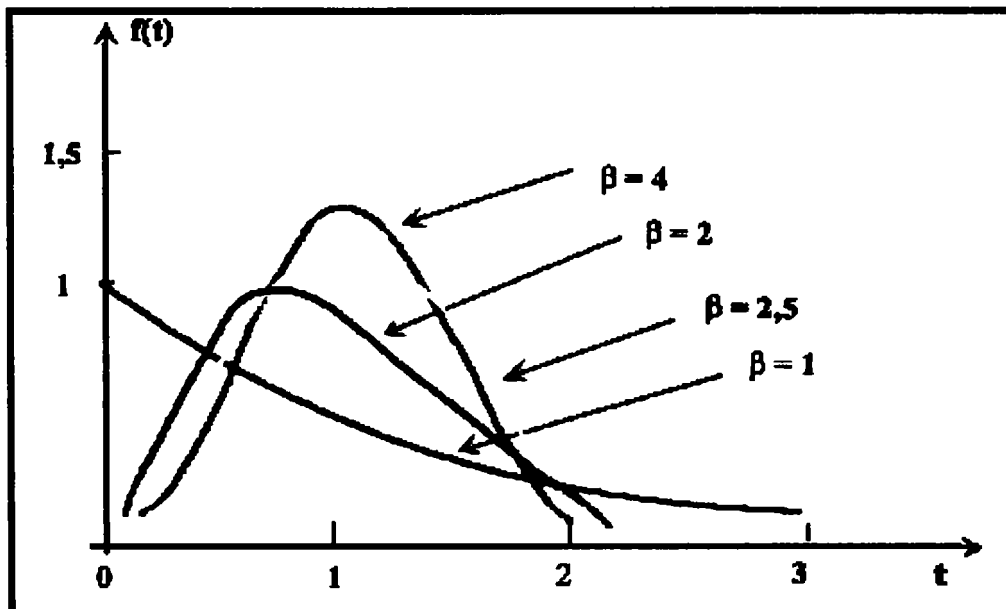


Figura 2.4 variația în timp a indicatorului $f(t)$ al distribuției Weibull

2.5.3. Distribuția normală (Gauss-Laplace)

Legea de distribuție normală reflectă variația unei variabile aleatoare în jurul mediei sale și se caracterizează prin:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.27)$$

unde parametrii au fost definiți anterior.

Variația indicatorului $f(t)$ este reprezentată în figura 2.5:

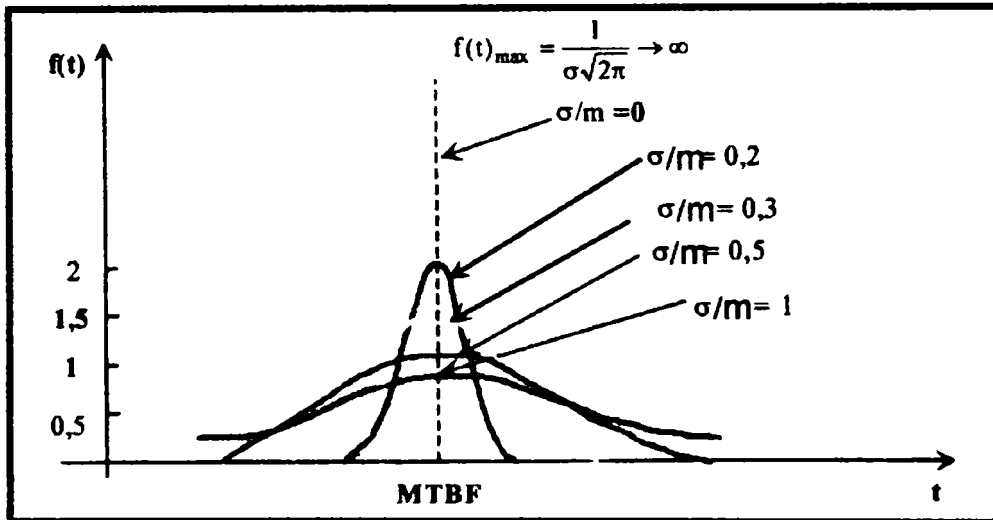


Figura 2.5 Variația în timp a indicatorului $f(t)$ în cazul distribuției normale

Această lege de distribuție este folosită în calculul statistic al erorilor, iar în fiabilitate caracterizează fenomenele de îmbătrânire electrică, mecanică sau termică a echipamentelor electrice.

2.6. Studiul fiabilității previzionale a transformatoarelor de putere

Studiul fiabilității previzionale ale transformatorului de putere pornește de la ideea că, deși față de alte echipamente transformatorul se dovedește a fi cel mai fiabil în timp, totuși fiind o componentă esențială a sistemului electroenergetic, poate avea un impact major asupra fiabilității întregului sistem din care face parte.

Transformatorul poate fi considerat ca un element bivalent [8, 33, 54, 70] cu două stări din punct de vedere al fiabilității: F – funcționare, respectiv D - defect.

Analiza fiabilității previzionale poate fi realizată pe baza structurii transformatorului sau pe baza funcției pe care acesta o are în sistemul electroenergetic.

2.6.1. Analiza fiabilității previzionale la transformatoarele de putere pe baza structurii acestora

O analiză a fiabilității transformatoarelor de putere poate fi făcută pe baza indicatorilor de fiabilitate, fie pe baza diagramei echivalente simplificate, fie pe baza grafului stărilor și aplicarea metodei lanțurilor lui Markov [33, 54, 56, 163].

În acest sens, transformatorul de putere este considerat un sistem serie format din următoarele subsisteme:

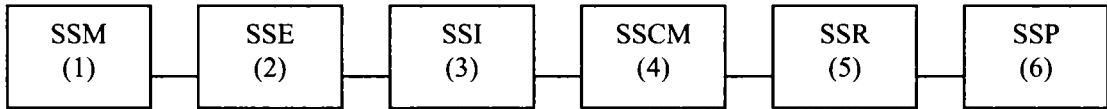


Figura 2.6 Diagrama echivalentă simplificată a transformatorului de putere

- unde: SSM – subsistemul magnetic
- SSE – subsistemul electric
- SSI – subsistemul de izolație
- SSCM – subsistemul de consolidare mecanică
- SSR – subsistemul de răcire
- SSP – subsistemul de autoprotecție

Având în vedere indicatorii specifici de fiabilitate și caracterul serial ca sistem al transformatorului, se poate realiza graful stărilor pentru analiza simplificată a siguranței în timp a transformatorului de putere, în care 0 constituie starea de succes, respectiv $i=1 \rightarrow 6$ stări de insucces (când unul dintre subsisteme poate fi defect)[54]:

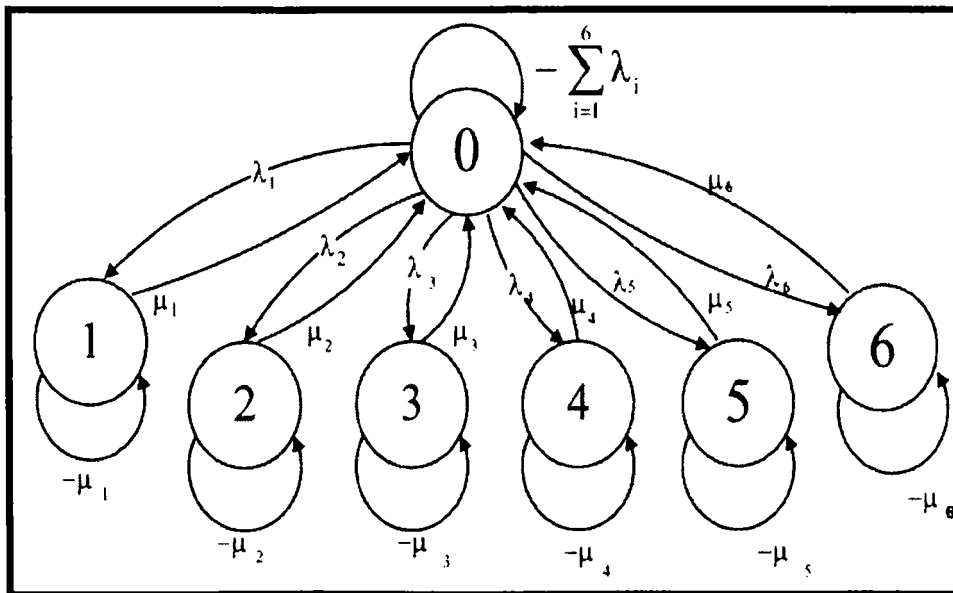


Figura 2.7 Graful stărilor pentru analiza simplificată a siguranței de timp a transformatoarelor de putere

Disponibilitatea transformatorului de putere poate fi analizată cu ajutorul variabilelor timp și putere pe baza cărora s-a realizat și diagrama putere-timp a transformatorului de putere [54, 56]:

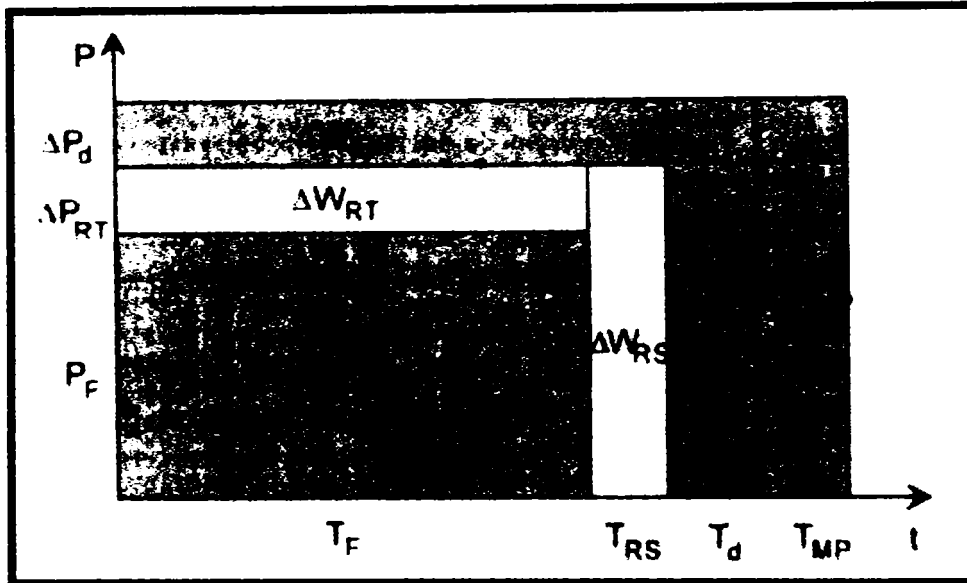


Figura 2.8 Mărimile caracteristice pentru definirea disponibilității transformatoarelor electrice de putere

Unde mărimile reprezentate constituie:

Mărimi caracteristice de timp:

T_A – durata de analiză;

T_F – durata de funcționare în sarcină și rezervă caldă;

T_{RS} – durata de stagnare ca rezervă statică (rece);

T_d , T_{MP} – durata de nefuncționare provocată de căderile prin avarie (T_d), respectiv de lucrările de mentenanță preventivă (T_{MP}).

Mărimi caracteristice de putere:

P_N – puterea nominală a transformatorului;

P_T – puterea tranzitată;

ΔP_{RC} – reducerea de putere (puterea netranzitată în T_F) datorită funcționării ca rezervă caldă;

ΔP_{RF} – reducerea forțată de putere datorită unor indisponibilități necatastrofice ale subsistemelor (SSM, SSE, SSR).

Mărimi caracteristice de energie:

W_T – energia transizată;

ΔW_{RC} , ΔW_{RS} – netranzitul de energie în perioada de rezervă (RC, RS);

ΔW_{RC} , ΔW_{RC} , ΔW_{RC} – energia indisponibilă în secundarul transformatorului electric de putere datorită indisponibilităților necatastrofice, respectiv a defectelor catastrofice și a lucrărilor de mentenanță preventivă.

Analiza fiabilității previzionale pe baza structurii transformatorului electric de putere are în vedere siguranța de timp, disponibilitatea de timp, puterea și energia transformatorului pe baza stărilor prin care trece transformatorul aflat în exploatare și pe baza unei singure funcții a transformatorului, cea de tranzitare a puterii solicitate în secundar.

2.6.2. Analiza fiabilității previzionale la transformatoarele de putere pe baza funcțiilor acestora în cadrul SEE

Analiza fiabilității previzionale pe baza funcțiilor pe care le îndeplinesc fiecare dintre subsistemele transformatorului electric de putere are în vedere următoarele funcții:

f_1 - autoprotecția transformatorului; se referă la posibilitatea ca transformatorul electric de putere să-și asigure securitatea intrinsecă prin reacția corespunzătoare a elementelor din structura SPP;

f_2 - izolare și separare galvanică; se referă la păstrarea performanțelor de rigiditate dielectrică între elementele sub tensiune ale transformatorului electric de putere și pământ, respectiv între elementele transformatorului electric de putere aflate la tensiuni diferite;

f_3 - conservare a calității energiei electrice tranzitată; se referă la faptul că prin starea în care se află anumite elemente ale transformatorului electric de putere, acestea nu trebuie să constituie o sursă de regim deformant sau nesimetric;

f_4 - tranzitul sarcinii (puterii) solicitate în regim de durată;

Funcțiile f_3 și f_4 au în vedere și posibilitățile de reglaj a tensiunii de către comutatorul de ploturi al transformatorului electric de putere.

Tabelul 2.2 arată funcțiile și subsistemele corespunzătoare din transformatorul electric de putere care concură la îndeplinirea acestor funcții:

Funcția	Subsisteme	Funcția	Subsisteme
f_1	SSP	f_3	SS, SSM, SSE
f_2	SSCM, SSI	f_4	SS, SSR

Tabelul 2.2 Codificarea funcțiilor de stare a subsistemelor transformatorului electric de putere

Cu funcțiile codificate mai sus se poate realiza graful stărilor transformatorului electric de putere raportat la funcțiile subsistemelor sale, folosind ca indicatori probabilitățile de stare și tranziție astfel: N - starea normală, fi - stările de insucces relative la funcțiile f_i [33, 56, 74, 105].

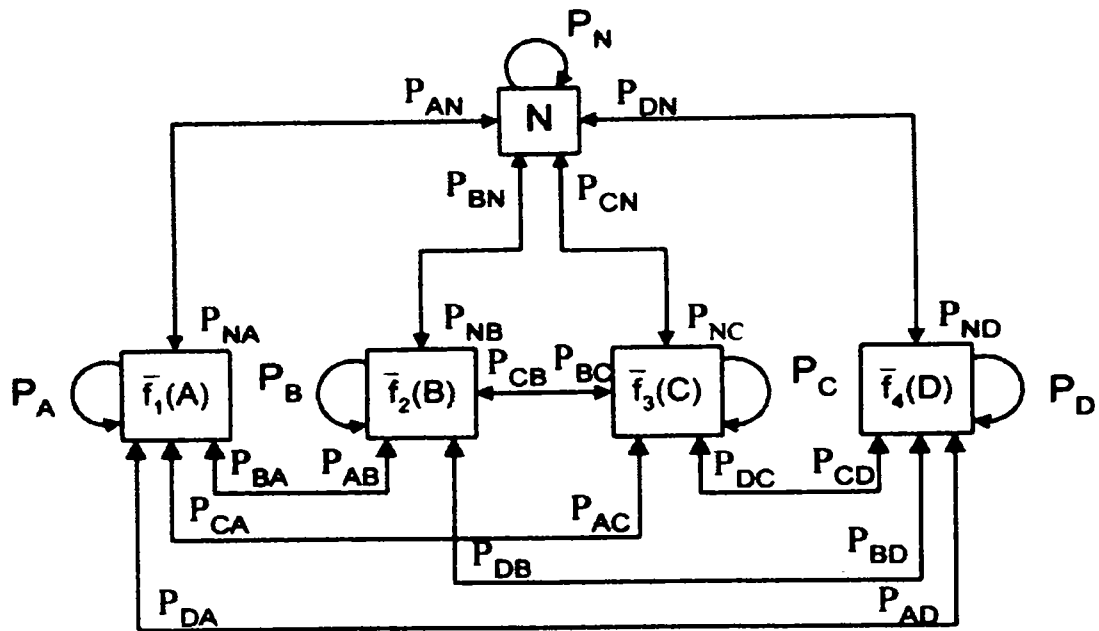


Figura 2.9 Graful de stări ale transformatorului electric de putere raportat la funcțiile subsistemelor sale

O analiză de fiabilitate a transformatorului electric de putere poate fi făcută și prin analiza modurilor de defectare ale elementelor componente ale acestuia cu specificarea indicatorilor prezentați în tabelul 2.3 [33, 56,163]:

Subsistem	Elemente	Mod de defectare						Indicatori afectați
		U	D	S	C	I	N	
0	1	2	3	4	5	6	7	8
SSM	Coloane			X				D_p
	Juguri			X				D_p
SSE	Înfășurări primare			X		X		S_t, D_p
	Înfășurări secundare			X		X		S_t, D_p
	Comutatorul de ploturi	X	X	X		X		S_t, D_p
	Elemente de intrare (leg. electrice la înfășurările primare)	X		X	X			S_t, D_p
	Elemente de ieșire (leg. electrice la înfășurările secundare)	X		X	X			S_t, D_p
	Elemente de legătură la comutatorul de ploturi	X		X	X			S_t, D_p

	Conexiunile între înfășurări				X			S_t, D_p
	Legătura de nul				X			S_t, D_p
SSI	Izolația buloanelor de strângere ale jugurilor			X				D_p
	Carcasele înfășurărilor							S_t
	Distanțorii de capăt ai înfășurărilor			X				S_t
	Izolația exterioară a înfășurărilor			X				S_t
	Izolatoarele de racord la primar		X	X				S_t
	Izolatoarele de racord la secundar		X	X				S_t
	Uleiul electroizolant		X	X				S_t
	SSCM	Schela inferioară a jugului		X				
Schela superioară a jugului			X					D_T
Buloane de strângere juguri		X						S_t
Tiranți de consolidare circuit magnetic		X						S_t
Tiranți de elemente de susținere trafo în cuvă		X						S_t
Elemente de fixare pe postament							X	D_t
Elemente de prindere și manevră (urechi, inele, disp. pt. ridicare cărucior pe roți)							X	-
SSR	Uleiul de transformator		X					D_p
	Cuva	X			X			S_t
	Radiatoare	X			X			S_t
	Conservatorul de ulei	X			X			D_t
	Garnituri de etanșare (cuva, conserv., izolat)	X	X					S_t
	Filtru		X					D_t
	Bușon de umplere conservator ulei	X						-
	Bușon golire	X						-

50 Aspecte privind fiabilitatea echipamentelor electrice

	conservator							
	Robinet separare conservator	X						D _t
	Bușon umplere cuvă	X						D _t
	Robinet golire	X						S _t
	Robinet prelevare probă ulei	X						S _t
	Robinet pentru uscare ulei	X						S _t
	Bușon pentru golire	X						S _t
	Indicator nivel ulei		X					D _t
	Instalație de răcire forțată						X	D _p
SSP	Eclatori		X					S
	Releu de gaze		X					S
	Supapă de siguranță		X					S
	Semnalizator nivel minim ulei		X					S
	Ecrane de protecție			X				S _t
	Elemente de legare la pământ						X	s

Tabelul 2.3 Defectele transformatorului electric de putere

În tabel s-au folosit următoarele notații:

- U – uzură;
- D – derivă (modificarea parametrilor, conturnare);
- S – străpungere;
- C – corodare;
- I – întrerupere;
- N – neidentificat;
- S – securitatea transformatorului sau a personalului;
- S_t – siguranța de timp;

Arborele de evenimente al transformatorului electric de putere poate fi realizat în raport cu diferite evenimente nedorite cum ar fi:

- Nerealizarea unei funcții;
- Nonsiguranța de timp;
- Nondisponibilitate de putere sau de energie;
- Defectarea unui subsistem al transformatorului electric de putere.

Pentru exemplificare s-a realizat arborele de evenimente în raport cu evenimentul „nerealizarea funcției de izolare și separare galvanică” (figura 2.10), respectiv „defectarea catastrofică a subsistemului de răcire” (figura 2.11):

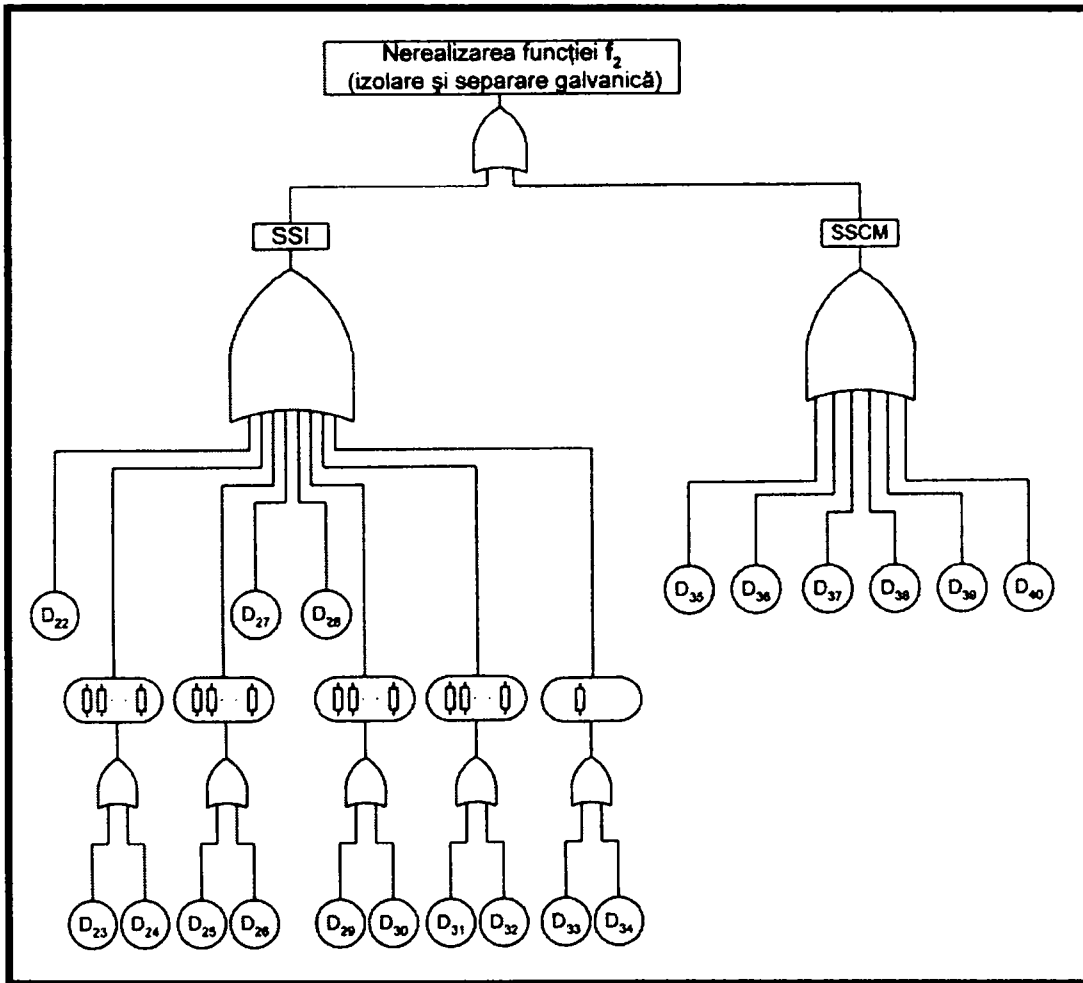


Figura 2.10 Arborele de evenimente al transformatorului electric de putere raportat la evenimentul nerealizării funcției de izolare și separare galvanică

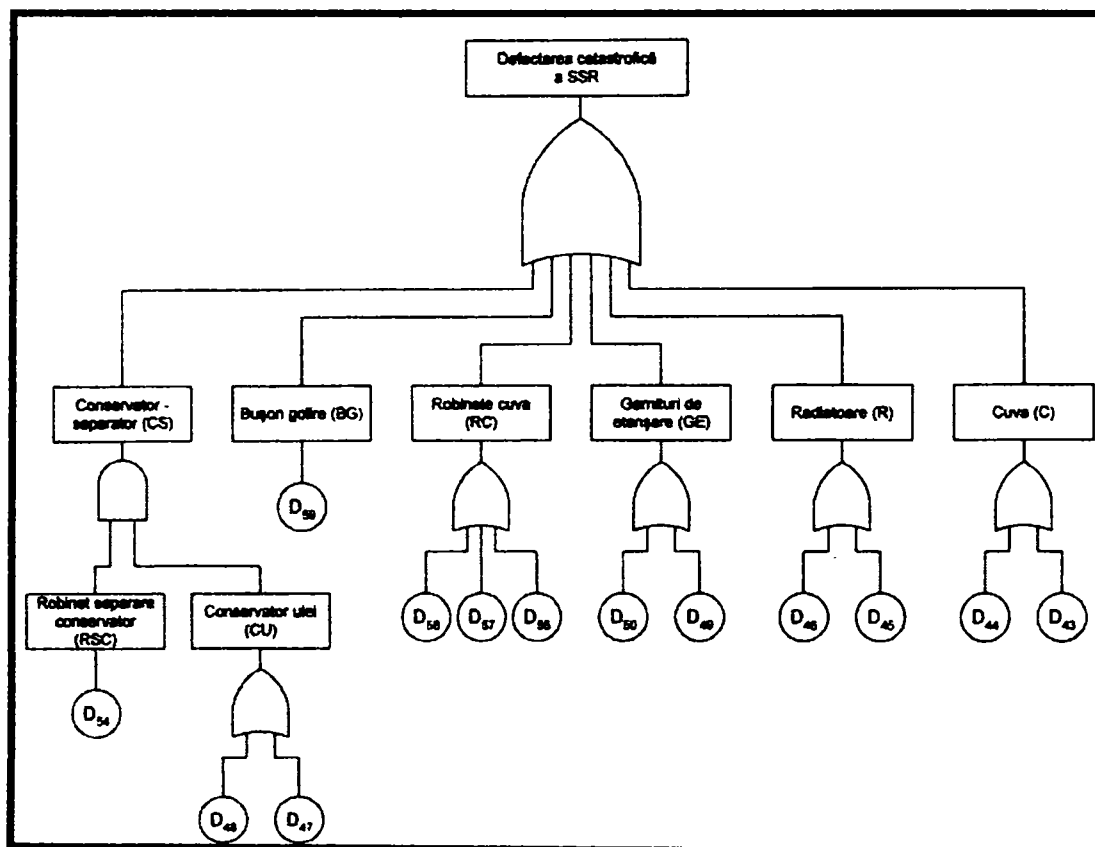


Figura 2.11 Arborele de evenimente al transformatorului electric de putere raportat la evenimentul „defectarea catastrofică a subsistemului de răcire”

Pe baza datelor obținute din urmărirea în exploatare a transformatoarelor de putere din cadrul SEEA au fost evaluați indicatorii de fiabilitate ai subsistemelor transformatoarelor de putere: R_i , F_i , μ_i , respectiv M_i . Evaluarea acestor indicatori s-a făcut cu considerarea distribuției exponențiale a variabilelor aleatoare TBF și TMC. Relațiile de calcul folosite sunt relațiile 2.28:

$$F_{TP} = \frac{\lambda}{\lambda + \mu}$$

$$F_i = \frac{\lambda_i [\%]}{100} F_{TP}$$

$$\mu_i = \frac{\nu_i [\%]}{\beta_i [\%]} \mu$$

$$M_i = 1 - e^{-\mu_i t}$$
(2.28)

unde: λ , μ – indicatorii fundamentali de fiabilitate ai transformatoarelor de putere
 F_{TP} – probabilitatea de cădere a transformatoarelor de putere;
 ν_i , β_i – ponderea numărului de căderi și a duratei căderii subsistemului (i) din valoarea totală a acestor indicatori la nivelul transformatoarelor de putere;

t_r =MTMC - intervalul de timp în care s-au finalizat lucrările de mentenanță corectivă, interval considerat ca fiind de 16 ore.

Cu aceste relații s-au obținut următoarele valori pentru indicatorii de fiabilitate calculați pentru transformatorul T₇ din stația Poltura:

Subsistemul	SSM	SSE	SSI	SSCM	SSR	SSP
Fi*105	2,951	26,1	29,1	2,95	29,07	46,75
$\mu_i[h_{-1}]$	0,062	0,034	0,054	0,068	0,057	0,087
M _i	0,59	0,48	0,58	0,61	0,62	0,69
R _i	0,95	0,94	0,96	0,98	0,97	0,95

Tabelul 2.4 Valorile indicatorilor de fiabilitate pentru subsistemele transformatorului T₇ Poltura

2.7. Studiul fiabilității operaționale la nivelul SEEA

În această parte a lucrării este prezentată o statistică a principalilor indicatori globali de fiabilitate prin care se poate evalua comportarea în timp a echipamentelor și implicit a transformatoarelor de putere ca părți ale echipamentelor electrice.

2.7.1. Numărul de incidente și durata disponibilității

Evoluția indicatorilor „număr de incidente”, respectiv „durata totală de indisponibilitate” în cadrul SEEA este reprezentată pentru perioada 1996 - 2006 în tabelul 2.5, respectiv grafic în figura 2.12. prelucrarea datelor statistice s-a făcut cu referire la totalul transformatoarelor electrice de putere din cadrul SEEA.

An	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Număr de incidente	321	340	285	378	380	330	324	350	339	360
Durata totală de indisponibilitate (ore)	1124	1215	1090	1321	1378	1276	1250	1220	1230	1311

Tabelul 2.5 Evoluția indicatorilor „Număr de incidente”, „Durata de indisponibilitate”

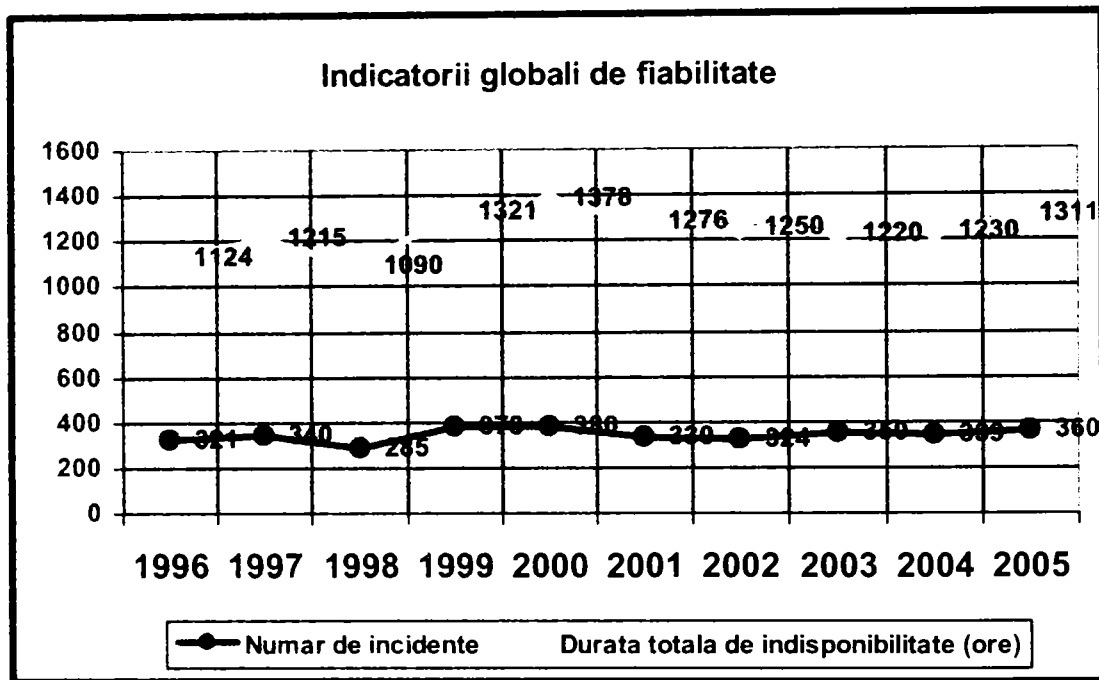


Figura 2.12 Graficul evoluției în timp a indicatorilor globali

Tabelul 2.6, respectiv figura 2.13 prezintă evoluția indicatorului „număr de incidente” pe categorii de echipamente:

An	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
LEA	123	197	145	168	156	172	134	181	175	162
LES	110	115	125	108	118	123	130	112	134	153
PT	34	25	43	52	20	39	30	42	19	20
SE	22	34	28	41	18	20	11	36	24	25

Tabelul 2.6 Evoluția în timp a indicatorului „Număr de incidente” pe categorii de instalații

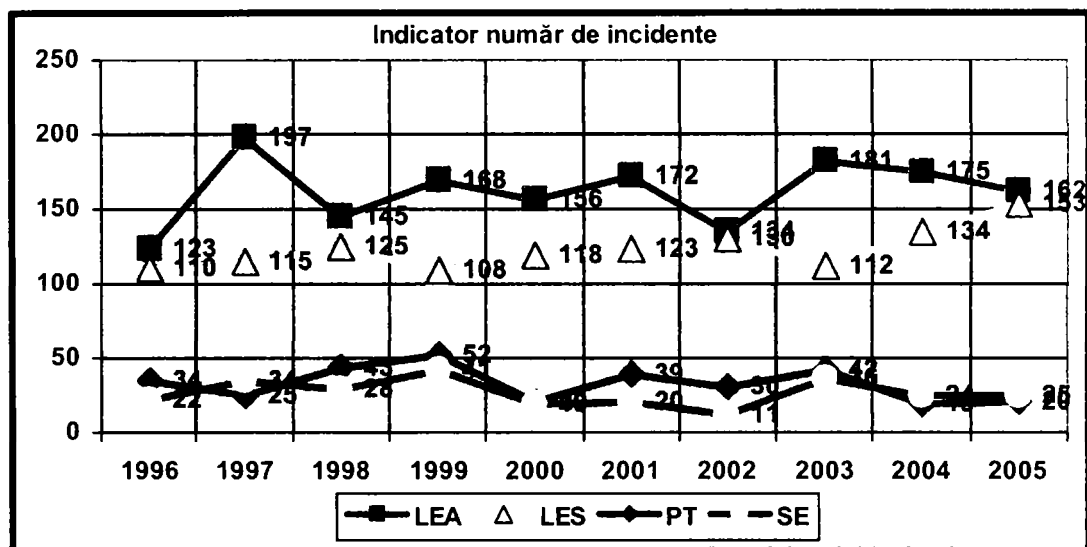


Figura 2.13 Graficul evoluției în timp a numărului de incidente pe instalații

Pornind de la cauzele care au determinat apariția defectelor, se poate face o statistică prin care să se poată aprecia ponderea fiecărei cauze din total, respectiv frecvența de apariție a unui defect. Se au în vedere condițiile normale de funcționare, condițiile atmosferice, umezeala, precum și alte cauze. În categoria alte cauze pot fi considerate aruncarea de corpuri străine, variațiile mari de temperatură, căderile de arbori, condițiile atmosferice extreme. Astfel tabelul 2.7, respectiv figura 2.12 realizează o ierarhizare a cauzelor care au dus la apariția defectelor instalațiilor:

Cauza	Procent
Funcționare normală în sarcină	67,7%
Vânt, furtună	12,1%
Descărcări atmosferice	12%
Pătrunderi de umezeală	2,44%
Altele	5,67%

Tabelul 2.7 Ierarhizarea cauzelor defectelor instalațiilor

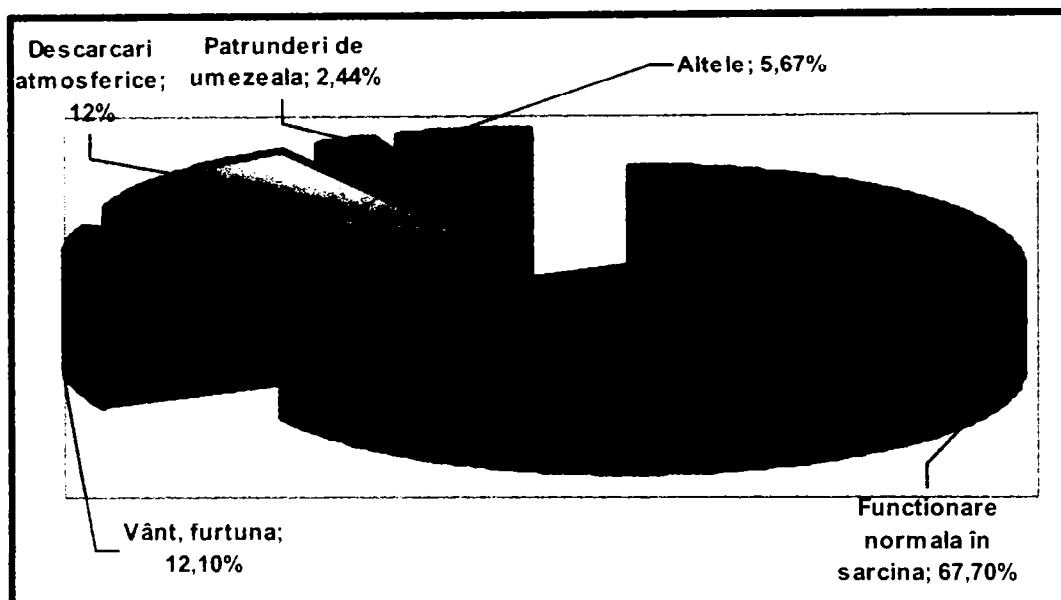


Figura 2.14 Graficul ierarhizării cauzelor defectelor instalațiilor

De asemenea prelucrarea datelor statistice poate oferi o apreciere a ponderii pe care o au transformatoarele de putere în cadrul echipamentelor. Această apreciere poate fi făcută prin cei doi indicatori „numărul relativ de căderi”, respectiv „durata relativă de indisponibilitate”.

Echipament	Număr relativ de căderi (%)
DRV	0,34%
Circuite secundare	1,52%
Separator	7,12%
Transformator de curent	11,87%
Transformator de curent	12,46%
Transformator de putere	27,86%
Înterupător	38,83%

Tabelul 2.8 Evaluarea indicatorului „număr relativ de căderi” pe echipamente

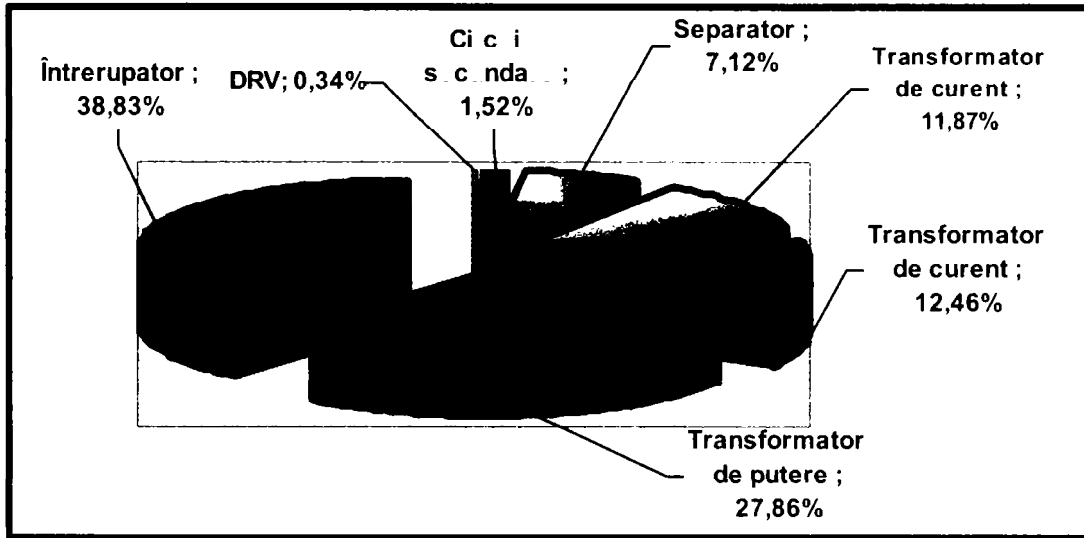


Figura 2.15 Variația indicatorului „număr relativ de căderi” pe echipamente

Echipament	Durata relativă de indisponibilitate (%)
DRV	0,51%
Circuite secundare	2,49%
Separator	2,70%
Transformator de tensiune	5,06%
Transformator de curent	9,71%
Transformator de putere	19,80%
Întreprupător	59,73%

Tabelul 2.9 Evaluarea indicatorului „durata relativă de indisponibilitate” pe echipamente

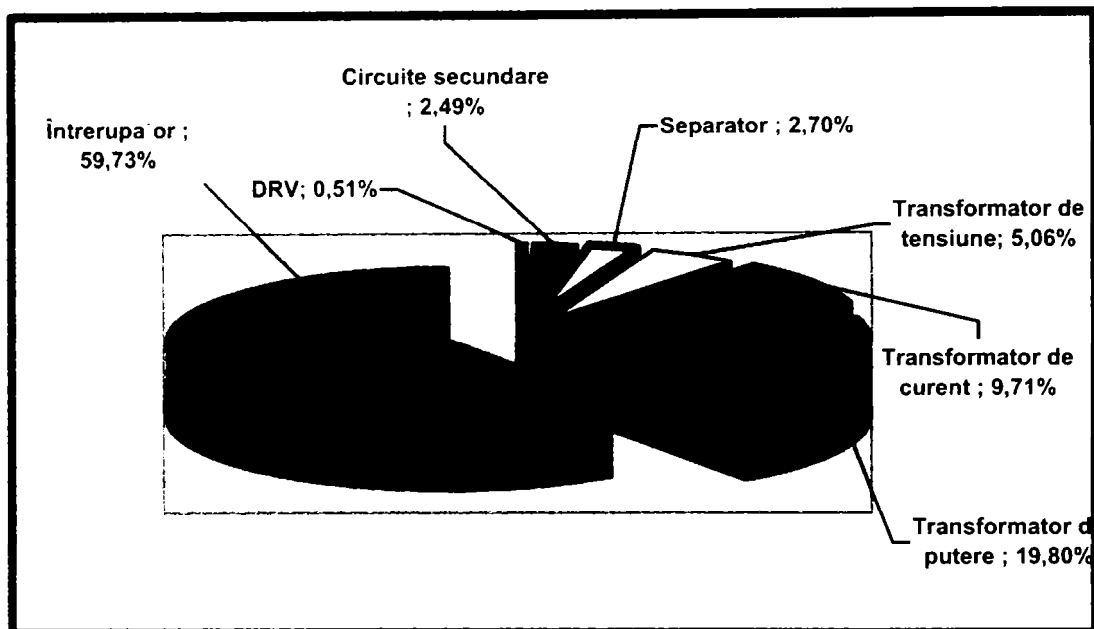


Figura 2.16 Variația indicatorului „durată relativă de indisponibilitate” pe echipamente

2.7.2. Indicatorii de fiabilitate ai transformatoarelor electrice de putere

Studiul de fiabilitate operațională a transformatoarelor de putere din cadrul SEEA a fost realizat pentru perioada de timp 1996 – 2005, pe volume ale populației (n) grupate pe game de puteri. Tabelul 2.7 prezintă valorile indicatorului „număr de căderi” $u(T_A)$ raportat la timpul de analiză pentru populația statistică studiată.

An			2000		2001		2002		2003		2004		2005	
$S_n > 10\text{MVA}$	n	$u(T_A)$	44	1	44	0	44	0	44	1	44	1	44	0
	$u(T_A)[\%]$		2,27%		0,00%		0,00%		2,27%		2,27%		0,00%	
$S_n < 10\text{MVA}$	$n/u(T_A)$		2118	34	2124	38	2140	28	2146	24	2152	40	2160	37
	$u(T_A)[\%]$		1,51%		1,79%		1,31%		1,12%		1,86%		1,71%	
Total	$n/u(T_A)$		2162	35	2168	38	2184	28	2190	25	2196	41	2204	37
	$u(T_A)[\%]$		1,62%		1,75%		1,28%		1,14%		1,87%		1,68%	

Tabelul 2.10 Volumul de transformatoare și numărul de căderi

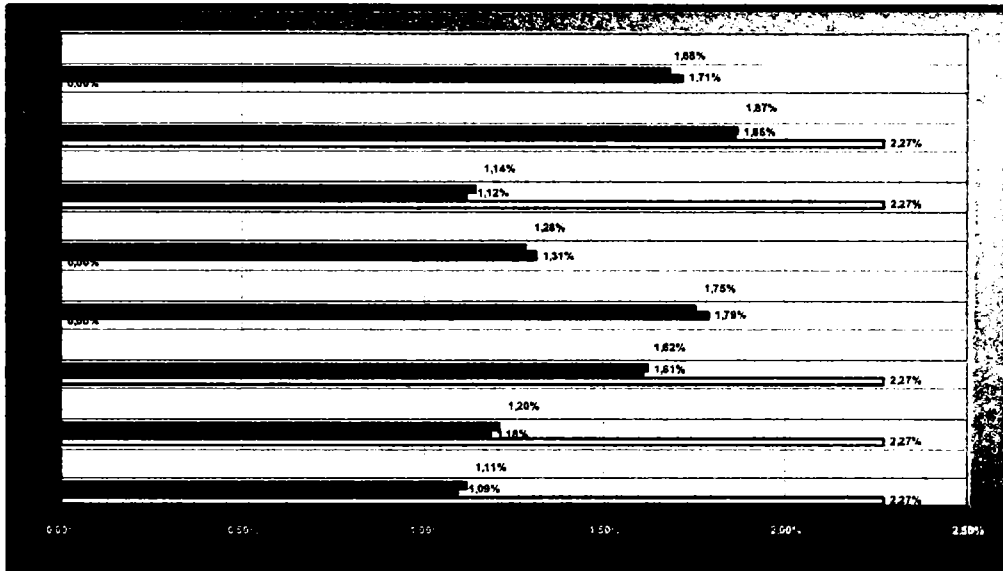


Figura 2.17 Variația indicatorului „număr de căderi” pe gamă de puteri în perioada 1998 - 2005

Unitatea	Lipova	Sebis	Pancota	Teba	Poitura	Fantanele	Bujac	
2000	n	260	233	250	30	42	120	20
	v(TA)	6	5	4	2	4	2	0
	vr(TA)	2,31%	2,15%	1,60%	6,67%	9,52%	1,67%	0,00%
2001	n	285	240	254	32	45	125	18
	v(TA)	4	5	7	1	2	7	1
	vr(TA)	1,40%	2,08%	2,76%	3,13%	4,44%	5,60%	5,56%
2002	n	302	243	248	35	43	128	16
	v(TA)	2	2	6	3	3	2	0
	vr(TA)	0,66%	0,82%	2,42%	8,57%	6,98%	1,56%	0,00%
2003	n	300	252	255	37	40	123	19
	v(TA)	3	6	8	3	0	7	2
	vr(TA)	1,00%	2,38%	3,14%	8,11%	0,00%	5,69%	10,53%
2004	n	288	250	253	32	38	120	21
	v(TA)	5	3	5	1	2	1	1
	vr(TA)	1,74%	1,20%	1,98%	3,13%	5,26%	0,83%	4,76%
2005	n	295	248	260	34	42	118	20
	v(TA)	3	8	2	4	3	5	2
	vr(TA)	1,02%	3,23%	0,77%	11,76%	7,14%	4,24%	10,00%
$v_m(T_A)$	4	5	5	2	2	4	1	
$v_{rm}(T_A)$	1,35%	1,98%	2,11%	6,89%	5,56%	3,27%	5,14%	

Tabelul 2.11 Statistica evenimentelor la transformatoarele de putere pe subunități între anii 2000 - 2005

O ierarhizare a elementelor sub aspectul impactului asupra transformatoarelor de putere este prezentată în tabelul 2.12, respectiv figura 2.18:

Element	Procent
Înfășurări primare	59,9%
Înfășurări secundare	14,68%
Carcasa înfășurărilor	0,83%
Izolația între înfășurări	4,62%
Izolatoarele de trecere	4,62%
Contacte electrice	3,6%
Garnituri de etansare	5,25%
Neclasificate	6,21%

Tabelul 2.12 Ierarhizarea elementelor sub aspectul impactului asupra defectării transformatoarelor de putere

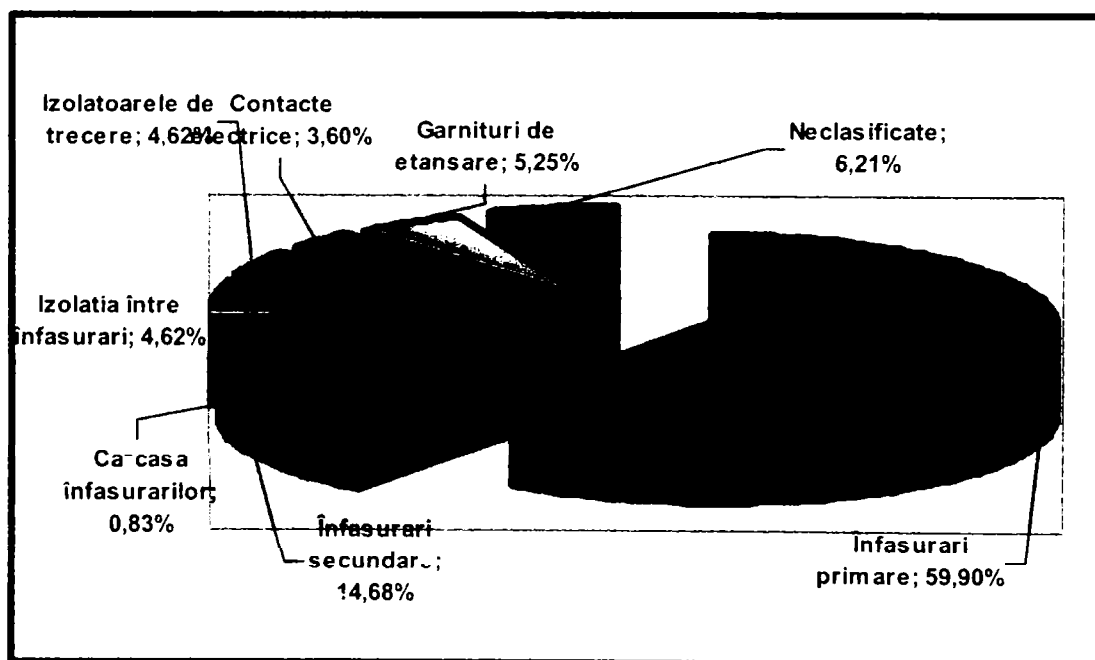


Figura 2.18 Graficul ierarhizării elementelor cu impact asupra transformatoarelor de putere

O statistică a cauzelor care au dus la defectarea transformatoarelor de putere este prezentată în tabelul 2.13, respectiv figura 2.19:

Cauza	Procent
Îmbătrânirea izolației	15,5%
Calitatea materialelor	35%
Supratensiuni	8%
Soluții constructive necorespunzătoare	2%
Mentenanță necorespunzătoare	13,5%
Acțiuni necontrolate ale persoanelor străine	4%
Altele	22,5%

Tabelul 2.13 Evaluarea procentuală a cauzelor care determină defectarea transformatoarelor de putere

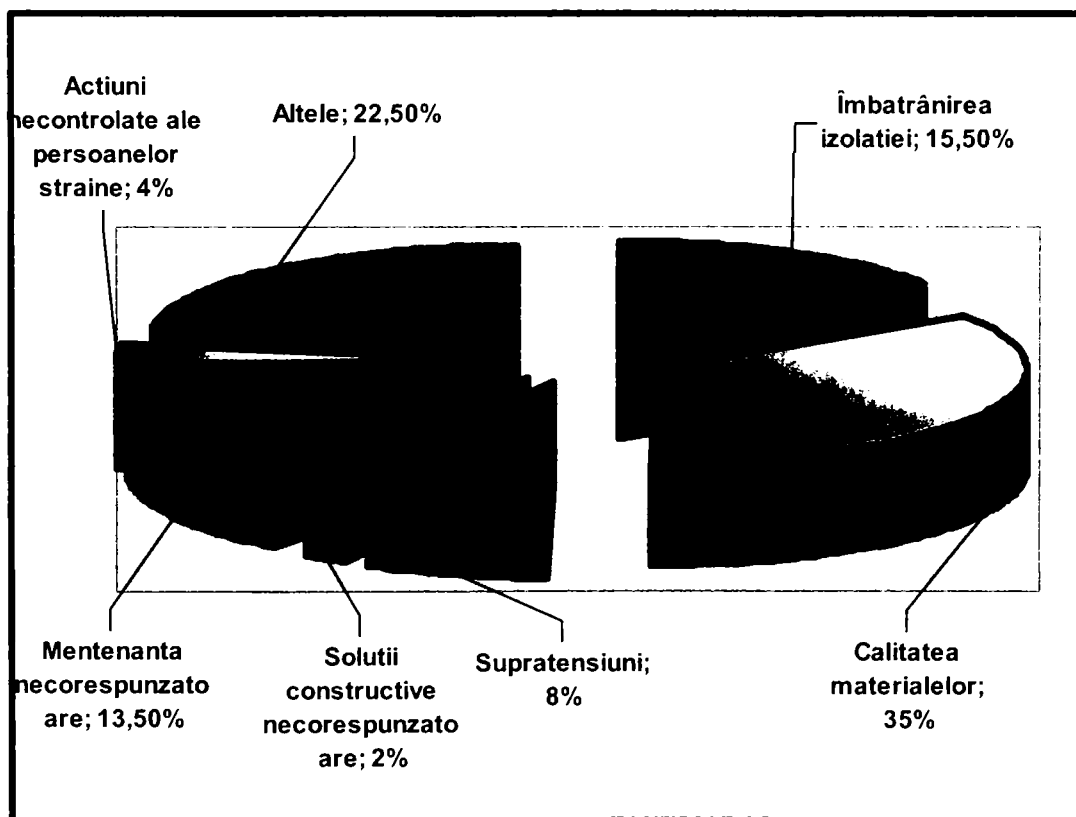


Figura 2.19 Graficul procentual al cauzelor defectării transformatoarelor de putere

Atât din prezentarea sintetică din tabel, cât și din reprezentarea grafică, se poate constata că o mare influență în comportarea transformatoarelor de putere o are izolația înfășurărilor, respectiv calitatea necorespunzătoare a materialelor .

Distribuția variabilelor aleatoare și indicatorii fundamentali de fiabilitate a echipamentelor electrice poate fi studiată cu următoarele precizări:

- Pot fi făcute prelucrări statistice cu referire la următoarele variabile aleatoare:
 - Timpul de bună funcționare TBF între două căderi succesive;
 - Timpul de defect TMC – durata lucrărilor de mentenanță corectivă;
 - Numărul anual de căderi.
- Echipamentele electrice pot fi încadrate din punct de vedere al fiabilității operaționale se împart în două categorii:
 - Echipamente cu nivel de fiabilitate satisfăcător NFS care au intensitatea de defectare de ordinul (10^{-4} ore⁻¹), categorie în care se încadrează transformatoarele de putere, întreruptoarele de înaltă tensiune și întreruptoarele de medie tensiune;
 - Echipamente cu nivel de fiabilitate bun NFB care au intensitatea de defectare de ordinul (10^{-5} ore⁻¹), categorie în care se încadrează separatoarele, transformatoarele de măsură și descărcătoarele de protecție.

În urma studiilor efectuate s-a constatat că legea de distribuție care modelează cu eroare minimă datele statistice ale transformatoarelor de putere, pentru parametrii TBF și TMC, este distribuția Weibull.

2.8. Concluzii

Abordarea și tratarea temelor sistematizate în acest capitol permit formularea următoarelor concluzii:

- Analiza fiabilității echipamentelor electrice presupune abordarea corelată a noțiunilor siguranță de timp, mentenabilitate, mentenanță și disponibilitate.
- Evaluarea indicatorilor de fiabilitate ai echipamentelor electrice impune urmărirea comportării în exploatare a acestora, sistematizarea și prelucrarea datelor statistice.
- În analizele de fiabilitate previzională echipamentele electrice trebuie tratate ca sisteme, evaluarea indicatorilor de fiabilitate previzională făcându-se pe baza diagramelor echivalente de fiabilitate, pe baza arborilor de evenimente sau pe baza lanțurilor Markov.
- În analizele de fiabilitate operațională este necesară identificarea numărului de stări prin care trec echipamentele, analizarea funcțiilor pe care le au echipamentele în cadrul SEE, precum și identificarea acelor factori care influențează indicatorii de fiabilitate;
- Din punct de vedere al analizei operaționale, existând o strânsă corelație între puterile nominale ale transformatoarelor electrice și nivelul de fiabilitate operațională, a impus tratarea transformatoarelor pe categorii de puteri, respectiv o analiză pentru transformatoarele de putere, respectiv cele de putere medie;
- În urma studiilor efectuate s-a constatat că elementele cu cel mai mare impact asupra fiabilității transformatoarelor electrice de putere sunt înfășurările;
- Principala cauză în defectarea transformatoarelor electrice de putere o constituie calitatea nesatisfăcătoare a unor materiale cum ar fi cele ale materialelor electroizolante.

Contribuțiile aduse de autor sunt:

- Sistematizarea și prezentarea într-o formă specifică echipamentelor electrice a materialelor referitoare la noțiunile de fiabilitate și mentenanță existente în literatura de specialitate;
- Prezentarea legilor de distribuție care modelează cel mai bine variabilele aleatoare ce caracterizează comportarea echipamentelor electrice: timpul de bună funcționare, timpul de mentenanță corectivă, timpul de mentenanță preventivă, respectiv numărul de căderi al echipamentelor electrice;
- Efectuarea unor studii de fiabilitate previzională și operațională asupra transformatoarelor electrice de putere din cadrul SEEA;
- Sistematizarea modurilor de defectare ale transformatoarelor electrice de putere și ale componentelor acestora;

Reprezentarea adecvată a transformatorului electric de putere prin diagrame de fiabilitate, grafuri de stări și arbori de evenimente și defectare în scopul realizării studiului de fiabilitate previzională și operațională.

MODELAREA NUMERICĂ A SOLICITĂRILOR DIN DIELECTRICI ȘI ESTIMAREA DURATEI DE VIAȚĂ A SISTEMELOR DE IZOLAȚIE

3.1. Solicitățile transformatoarelor electrice de putere

În condiții normale de exploatare, transformatorul este supus unui cumul de solicitări care influențează comportarea în timp a transformatorului

Dintre componentele transformatorului, izolația care constituie obiectul de studiu al acestei lucrări, este solicitată în exploatare și în laborator în condiții diferite.

În condițiile normale de exploatare izolația transformatoarelor se află sub tensiunea nominală a rețelei, atingând cel mult valoarea tensiunii maxime de lucru. Din diferite motive, într-un punct sau altul al sistemului electroenergetic pot apărea supratensiuni de lungă sau scurtă durată, câmpuri electrice periculoase pentru construcția izolantă.

În condiții de laborator, izolația transformatoarelor este supusă la acțiunea unor tensiuni de încercare care au mărimea, forma și durata corespunzătoare concepțiilor și condițiilor concrete de coordonare a izolației, aplicate în stațiile de transformare și distribuție. Ca urmare, încercările izolației transformatoarelor în laborator trebuie să garanteze funcționarea sigură a transformatoarelor în cele mai defavorabile condiții de exploatare.

Izolația transformatoarelor electrice de putere este supusă diferitelor solicitări, atât în condițiile reale de exploatare, cât și în condiții de laborator.

În condiții normale de exploatare izolația este solicitată electric (de tensiunea nominală și de supratensiuni), mecanic (datorită eforturilor de scurtcircuit), chimic (prin depuneri sau agenți chimici), respectiv termic (datorită modificărilor de temperatură și a factorilor de mediu). Datorită acestor solicitări, în cursul exploatării, proprietățile materialelor electroizolante se înrăutățesc, determinând îmbătrânirea acestor materiale.

Privit în ansamblu, procesul de îmbătrânire a materialelor electroizolante este un proces complex, datorită multitudinii de factori de natură diferită care-l influențează.

Dintre aceste solicitări, cele care influențează cel mai mult izolația sunt cele datorate supratensiunilor interne, cauzate de modificări ale parametrilor sistemului electroenergetic), respectiv externe(atmosferice), cauzate de loviturile de trăsnet, respectiv temperatura la care se află complexul de izolație hârtie-ulei din transformator.

În urma modificării în exploatare a proprietăților fizice ale materialelor electroizolante, caracterizarea stării unei izolații nu poate fi realizată după o singură proprietate datorită faptului că modificările sunt rezultatul acțiunii unui număr mare de acțiuni exterioare a căror combinații sunt întâmplătoare, reproducerea lor neputându-se realiza cu exactitate. Studiarea transformatoarelor în decursul exploatării lor este dificil de realizat datorită timpului foarte lung care ar dura, de ordinul zecilor de ani. Reducerea duratei de încercărilor s-ar putea realiza prin introducerea procedeelor de îmbătrânire accelerată, dar aceste metode nu garantează valabilitatea rezultatelor în cazul condițiilor reale de exploatare. De aceea, condițiile încercărilor trebuie create cât mai apropiate de cele reale de exploatare și în funcție de scopul în care sunt ulterior folosite rezultatele. În acest

sens, cu deosebită valoare științifică sunt încercările funcționale executate asupra modelelor.

Lucrarea are ca scop prezentarea metodelor de evaluare a uzurii transformatoarelor ce are loc la încărcarea lor cu sarcină variabilă, avându-se în vedere mai ales îmbătrânirea termică a materialelor electroizolante, în special a celor din clasa A.

3.2. Solicitățile externe ale izolației transformatoarelor electrice

În cazul solicitărilor externe, impulsurile de tensiune care solicită izolația pot fi:

- Impuls undă plină – cu durată mare, în urma cărora în bobinaje se dezvoltă oscilații de tensiune înaltă, rezultând solicitări și între spire și între bobinaj și masă.
- Impuls undă tăiată – care nu are o amplitudine atât de mare, dar datorită pantei abrupte de tăiere, poate determina gradienti de tensiune periculoși pentru izolație la intrarea sau la neutrul transformatorului.
- Impuls undă abruptă – are o amplitudine mare, dar o durată scurtă și ca urmare produc cele mai mici solicitări. Acestea se pot solicita izolația la masă și izolația dintre spirele de intrare ale bobinajului.

În condiții de laborator, transformatorul este supus unei tensiuni de încercare sinusoidală timp de 1 minut, respectiv unei tensiuni de încercare de impuls. Fiecare dintre tensiunile de încercare sunt raportate la supratensiunile maxime din exploatare, echivalându-se supratensiunile de exploatare la condițiile de laborator.

Tensiunea de încercare a izolației interne cu undă plină se determină prin relația:

$$[U_{inc}]_{up} = K_t [U_{gp}]_{up} + 0,5U_N \quad (3.1)$$

în care: K_t – coeficient cu valoarea 1,15 pentru transformatoarele de 6-35kV
1,10 pentru transformatoarele de 110 și 220kV.

U_N – tensiunea nominală a bobinajului transformatorului

Tensiunea de încercare a izolației interne cu undă de impuls tăiată se determină prin relația:

$$[U_{inc}]_{ut} = 1,15 * 1,25 [U_{gp}]_{up} \quad (3.2)$$

în care 1,15 are în vedere efectul cumulativ, iar 1,25 are în vedere creșterea tensiunii la bornele transformatorului față de descărcător.

Tensiunea de încercare sinusoidală de lungă durată (de 1 minut) se determină prin relația :

$$[U_{inc}]_{\alpha} = \frac{U_{aa}}{\beta_{si} \times K_c} \quad (3.3)$$

în care : β_{si} – coeficient de echivalare a supratensiunilor interne U_{si} din exploatare cu tensiunile de încercare de 1 minut U_0 din laborator ;

$K_c \approx 0,9$ – coeficientul care are în vedere efectul cumulativ al solicitărilor repetate din exploatare.

3.3. Factorii care determină starea izolației

Izolația transformatoarelor este influențată de următorii factori [8, 13, 56, 69]:

- ◆ Substanțele străine din izolația internă:
 - Umiditatea rămasă în izolație în urma unui proces de uscare necorespunzător;
 - Reziduuri ale solventului lacului de impregnare care nu au fost îndepărtate la uscarea bobinajelor;
 - Incluziuni de aer sau gaze rămase în izolație după umplerea cu ulei a transformatorului;
 - Murdăria formată în urma unui proces tehnologic necorespunzător.
- ◆ Contaminarea izolației externe;
- ◆ Regimul termic de funcționare;
- ◆ Alitudinea la care funcționează transformatorul.

Umezirea izolației determină:

- Creșterea pierderilor dielectrice;
- Micșorarea rigidității dielectrice.

Prezența apei în ulei sub formă de emulsie (în stare dispersată) duce la scăderea rapidă a tensiunii de străpungere a uleiului. Apa dizolvată molecular în ulei nu influențează rigiditatea și pierderile dielectrice. Dar în prezența câmpurilor străine în ulei apa dizolvată molecular trece în stare dispersată ducând la scăderea rigidității dielectrice.

Variațiile de temperatură determină de asemenea modificarea tensiunii de străpungere. Astfel, la creșterea temperaturii de la 20°C la 60°C, la o frecvență de 50Hz, are loc o creștere importantă a tensiunii de străpungere.

Uleiul de transformator, tehnic pur, conține o cantitate de umezeală, gaze dizolvate și impurități solide (scame, fibre). La creșterea temperaturii, dizolvabilitatea apei se mărește și apa trece din starea de emulsie în stare dizolvată ducând la scăderea rigidității dielectrice.

Efectul variațiilor de temperatură asupra izolației transformatoarelor un timp îndelungat determină o îmbătrânire a izolației, aceasta pierzându-și proprietățile mecanice (devenind fragilă).

Impuritățile și murdăria din atmosferă reduc valoarea tensiunii de străpungere a izolației externe a transformatoarelor, chiar și sub tensiunea de serviciu.

Incluziunile de gaze sau aer duce la apariția descărcărilor parțiale, și deci la descompunerea izolației organice cu efecte negative asupra rigidității dielectrice în sensul scăderii acesteia.

Presiunea atmosferică scăzută din regiunile muntoase prin scăderea densității relative a aerului determină reducerea tensiunii de ținere a izolației externe.

Calitatea procesului de impregnare și mai ales gradul de polimerizare a lacului influențează puternic starea izolația transformatoarelor, polimerizarea incompletă determinând creșterea pierderilor dielectrice, scăderea rigidității dielectrice, oxidarea și îmbătrânirea uleiului de transformator.

3.4. Încercări ale izolației transformatoarelor

Încercările cu tensiune continuă au ca scop determinarea umidității izolației transformatoarelor, dacă există sau nu defecte care să determine apariția descărcărilor parțiale (incluziuni de gaze, îmbinări defectuoase), dacă prin aplicarea tensiunii un timp îndelungat se produc modificări în comportarea dielectricului.

Pe baza abaterilor de la starea inițială a izolației, abateri cauzate de influența umidității, îmbătrânirii izolației transformatoarelor sau a unei suprasolicitări, se poate stabili dacă defectele apărute pot fi remediate sau transformatorul va fi supus unei revizii.

În continuare sunt prezentate principalele încercări care sunt efectuate asupra transformatoarelor electrice de putere [48, 90, 102, 113, 114, 137, 156]

Măsurarea rezistenței de izolație

Rezistența de izolație, prin coeficientul de absorbție R_{60}/R_{15} permite aprecierea gradului de umiditate a izolației transformatoarelor.

Pentru un transformator suficient de uscat, trebuie ca $R_{60}/R_{15} \geq 1,5$

La aplicarea unei tensiuni continue, prin dielectric se stabilește un curent variabil în timp care scade și ulterior se stabilizează la o valoare.

Inițial curentul are o valoare mare și deci rezistența de izolație are o valoare mare, datorită curentului de polarizare și a curentului de încărcare.

Față de un dielectric uscat, la un dielectric umed la curentul de polarizare de deplasare se adaugă și o componentă de orientare și ca urmare curentul de conducție crește.

Rezistența de izolație a unui dielectric este dată de raportul dintre tensiunea continuă aplicată și curentul total rezultat.

Mărirea rezistenței de izolație este influențată de următorii factori:

- ◆ Valoarea tensiunii continue care se aplică;
- ◆ Durata aplicării tensiunii;
- ◆ Încărcarea electrostatică;
- ◆ Temperatura izolației;
- ◆ Gradul de umezire a izolației.

Starea izolației transformatorului se determină din curba $I=f(U)$ prin poziția cotului care apare în curbă la o anumită valoare a tensiunii. Cu cât cotul apare la o tensiune mai mare și cu cât trecerea de la o pantă la alta se face mai lin, cu atât starea izolației transformatoarelor este mai bună.

Dacă cotul apare sub o valoare $\sqrt{2} * U_{max}$, atunci se consideră izolația slăbită, iar transformatorul trebuie revizuit. Dacă curentul crește brusc, izolația este străpunsă și probele transformatorului trebuie oprite.

Starea izolației transformatorului poate fi de asemenea apreciată prin variația rezistenței de izolație și a curentului în funcție de tensiunea aplicată.

După un timp rezistența de izolație, respectiv curentul prin izolație ajung la o valoare constantă. Dacă stabilizarea se produce după un timp scurt și la o valoare mică, înseamnă că componenta de conductibilitate I_s este mare față de componenta de polarizare I_p și deci izolația este umedă.

Pe de altă parte valorile mici ale rezistenței de izolație datorită conținutului ridicat de apă în izolație nu înseamnă că transformatorul este îmbătrânit sau deteriorat definitiv.

Rezistența de izolație nu se normează. Aceasta se compară cu valorile măsurărilor la aceeași temperatură. Dacă măsurările anterioare au fost efectuate la alte temperaturi, atunci valorile acestora se reduc la temperatura ultimei măsurări.

Rezistența de izolație variază invers proporțional cu temperatura. Măsurătorile neputându-se efectua tot timpul la aceeași temperatură, se folosesc valorile recalculate prin coeficienții de recalculare a rezistenței de izolație în funcție de temperatura. Pentru fiecare transformator se fac 2 măsurători la temperaturi cuprinse între 20° și 75° C.

Raportarea la aceeași temperatură se face prin înmulțirea sau împărțirea valorilor rezistenței de izolație cu coeficientul de variație a acesteia cu diferența de temperaturi K_1 după valorile prezentate în tabelul 3.1.

Δt (°C)	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Val K_1	1,04	1,08	1,13	1,17	1,22	1,5	1,84	2,25	2,75	3,4	4,15	5,1	6,2	7,5

Tabelul 3.1 Valorile coeficientului de variație K_1

Rezistența de izolație nu trebuie să scadă sub 70% din valoarea rezistenței de izolație inițială.

În efectuarea măsurătorilor se au în vedere următoarele:

- Pentru transformatoarele noi, la punerea în funcțiune, valoarea R_{60} nu trebuie să fie sub 70% din valoarea de fabrică;
- Pentru transformatoarele în exploatare, R_{60} nu trebuie să scadă sub valorile indicate în tabelul 3.2:

U_n (kV)	R_{60}	
	20° C	50° C
≤ 60	300	90
110 - 220	600	180
400	1000	300

Tabelul 3.2 Valorile R_{60} la diferite valori ale tensiunii nominale

În timp rezistența de izolație a transformatorului crește până la o valoare practic constantă. Variația rezistenței de izolație în raport cu timpul reprezintă curba de absorbție.

Măsurarea rezistenței de izolație se face după 15, respectiv 60 s.

Coeficientul de absorbție R_{60}/R_{15} tinde spre valoarea 1 dacă izolația are un conținut mare de umiditate.

Coeficientul de absorbție nu dă informații despre variația în timp a rezistenței de izolație, de aceea starea rezistenței de izolație se apreciază prin curbele de absorbție și curbele de polarizare.

Coeficientul de absorbție este folosit ca unul dintre criteriile pentru stabilirea umidității înfășurărilor, forma curbei de absorbție depinzând de gradul de umiditate a dielectricului și de construcția acestuia.

Curba de absorbție arată variația în timp a rezistenței de izolație și a curentului prin izolație.

Măsurările se efectuează în condiții specificate de temperatură și umiditate, pe timp frumos, la o umiditate relativă a mediului ambiant de cel mult 80%, cu respectarea următoarelor observații:

- La punerea în funcțiune valoarea K_{abs} nu trebuie să fie mai mici decât cele din fabrică cu mai mult de 5%;
- Pentru transformatoarele în exploatare valoarea K_{abs} nu se normează;
- Valoarea coeficientului de absorbție la 20° C este considerată normală dacă:
 - $K_{abs} \geq 1,2$ pentru transformatoarele de putere cu $U \leq 110kV$;
 - $K_{abs} \geq 1,3$ pentru transformatoare de putere cu $U \geq 110kV$.

Tangenta unghiului de pierderi

Tangenta unghiului de pierderi tg δ constituie de asemenea un criteriu pentru evaluarea stării izolației.

Creșterea valorii tg δ este determinată de degradarea chimică a uleiului, umezirea acestuia, de îmbătrânirea izolației solide afectate de umezeală, oxigen sau temperatură.

Măsurarea tg δ este obligatorie pentru toate transformatoarele cu tensiuni peste 110kV și puteri mai mari de 10MVA inclusiv cu respectarea următoarelor observații:

- La punerea în funcțiune tg δ măsurarea trebuie să se facă la temperatura indicată de buletinul de fabrică ($\pm 5^{\circ}C$), nu mai mică de $10^{\circ}C$.
- Valorile măsurate la punerea în funcțiune se compară cu valorile măsurate în fabrică, valorile din exploatare trebuind să se încadreze între limitele date în tabelul 3.3:

U_n (kV)	20°C	50°C
<10	4%	11%
10 - 60	2,5%	7%
110 - 220	2,5%	7%
400	1,5%	2,5%

Tabelul 3.3 Valorile normale pentru tg δ

În exploatare, valorile obținute pentru tg δ la una din cele două temperaturi de referință se compară cu valorile măsurate anterior (în fabrică, la punerea în funcțiune).

În cazul transformatoarelor noi valoarea tg δ nu trebuie să depășească cu mai mult de 30% valoarea de fabrică.

Dacă măsurarea anterioară a fost efectuată la o temperatură diferită de temperatura ultimei măsurări, aceasta se va raporta la temperatura ultimei măsurări prin împărțirea sau înmulțirea cu coeficientul de variație K_2 în funcție de diferența de temperatură $\Delta t(^{\circ}C)$.

Δt (°C)	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
Val K_2	1,03	1,06	1,09	1,12	1,15	1,25	1,51	1,75	2	2,3	2,65	3	3,5	4	4,6

Tabelul 3.4 Valorile coeficientului K_2

La toate transformatoarele valorile reale ale coeficientului de raportare se determină din diagrama obținută prin măsurarea $\text{tg}\delta$ la temperatura de $50 \pm 5^\circ\text{C}$, după care se folosește dreapta $\text{tg}\delta=f(t)$ după ce temperatura a scăzut la $20 \pm 5^\circ\text{C}$.

Pentru măsurare se folosește o punte de măsurare capacități MD – 16 montată după un montaj Schering.

Măsurarea rezistenței ohmice a înfășurărilor

Măsurarea rezistenței ohmice a înfășurărilor are ca scop:

- Determinarea rezistenței reale a înfășurărilor;
- Verificarea sudurilor sau lipiturilor la conductoarele bobinelor;
- Depistarea eventualelor întreruperi;
- Punerea în evidență a scurtcircuitelor nete între spire sau alte defecte care se reflectă în valoarea rezistenței.

Măsurarea se face în curent continuu la o valoare superioară cu 20% valorii curentului de mers în gol, dar să nu se depășească $0,1I_n$.

În timpul măsurătorii ohmice se notează temperatura înfășurării.

Raportarea rezistenței măsurate la o altă temperatură se face prin relația:

$$R_{t_2} = R_{t_1} * \frac{T + t_2}{T + t_1}$$

(3.4)

$T=235$ atât pentru înfășurările din cupru, cât și pentru cele din aluminiu.

Cu aceste considerații s-au realizat măsurătorile specifice transformatoarelor electrice de putere în cadrul SEEA. Datele culese și specificate în buletinele de sarcină au fost apoi sintetizate sub formă tabelară și grafică.

Pe baza măsurătorilor efectuate s-au putut trage concluzii referitoare la comportarea transformatoarelor aflate în exploatare.

S-au avut în vedere transformatoarele din câteva dintre stațiile de transformare aparținând SEEA.

Astfel figurile 3.1 și 3.2 prezintă rezultatele măsurătorilor făcute asupra transformatoarelor electrice de putere considerate ca obiect de studiu din cadrul SEEA. Studiul s-a făcut pentru principalele mărimi care caracterizează comportarea transformatoarelor pe o perioadă cuprinsă între anii 1995 și 2006. Pentru fiecare dintre mărimi valoarea măsurată a fost comparată cu valoarea normată și valoarea de fabrică EPC. Din datele obținute și din reprezentările grafice se poate constata că numai în cazul transformatorului T11 din stația Fântânele se observă o variație negativă atât a rezistenței de izolație cât și a tangentei de delta mai ales în perioada 2002 – 2003. Ca urmare, creșterea izolației peste valorile EPC impune o urmărire deosebită în continuare a izolației.

Restul transformatoarelor pot fi considerate corespunzătoare pentru a fi puse în exploatare

EPC		1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Tg EPC trans la 20C	0,49	0,29	0,25	0,25	0,26	0,30	0,30	0,32	0,28	0,32	0,29	0,32	0,31
R 15 EPC la 20	2680	3343	3110	2722	2760	2635	2719	2668	2965	2944	3263	3230	3186
R 60 EPC la 20	5621	1750	1680	1680	1500	1550	1320	1450	1500	1600	1450	1900	1800
R 60 EPC la 20	4830	1,332	1,326	1,312	1,325	1,313	1,345	1,328	1,398	1,325	1,353	1,316	1,322
R 60 EPC la 20	10156	38,0	36,5	35,4	35,3	33,1	38,9	35,4	37,6	35,3	40,4	33,6	34,7
1,353 An EPC-1986	18,0	18,0	15,4	12,9	15,3	13,1	18,9	15,4	17,6	15,3	20,4	13,6	14,71377
38	2,06	1,91	1,84	1,62	1,84	1,7	2,06	1,84	1,99	1,84	2,25	1,7	1,77
Tg măsurata													
%R60mas din R60EPC la 20gr													
R60 transpus la 20													
R 60 măsurata													
Roh plot 1-mes													
I2-calc la mas													
Delta t													
kiz													
R15 transpus la 20		3362	3533	1944	2429	1870	3296	3165	3343	2263	2768	2584	2620
R15 măsurat		1760	1920	1200	1320	1100	1600	1720	1680	1230	1230	1520	1480
Kabis		0,99	0,88	1,40	1,14	1,41	0,83	0,84	0,89	1,30	1,18	1,25	0,00

Tabelul 3.5 Rezultatele măsurătorilor TS - masă efectuate la transformatorul de putere T9 (Anexa 4)

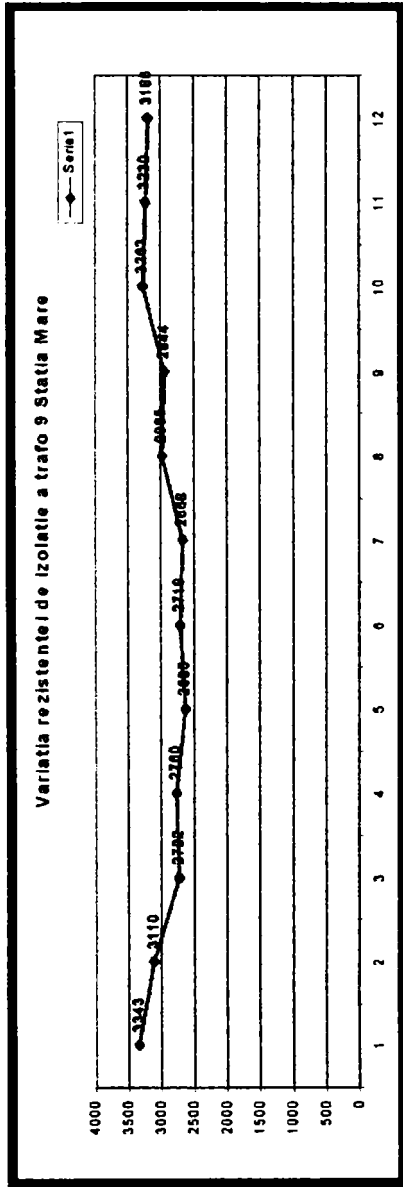


Figura 3.1 Variația rezistenței de izolație la transformatorul de putere T9 (Anexa 4)

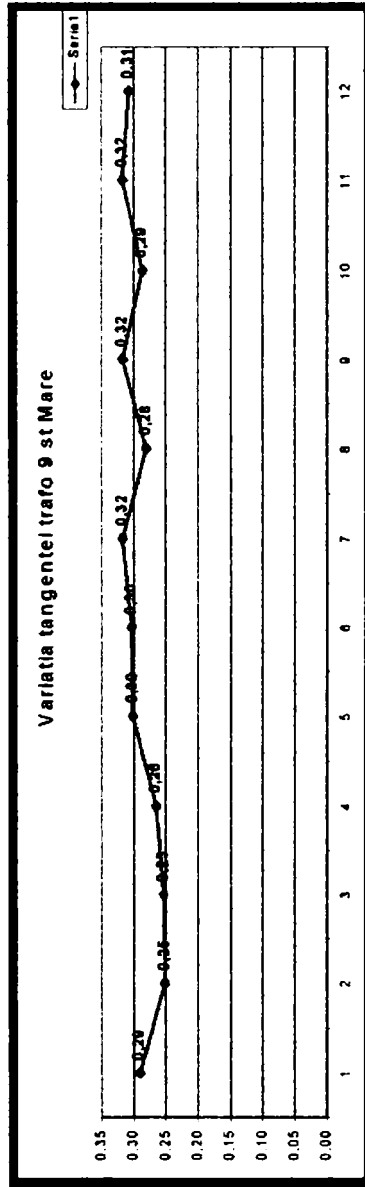


Figura 3.2 Variația tangentei unghiului de pierderi la transformatorul de putere T9 (Anexa 4)

EPC		Trafo 11												
		TS-TI						Vn 20 C= 600 Mohm Vn 50 C=180 Mohm Vn 20 C= 2,5% Vn 50 C= 7 %						
		1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005		
Tg EPC trans la 20C	1200													
R 15 EPC la 20	2472	0,23	0,25	0,29	0,28	0,32	0,24	0,28	0,25	0,25	0,23	0,30		
R 60 EPC la 20	4944	0,35	0,38	0,4	0,42	0,45	0,4	0,42	0,4	0,38	0,4	0,42		
	1,373	An EPC-1986												
Tg masurata	38	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005		
%R60mes din R60EPC la 20gr		0,23	0,25	0,29	0,28	0,32	0,24	0,28	0,25	0,25	0,23	0,30		
R60 transpus la 20		60	65	51	49	54	60	49	50	41	56	54		
R 60 masurata		2980	3220	2527	2429	2652	2966	2429	2448	2024	2768	2652		
Roh plot 1-mes		1560	1750	1560	1320	1560	1440	1320	1230	1100	1230	1560		
t2-calc la mas	38,0	1,332	1,328	1,312	1,325	1,313	1,345	1,328	1,338	1,325	1,353	1,316		
Delta t	18,0	36,5	35,4	32,9	35,3	33,1	38,9	35,4	37,6	35,3	40,4	33,6		
kiz	2,06	16,5	15,4	12,9	15,3	13,1	18,9	15,4	17,6	15,3	20,4	13,6		
		1,91	1,84	1,62	1,84	1,7	2,06	1,84	1,99	1,84	2,25	1,7		
R15 transpus la 20		2197	1748	1426	1838	1105	1813	1041	1325	1593	1766	1586		
R15 masurat		1150	950	880	999	650	860	566	668	868	785	933		
Kebs		1,36	1,84	1,77	1,32	2,40	1,64	2,33	1,85	1,27	1,57	1,67		

Tabelul 3.6 Rezultatele măsurătorilor TS-TI efectuate la transformatorul de putere T11 (Anexa 15)

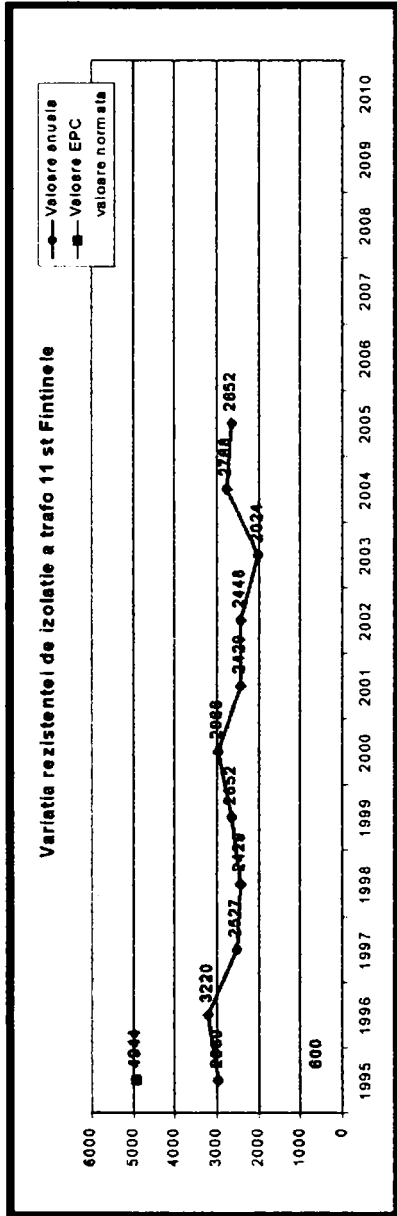


Figura 3.3 Variația rezistenței de izolație la transformatorul de putere T11 (Anexa 15)

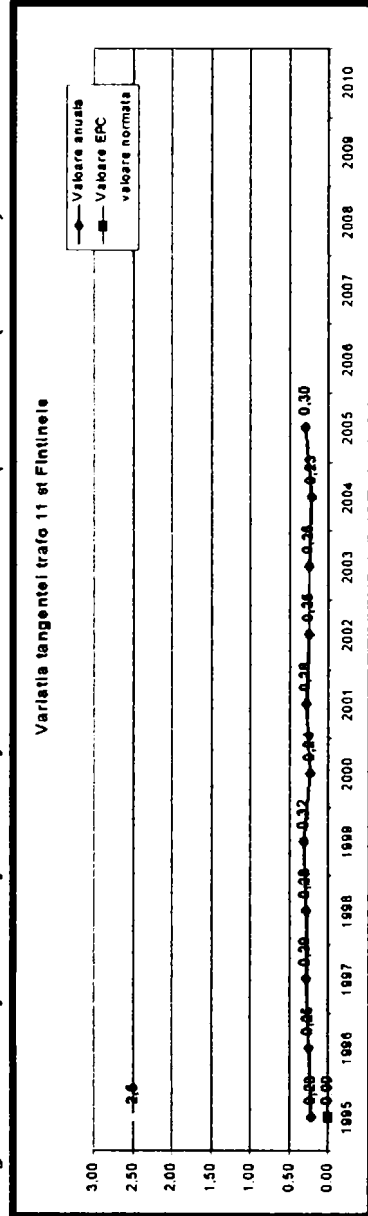


Figura 3.4 Variația tangentei de delta la transformatorul de putere T11 (Anexa 15)

EPC		Trafo 11																
	0,25																	
Tg EPC trane la 20C	0,15																	
	1000	TI-masa																
R 15 EPC la 20	2060																	
	2200																	
R 60 EPC la 20	4532																	
	1,373	An EPC-1986																
	44	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005						
Tg masurata		0,21	0,24	0,30	0,34	0,44	0,44	0,33	0,21	0,29	0,31	0,37						
%R60mas din R60EPC la 20gr		0,33	0,36	0,42	0,52	0,62	0,72	0,5	0,33									
		70	63	58	67	64	78	71	76	69	79	65						
R60 transpus la 20		3171	2852	2608	3036	2890	3543	3220	3423	3128	3600	2924						
R 60 masurata		1660	1550	1610	1650	1700	1720	1750	1720	1700	1600	1720						
Roh plot 1-mes		1,332	1,326	1,312	1,325	1,313	1,345	1,326	1,338	1,325	1,353	1,316						
t2-calc la mes	38,0	36,5	35,4	32,9	35,3	33,1	38,9	35,4	37,6	35,3	40,4	33,6						
Delta t	18,0	16,5	15,4	12,9	15,3	13,1	18,9	15,4	17,6	15,3	20,4	13,6						
kiz	2,06	1,91	1,84	1,62	1,84	1,7	2,06	1,84	1,99	1,84	2,25	1,7						
R15 transpus la 20		1815	1693	2138	1582	1105	3193	2453	3483	1380	1575	1326						
R15 masurat		950	920	1320	860	650	1550	1333	1750	750	700	780						
Kabs		1,75	1,68	1,22	1,92	2,62	1,11	1,31	0,98	2,27	2,29	2,21						

Tabelul 3.7 Rezultatele măsurătorilor TI - masa efectuate la transformatorul de putere T11 (Anexa 15)

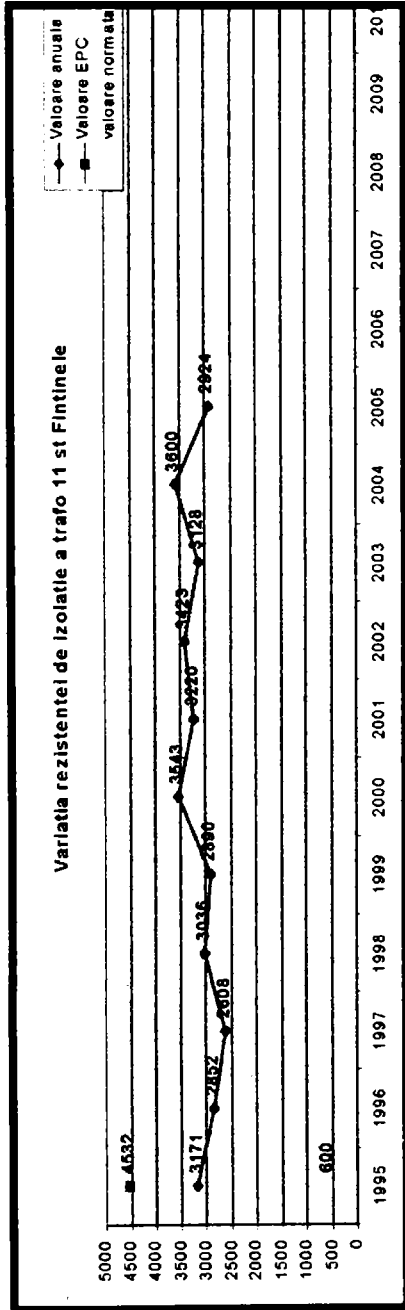


Figura 3.5 Variația rezistenței de izolație la transformatorul de putere T11 (Anexa 15)

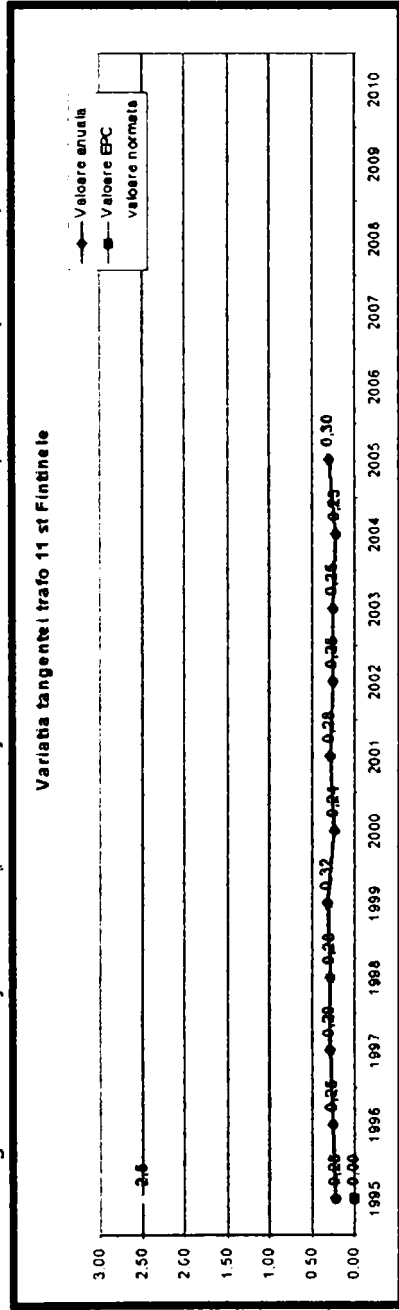


Figura 3.6 Variația tangentei unghiului de pierderi la transformatorul de putere T11 (Anexa 15)

3.5. Îmbătrânirea termică a materialelor electroizolante

Durata de viață a unui transformator este influențată de o serie de factori care determină modificări ale proprietăților fizice, proprietăți de natură electrică, mecanică, termică sau chimică:

◆ Substanțele străine din izolația internă:

Umiditatea rămasă în izolație în urma unui proces de uscare necorespunzător;

- Reziduuri ale solventului lacului de impregnare care nu au fost îndepărtate la uscarea bobinajelor;
- Incluziuni de aer sau gaze rămase în izolație după umplerea cu ulei a transformatorului;
- Murdăria formată în urma unui proces tehnologic necorespunzător.

Umezirea izolației are ca efecte creșterea pierderilor dielectrice ca și micșorarea rigidității dielectrice.

- ◆ Contaminarea izolației externe;
- ◆ Regimul termic de funcționare;
- ◆ Altitudinea la care funcționează transformatorul.

Ca urmare a modificării proprietăților fizice ale transformatoarelor, are loc îmbătrânirea acestora și deci scurtarea duratei de viață.

Modul în care factorii externi influențează durata de viață a transformatoarelor este greu de studiat în condițiile în care un astfel de studiu presupune efectuarea unor încercări de probă pe parcursul unui timp îndelungat, de ordinul zecilor de ani. De aceea este necesară reducerea timpului de studiu prin reducerea duratei încercărilor și a stabilirii condițiilor în care au loc încercările. În acest sens se utilizează încercările funcționale executate asupra modelelor.

Ca urmare au fost stabilite legi matematice care să reflecte cât mai aproape de realitate procesul de îmbătrânire a transformatoarelor.

În cazul echipamentelor electrice componenta cea mai sensibilă este izolația, care determină de fapt prin durata ei de viață și durata de viață a echipamentului. În cazul transformatoarelor electrice și în general a aparatelor statice îmbătrânirea izolației este esențială.

Pentru durata de viață, pe cale experimentală au fost definite legi care exprimă durata de viață a izolațiilor. Este cazul legii lui Montsinger în care durata de viață se exprimă în grade Celsius, respectiv legea lui Büssing în care durata de viață este exprimată în grade Kelvin.

$$D = \alpha * e^{-\beta\theta}, \text{ relația lui V. M. Montsinger, valabil în domeniul de temperatură cuprins între } 90^{\circ}\text{C} \dots 110^{\circ}\text{C} \quad (3.5)$$

respectiv

$$D = A * e^{\frac{B}{T}}, \text{ relația lui W. Büssing valabilă într-un domeniu larg de temperatură și pentru un număr mare de materiale de diferite clase} \quad (3.6)$$

unde: D – durata de viață a materialului electroizolant;
 θ , T – temperatura materialului electroizolant exprimată în grade Celsius, respectiv grade Kelvin;
 α , β , A , B – constante caracteristice materialului electroizolant.

Ca model de îmbătrânire se folosește ecuația lui Arrhenius prin care se exprimă viteza de degradare a unui material electroizolant:

$$v = A * e^{-\frac{\Delta E}{KT}}, \text{ relația lui Arrhenius} \quad (3.7)$$

unde: A – constantă caracteristică de material;
 ΔE – energia de activare;
 K – constanta lui Boltzmann;
 T – temperatura materialului electroizolant exprimată în grade Kelvin.

Legea dată de relația (3.5) a fost stabilită de V. M. Montsinger și s-a dovedit valabilă pentru materialele electroizolante din clasa A, dar pentru un domeniu relativ restrâns de temperatură, 90°C...110°C.

Legea dată de relația (3.6) a fost demonstrată pentru prima dată de W. Büssing prin teoria cinetică a reacțiilor chimice și s-a dovedit valabilă pentru un număr mare de materiale electroizolante de diferite clase și pentru un domeniu larg de temperatură.

Legile duratei de viață a materialelor electroizolante au în vedere nu numai temperatura ca factor hotărâtor, ci și de ceilalți factori. De influența celorlalți se ține cont în alegerea constantelor A și B , respectiv α și β . Valorile acestor constante se aleg pe baza încercărilor funcționale de îmbătrânire accelerată.

Factorii care determină îmbătrânirea transformatoarelor determină durata de viață a acestora, derivând din ecuațiile duratei de viață a transformatoarelor. Astfel, îmbătrânirea transformatoarelor este caracterizată prin:

- Factorul relativ de îmbătrânire termică numit și factor relativ de uzură termică
- Îmbătrânirea termică relativă numită și uzură termică relativă.

Factorul relativ de îmbătrânire termică se definește prin :

$$\rho = e^{\left[\frac{B}{T_N} - \frac{B}{T} \right]} \quad (3.8)$$

în care : T – este temperatura absolută în grade Kelvin;
 T_N – este temperatura absolută la care se obține o durată de viață normală;

B – este o constantă caracteristică materialului.

Considerând că temperatura variază în raport cu timpul, factorul relativ de îmbătrânire va fi și el o funcție de timp de forma:

$$\rho(t) = e^{\left[\frac{B}{T_N} - \frac{B}{T(t)} \right]} \quad (3.9)$$

Factorul relativ de îmbătrânire $\rho(t)$ caracterizează viteza cu care are loc degradarea materialului izolant și deci gradul de solicitare termică a materialului electroizolant.

Îmbătrânirea termică relativă este dată de valoarea medie a factorului relativ de îmbătrânire pe o anumită perioadă de timp, adică:

$$u(t) = \frac{1}{\Delta t} \int_0^{\Delta t} \rho(t) dt \quad (3.10)$$

Înlocuind expresia introdusă pentru $\rho(t)$, se obține:

$$u(t) = \frac{1}{\Delta t} \int_0^{\Delta t} e^{\left[\frac{B}{T_N} - \frac{B}{T(t)} \right]} \quad (3.11)$$

Cele două expresii obținute caracterizează îmbătrânirea termică a materialului electroizolant pentru un singur interval de timp considerat. Dacă se consideră mai multe intervale de timp, expresia îmbătrânirii termice relative devine:

$$u(t) = \frac{\sum_{i=1}^n u_i \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n \Delta t_i} \quad (3.12)$$

Considerând același domeniu de valabilitate pentru relațiile (3.5) și (3.6) scrise pentru temperaturile θ și θ_N , respectiv T și T_N , prin egalizare rezultă:

$$e^{-\beta(\theta_N - \theta)} = e^{\frac{B}{T_N} - \frac{B}{T}} \quad (3.13)$$

de unde se poate scrie:

$$\rho = e^{-\beta(\theta_N - \theta)} \quad (3.14)$$

respectiv:

$$u = \frac{1}{\Delta t} \int_0^{\Delta t} e^{-\beta[\theta_N - \theta(t)]} dt \quad (3.15)$$

Cele două relații permit evaluarea gradului de îmbătrânire și uzură a izolației transformatoarelor electrice.

În cazul transformatoarelor temperatura constituie principalul factor care le influențează comportamentul, cu efecte mai ales asupra izolației hârtie - ulei. În acest caz pe lângă temperatură, un alt factor important de influență este umiditatea. Starea de îmbătrânire caracterizată prin factorul de îmbătrânire termică ρ , respectiv îmbătrânirea termică relativă u permite caracterizarea separată a izolației din punct de vedere al temperaturii ca factor principal de influență. Aceasta datorită faptului că viteza de degradare a izolației este influențată de umiditate la orice temperatură, iar factorul de îmbătrânire ρ poate fi considerat ca un raport între două viteze de degradare, una la temperatura de lucru θ exprimată în grade Celsius, respectiv T exprimată în grade Kelvin, cealaltă la temperatura normală θ_N , respectiv T_N , îmbătrânirea relativă u fiind valoarea medie a factorului de îmbătrânire ρ pe o anumită perioadă de timp. Astfel, se poate considera că dacă modificarea gradului de umiditate influențează în aceeași proporție viteza de degradare a izolației hârtie - ulei, factorul de îmbătrânire ρ poate fi considerat ca fiind independent de umiditate.

Factorul de îmbătrânire ρ are ca principal termen temperatura, dar în același timp, prin constantele de material α și β (practic θ și β), respectiv A și B (practic T_N și B) ține cont și de ceilalți factori de natură chimică, mecanică sau electrică care influențează procesul de degradare a izolației hârtie - ulei di transformatoare.

3.6. Uzura termică a transformatoarelor

De cele mai multe ori, uzura termică a transformatoarelor în ulei este determinată de uzura termică a izolației de hârtie îmbibată cu ulei. Aceasta este în mod obișnuit expusă la cele mai ridicate temperaturi ale transformatorului din apropierea înfășurărilor.

În aprecierea uzurii transformatorului se pornește de la două cazuri distincte:

- Temperatura transformatorului variază liniar cu timpul;
- Temperatura variază exponențial cu timpul.

Fiecare dintre cazuri poate fi tratat având la bază fie legea duratei de viață a lui Montsinger (3.5), fie legea duratei de viață dată de Büssing (3.6) [74, 92, 107, 119].

3.6.1. Cazul variației liniare în raport cu timpul a temperaturii

- Cazul în care îmbătrânirea transformatorului se reflectă prin legea duratei de viață exprimată de Montsinger (3.5)

Considerând la momentul inițial $t=0$, $\theta=\theta_i$, respectiv după un timp $t=t_f$ temperatura $\theta=\theta_f$, se poate scrie variația liniară a temperaturii în raport cu timpul exprimată în grade Celsius după o expresie de forma:

$$\theta(t) = \theta_i + \Delta\theta \frac{t}{\Delta t}, \quad \text{unde } \Delta\theta = \theta_f - \theta_i, \quad (3.16)$$

θ_i - temperatura la începutul intervalului de timp considerat, exprimată în grade Celsius.

θ_f - temperatura la sfârșitul intervalului de timp considerat, exprimată în grade Celsius.

Δt - intervalul de timp în care temperatura crește de la θ_i la θ_f .

t - timpul ca variabilă curentă.

- Cazul în care legea duratei de viață a transformatorului se exprimă prin relația (3.6) dată de Büssing.

În acest caz, variația temperaturii în raport cu timpul se exprimă în grade Kelvin după o expresie de forma:

$$T(t) = T_i + \Delta T \frac{t}{\Delta t}, \quad \Delta T = T_f - T_i, \quad (3.17)$$

Între cele două temperaturi există relațiile:

$$T_i = 273 + \theta_i; \quad T_f = 273 + \theta_f, \quad (3.18)$$

$$\text{respectiv } \Delta T = \Delta\theta \quad (3.19)$$

Factorul de îmbătrânire termică p ca și îmbătrânirea termică relativă u prin parametrii lor, fac legătura între mărimile relative ce concură la îmbătrânirea materialelor și pe baza variației acestor factori în timp se pot trasa curbele ce vor caracteriza îmbătrânirea materialelor electroizolante.

Lucrarea de față are în vedere evaluarea uzurii termice relative pe baza legii duratei de viață dată de Montsinger prin relația (3.5).

Astfel, considerând variația liniară a temperaturii, relația (3.15) devine:

$$u(t) = \frac{1}{\Delta t} * \int_0^{\Delta t} e^{-\beta \left[\theta_N - \left(\theta_i + \Delta \theta * \frac{t}{\Delta t} \right) \right]} dt \quad (3.20)$$

Prin integrarea expresiei $u(t)$, se va obține:

$$u = \frac{1}{\beta \Delta \theta} * \left[e^{-\beta(\theta_N - \theta_i)} - e^{-\beta(\theta_N - \theta_i)} \right] \quad (3.21)$$

Expresia (3.21) permite determinarea prin calcul a uzurii termice relative, aplicabilă atât pentru un proces de răcire, cât și în cazul unui proces de încălzire.

3.6.2. Cazul variației exponențiale în raport cu timpul a temperaturii

Variația exponențială a temperaturii se deduce din ecuația încălzirii considerând parametrul T_t constant doar în regim de alimentare cu $P=\text{const}$. În regim $I=\text{const}$, T_t depinde de I , iar în regim $U=\text{const}$ depinde de mărimile U și t . În aceste condiții se va considera în continuare ipoteza că $P=\text{const}$ și/sau $I=\text{const}$.

În cazul variației exponențiale a temperaturii, temperaturile θ și T devin:

$$\theta(t) = \theta_r - \Delta \theta * e^{-\frac{t}{T_t}} \quad (3.22)$$

respectiv:

$$T(t) = T_r - \Delta T * e^{-\frac{t}{T_t}} \quad (3.23)$$

în care:

θ_r, T_r - reprezintă temperaturile de regim staționar exprimate în $^{\circ}\text{C}$, respectiv $^{\circ}\text{K}$;

$\Delta \theta, \Delta T$ - reprezintă diferența dintre temperatura de regim staționar și temperatura la începutul procesului termic (la $t=0$) exprimate în $^{\circ}\text{C}$, respectiv $^{\circ}\text{K}$;

T_t - constanta de timp cu care are loc procesul de variație a temperaturii [s],

între temperaturi existând relația:

$$T_r = 273 + \theta_r, \quad \Delta \theta = \Delta T \quad (3.24)$$

Diferențele de temperatură $\Delta \theta, \Delta T$ sunt diferite ca semn, după cum are loc un proces de răcire sau un proces de încălzire.

Dacă se ia în considerare uzura termică pe baza relației lui Montsinger, rezultă:

$$u = \frac{1}{\Delta t} \int_0^{\Delta t} e^{-\beta \left[\theta_N - \left(\theta_r - \Delta \theta^* e^{-\frac{t}{T_t}} \right) \right]} dt \quad (3.25)$$

Trecând în fața integralei factorii care nu depind de timp rezultă:

$$u = \frac{-\beta(\theta_N - \theta_r)}{\Delta t} \int_0^{\Delta t} e^{-\beta \Delta \theta^* e^{-\frac{t}{T_t}}} dt \quad (3.26)$$

Ca urmare variația uzurii u poate fi reprezentată grafic pentru diferite valori ale constantei de material β și anumite valori ale constantei de timp T_t .

Pentru ușurința reprezentării se pot folosi valori relative astfel:

$$\theta^* = \beta \theta; \quad t^* = \frac{t}{T_t}; \quad dt^* = \frac{dt}{T_t} \quad (3.27)$$

Cu notațiile de mai sus expresia uzurii termice devine:

$$u = \frac{e^{(\theta_r^* - \theta_N^*)}}{\Delta t^*} \int_0^{\Delta t^*} e^{-\Delta \theta^* e^{-t^*}} dt^* \quad (3.28)$$

Valoarea integralei din expresia uzurii termice depinde de parametrii $\Delta \theta^*$ și Δt^* , care au semn diferit în cazul unui proces de încălzire, respectiv de răcire. Astfel în cazul procesului de încălzire $\Delta \theta^*$ este pozitiv, iar în cazul unui proces de răcire $\Delta \theta^*$ este negativ, ca urmare evaluarea uzurii termice trebuie tratată diferit..

3.6.2.1. Cazul procesului termic de încălzire

În cazul unui proces termic de încălzire, $\Delta \theta^*$ fiind pozitiv, apare mai convenabilă următoarea formă de exprimare a integralei de încălzire I_i din relația (3.28):

$$I_i = \int_0^{\Delta t^*} e^{-e^{(\ln \Delta \theta^* - t^*)}} dt^* \quad (3.29)$$

Dacă se notează termenul $\ln \Delta \theta^* - t^*$ cu x , va rezulta $dx = -dt^*$, expresia integralei I_i va deveni:

$$I_i = \int_{\ln \Delta \theta^* - \Delta t^*}^{\ln \Delta \theta^*} e^{-e^x} dx \quad (3.30)$$

Funcția

$$y = e^{-e^x} \quad (3.31)$$

este redată în figura (3.1), suprafața hașurată reprezentând valoarea integralei indicate prin relația (3.30).

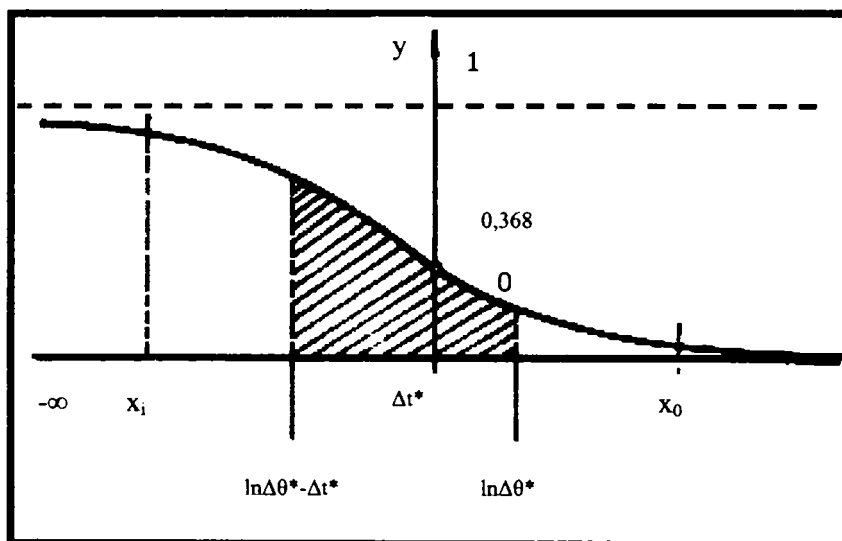


Figura 3.7 Variația mărimii $y=f(x)$

Valoarea integralei poate fi exprimată ca o diferență de două valori ale unei funcții $f(x)$:

$$f(x) = \int_x^{x_0} e^{-e^t} dt \quad (3.32)$$

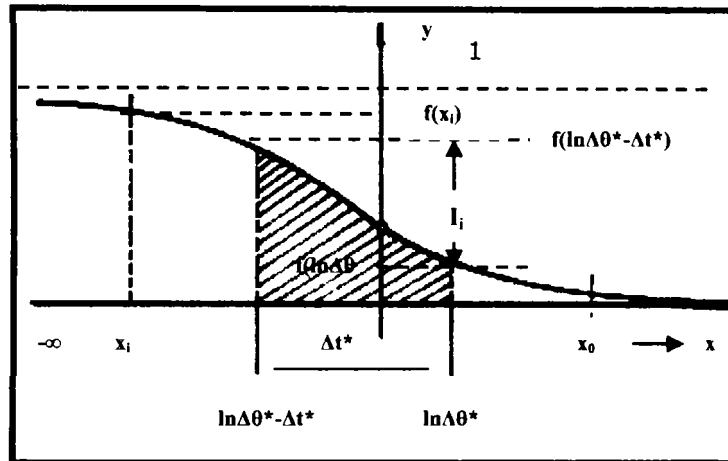
Considerând limitele de integrare:

$$\begin{aligned} x &= \ln \Delta \theta^* - \Delta t^* \\ x_0 &= \ln \theta^* \end{aligned} \quad (3.33)$$

integrala I_i la încălzire va putea fi exprimată astfel:

$$I_i = f(\ln \Delta \theta^* - \Delta t^*) - f(\ln \Delta \theta^*) \quad (3.34)$$

Reprezentarea grafică a lui $f(x)$ în raport cu x este redată în figura 3.8 prin care se explică și modul de obținere a integralei I_i .

Figura 3.8 Variația funcției $f(x)$

Reprezentarea grafică necesită determinarea limitelor de integrare x_0 și x_i ale integralei de încălzire I_i .

Limita de integrare x_0 se alege astfel încât pentru orice valoare $\Delta\theta^*$ care poate să apară în practică să fie respectată condiția $\ln\Delta\theta^* < x_0$. Astfel prin reprezentarea curbei $f(x)$ se va putea citi valoarea $f(\ln\Delta\theta^*)$ în funcție de care se va determina și I_i .

Valoarea inferioară a variabilei x , notată de cele mai multe ori cu x_i , valoare care se ia în considerare la reprezentarea funcției $f(x)$, rezultă din precizia care se urmărește în determinarea valorii integralei I_i . Astfel, dacă se admite o eroare de 1%, se poate considera că alura curbei y din figura (3.1) se confundă cu asimptota către care tinde (asimptotă de ordonată 1) atunci când y atinge valoarea 0,99.

Abscisa corespunzătoare rezultă din $e^{-e^x} = 0,99$. Ca urmare rezultă pentru x valoarea $x_i = -4,6$.

Astfel la $x < x_i$, $f(x)$ va avea valoarea:

$$f(x) = (x_i - x) + f(x_i) \quad \text{cu } x_i = -4,6 \quad (3.35)$$

Pentru $x < x_i$, va rezulta:

$$f(x) = (x_i - x) + f(x_i), \quad \text{cu } x_i = -4,6. \quad (3.36)$$

3.6.2.2. Cazul procesului termic de răcire

În cazul procesului de răcire $\Delta\theta^*$ are valori negative și ca urmare integrala din relația (3.28) va putea fi scrisă mai convenabil astfel:

$$I_r = \int_0^{\Delta t^*} e^{e^{[\ln(-\Delta\theta^*) - t^*]}} dt^* \quad (3.37)$$

Notând $x = \ln(-\Delta\theta^*) - t^*$, respectiv $dx = -dt^*$, integrala la răcire va fi următoarea:

$$I_r = \int_{\ln(-\Delta\theta^*) - \Delta t^*}^{\ln(-\Delta\theta^*)} e^{e^x} dx \quad (3.38)$$

Grafic, prin reprezentarea funcției $y = e^{e^x}$ se obține o suprafață hașurată, care poate fi descompusă în două suprafețe, suprafața UPRV și suprafața TUVS reprezentate în figura (3.9), obținându-se o expresie de forma:

$$I_r = \int_{\ln(-\Delta\theta^*) - \Delta t^*}^{\ln(-\Delta\theta^*)} (e^{e^x} - 1) dx + \Delta t^* \quad (3.39)$$

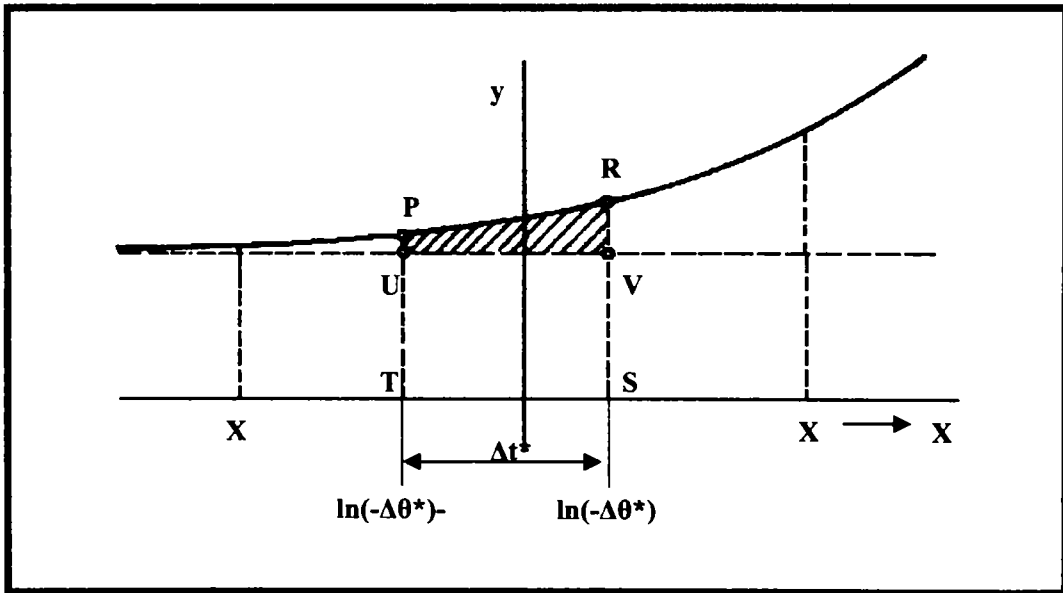


Figura 3.9 Variația funcției $y = e^{e^x}$

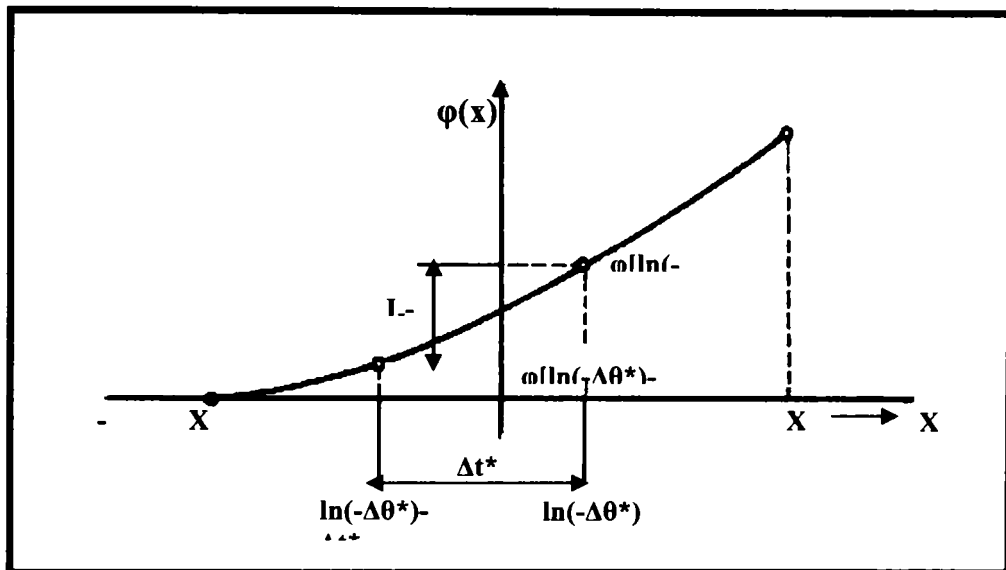
Valoarea integralei la răcire I_r rezultă ca o diferență al funcției de tipul

$$\varphi(x) = \int_{x_0}^x (e^{e^x} - 1) dx \quad (3.40)$$

De unde:

$$I_r = g[\ln(-\Delta\theta^*)] - g[\ln(-\Delta\theta^*) - t^*] - \Delta t^* + \Delta t^* \quad (3.41)$$

Reprezentarea grafică a funcției $\varphi(x)$ este redată în figura (3.10), figură însoțită și de explicarea modului de obținere a valorii integralei I_r .

Figura 3.10 Variația funcției $\varphi(x)$

Limita arbitrară de integrare x_0 , ca și în cazul procesului de încălzire, depinde de precizia dorită pentru obținerea valorii integralei I_r . Dacă se admite o eroare de 1%, curba y la răcire se poate considera că se confundă cu o asimptotă către care tinde (de ordonată 1) când y are valoarea 1,01.

Abscisa corespunzătoare rezultă din $e^{e^{x_0}} = 1,01$ ca fiind $x_0 = -4,6$.

Astfel pentru $x < x_0$ se poate considera $\varphi(x) = 0$.

Limita superioară a variabilei x , notată cu x_s se stabilește astfel încât pentru orice valoare a lui $(-\Delta\theta^*)$ ce poate să intervină în practică, să fie satisfăcută condiția $\ln(-\Delta\theta^*) < x_s$, permițându-se astfel citirea valorii $\varphi[\ln(-\Delta\theta^*)]$ din curba $\varphi(x)$.

3.6.3. Evaluarea uzurii termice relative a transformatoarelor electrice de putere

Uzura termică a transformatoarelor electrice de putere este determinată de uzura termică a izolației de hârtie îmbibată cu ulei care este expusă la temperaturile cele mai ridicate din transformator, din imediata apropiere a înfășurărilor.

Ca urmare stabilirea curbelor și a familiilor de curbe necesare la evaluarea uzurii termice relative a transformatoarelor electrice de putere este necesară specificarea domeniilor de variație ale mărimilor caracteristice îmbătrânirii materialelor electroizolante de clasa A din care face parte izolația hârtie - ulei.

Astfel este necesar să se precizeze următoarele:

- Domeniile de valori ale constantelor de material α și B pentru izolația hârtie - ulei;
- Domeniul de valori ale temperaturilor considerate normale θ_N și T_N ;
- Temperatura maximă admisă pentru izolația de hârtie din transformatoarele cu ulei.

Montsinger a stabilit „regula celor 8 grade” pentru materialele izolante de clasă A conform căreia o creștere a temperaturii cu 8 grade Celsius la care este

expusă izolația transformatoarelor determină o reducere a duratei ei de viață la jumătate. Având în vedere legea duratei de viață (3.5) sub forma dată de Montsinger, acestei reguli îi corespunde pentru constanta β o valoare bine precizată și anume $\beta=0,08664 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Ulterior, în literatura de specialitate, pornind tot de la legea duratei de viață emisă de Montsinger, pe bază experimentală a fost elaborată regula „celor 6 grade” la care îi corespunde constanta $\beta=0,11552 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, respectiv „regula celor 5,5 grade” la care îi corespunde parametrul $\beta=0,1260 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Ca urmare rezultă că pentru izolația de clasă A domeniul de variație a constantei β poate fi considerat ca fiind cuprins între $0,08664$ și $0,1260 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Pentru constanta B experimental în literatura de specialitate se consideră un domeniu de valori cuprins între 11500 și 17184°K , cea mai folosită fiind valoarea de 14573°K .

Având în vedere considerentele de mai sus, figura 3.11 prezintă variația factorului de îmbătrânire termică ρ conform relațiilor (3.5) și (3.6) la diferite valori ale constantelor β și B.

În figura 3.11 [91] sunt reprezentate:

- Curba 1 cu linie întreruptă - după relația (3.14), corespunzător regulii celor 8 grade, cu $\beta=0,08664 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$;
- Curba 2 cu linie întreruptă - după relația (3.14), corespunzător regulii celor 6 grade, cu $\beta=0,11552 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$;
- Curba 1 cu linie plină - după relația (3.8), cu $B=11500 \text{ }^{\circ}\text{K}$;
- Curba 2 cu linie plină - după relația (3.8), cu $B=14573 \text{ }^{\circ}\text{K}$;
- Curba 3 cu linie plină - după relația (3.8), cu $B=17184 \text{ }^{\circ}\text{K}$.

Pentru toate cazurile s-a considerat $\theta_N=95 \text{ }^{\circ}\text{C}$, respectiv $T_N=368 \text{ }^{\circ}\text{K}$, rezultând $\rho=1$.

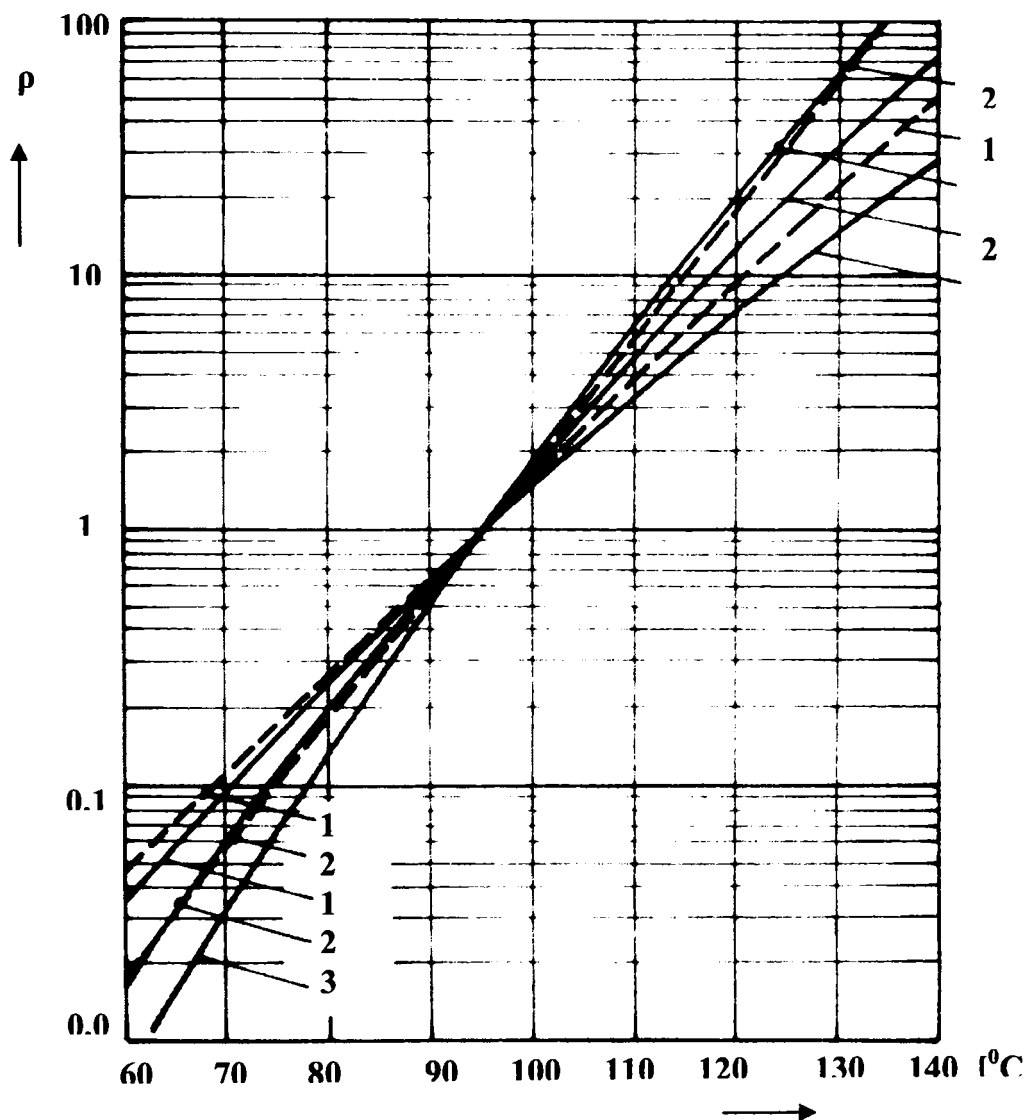


Figura 3.11 Curbele de variație ale factorului relativ de îmbătrânire termică ρ în raport cu temperatura

electroizolant este considerată normală. Aceste constante s-au stabilit pornind de la ipoteza că temperatura maximă admisibilă de durată trebuie să permită o funcționare de 25000 de ore a transformatorului, adică la o temperatură de 95°C o durată de funcționare de aproape 30 de ani.

Astfel având în vedere legile duratei de viață și considerentele de mai sus, θ_N este considerat ca fiind cuprins între 95° și până la 98°C , acceptându-se și chiar 110°C .

Temperatura maximă admisă determină aspectul curbelor ce caracterizează uzura termică a transformatoarelor. Aceasta, în cazul transformatoarelor cu ulei, este limitată la 115 °C.

Uneori, în cazul regimurilor de suprasarcină, această temperatură maximă poate să crească, dar fără a avea efecte negative asupra funcționării transformatorului. Experimental, s-a constatat că în regim de suprasarcină uleiul poate atinge 115 °C, iar înfășurările chiar 200 °C, timp de una până la patru ore fără a determina avarierea transformatorului, dar cu consecințe în privința uzurii și deci îmbătrânirii lui. În cazul scurtcircuitelor se consideră temperatura limită de 250 °C în locul cel mai cald din transformator.

3.6.3.1. Cazul procesului de încălzire

Calculul numeric al funcției $f(x)$ definită de relația 3.31 permite evaluarea îmbătrânirii termice a transformatorului în cazul unui proces de încălzire, limitele de integrare x_0 și x_1 fiind stabilite în concordanță cu cele arătate anterior.

Astfel limita de integrare x_0 rezultă din condiția

$$X_0 > \ln \Delta\theta^*_{\max} \quad (3.42)$$

unde $\ln \Delta\theta^*_{\max}$ reprezintă valoarea maximă a lui $\Delta\theta^*$ care poate să apară în practică.

Se pleacă de la ipoteza că cea mai mare temperatură de regim staționar care poate să apară în practică este $\Delta_{rim}=200$ °C. În acest caz temperatura inițială de la care se poate considera că începe procesul de încălzire este $(200-\Delta\theta)$ °C. Această temperatură poate să fie însă mai mică decât cea care determină un factor relativ de uzură termică minim ρ_{min} care trebuie luat în considerare. Ca urmare, la calculul funcției $f(x)$ se ia în considerare cea mai mare valoare maximă a lui $\Delta\theta$ care la $\theta_r=200$ °C determină o temperatură de $(200-\Delta\theta_{\max})$ °C la care corespunde un factor relativ de uzură ρ_{min} . Astfel la valori mai mari ale lui $\Delta\theta$ se va considera $\rho=0$ și deci $f(x)$. Având în vedere aceste considerente $\Delta\theta^*_{\max}$ se va determina din condiția:

$$e^{-\beta[\theta_N - (\theta_r - \Delta\theta_{\max})]} = \rho_{min} \quad (3.43)$$

de unde considerând $\rho_{min}=0,1$ și $\theta_r=200$ °C rezultă :

$$\Delta\theta^*_{\max} = \beta(200 - \theta_N) + 2,3 \quad (3.44)$$

Având în vedere relația (3.43) pentru a obține cea mai mare valoare a lui $\Delta\theta^*_{\max}$ trebuie considerată cea mai mică valoare posibilă pentru θ_N și cea mai mare valoare pentru β . Pe baza observațiilor făcute anterior se pot considera valorile extreme $\theta_N=95$ °C, respectiv $\beta=0,126$ °C⁻¹.

Ca urmare se va obține:

$$\Delta\theta^*_{\max} = 0,126 \cdot (200 - 95) + 2,3 = 15,53 \quad (3.45)$$

Din relațiile (3.41) și (3.44) rezultă:

$$X_0 = \ln 15,53 = 2,75 \quad (3.46)$$

La valori mai mari ale lui x decât 2,75 se consideră $f(x)=0$.

Valoarea inferioară a variabilei x care se ia în considerare este cea definită prin relația (3.31), adică $x_i = -4,6$.

Figura 3.12 [91] prezintă curbele de variație pentru $f(x)$, respectiv $\Delta\theta$ pentru diferite valori ale constantei β .

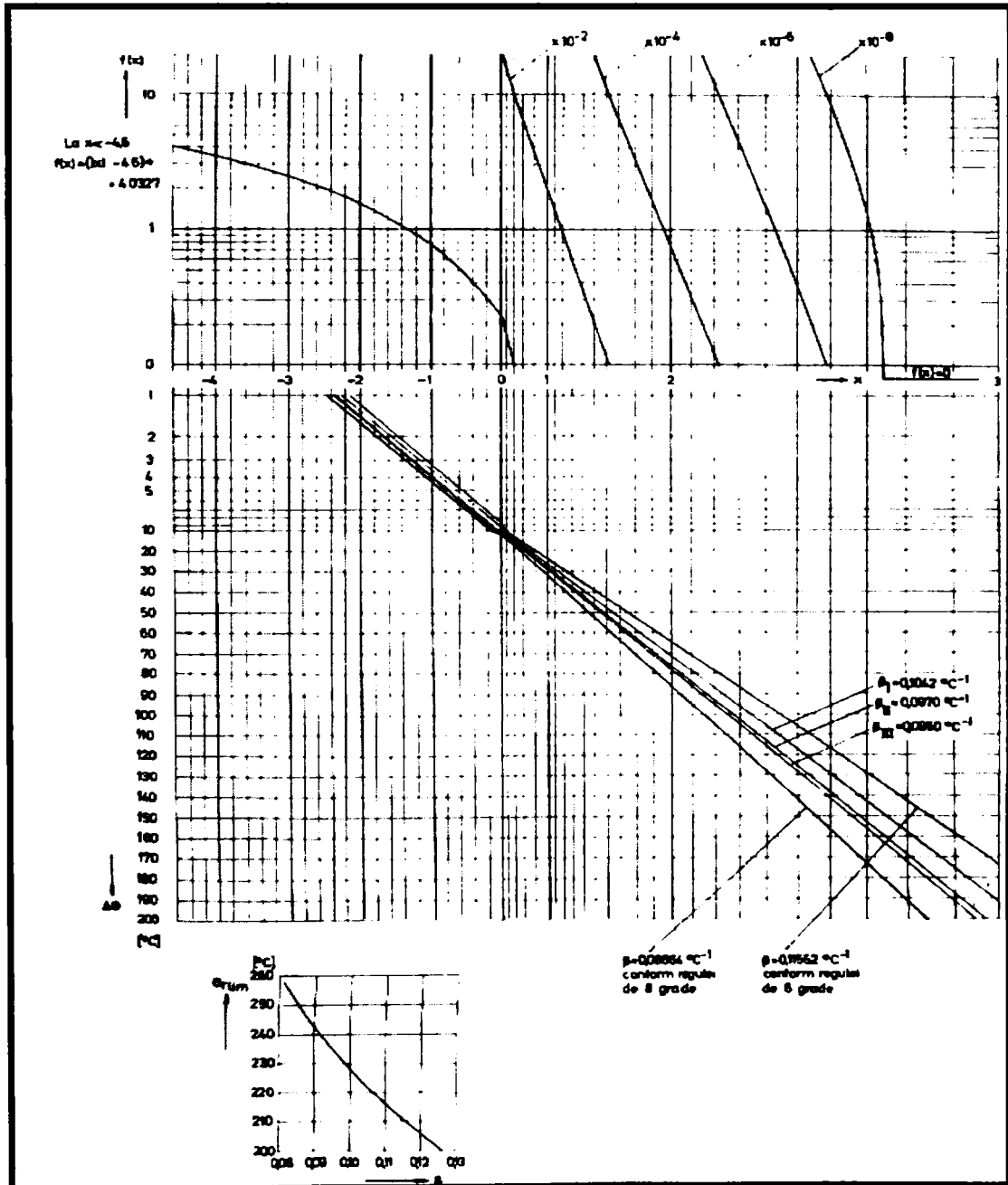


Figura 3.12 Variația funcției $f(x)$ și a temperaturii $\Delta\theta$ pentru diferite valori ale constantei de material β

La folosirea curbei $f(x)$ numai în cazul limită $\theta_r = \theta_{lim}$ se neglijează uzura corespunzătoare factorilor de uzură sub 0,1. la alte valori ale θ_r prin folosirea curbei $f(x)$ neglijarea uzurii apare la factori de uzură sub o valoare limită a lui ρ decât 0,1. Această valoare limită se poate determina cu relația:

$$\rho_{lim} = e^{-\beta[\theta_N - (\theta_r - e^{x_0})]} \quad (3.47)$$

considerând $x_0 = 2,75$.

Așa cum se constată ρ_{lim} depinde de parametrii β , θ_r , θ_N , dar întotdeauna trebuie să fie $\rho_{lim} \leq 0,1$.

3.6.3.2. Cazul procesului de răcire

Calculul numeric al funcției $\varphi(x)$ definită de relația (3.39) permite evaluarea îmbătrânirii termice a transformatorului în cazul unui proces de răcire, limitele de integrare x_0 și x_1 fiind stabilite în concordanță cu cele arătate anterior.

Astfel valoarea limitei inferioare este $x_0 = -4,6$.

Limita de integrare superioară rezultă din condiția:

$$x_s > \ln(-\Delta\theta_{max}^*) \quad (3.48)$$

considerând $-\Delta\theta_{max}^*$ ca fiind valoarea maximă pentru $-\Delta\theta^*$ care poate să apară în practică.

Așa cum s-a arătat anterior, se pornește de la ipoteza că la începutul procesului de răcire temperatura nu poate fi mai mare de 140°C . considerând în mod exagerat că răcirea are loc spre 0°C , rezultă $-\Delta\theta_{max}^* = 140^\circ\text{C}$. valoarea maximă a lui $-\Delta\theta^*$ corespunde valorii maxime a lui $\beta = 0,126^\circ\text{C}^{-1}$.

Astfel se va obține:

$$x_s = \ln(0,126 * 140) = 2,87 \quad (3.49)$$

Cu limitele x_0 și x_s astfel determinate în figura 3.13 s-a reprezentat variația funcției $\varphi(x)$ și a mărimii $\Delta\theta$ cu ajutorul cărora se poate realiza evaluarea factorului de îmbătrânire a izolației transformatorului.

Funcția $\varphi(x)$ devine egală cu zero la $x = -4,6$. Pentru că la $x = -4,5$ rezultă $\varphi(x) = 0,001$, la utilizarea curbei din figura 3.13 [91] se va considera $\varphi(x) = 0$ la $x \leq -4,5$.

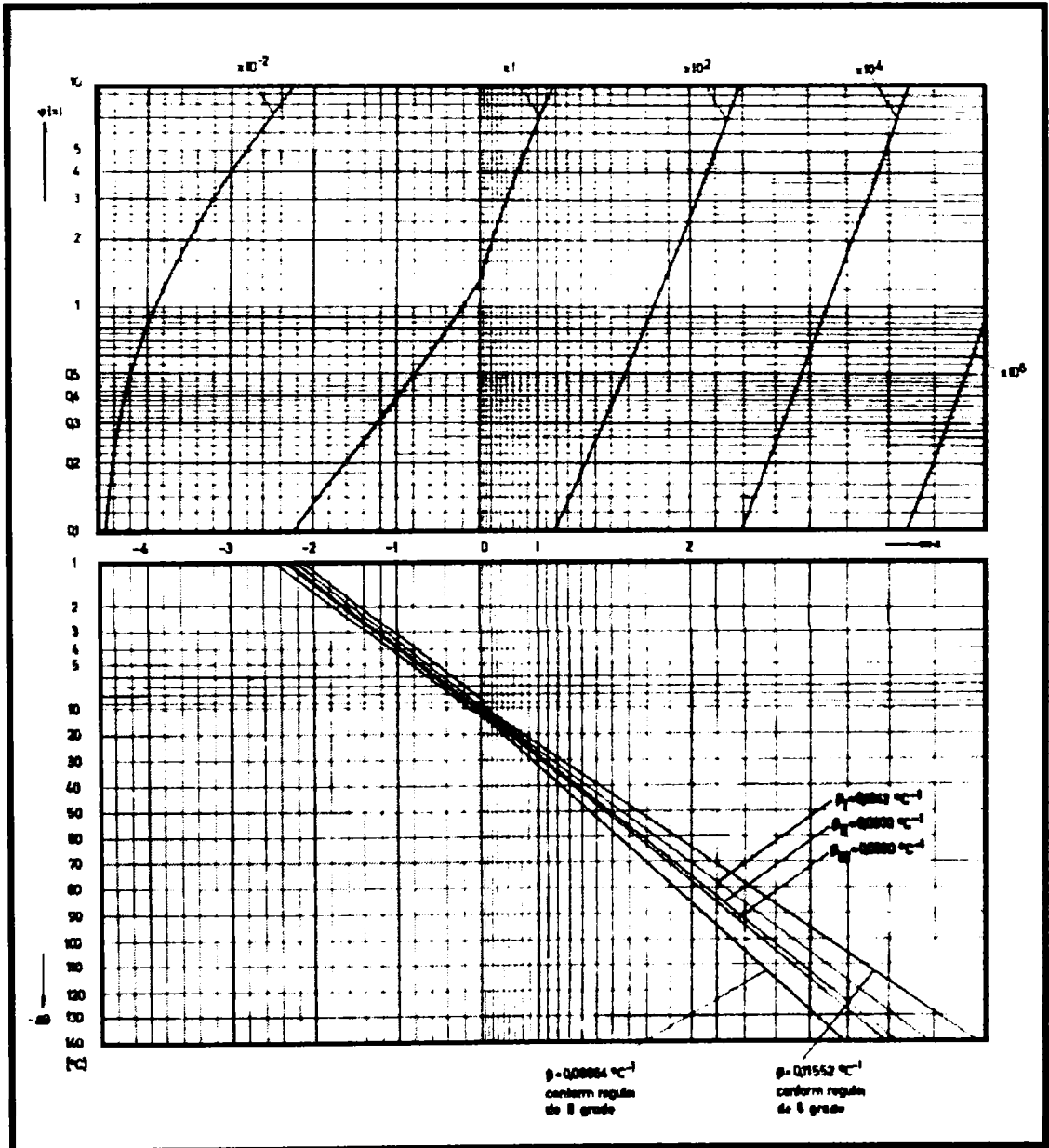


Figura 3.13 Variația funcției $\phi(x)$ și a mărimii $\Delta\theta$ pentru diferite constante de material β

3.6.4. Exemple de calcul

Așa cum a fost expus anterior, durata de viață ca și factorul de uzură determină starea de îmbătrânire a transformatoarelor.

Pentru exemplificare, folosind mediul Mathcad, s-a considerat cazul transformatoarelor din stația de transformare Curtici Anexa 4).

1) Astfel, în cazul primului transformator, pentru calculul uzurii s-a pornit de la următoarele date inițiale:

- Temperatura inițială $\theta_i = 78^\circ\text{C}$
- Temperatura se consideră că variază exponențial cu timpul
- Valoarea de regim staționar este $\theta_r = 110^\circ\text{C}$
- Durata procesului termic se consideră de 2,25 ore
- Constanta de timp a procesului termic se consideră de 1,5 ore
- Se admit $\theta_N = 95^\circ\text{C}$ și $\beta = 0,086643^\circ\text{C}^{-1}$, considerând regula celor 8 grade;

Temperatura de regim staționar fiind mai mare decât temperatura inițială, rezultă că are loc un proces de încălzire pentru care $\Delta\theta = 110 - 78 = 32^\circ\text{C}$ și ca urmare se va folosi curba $f(x)$ în determinarea valorilor x_1 , respectiv $f(x_1)$.

Astfel, pe baza graficului din figura 3.12, pentru $\beta = 0,086643^\circ\text{C}^{-1}$, se vor obține valorile $x_1 = 1,02$, $f(1,02) = 0,01745$.

Exprimând în valori relative se obține:

$$\Delta t^* = \frac{2,25}{1,5} = 1,5$$

Pentru limita x_2 se va obține:

$$x_2 = x_1 - \Delta t^* = 1,02 - 1,5 = -0,48 \text{ la care corespunde } f(-0,48) = 0,4376$$

Ca urmare, considerând relațiile 3.28 și 3.33, uzura termică va fi :

$$u = \frac{e^{0,086643(110-95)}}{1,5} (0,4376 - 0,01745) = 1,03$$

Uzura u fiind supraunitară, rezultă că uzura termică pentru perioada considerată este mai mică decât uzura normală.

Din figura 3.12, se poate stabili că, la sfârșitul perioadei, lui $x_2 = -0,48$ corespunzându-i $\Delta\theta = 7^\circ\text{C}$, temperatura finală va fi:

$$\theta_f = 110 - 7 = 103^\circ\text{C}.$$

2) În cazul celui de-al doilea transformator, datele inițiale sunt următoarele:

- temperatura inițială $\theta_i = 120^\circ\text{C}$;
- temperatura variază exponențial cu timpul;
- temperatura de regim staționar este $\theta_r = 85^\circ\text{C}$;
- durata procesului termic este de 4 ore;
- constanta de timp a procesului termic este de 2 ore.
- Se admit $\theta_N = 98^\circ\text{C}$ și $\beta = 0,11552^\circ\text{C}^{-1}$, considerând regula celor șase grade;

Din datele inițiale, $\Delta\theta = 85 - 120 = -35^\circ\text{C}$, rezultând că este vorba de un proces de răcire, ca urmare se va folosi funcția $\varphi(x)$.

Din graficul $\varphi(x)$, pentru valoarea $\beta = 0,11552^\circ\text{C}^{-1}$, rezultă $-\Delta\theta = 35^\circ\text{C}$, $x_1 = 1,40$,

$$\varphi(1,40) = 18,42.$$

În valori relative:

$$\Delta t^* = \frac{4}{2} = 2$$

La $x_2 = x_1 - \Delta t^* = 1,40 - 2 = -0,60$, din figura 3.13 se poate stabili $\varphi(-0,60) = 0,62$. Uzura termică, calculată pe baza relațiilor (3.28) și (3.41), va fi:

$$u = \frac{e^{0,11552(85-98)}}{2} (18,42 - 0,62 + 2) = 2,21$$

De asemenea cu ajutorul reprezentărilor grafice din figura 3.13 se poate stabili și temperatura la sfârșitul perioadei considerate de 4 ore.

Astfel, din graficul funcției $\varphi(x)$, pentru $x_2 = -0,6$ va rezulta $-\Delta\theta = 5^\circ\text{C}$ și deci temperatura finală va fi :

$$\theta_f = 85 + 5 = 90^\circ\text{C}.$$

3) Cazul general în care se poate considera un domeniu de variație a constantei β cu următoarele date inițiale:

- temperatura inițială $\theta_i = 75^\circ\text{C}$;
- temperatura variază exponențial cu timpul;
- temperatura de regim staționar este $\theta_r = 110^\circ\text{C}$;
- $\theta_N = 95^\circ\text{C}$;

Reprezentarea grafică a funcției $f(x)$ cu redarea coordonatelor, este prezentată în figura 3.14.

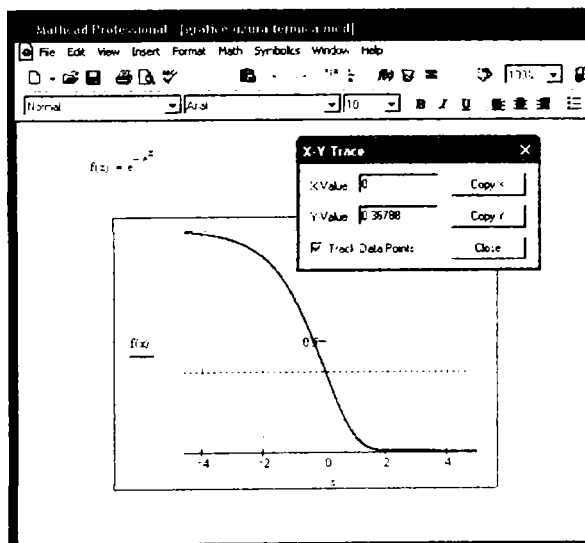


Figura 3.14 Variația funcției $f(x)$

Variația uzurii termice cu parametrul β variabil realizată cu ajutorul programului Mathcad, este reprezentată în figura 3.15:

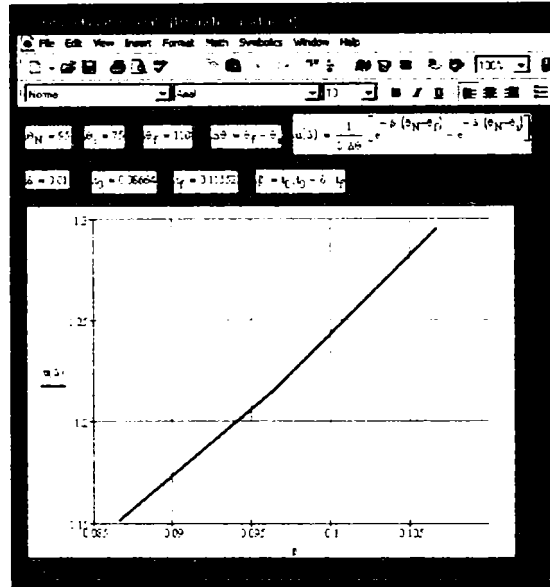


Figura 3.15 Variația uzurii termice cu constanta de material β

Considerând aceleași date inițiale se poate urmări și variația uzurii termice cu temperatura în figura 3.16 astfel:

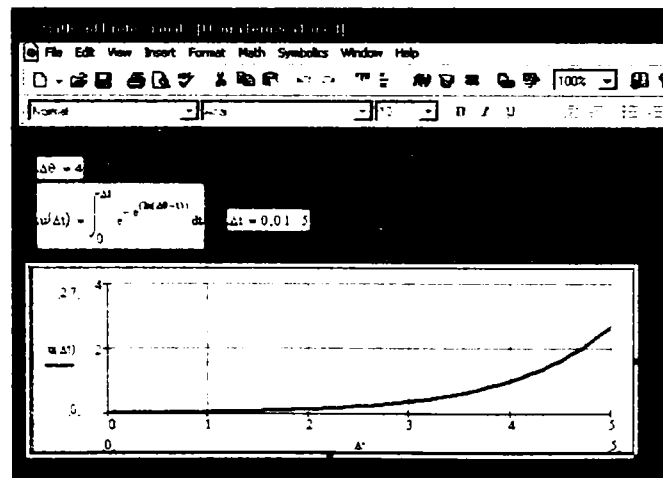


Figura 3.16 Variația uzurii termice cu temperatura

3.7. Concluzii

În urma studiilor efectuate, se poate afirma că o parte din transformatoarele din diferitele stații de transformare sunt necorespunzător utilizate, sub posibilitățile reale. O apreciere a uzurii transformatoarelor, respectiv a gradului lor de îmbătrânire se poate face pe baza legii duratei de viață a acestora, dar ținând cont de anumite considerente și particularități specifice:

- Transformatoarele sunt supuse diferitelor solicitări, dintre care solicitarea termică poate fi considerată ca fiind cea mai pregnantă;
- Transformatoarele pot fi considerate cu o anumită comportare termică tipică;
- Evaluarea comportării se face prin aplicarea legii duratei de viață, cu anumite valori ale constantelor care intervin în lege, de cele mai multe ori apelându-se la regula celor „n” grade. Cele mai elocvente rezultate s-au obținut prin aplicarea regulii celor 8 grade;
- Sunt presupuse anumite curbe de sarcină, particulare ca formă.

Comportarea termică a transformatoarelor poate fi apreciată prin relații matematice, modelare realizată prin programe de calcul matematic, așa cum este programul Mathcad. Rezultatele modelării matematice putând fi vizualizate prin curbe și tabele în care este necesară o particularizare a calculelor care să aibă în vedere:

- Comportarea din punct de vedere termic a transformatoarelor;
- Condițiile de încărcare a transformatorului;
- Caracteristicile izolației;
- Modul de evaluare a uzurii termice a izolației.

Contribuțiile aduse de autor sunt:

- Sistematizarea și prezentarea mărimilor care solicită transformatoarele electrice;
- Realizarea unui studiu asupra factorilor care determină îmbătrânirea transformatoarelor, insistându-se pe factorul temperatură care influențează cel mai mult comportamentul în timp al materialelor electroizolante și implicit al transformatoarelor;
- Prezentarea într-o formă adecvată a metodelor de determinare a îmbătrânirii termice relative a materialelor electroizolante în regim de temperatură variabilă. Astfel a fost luată în considerare variația de temperatură liniară, respectiv exponențială;
- Metodele de determinare a îmbătrânirii relative a materialelor electroizolante au fost aplicate concret pentru izolația hârtie – ulei folosită la construcția transformatoarelor electrice. Prelucrarea datelor s-a făcut cu ajutorul familiilor de curbe trasate folosind mediul Mathcad;
- Exprimarea în mărimilor în unități relative determină o creștere a valabilității acestora la orice valori ale constantelor de material care caracterizează materialul electroizolant utilizat;
- Ilustrarea modului de aplicare a metodelor expuse prin exemple concrete de calcul, atât în cazul unui regim de încălzire, cât și în cazul unui regim de răcire a izolației transformatoarelor.

- 17 stații 110kV
- 68.2 Km LEA 220 kV;
- 503.52 Km LEA 4- LES 110kV;
- 2552,9 Km LEA medie tensiune;
- 180 Km LES medie tensiune;
- 1816 posturi de transformare;

Activitatea de producere a energiei electrice se desfășoară în principal în cadrul sucursalei Electrocentrale Arad care are în componență 2 centrale electrice. Din volumul de instalații evidențiat mai sus pe teritoriul orașului Arad se află următoarele componente

- 8 stații electrice de transformare:
- 498 posturi de transformare;
- 150 Km LES medie tensiune;
- 290 Km LEA medie tensiune;
- 410 Km linii joasă tensiune;

Poziționarea celor 17 stații de transformare (Lipova, Sebis, Pâncota, Muresel, Pădurice, Teba, Poltura, Fântanele, Curtici, Pecica, Semlac, Bujac, Chișneu Criș, Uva, Gai, CFR Șofronea, CFR Vărădia) de pe teritoriul județului Arad este reprezentată în figura 4.2:

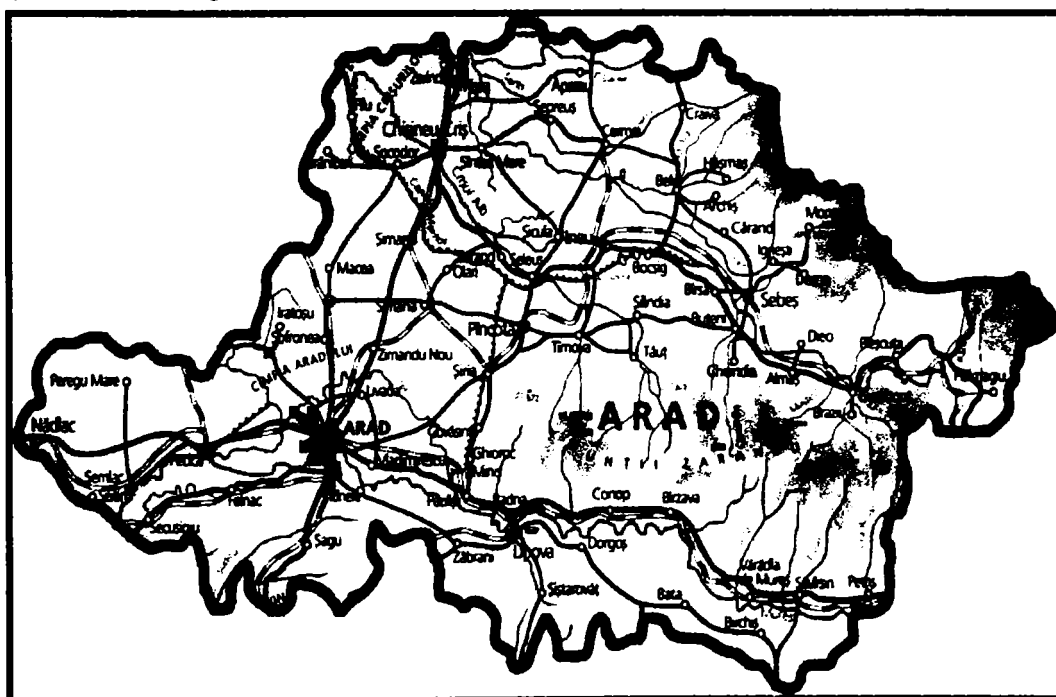


Figura 4.2 Localizarea stațiilor de transformare de pe teritoriul județului Arad

Conducerea operativă a SEEA este asigurată prin intermediul a trei trepte de dispecer după cum urmează:

- Dispeceratul Energetic Zonal (DEZ);
- Dispeceratul Energetic Local Arad (DELA) pentru județul Arad;
- Dispeceratul Energetic Local Municipal (DELM) pentru municipiul Arad.

Aceste trepte de dispecer asigură conducerea operativă a instalațiilor de înaltă tensiune (DEZ) respectiv a celor de medie tensiune (DELA, DELM).

Activitățile de întreținere și exploatare sunt asigurate de către centre specializate pentru fiecare nivel de tensiune după cum urmează:

- 1 Centru de Înaltă Tensiune pentru instalațiile de înaltă tensiune din județ (linii plus stații)
- 2 centre de distribuție a Energiei Electrice (exemplificare) pentru instalațiile de medie și joasă tensiune de pe raza județului.

4.1. Structura bazei de date pentru aplicația Electrica

Sistemele de gestiune a bazelor de date sunt instrumente esențiale în numeroase medii, de la utilizările tradiționale în contexte de afaceri, cercetare, învățământ și până la aplicațiile mai recente, cum ar fi operarea utilizând motoarelor de căutare pe Internet. Utilizarea bazelor de date este tot mai frecventă și la nivel individual în scopul stocării unor date obținute în urma cercetărilor genealogice, întreținerea unor colecții etc.

Folosirea în practică a unor modele complexe, deși teoretic fundamentată, determină costuri prohibitive prin puterea mare de calcul solicitată și prin realizarea infrastructurii absolut necesare în vederea culegerii și realizării bazelor de date ce stochează informațiile necesare calculului.

Existența unei baze de date complete este imperios necesară, atât pentru o evidență clară în domeniu, cât și pentru asigurarea suportului de informații pentru studiul fenomenelor în domeniu [10, 15, 33, 58]. Baza de date trebuie să conțină informațiile care răspund unei game variate de cerințe din partea utilizatorilor, cerințe materializate prin aplicații care vor lucra cu aceste informații. Aplicațiile pot atinge mai multe obiective sau pot să fie specializate pe o anumită problemă.

Principalele obiective ale aplicațiilor din domeniul monitorizării transformatoarelor care solicită informațiile existente în baza de date ar putea fi:

- estimarea duratei de viață a transformatoarelor;
- evaluarea stării transformatoarelor;
- crearea de facilități pentru procesul de prelucrare și interpretare a datelor;
- organizare și suport în exploatare;
- crearea de facilități pentru procesul de prognoză și decizie.

În contextul realizării unui sistem de monitorizare a echipamentelor electrice, am conceput o bază de date pe care am denumit-o Electrica.

În acest sens, obiectivele aplicațiilor din domeniul monitorizării, enumerate mai sus, se pot referi la transformatoarele aflate în exploatarea stațiilor de transformare și din aceste considerente, proiectarea bazei de date s-a făcut pentru transformatoarele aflate în stația de transformare Poltura din județul Arad.

Informațiile primare se referă:

- identificarea transformatorului (CodEchipament, Fabrica, Număr, AnFabricatie, Tip, etc.), ascendenții săi (tipul de echipament din care face parte, stația), localizare (localitatea);
- caracteristicile transformatorului (tip, putere, conexiune, tensiunea superioară, tensiunea inferioară, etc.)
- măsurările realizate de operator (măsurarea conținutului de apă dizolvată în ulei, măsurarea rezistențelor de izolație ale înfășurărilor, măsurarea tangentei unghiului de pierderi dielectrice ale uleiului, măsurarea tangentei unghiului de pierderi dielectrice a izolației înfășurărilor, respectiv măsurarea tensiunii de revenire a izolației înfășurărilor, etc.)

Utilizatorii bazei de date se împart în două categorii: cei care întrețin baza de date și cei care o exploatează cu una din aplicațiile dezvoltate.

În lucrarea de față a fost implementată aplicația realizată și care permite monitorizarea stării și a duratei de viață a transformatoarelor. Modelul matematic utilizat este modelul tată (sire model) pentru transformatoarele aflate în exploatare în condiții asemănătoare de mediu.

Scopul realizării acestei baze de date și apoi a implementării aplicației, a fost acela de a obține datele necesare în vederea dezvoltării unui model care să permită analiza și diagnoza stării și duratei de viață a transformatoarelor funcție de factori de mediu.

Baza de date a fost proiectată să stocheze informații care să permită calculul principalelor mărimi care pot caracteriza starea și durata de viață a unui transformator: rezistența de izolație, tangenta unghiului de pierderi, factorul relativ de îmbătrânire termică, uzura termică, durata de viață.

Stabilirea structurii bazei de date, a reprezentat o primă etapă în proiectarea bazei de date [15, 25, 87, 167, 170]. Ea a fost stabilită în urma unei riguroase analize a activităților urmărite a se realiza în aplicație, precum și în perspectiva dezvoltării de aplicații ulterioare.

Sistemul de baze de date utilizat în această teză este MySql datorită avantajelor pe care le prezintă [31], [50]:

- Viteza: se consideră că MySql este cel mai rapid sistem de baze de date.
- Ușurință în utilizare: MySql este un sistem de baze de date cu performanțe ridicate, dar relativ simplu, a cărui configurare și administrare sunt mult mai simple decât în cazul sistemelor mai mari.
- Cost: MySql este gratuit pentru majoritatea utilizărilor interne.
- Suport pentru limbaje de interogare: MySql înțelege SQL (Structured Query Language), limbajul preferat al tuturor sistemelor moderne de baze de date.
- Caracteristici: la server se pot conecta mai mulți clienți simultan care pot utiliza mai multe baze de date simultan. Accesul la MySql se poate obține interactiv folosind numeroase interfețe care permit introducerea interogărilor și vizualizarea rezultatelor. De asemenea este disponibilă o varietate de interfețe de programare pentru limbaje precum C, Perl, Java, PHP și Python.
- Conectivitate și securitate: MySql poate fi folosit integral în rețele, iar bazele de date sunt accesibile de oriunde din Internet, deci datele pot fi partajate cu oricine, oriunde. MySql are controlul accesului astfel încât persoanele care nu au dreptul să citească aceste date nu vor avea această posibilitate.
- Portabilitate: MySql rulează pe numeroase varietăți de Unix, precum și pe alte sisteme ca Windows și OS/2. De asemenea rulează pe echipamente de la calculatoare de birou, la servere cu performanțe ridicate.
- Distribuție liberă: MySql este ușor de obținut de pe web. Dacă nu se înțelege funcționarea unei componente se poate procura codul sursă.

Baza de date astfel concepută conține toate informațiile necesare aplicației implementate și dezvoltărilor ulterioare ale acesteia. Informațiile existente în baza de date sunt în concordanță cu legislația în vigoare.

Au fost analizate următoarele activități:

- Înregistrarea stației;
- Înregistrarea transformatorului;
- Managementul exploatării;
- Stabilirea uzurii și duratei de viață a transformatorului.

Figura 4.3 prezintă ema conceptuală a bazei de date Electri

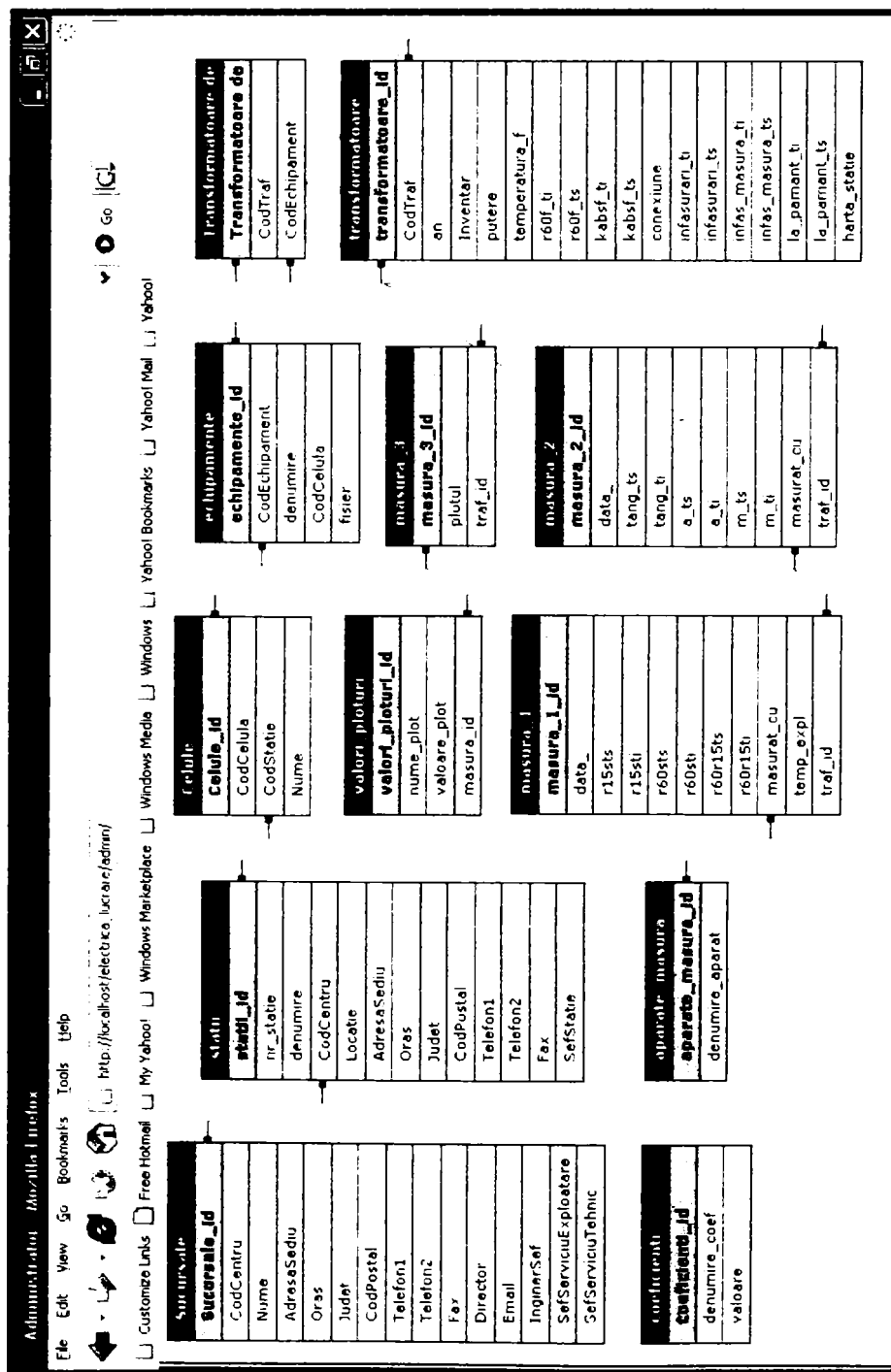


Figura 4.3. Baza de date Electrica, schema conceptuală.

4.2. Modelarea datelor

Studiul asupra istoriei bazelor de date este centrat în jurul problemei modelării datelor. Bazele de date sunt colecții de date, iar un model de date stabilește regulile de organizare și interpretare a acestora. Există concepte matematice ce exprimă proprietățile statice și dinamice ale unei colecții de date.

Orice model de date trebuie să se bazeze pe trei componente: structurile de date, constrângerile de integritate și operatorii de manipulare a datelor [15, 25, 40, 76, 77].

În evoluția bazelor de date două dintre modele s-au evidențiat clar, considerându-le la ora actuală de referință în istoria bazelor de date. Acestea sunt modelul relațional și modelul obiectual.

Locul și rolul celor două modele în evoluția bazelor de date este ilustrat în figura 4.4.

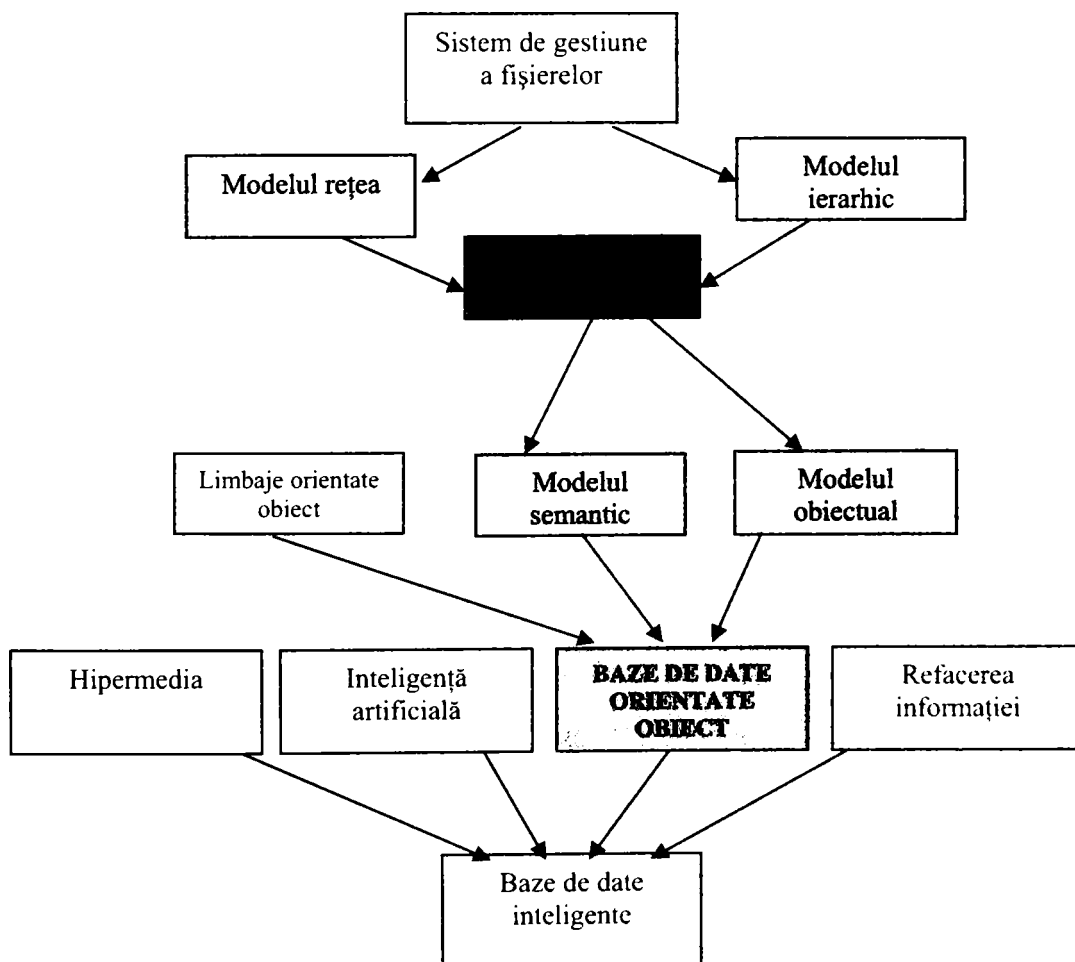


Figura 4.4. Modelul datelor în evoluția bazelor de date.

4.2.1. Modelul de date relațional

Modelul relațional al datelor se bazează pe noțiunea de relație din matematică, care corespunde unei mulțimi de entități de același tip și are o reprezentare ușor de înțeles și de manipulat, ce constă dintr-un tabel bidimensional, compus din linii și coloane.

Relația este o mulțime de entități, iar tabelul este reprezentarea vizuală a acesteia.

Modelul relațional de baze de date este un model de date formal, el a fost definit de E. Codd în "A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks"[50, 51] și se bazează pe principiile algebrei relaționale.

O bază de date relațională este formată dintr-o mulțime finită de relații (tabele, fișiere), fiecare relație reprezentând un tip de entitate sau o asociere dintre două sau mai multe tipuri de entități[50].

Asupra relațiilor se pot aplica o colecție de operatori care permit manipularea datelor memorate în tabele.

O tabelă (relație) este formată din rânduri și coloane, în algebra relațională n -upleți (rânduri) și constituânți (coloane).

Constituânții sunt informații elementare dintr-o relație. Domeniul constituânților reprezintă mulțimea valorilor pe care le poate lua un constituant. Domeniul se poate defini separat ca un tip abstract. Mai mulți constituânți pot avea același domeniu. Domeniul constituânților sunt valori atomice.

O relație se definește prin:

- n -upletul de constituânți (x_1, x_2, \dots, x_n) ;
- domeniul relației pentru fiecare constituant;
- un predicat care permite pentru orice n -uplet (a_1, a_2, \dots, a_n) , unde a_i aparține domeniului (x_i) să aibe o valoare adevărată sau falsă.

Această relație se notează $R(x_1, x_2, \dots, x_n)$ sau $R(x)$ și este formată din ansamblul n -upleților pentru care predicatul dă propoziții adevărate.

Caracteristicile relației sunt:

- N -upleții în relație sunt neordonăți (relația se memorează în fișiere, n -upleții fiind înregistrările fișierului). O relație poate fi vizualizată în orice ordine a rândurilor, poate fi ordonată după fiecare atribut al său.
- Valorile atributelor în n -upleți sunt ordonate. Într-o relație, attributele în n -upleți apar în aceeași ordine (o mulțime ordonată de valori).
- Valorile atributelor în n -upleți sunt atomice. Un atribut în n -uplet nu poate avea decât o valoare. Ea poate fi nulă, să nu existe sau să nu se aplice n -upletului în cauză.

Algebra relațională cuprinde o colecție de operatori. Operatorii se aplică asupra relației în vederea manipulării datelor. În urma aplicării operatorilor rezultă o nouă relație (tabelă).

Operatorii relaționali sunt:

- selecția n -upleților din relație care îndeplinesc o anumită condiție;
- proiecția reține numai anumite coloane dintr-o relație conform unei liste.

- combinarea n-upleților (*JOIN*) din mai multe relații pentru a putea răspunde la întrebări pe baza unor condiții între coloane compatibile din cele două relații;
Relațiile rezultate pot fi supuse la noi operații.
Operatorii pot fi împărțiți în două categorii:
- operatori din teoria mulțimilor (*UNION, INTERSECT, DIFFERENCE, PRODUS CARTEZIAN*);
- operatori speciali ai algebrei relaționale (*SELECT, PROJECT, JOIN*)

4.2.1.1. Reprezentarea relațiilor prin tabele

Un tabel este o reprezentare a unei relații și este compus din următoarele:

- Numele tabelului, care este identic cu numele relației pe care o reprezintă;
- Un număr de coloane egal cu numărul de atribute ale relației, fiecare coloană reprezentând un atribut;
- Capul tabelului, în care se înscriu numele atributelor relației, fiecare atribut fiind înscris în coloana corespunzătoare;
- O mulțime de linii, fiecare linie corespunzând unui tuplu, deci unei entități; în fiecare element al unei linii se înregistrează valoarea atributului corespunzător coloanei în care se află elementul respectiv.

În implementările reale, valorile atributelor sunt câmpuri (*fields*) memorate într-o anumită ordine în cadrul înregistrării (*record*) corespunzătoare unui tuplu.

Relațiile unei baze de date reflectă realitatea modelată și de aceea valorile pe care le conțin trebuie să respecte anumite reguli, care corespund celor din realitate. Constrângerile de integritate sunt regulile care se definesc la proiectarea unei baze de date și care trebuie să fie respectate de orice stare a acesteia [11, 15, 58, 86].

O relație este definită de ca o mulțime de tupluri, ele trebuie să fie distincte, nu pot exista într-o relație două tupluri care să conțină aceeași combinație de valori ale tuturor atributelor.

Supercheia (*S(K)*) este un grup de atribute care determină univoc n-upleții unei relații. Pot exista relații la care *S(K)* este formată din toate atributele.

Cheia (*K*) este o supercheie minimală. Ea are proprietatea că, înlocuind un atribut al ei cu un altul, nu mai este supercheie a relației respective.

Cheia primară (*PK Primary Key*) este aleasă dintre cheile pentru identificarea înregistrărilor. Se alege să fie cu un singur atribut sau un număr redus de atribute, să aibă lungime minimă și să aibă sens funcțional.

Asocierile între tipurile de entități definite în modelul conceptual al unei baze de date se realizează în modelul relațional prin intermediul cheilor externe (străine).

Cheia externă (*FK Foreign Key*) este un atribut sau un grup de atribute care este cheie primară într-o altă relație și servește la realizarea unor legături între două relații.

Pe lângă avantajul unui model de date precis și simplu, sistemele de baze de date relaționale mai beneficiază și de un limbaj de programare unanim recunoscut și acceptat, limbajul SQL (*Structure Query Language*). Limbajul SQL este

limbajul utilizat de majoritatea sistemelor de baze de date relaționale pentru definirea și manipularea datelor.

SQL, este un limbaj de cereri *non-procedural* care permite accesul la date, precizând ce trebuie obținut specificând condițiile[15, 86,108, 121].

Cu toate că tehnologia relațională a introdus limbajul SQL și el a devenit un standard pentru interogarea bazelor de date, limbajul nu este dependent de tehnologia relațională, el fiind utilizat și în alte tehnologii (orientat obiect, relațional-obiectual). Sistemele de gestiune relaționale asigură că nici un utilizator și nici o aplicație nu pot modifica baza de date, dacă modificarea este în contradicție cu constrângerile de integritate.

4.2.1.2. Sisteme de gestiune bazelor de date relaționale

Cele mai răspândite sisteme de gestiune a bazelor de date relaționale sunt:

Sistemul Oracle

Sistemul Oracle este un sistem de gestiune a bazelor de date multiutilizator puternic, cu implementări pe toate platformele (Windows, Unix, Linux), care oferă atât performanțe de execuție ridicate, cât și un grad de protecție și securitate a datelor. În toate versiunile, Oracle oferă implementarea completă a caracteristicilor modelului relațional (conform standardului SQL2), iar în ultimele versiuni (Oracle8i, Oracle9i și Oracle 10g) sunt sisteme de gestiune a bazelor de date distribuite, implementând extensiile orientate obiect prevăzute de standardul SQL3 și oferă posibilitatea de dezvoltare a bazelor de date distribuite[77, 78].

Microsoft SQL Server

SQL Server este sistemul de gestiune a bazelor de date relaționale dezvoltat de firma Microsoft pentru sistemele de operare Windows [Microsoft2000] [65, 66].

Microsoft SQL Server 2000 (versiunea ianuarie 2004) este un sistem de gestiune a bazelor de date relațional (RDBMS), bazat pe limbajul SQL, suportă complet standardul SQL2, este scalabil și are integrat limbajul XML (*Extensible Markup Language*), suport pentru aplicațiile internet.

Limbajul utilizat de Microsoft SQL Server 2000 este Transact-SQL (T-SQL), un dialect al limbajului SQL.

SQL Server 2000 [151] integrează suport complet pentru XML. asigurând o modalitate eficientă de transfer a datelor și posibilități de integrare în mediile care presupun existența unor sisteme informatice eterogene.

Versiunea 2000 integrează tehnologiile XPath și URL Query, simplificând procesele de transfer a datelor în format XML. De asemenea, limbajul procedural Transact SQL (T-SQL) a fost întregit cu noi funcții care facilitează aceste operațiuni.

Astfel Microsoft SQL Server 2000:

- suportă accesul în același timp a mai multor utilizatori la baza de date prin intermediul instanțelor bazei de date. Aplicații ce rulează pe calculatoare separate, utilizează componentele de comunicare ale serverului pentru a transmite comenzi instanței bazei de date. În urma conectării (sqlConection), aplicația poate referii datele instanței bazei de date funcție de drepturile de autorizare pe care le are.

- suportă traficul Web precum și conexia a sute de mii de utilizatori în același timp. Tabelele în SQL Server 2000 pot fi partiționate pe mai multe servere, calculatoarele multiprocesor cooperează în vederea procesării cererilor foarte mari de date. Grupurile de servere de baze de date sunt numite federații.
- permite să lucreze și în condițiile în care atât baza de date cât și aplicația ce lucrează cu aceasta se găsesc pe același calculator, reducând considerabil cerințele cu privire la resursele solicitate.
- prezintă un nivel ridicat de disponibilitate a bazei de date. Versiunea 2000 oferă posibilitatea de realizare online a backup-ului bazei de date, fără a fi afectate procesele de business derulate prin intermediul acestui server.
- oferă avantaje importante în arhitecturile bazate pe clustere de servere, asigurând un nivel deosebit de disponibilitate și siguranță în exploatarea datelor. Tehnologia Virtual Interface System Area Network (VI SAN) permite integrarea directă a SQL 2000 în cadrul arhitecturilor SAN, fiind asigurat un nivel ridicat de performanță.

4.2.1.3. Arhitectura bazei de date

În MS SQL Server 2000 datele sunt memorate în baze de date. Există două aspecte cu privire la implementarea arhitecturii bazei de date, cea logică, vizibilă pentru utilizator, organizată în mai multe componente (tabele, vederi, proceduri), și cea fizică, în mai multe fișiere pe disc. Implementarea fizică este transparentă pentru utilizator, administratorul bazei de date este cel care sesizează și lucrează în mod concret cu fișiere sistem al bazei de date. Arhitectura bazei de date SQL Server cu modul acesteia de implementare este prezentat în figura 4.5:

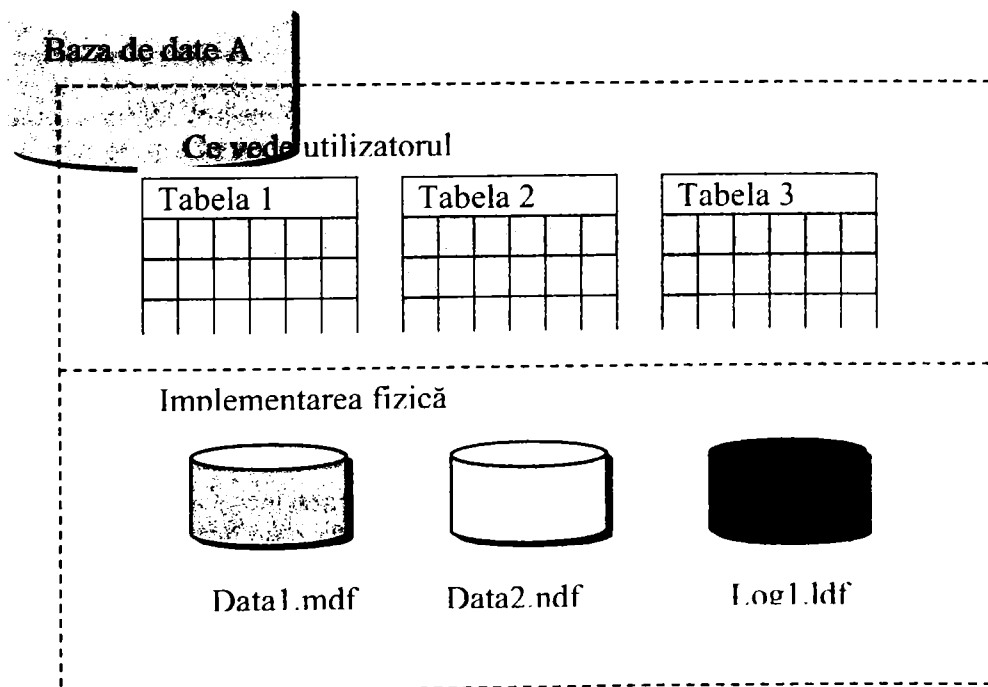


Figura 4.5. Implementarea bazei de date SQL Server

Fiecare instanță a SQL Server are patru fișiere sistem (master, model, tempdb și msdb) și una sau mai multe baze de date utilizator. Această structură a instanței SQL Server este prezentată în figura 4.6. În figura 4.6 este prezentat și locul bazei de date Electrica ca și bază de date utilizator în cadrul instanței.

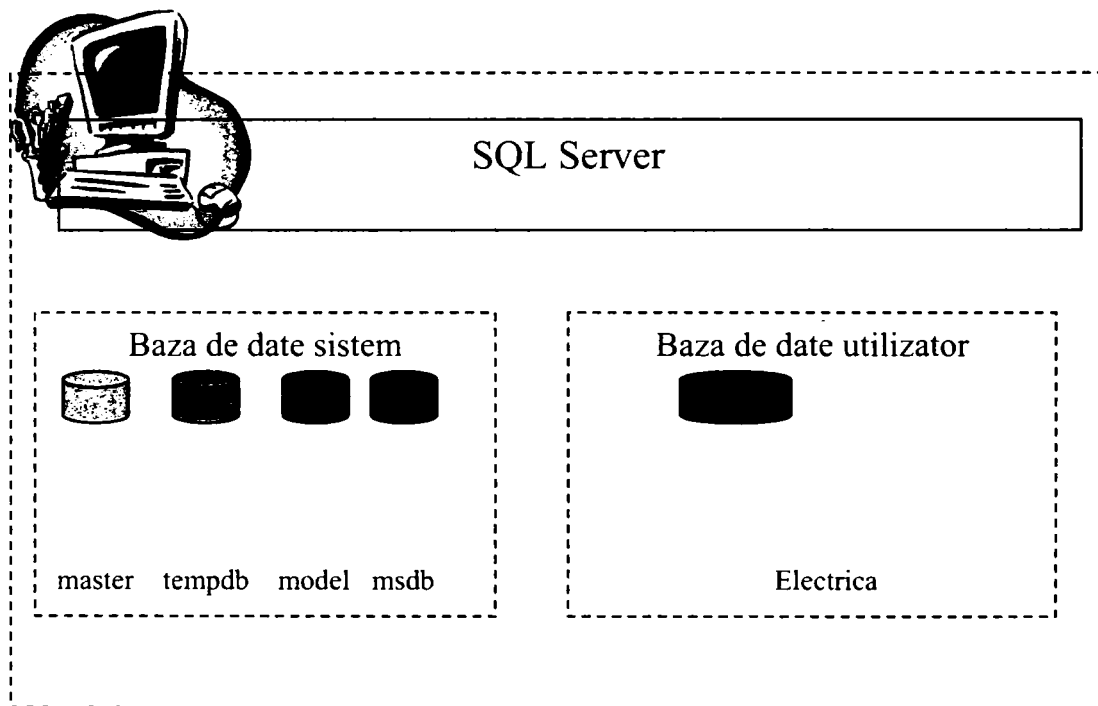


Figura 4.6 Arhitectura bazei de date SQL Server

4.2.1.4. Trăsături caracteristice

Microsoft SQL Server 2000 extinde performanțele, siguranța, calitatea și ușurința în lucru a versiunilor anterioare completându-le pe acestea cu altele, asigurând o excelentă platformă pentru tranzacțiile online (OLTP online transactional processing), depozitarea datelor și aplicații e-commerce.

SQL Server 2000 are asigurată integrarea în internet prin:

- Limbajul XML
- English Query și Microsoft Search Service
- Modelul de programare a SQL Server 2000 este integrat în Windows DNA (Windows Distributed interNet Applications Architecture), platforma Microsoft pentru dezvoltarea aplicațiilor
- Web ce asigură soluții securizate, fiabile de mare scalabilitate care facilitează integrarea sistemelor și aplicațiilor eterogene.

Scalabilitatea și disponibilitatea este asigurată prin faptul că baza de date funcționează pe platforme pornind de la laptop-uri cu Microsoft Windows 98 și până la sisteme multiprocesor cu Microsoft Windows 2000 Data Center Edition.

4.2.2. Modelul de date orientat obiect

Modelul obiect (*Object Model*) este un concept unificator în știința calculatoarelor, fiind aplicabil în programare, în proiectarea hardware-ului, a interfețelor, a bazelor de date, etc.[43, 69, 71, 90]

Aplicațiile (*software*) scrise în ultimii ani, indiferent de domeniul de aplicativitate, folosesc modelul orientat obiect. Acest lucru s-a extins și asupra aplicațiilor ce lucrează cu bezele de date. Bazele de date și programarea orientată pe obiecte reprezintă o copie modul de funcționare al creierului uman și ca urmare se aștepta o extindere a modelului orientat obiect și asupra bazelor de date. Dacă modelul relațional a stat la baza sistemelor de gestiune a bazelor de date relaționale, în etapa următoare, programarea orientată obiect și bazele de date au condus la sistemele de gestiune a bazelor de date orientate obiect.

Și în cazul modelului orientat obiect, la fel ca și în cazul modelului relațional regăsim componentele: structuri de date, constrângeri de integritate și operatorii de manipulare a datelor.

Modelul orientat obiect al datelor, constă într-o colecție de:

- proprietăți statice (structuri de date):
 - obiecte;
 - atribute;
 - relații,
- reguli de integritate asupra obiectelor și operațiilor
- proprietăți dinamice: operații sau reguli de definiție a unei noi structuri pornind de la vechea structură.

Bazele de date orientate obiect au apărut și au evoluat în urma dezvoltării programării orientate obiect. Îmbinarea programării orientate obiect cu funcțiile sistemelor de gestiune a bazelor de date au condus la sistemele de gestiune a bazelor de date orientate obiect, sisteme care culeg avantajele orientării obiect în dezvoltarea sistemelor software complexe.

În programarea orientată obiect, programele sunt organizate ca și colecții de obiecte cooperante, fiecare obiect fiind o instanță a unei clase. Fiecare clasă reprezintă abstractizarea unui tip de entitate din realitatea modelată, iar clasele sunt membrele unei ierarhii de clase, corelate între ele prin relații de moștenire. Orice obiect este încapsulat, reprezentarea lui (structura internă a obiectului) nu este vizibilă utilizatorilor, aceștia au acces doar la funcțiile (metodele) pe care acel obiect este capabil să le execute[99, 111, 121, 131].

4.2.2.1. Necesitatea introducerii bazelor de date orientate obiect

Apariția bazele de date orientate obiect este motivată de următoarele[99, 111, 135, 139]:

- nevoia de acces la obiecte persistente prin programe scrise în limbaje orientate obiect.
- noile cerințe din domeniile tehnologice noi apărute, cum ar fi ingineria sau multimedia.

Oricât de folositor este modelul relațional pentru realizarea bazelor de date, există unele domenii (în special acele domenii în care se manevrează tipuri de date complexe), în care modelul relațional s-a dovedit a fi insuficient de expresiv și cu performanțe de execuție reduse. Domenii ca: proiectarea asistată de calculator, sisteme de informații geografice, medicină (și altele) au impulsivat cercetări pentru găsirea unor modele mai performante, dintre care modelul orientat obiect și modelul relațional obiectual au cunoscut și cunosc în continuare o dezvoltare semnificativă.

- necesitatea introducerii de funcționalități noi: obiecte multimedia, versiuni de obiecte și tranzacții evolute.
- posibilitatea de partajare a codului reutilizabil al aplicațiilor.

4.2.2.2. Sisteme de gestiune bazelor de date orientate obiect

Sistemele de gestiune a bazelor de date orientate obiect (SGBDOO) sunt rezultatul unirii între sistemele de gestiune a bazelor de date tradiționale și limbajele de programare orientate pe obiecte.

Apariția SGBDOO este o consecință a proliferării limbajelor de programare orientate obiect, acestea vin și adaugă persistență limbajelor nativ orientate obiect. Principalul atu îl constituie flexibilitatea sporită în prelucrarea tipurilor de date complexe, rezolvându-se astfel o problemă la care erau deficitare sistemele de gestiune a bazelor de date relaționale. În acest cadru, programarea orientată obiect este nu numai o tehnică de programare, ci constituie în mod esențial o tehnică de structurare a programelor care se sprijină pe entități manipulate de sistem și nu de funcțiile sale.

Un sistem de gestiune a bazelor de date orientat obiect, este un sistem de gestiune a bazelor de date capabil să creeze și să administreze obiecte într-un mod transparent și persistent.

Conform „*The Object-Oriented Database System Manifesto*” [9], un sistem de gestiune al bazelor de date pentru a fi considerat orientat obiect trebuie să satisfacă două criterii:

1. Să fie un sistem de gestiune a bazelor de date;
2. Sistemul să fie orientat obiect.

În SGBDOO, limbajele de programare utilizate tratează datele după modelul obiect, ca urmare, sistemele de gestiune a bazelor de date au trebuit să extindă și să

completeze cu proprietăți ale bazelor de date, structurile de date modelate după modelul obiect. Acestea sunt: persistența transparentă, controlul concurenței, refacerea datelor, etc.

Figura 4.5, ilustrează modul în care SGBDOO cu cele două componente, orientarea pe obiecte și funcțiile bazei de date cu caracteristicile lor, contribuie și asigură performanțele noii tehnologii a bazelor de date orientate pe obiecte.

Primele sisteme de gestiune a bazelor de date orientate obiect au apărut la sfârșitul anilor '80 [86], au la bază modelul obiect și suportă conceptele analizei orientate obiect (*Object Oriented Analyses*)[42], proiectării orientate obiect (*Object Oriented Design*) [86] și programării orientate obiect (*Object Oriented Languages*)[86].

Utilizând aceleași modele conceptuale cu cele din programarea orientată obiect, sistemele de gestiune a bazelor de date orientate obiect simplifică

dezvoltarea acestora, valorifică comunicarea între utilizatori, analiști și programatori și micșorează probabilitatea apariției erorilor[11].

Dintre avantajele cele mai importante ale sistemelor de baze de date dezvoltate în modelul obiect se evidențiază capacitatea acestora de a defini și manevra tipuri de date complexe (clase), care se pot extinde prin mecanismul de moștenire, ceea ce contribuie la creșterea performanțelor în aplicațiile de baze de date avansate.

Există și dezavantaje ale sistemelor de baze de date orientate obiect, acestea le fac să aibă o utilizare limitată, mult mai redusă decât cea a sistemelor de baze de date relaționale. Principalul dezavantaj este datorat greutateii în stabilirea structurii obiectelor astfel încât să fie prevăzute toate asocierile posibile necesare efectuării ulterioare a interogărilor. Interogări complexe solicită multe asocieri între obiecte, complicând structura acestora.

Figura 4.7 prezintă sistemele de gestiune a bazelor de date orientate obiect:

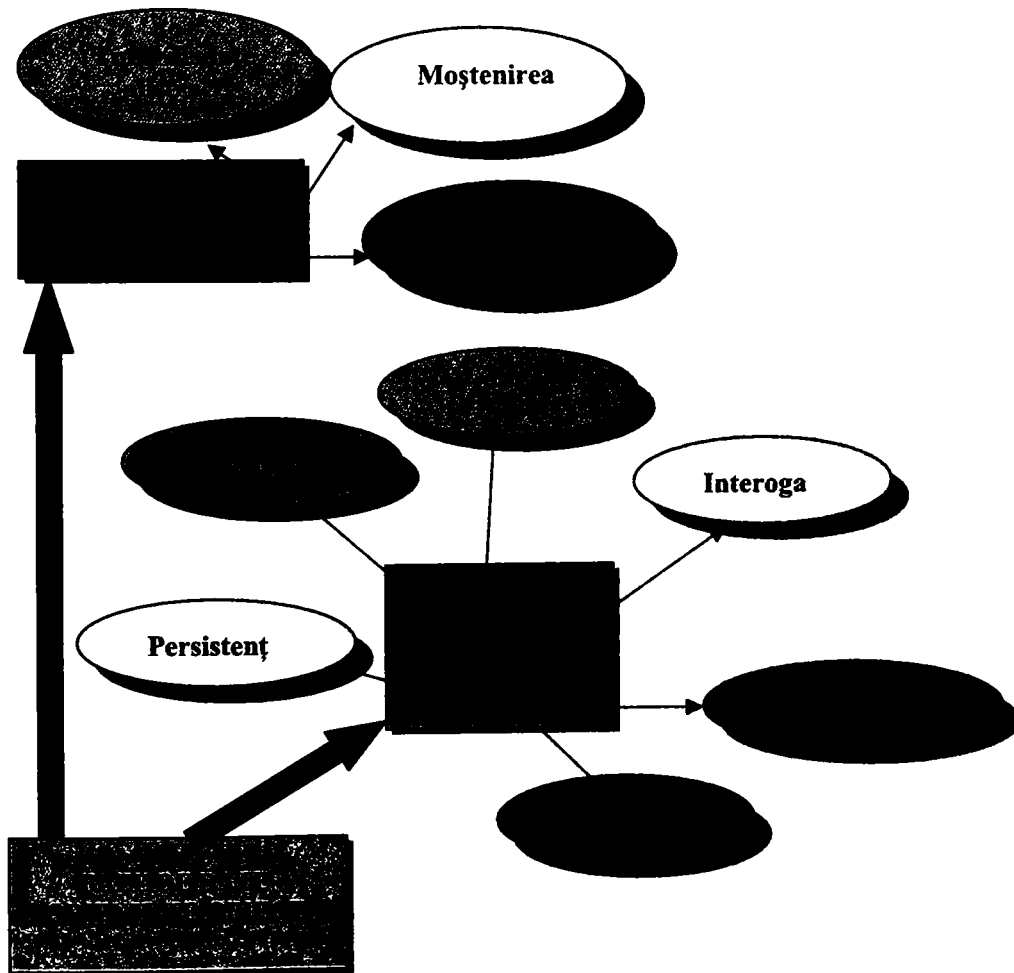


Figura 4.7. Sisteme de gestiune a bazelor de date orientate obiect.

4.2.3. Modelul de date relațional-obiectual

Modelul de date relațional-obiectual reprezintă extinderea modelului relațional cu caracteristici ale modelului obiect, extindere necesară pentru realizarea bazelor de date care definesc și prelucrează tipuri de date complexe [142, 145, 151].

Modelul de date relațional-obiectual păstrează structurarea datelor în relații (reprezentate ca tabele), dar adaugă posibilitatea definirii unor tipuri noi de date pentru domeniile de valori ale atributelor. Tipurile de date definite de utilizator pot fi extinse prin mecanismul de moștenire și pentru fiecare tip sau subtip, de asemenea se pot defini metode pe care le pot executa obiectele de acel tip. Extinderea sistemelor de baze de date relaționale pentru a deveni relațional obiectuale reprezintă o tendință firească în contextul dezvoltării de aplicațiilor în modul de programare orientat obiect [34, 39, 135]. Experiența și rezultatele obținute cu sistemele relaționale este dezvoltată în contextul utilizării modelului orientat obiect al datelor prin aplicații complexe, programate orientat obiect. În „matricea lui Stonebraker” [151, 152], ilustrată în figura 4.8, sistemele de gestiune a bazelor de date relațional obiectuale se regăsesc în cadranul din dreapta sus, care permite prelucrarea datelor complexe și rezolvarea interogărilor complexe. Modelul relațional obiectual este, evident, cel mai complet, deoarece admite atât tipuri de date definite de utilizator cât și interogări complexe. Stonebraker [152] denumește sistemele de gestiune a bazelor de date relațional obiectuale ca fiind *sisteme de baze de date universale*.

Complexitatea interogărilor	Cu interogări	Sisteme de gestiune a bazelor de date RELATIONALE	Sisteme de gestiune a bazelor de date RELATIONAL OBJECTUALE
	Fără interogări	Sistem clasic de fișiere	Sisteme de gestiune a bazelor de date ORIENTATE OBIECT
		Date simple	Date complexe
			<i>Date complexe</i>

Figura 4.8 . Clasificarea sistemelor de gestiune a bazelor de date.

Standardele limbajelor de programare din domeniul sistemelor de gestiune relațional-obiectuale sunt extensii ale standardului SQL. Versiunea din anul 1999, denumită SQL3, conține extensii de orientare spre obiecte a limbajului SQL.

Ultimele versiuni ale sistemului Oracle (Oracle 8i, Oracle 9i și Oracle 10g) sunt sisteme de gestiune relațional-obiectuale distribuite.

Baza de date Caché [152], considerată bază de date performantă „post – relațională” face parte din categoria bazelor de date relațional obiectuale.

Modelul de stocare al datelor în baza de date Caché numit „*hyper-cube*” sau „*spațiu n-dimensional*” este o colecție de șiruri multi – dimensionale numite „*globals*”. Informațiile sunt stocate în aceste „*globals*” sub forma de „*subscripts*” care pot fi de forma: șir, întreg, virgula flotanta etc.

Acest mod de stocare al datelor, utilizând un model multidimensional, împreună cu tehnologia orientată obiect, utilizată în aplicațiile ce accesează această bază de date, permit accesul rapid la date (citire, actualizare, ștergere) cu un consum redus de resurse și cu o viteză de lucru sporită a aplicațiilor.

Figura 4.9 prezintă posibilitățile de memorare a obiectelor în memoria externă, fie în tabele, fie în baza de date:

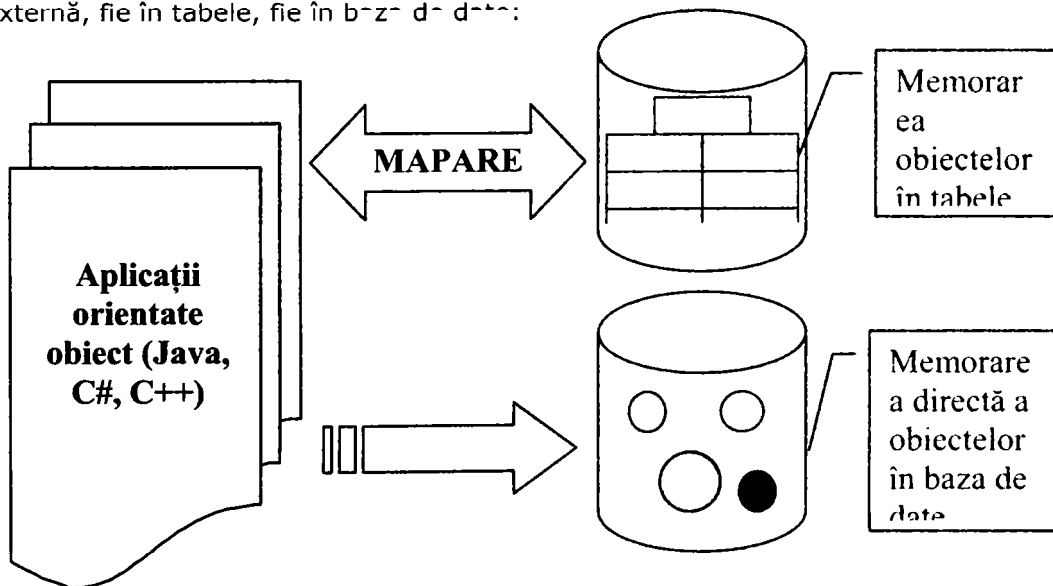


Figura 4.9. Memorarea obiectelor în memoria externă

4.2.3.1. Implementarea trăsăturilor specifice modelului orientat obiect

Modelul relațional și în general modelele „*non-object-oriented*”, nu au căi de reprezentare a caracteristicilor obiectelor în modul în care o face modelul obiect. Implementarea caracteristicilor tipice programării orientate obiect, în cazul utilizării acestor modele de reprezentare a datelor, se face prin „*maparea*” obiectelor în baza de date [5, 58, 78]. Figura 4.10 prezintă schematic modul de implementare a obiectelor persistente în baze de date orientate obiect și baze de date relaționale.

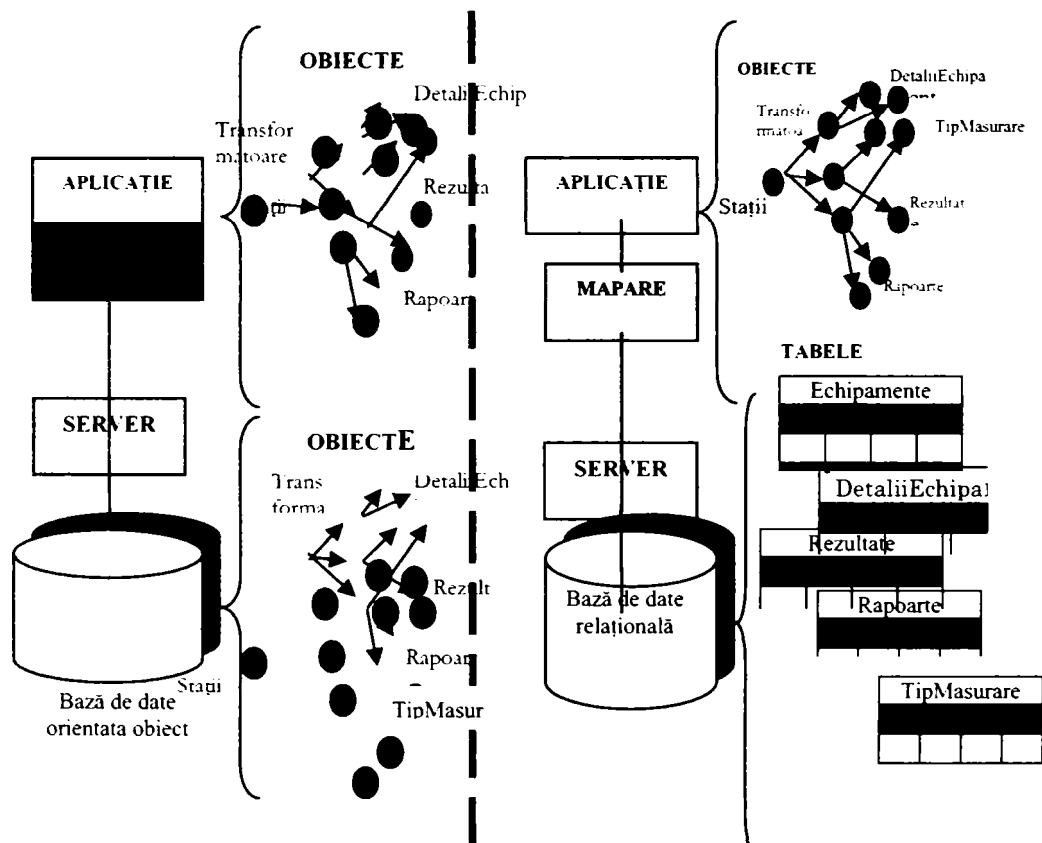


Figura 4.10 Implementare obiectelor persistente în sistemele bazate pe modelul orientat obiect și modelul „non object oriented”

Termenul utilizat este *object/relational mapping (ORM)* sau simplu *object mapping*, în esență înseamnă transformarea datelor dintr-o reprezentare (obiect) în alta (relațional).

Maparea obiectual/relațională este considerată o tehnică în programare, ea asigură legătura între bazele de date relaționale și conceptele limbajelor de programare orientate obiect, creând (efectiv) o bază de date obiecte virtuală.

Maparea poate fi realizată prin scrierea de cod sau prin utilizarea uneltelor construite special în acest scop[69], având ca obiectiv automatizarea și creșterea performanței în programare, unelte ce realizează maparea în mod automat (și transparent) a obiectelor în tabelele bazei de date relaționale. În figura este prezentat schematic modul de implementare a obiectelor persistente în sistemele bazate pe modelul orientat obiect și modeleul „non object oriented”.

Componentele de bază ale mapării obiectelor în baza de date relațională sunt:

1. Maparea atributelor în coloane;
2. Maparea claselor în tabele;
3. Implementarea moștenirii în bazele de date relaționale;
4. Maparea relațiilor.

În evaluarea mapărilor sunt urmărite următoarele obiective:

- Performanța în accesarea memoriei externe.

Diferența între timpii de acces la hard disk (sau alt mediu de memorare) și al memorie RAM, este de șase ordine de mărime (10^{-9} și 10^{-3}), ca urmare, maparea care accesează des memoria externă scade performanța accesului la date.

- Performanțe la citire vs. scriere / actualizare.

Implementarea moștenirii se poate face în mai multe moduri. Funcție de numărul tabelor în care sunt mapate ierarhia de clase, citirea sau scrierea/actualizarea se poate face printr-un număr diferit de accesări ale bazei de date.

- Flexibilitatea și costurile întreținerii.

Flexibilitatea se referă la posibilitățile de modificare (ștergere, adăugare de atribute) ale proprietăților claselor din ierarhie. Aceste modificări se pot face într-un număr diferit de tabele (funcție de implementarea aleasă) cu anumite costuri.

- Performanță și redundanță vs. cost de întreținere și forma normală.

Eliminarea redundanței în cazul bazelor de date relaționale se face prin normalizarea bazei de date. Aceasta asigură cele mai bune performanțe cu un cost minim. Alegând diferite moduri de mapare a ierarhiei de clase, nu întotdeauna se respectă regulile de normalizare, ca urmare se reduce redundanța și performanța.

- Consumul de spațiu vs. Performanță.

Există mapări care nu fac economie de spațiu de memorie. Funcție de implementare, vor exista tabele în care multe înregistrări vor avea valori $\langle \text{null} \rangle$. Alegerea metodei de implementare se va face și funcție de acest criteriu.

- Procesul de interogare.

Funcție de natura aplicației ce utilizează baza de date (aplicații cu procese online sau simple depozite de date), interogarea acestora se face în mod diferit și ca urmare, proiectarea mapării claselor de obiecte se face ținând cont de normalizarea bazei de date, fără redundanțe și o restructurare care să conferă o performanță optimă.

4.2.4. Limbajul PHP, ca limbaj de programare

PHP [76, 157, 166] reprezintă un limbaj de scriptare pe partea de server proiectat special pentru web. PHP constituie un produs Open Source care permite accesul la codul sursă, acesta putând fi modificat sau redistribuit.

Limbajul de programare folosit în realizarea aplicației este limbajul PHP datorită avantajelor pe care acesta le prezintă:

- Performanță ridicată;
- Interfețe pentru mai multe sisteme de baze de date diferite;
- Biblioteci încorporate pentru realizarea diferitelor operații legate de Web;
- Suport puternic orientat spre obiecte;
- Portabilitate, fiind disponibil pe sisteme de operare diferite;
- Disponibilitatea codului sursă.

Implementarea orientată pe obiecte a PHP conține toate caracteristicile unui limbaj orientat spre obiecte. Astfel limbajul PHP folosește clasificările, relațiile și proprietățile obiectelor din sistem pentru a ajuta la dezvoltarea programelor și la reutilizarea codului: polimorfismul, moștenire sau abstractizarea.

Figura 4.11 prezintă arhitectura fundamentală pentru web formată din browser-ul web, serverul web, motorul de scriptare php și serverul bazei de date [157, 166] cu explicarea circuitului informațional:

- 1 - browser-ul Web emite din partea utilizatorului cererea http;
- 2 - serverul Web recepționează cererea, găsește fișierul și-l transferă motorului php pentru prelucrare;
- 3 - motorul php analizează scriptul, deschide conexiunea către serverul MySQL și-i trimite interogarea corespunzătoare cererii;
- 4 - serverul MySQL analizează prelucrează interogarea și transmite rezultatul înapoi motorului php;
- 5 - motorul php returnează codul html rezultat la serverul web;
- 6 - serverul web transferă codul html la browser care afișează rezultatul cererii utilizatorului.

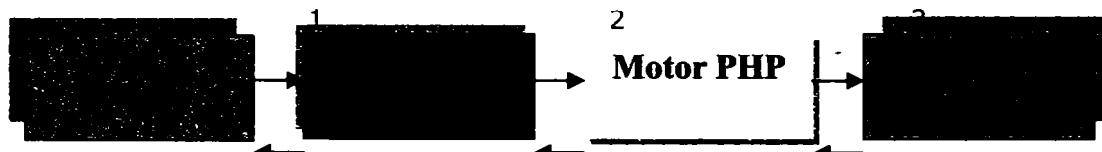


Figura 4.11 Arhitectura fundamentală a unei baze de date pentru Web

Arhitectura tradițională client-server se adresează nevoii lucrului într-o rețea, asigurând accesul centralizat al facilităților în funcție de nevoie (de exemplu, accesul la o bază de date). În sistemele de calcul cu obiecte distribuite, un obiect apelează procedurile conținute într-un alt obiect. Cel de-al doilea poate la rândul său să apeleze procedurile unui alt obiect. Toate aceste obiecte pot să se afle pe calculatoare diferite, accesul făcându-se printr-o rețea. Când un obiect apelează un alt obiect, primul are rolul de client în raport cu cel de-al doilea, care este pe post de server. Deoarece un singur obiect este folosit pentru interogările în baza de date, se pot construi obiecte re-utilizabile în cadrul rețelei, fiecare fiind specializat pe anumite funcții ce pot fi apelate de către alte obiecte. Figura 4.12 prezintă arhitectura client - server care stă la baza aplicației realizate:

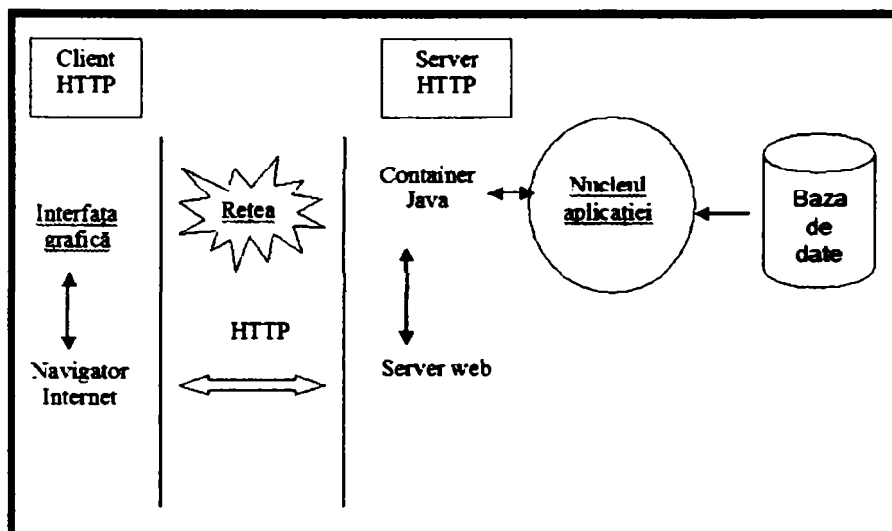


Figura 4.12 Arhitectura client - server

Majoritatea serviciilor Internetului se desfășoară în regim client/server (banala navigare înseamnă un utilizator accesând datele dintr-un site-server prin intermediul unei aplicații client, care este browserul de Web), astfel că devine naturală implicarea SGBDR-urilor în aplicații Internet (de genul e-business sau e-commerce). Tranzacțiile (cerere și ofertă) se desfășoară prin pagina HTML pe care serverul de Internet o trimite clientului, la rândul ei respectiva pagină acționând ca șablon (formular/forma) de accesare a informațiilor din baza de date deservită de un server legat la site-server (cel mai frecvent baza de date conține și imagini sau alte date multimedia). Dacă utilizatorul completează un formular din pagina Web (formular controlat printr-un script), se va declanșa o altă serie de comunicații între client și server.

În bazele de date are loc o integrare a datelor, în sensul că mai multe fișiere sunt privite în ansamblu, eliminându-se pe cât posibil informațiile redondante. De asemenea, se permite accesul simultan la aceleași date, situate în același loc sau distribuite spațial, a mai multor persoane de pregătiri diferite, fiecare cu stilul personal de lucru.

Cu considerații de mai sus se poate spune ca sistemele de gestiune a bazelor de date prezintă următoarele avantaje și dezavantaje:

Avantaje față de sistemele clasice, cu fișiere:

1. Controlul redundanței datelor

Risipa de spațiu care se face prin stocarea acelorași informații în mai multe fișiere e mult diminuată prin utilizarea bazelor de date, dar nu complet eliminată datorită altor cereri de îmbunătățire a performanțelor.

2. Coerența datelor

Dacă un articol de date e înmagazinat de mai multe ori trebuie să se garanteze că toate copiile lui vor fi actualizate dacă se reactualizează o valoare a sa (valoarea articolului e aceeași pentru toate copiile sale).

3. Mai multe informații de la aceeași cantitate de date

Se pot obține prin integrarea fișierelor ce conțin informații diferite despre aceleași date.

4. Partajarea datelor

Datele pot fi utilizate de către mai mulți utilizatori în același timp. De asemenea se pot face modificări sau adăugiri la baza de date existentă fără a fi necesară definirea repetată a tuturor cerințelor referitoare la acestea.

5. Integritatea crescută a datelor:

- se referă la validitatea și coerența datelor înmagazinate
- se exprimă prin constrângeri (= reguli de coerență)
- constrângerile se pot aplica:
 - a) articolelor de date dintr-o singură înregistrare
 - b) relațiilor dintre înregistrări

6. Securitatea crescută

Se realizează prin atribuirea unor nume de utilizatori și parole ce permit identificarea persoanelor autorizate să folosească baza de date și impun modalitatea de utilizare a acestor date.

7. Aplicarea standardelor

Se referă la formatul datelor, convențiile privind denumirile, documentarea, procedurile de reactualizare, regulile de acces.

8. Reducerea costurilor

Prin realizarea integrării se alocă fonduri centralizat și nu separat fiecărui departament.

9. Rezolvarea conflictelor

Fiecare utilizator va avea propriile cerințe ce pot intra în conflict cu ale altora. Administratorul bazei de date poate lua decizii ce duc la utilizarea optimă a resurselor.

10. Creșterea accesibilității datelor și a capacității de răspuns

Se realizează prin intermediul utilizării limbajelor de programare din generația a IV-a (ex. SQL, QBE).

11. Creșterea productivității

Prin furnizarea unor funcții ce permit manipularea fișierelor și a introducerii limbajelor de programare din generația a IV-a ce reduc mult timpul de programare.

12. Independența datelor

Duce la creșterea capacității de întreținere prin faptul că descrierile datelor sunt separate de aplicații.

13. Controlul concurenței este îmbunătățit

Se garantează că dacă 2 sau mai mulți utilizatori accesează simultan aceleași date nu se pierd informații sau nu se alterează integritatea acestora.

14. Asigurarea salvării de siguranță și a refacerii

Prin recuperarea ultimei stări coerente a bazei de date în cazul apariției unei defecțiuni hard sau soft.

Dezavantaje:

1. Complexitatea

Trebuie avute în vedere o serie de mai multe probleme referitoare la date decât în cazul aplicațiilor clasice. Se face mai întâi o analiză amănunțită a datelor și apoi a aplicației propriu-zise.

2. Dimensiunea

SGBD-urile ocupă mult spațiu pe disc.

3. Costul

a) sistemelor SGBD;

b) elementelor hard achiziționate;

c) conversiei aplicațiilor existente la noul SGBD și noua configurație hard.

4. Performanța redusă în cazul utilizării SGBD-urilor care au un caracter mai general, în locul unei aplicații simple bazată pe fișiere care apelează o singură funcție.

5. Efectul unei defecțiuni e mult mai mare datorită centralizării (o defecțiune minoră afectează toți utilizatorii).

4.3. Baza de date Electrica de monitorizare a comportării transformatoarelor de putere din cadrul SEEA

În contextul restructurării managementului sistemului energetic reducerea costurilor și creșterea siguranței în livrarea energiei electrice, constituie un obiectiv deosebit de important pentru toate întreprinderile de producere, transport și distribuție a energiei electrice.

În acest sens, exploatarea și mentenanța corectă a transformatoarelor de putere devine tot mai importantă dat fiind costul acestora. Dar aceasta implică o foarte bună corelare între particularitățile constructive și de funcționare a transformatoarelor de putere, durata lor de viață, condițiile de funcționare, condițiile de evaluare a stării lor momentane, politica de monitorizare a lor.

Raționalizarea activității de mentenanță și gestiunea parcului de transformatoare impune existența unei bănci de date informatizate care să conțină

ansamblul informațiilor necesare diagnosticării stării și estimării duratei de viață a transformatoarelor.

Baza de date Electrica privind monitorizarea comportării transformatoarelor de putere din cadrul SEEA, conține atât date despre transformatoare, cât și date privind măsurătorile efectuate asupra parametrilor care caracterizează starea acestor transformatoare. Astfel baza de date realizată asigură utilizatorului: urmărirea comportării individuale a fiecărui transformator din exploatare, centralizarea și vizualizarea datelor disponibile pentru întregul sistem ierarhic (sucursală, centre de exploatare, stații de transformare, transformatoare). Pe baza datelor obținute din baza de date se poate stabili programul de mentenanță predictiv sau preventiv pentru fiecare transformator din baza de date, se poate evalua comportarea unei familii de transformatoare, pot fi realizate rapoarte de sinteză și de detaliu ce vor sta la baza mecanismului decizional.

Sistemul informatic Electrica oferă utilizatorului interfețe care combină ușurința în utilizare cu funcționalitatea ridicată și un grad ridicat de securitate în folosirea informațiilor.

Astfel în baza de date pot fi incluse:

- Datele tehnice specifice pentru unitățile de transformare de putere din exploatare;
- Fișele de evidențiere a evenimentelor referitoare la unitățile de transformare:
 - Istoria acestora sub formă de rapoarte de încercare, în fabrică, la PIF sau în exploatare;
 - Istoria acestora sub formă de revizii, reparații sau intervenții;
 - Istoria acestora sub forma fișelor de urmărire a mutărilor unui echipament în mai multe stații de transformare;
 - Istoria incidentelor cauzate de echipamentele menționate la care acestea au fost implicate.

Astfel, sistemul de gestiune a bazelor de date Electrica asigură utilizatorului în mod dinamic:

- Crearea structurii bazei de date;
- Introducerea datelor, în sensul de adăugare, actualizare, validare, calculare unde este necesar;
- Analiza și prelucrarea datelor prin rapoarte și grafice sugestive;
- Interogarea bazei de date după diferite criterii;
- Navigarea prin baza de date;
- Exportul și importul de fișiere;
- Protecția datelor prin restricționarea accesului la program a utilizatorului, accesul fiind diferențiat după nivelul user sau nivelul administrator.

Baza de date este realizată pe cinci nivele astfel: centre, stația de transformare, celulă, echipament, evenimente.

Pentru fiecare nivel sunt permise următoarele operații:

- Centre:
 - Adăugare – adaugă un centru;
 - Actualizare – modifică datele unui centru;
 - Ștergere – șterge un centru, drept acordat numai administratorului de sistem;
 - Vizualizare echipamente, celule sau stații aferente;
 - Căutare după diferite criterii;
 - Generare rapoarte cu detalii despre centru.

În baza de date vor fi păstrate sub formă tabelară următoarele date despre centru: cod centru, nume, adresă, oraș, județ, cod poștal, telefon 1, telefon 2, fax, director, e-mail director, inginer-șef, șef serviciu exploatare, șef serviciu tehnic.

- Stații de transformare:
 - Adăugare – adaugă o stație;
 - Actualizare – modifică datele unei stații;
 - Ștergere – șterge o stație;
 - Vizualizare echipamente aferente, celule aferente;
 - Căutare după diferite criterii;
 - Generare rapoarte cu detalii despre stație.

Datele referitoare la stațiile de transformare ce vor fi păstrate în baza de date sunt: cod stație, nume stație, tip, adresa sediu, oraș, județ, cod poștal, telefon 1, telefon 2, fax, șef stație.

- Celule:
 - Adăugare – adaugă celulă;
 - Actualizare – modifică datele unei celule;
 - Ștergere – șterge o celulă;
 - Vizualizare echipamente aferente;
 - Căutare după diferite criterii;
 - Generare rapoarte despre o celulă.
- O celulă se va caracteriza prin cod stație și nume celulă.

- Transformatoare:
 - Adăugare – adaugă o stație;
 - Actualizare – modifică datele unei stații;
 - Ștergere – șterge o stație;
 - Căutare - după caracteristici tehnice;
 - Vizualizare evenimente aferente;
 - Generare de rapoarte despre un echipament sau evenimentele aferente.

Transformatoarele de putere din stații se vor identifica prin cod transformator și cod celulă.

- Evenimente:
 - Adăugare – adaugă un eveniment;
 - Actualizare – modifică un eveniment;
 - Ștergere – șterge un eveniment;
 - Căutare - după diferite criterii;
 - Generare de rapoarte cu date despre un eveniment.

Evenimentele care au loc vor fi preluate din fișa de mișcare tip, raportul de încercare tip (probe electrice la transformator), raportul de încercare a uleiului de transformator, raportul de analiză a gazelor dizolvate în ulei, fișa tip de incident și fișa tip de echipament deteriorat.

Electrica este un program specializat de realizare a bazei de date pentru urmărirea în exploatare a transformatoarelor de putere, dar poate fi adaptat și pentru adaptarea altor tipuri de echipamente (transformatoare de putere medie, transformatoare de tensiune și curent, întreruptoare și descărcătoare. Din acest motiv, în componența bazei de date Electrica au fost incluse mai multe tabele care au fost create utilizând comanda Create table on database Electrica cu specificarea numărului de câmpuri corespunzător fiecărui tabel.

Structura bazei de date cu tabelele aferente este prezentată în figura 4.13, respectiv 4.14:

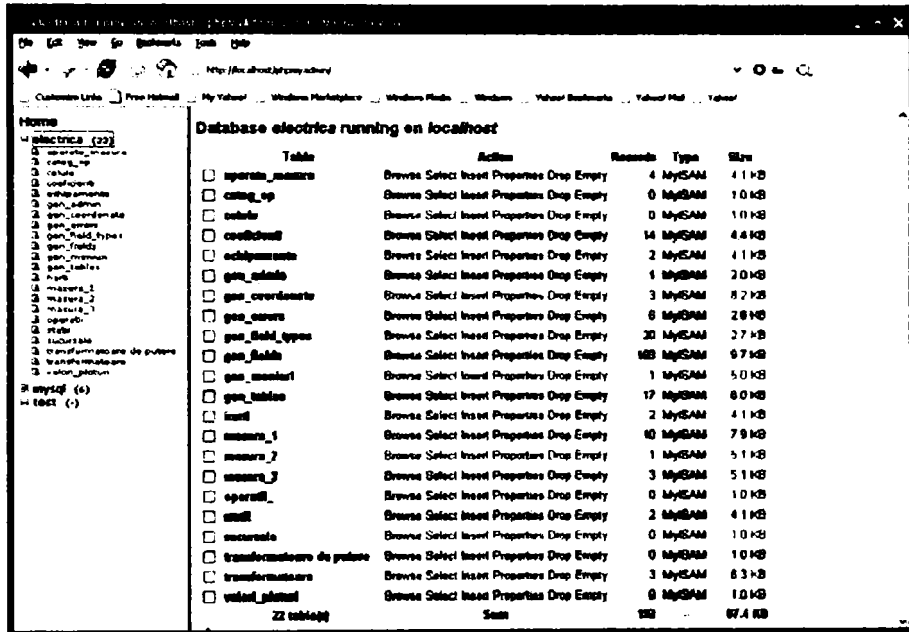


Figura 4.13 Structura bazei de date Electrica

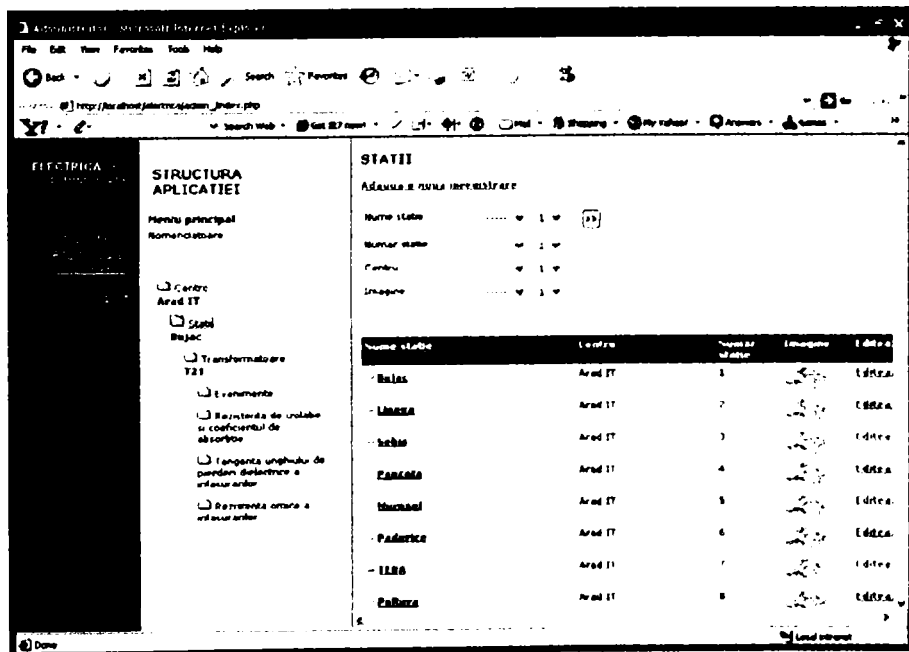


Figura 4.14 Tabelele bazei de date Electrica

Fiecare linie dintr-un tabel trebuie să aibă o coloană (sau o serie de coloane) care o identifică în mod unic. Coloana sau seria de coloane care identifică în mod unic un tabel se numește cheie primară. Orice coloană poate fi cheie primară dacă

respectă următoarele condiții:

- ✓ două linii nu pot avea aceeași valoare a cheii primare,
- ✓ fiecare linie trebuie să aibă o valoare a cheii primare,
- ✓ coloana care conține valorile cheilor primare nu poate fi niciodată modificată sau actualizată,
- ✓ valorile cheilor primare nu pot fi niciodată refolosite.

Structura bazei de date Electrica pornește de la tabelul Centre. Acesta se caracterizează prin câmpurile: denumire, adresă, județ, localitate, telefon, fax, email, director, inginer șef, șef exploatare, șef tehnic așa cum este prezentat în figura 4.15 fiecare centru se identifică printr-un număr care constituie și cheia primară a tabelului Centre.

The screenshot shows a web browser window displaying the structure of the 'centre' table in a MySQL database named 'electrica'. The table has the following fields:

Field	Type	Attributes	Null	Default	Extra	Action
<input type="checkbox"/> id	int(11)		No		auto_increment	Change Drop Primary Index Unique Fulltext
<input type="checkbox"/> ref_table	int(11)		No	0		Change Drop Primary Index Unique Fulltext
<input type="checkbox"/> ref_record	int(11)		No	0		Change Drop Primary Index Unique Fulltext
<input type="checkbox"/> numa	varchar(255)		No			Change Drop Primary Index Unique Fulltext
<input type="checkbox"/> added_at	datetime		No	0000-00-00 00:00:00		Change Drop Primary Index Unique Fulltext
<input type="checkbox"/> editat_at	datetime		No	0000-00-00 00:00:00		Change Drop Primary Index Unique Fulltext
<input type="checkbox"/> denumire	varchar(255)		No			Change Drop Primary Index Unique Fulltext
<input type="checkbox"/> adresa	text		No			Change Drop Primary Index Unique Fulltext
<input type="checkbox"/> judet	varchar(255)		No			Change Drop Primary Index Unique Fulltext
<input type="checkbox"/> localitate	varchar(255)		No			Change Drop Primary Index Unique Fulltext
<input type="checkbox"/> telefoane	varchar(100)		No			Change Drop Primary Index Unique Fulltext
<input type="checkbox"/> fax	varchar(100)		No			Change Drop Primary Index Unique Fulltext
<input type="checkbox"/> email	varchar(255)		No			Change Drop Primary Index Unique Fulltext
<input type="checkbox"/> director	varchar(255)		No			Change Drop Primary Index Unique Fulltext
<input type="checkbox"/> ing_suf	varchar(255)		No			Change Drop Primary Index Unique Fulltext
<input type="checkbox"/> sef_exp	varchar(255)		No			Change Drop Primary Index Unique Fulltext
<input type="checkbox"/> sef_tehnic	varchar(255)		No			Change Drop Primary Index Unique Fulltext

Figura 4.15 Structura tabelului Centre

Fiecărui centru îi corespund mai multe stații, între tabelele Centre și Stații stabilindu-se o relație tată-fiu, câmpul de legătură fiind câmpul IdCentru. Structura tabelului Stații este prezentată în figura 4.16

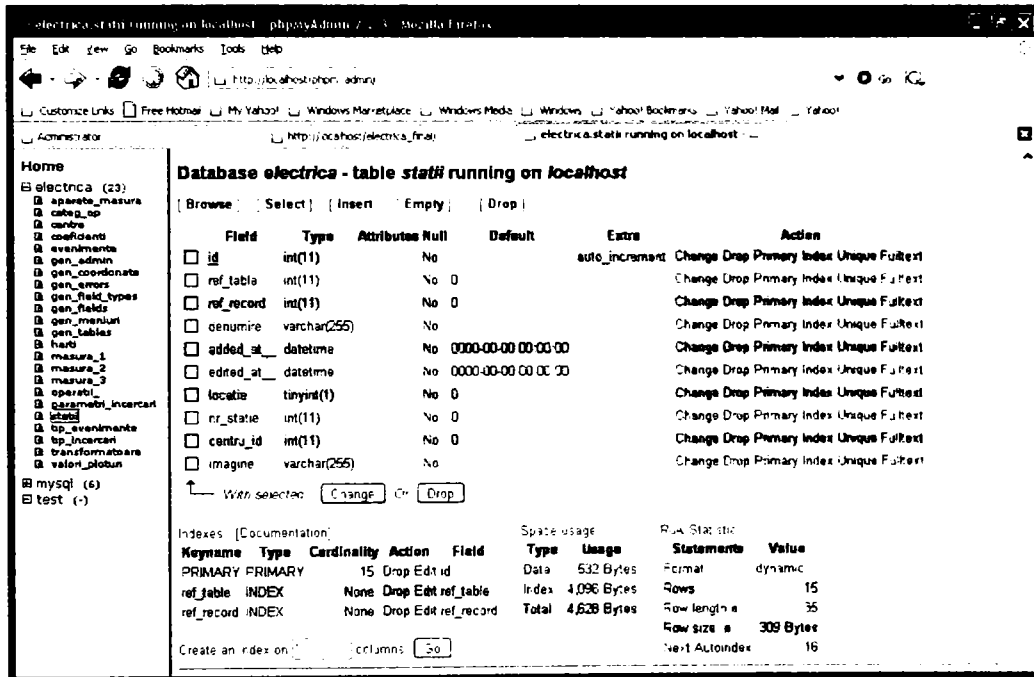


Figura 4.16 Structura tabelului Stații

Pentru tabelul *Transformatoare*, cheia primară este coloana numită *transformatoare_id*.

În ceea ce privește atributele câmpurilor s-au folosit:

- ◆ UNSIGNED – variabila de tip întreg nu are semn,
- ◆ NOT NULL sau NULL – oferă posibilitatea ca o coloană să conțină sau nu valori; de exemplu câmpul „comentarii” va cuprinde valori numai dacă pacientul a mai avut antecedente sau reprezintă un caz special, ceea ce nu este valabil la toți pacienții, în schimb câmpul CNP este obligatoriu să conțină valori,
- ◆ AUTO_INCREMENT – generează automat numere într-o anumită secvență; de obicei această opțiune se utilizează pentru coloana care reprezintă cheia primară.

Structura tabelului *Transformatoare* însoțită de instrucțiunile de cod folosite este prezentate în figura 4.17:

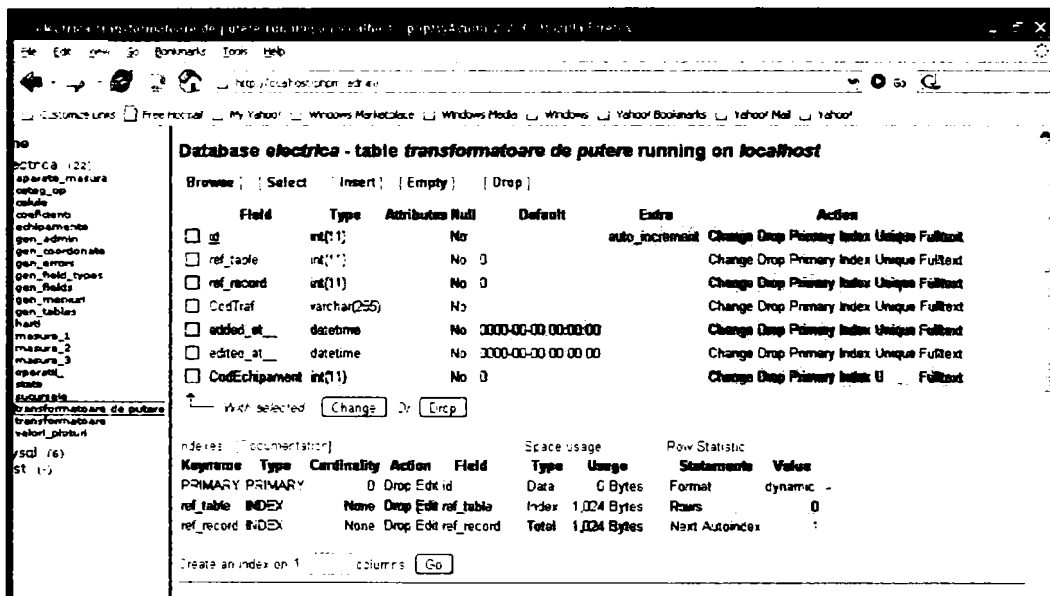


Figura 4.17 Structura tabelului Transformatoare_de_putere

```
# phpMyAdmin MySQL-Dump
# version 2.2.3
# http://phpwizard.net/phpMyAdmin/
# http://phpmyadmin.sourceforge.net/ (download page)
#
# Host: localhost
# Generation Time: Sep 19, 2006 at 11:34 PM
# Server version: 3.23.47
# PHP Version: 4.1.1
# Database: `electrica`
# -----
# Table structure for table `transformatoare de putere`
# CREATE TABLE transformatoare de putere (
  id int(11) NOT NULL auto_increment,
  ref_table int(11) NOT NULL default '0',
  ref_record int(11) NOT NULL default '0',
  CodTraf varchar(255) NOT NULL default '',
  added_at__ datetime NOT NULL default '0000-00-00 00:00:00',
  edited_at__ datetime NOT NULL default '0000-00-00 00:00:00',
  CodEchipament int(11) NOT NULL default '0',
  PRIMARY KEY (id),
  KEY ref_table (ref_table),
  KEY ref_record (ref_record)
) TYPE=MyISAM;
#
# Dumping data for table `transformatoare de putere`
#
```

Structura tabelului Detalii_transformatoare cu câmpurile aferente și tipul acestora este prezentată în figura 4.18:

Field	Type	Attributes	Null	Default	Extra	Action
<input type="checkbox"/> id	int(11)		No		auto_increment	Change Drop Primary Index Unique Fulltext
<input type="checkbox"/> ref_table	int(11)		No	0		Change Drop Primary Index Unique Fulltext
<input type="checkbox"/> ref_record	int(11)		No	0		Change Drop Primary Index Unique Fulltext
<input type="checkbox"/> CodTraf	int(11)		No	0		Change Drop Primary Index Unique Fulltext
<input type="checkbox"/> added_at__	datetime		No	'0000-00-00 00:00:00'		Change Drop Primary Index Unique Fulltext
<input type="checkbox"/> edited_at__	datetime		No	'0000-00-00 00:00:00'		Change Drop Primary Index Unique Fulltext
<input type="checkbox"/> an	int(11)		No	0		Change Drop Primary Index Unique Fulltext
<input type="checkbox"/> Inventar	varchar(255)		No			Change Drop Primary Index Unique Fulltext
<input type="checkbox"/> putere	varchar(100)		No			Change Drop Primary Index Unique Fulltext
<input type="checkbox"/> consiune	varchar(100)		No			Change Drop Primary Index Unique Fulltext
<input type="checkbox"/> harta_statie	tinyint(1)		No	0		Change Drop Primary Index Unique Fulltext
<input type="checkbox"/> temperatura_f	double		No	0		Change Drop Primary Index Unique Fulltext
<input type="checkbox"/> r60f_ti	double		No	0		Change Drop Primary Index Unique Fulltext
<input type="checkbox"/> r60f_ts	double		No	0		Change Drop Primary Index Unique Fulltext
<input type="checkbox"/> kabst_ti	double		No	0		Change Drop Primary Index Unique Fulltext
<input type="checkbox"/> kabst_ts	double		No	0		Change Drop Primary Index Unique Fulltext
<input type="checkbox"/> infasurat_ti	int(11)		No	0		Change Drop Primary Index Unique Fulltext
<input type="checkbox"/> infas_masura_ti	varchar(255)		No			Change Drop Primary Index Unique Fulltext
<input type="checkbox"/> ia_pamant_ti	varchar(100)		No			Change Drop Primary Index Unique Fulltext
<input type="checkbox"/> infasurat_ts	int(11)		No	0		Change Drop Primary Index Unique Fulltext
<input type="checkbox"/> infas_masura_ts	varchar(100)		No			Change Drop Primary Index Unique Fulltext
<input type="checkbox"/> ia_pamant_ts	varchar(100)		No			Change Drop Primary Index Unique Fulltext

Figura 4.18 Structura tabelului Detalii_transformatoare

Ținând seama de precizările de mai sus, tabelul Detalii_transformatoare a fost creat utilizând următoarea secvență de program:

```
# phpMyAdmin MySQL-Dump
# version 2.2.3
# http://phpwizard.net/phpMyAdmin/
# http://phpmyadmin.sourceforge.net/ (download page)
## Host: localhost
# Generation Time: Sep 19, 2006 at 11:25 PM
# Server version: 3.23.47
# PHP Version: 4.1.1
# Database : `electrica`
# -----
# Table structure for table `transformatoare`
#CREATE TABLE transformatoare (
  id int(11) NOT NULL auto_increment,
  ref_table int(11) NOT NULL default '0',
  ref_record int(11) NOT NULL default '0',
  CodTraf int(11) NOT NULL default '0',
  added_at__ datetime NOT NULL default '0000-00-00 00:00:00',
  edited_at__ datetime NOT NULL default '0000-00-00 00:00:00',
  an int(11) NOT NULL default '0',
  Inventar varchar(255) NOT NULL default "",
  putere varchar(100) NOT NULL default "",
```

```

conexiune varchar(100) NOT NULL default '',
hart_a_statie tinyint(1) NOT NULL default '0',
temperatura_f double NOT NULL default '0',
r60f_ti double NOT NULL default '0',
r60f_ts double NOT NULL default '0',
kabsf_ti double NOT NULL default '0',
kabsf_ts double NOT NULL default '0',
infasurari_ti int(11) NOT NULL default '0',
infas_masura_ti varchar(255) NOT NULL default '',
la_pamant_ti varchar(100) NOT NULL default '',
infasurari_ts int(11) NOT NULL default '0',
infas_masura_ts varchar(100) NOT NULL default '',
la_pamant_ts varchar(100) NOT NULL default '',
PRIMARY KEY (id),
KEY ref_table (ref_table),
KEY ref_record (ref_record),
KEY echipament_id (CodTraf),
KEY CodTraf (CodTraf)
) TYPE=MyISAM;
## Dumping data for table `transformatoare`
#INSERT INTO transformatoare VALUES (1, 0, 0, 1, '2005-11-11 15:56:49', '2005-
12-15 18:54:35', 1984, '152344', '50', 'Y0D11', 0, '18', '2500', '2000', '1.6', '1.55',
1, '110 kV', '20kV + cuv&#259;', 0, '20 kV', '110kV + cuv&#259;');
INSERT INTO transformatoare VALUES (2, 0, 0, 2, '2005-11-11 16:02:53', '2005-
12-15 17:14:22', 2000, '73863874637', '44', '346346', 0, '18', '0', '0', '0', '0', 0, "",
", 0, '0', "");
INSERT INTO transformatoare VALUES (4, 0, 0, 1, '2005-11-11 16:08:21', '2005-
12-15 17:14:33', 2000, 'fgfg', 'fgf', 'gfgfg', 1, '18', '0', '0', '0', '0', 0, "", "", 0, '0', "");

```

Fiecare dintre transformatoare aparține unui echipament. Între tabelul Echipamente și tabelul Transformatoare existând relația tată – fiu. Cele două tabele sunt relaționate între ele prin câmpul comun CodEchipament.

Structura tabelului Echipamente este prezentată în figura 4.19 urmată de instrucțiunea de cod folosită:

Database electrica - table echipamente running on localhost

Showing records 0 - 2 (2 total)

SQL query: (Edit)

SELECT * FROM `Echipamente` LIMIT 0, 30

	id	ref_table	ref_record	denumire	added_at	edited_at	Other
Err	1	0	0	TRU	2005-11-11 15:01:45	2005-12-09 18:48:12	20051209184812_stare trafa post and etc
Err	2	0	0	TFA	2005-11-11 16:02:53	2005-12-09 18:48:12	

Figura 4.19 Structura tabelului Echipamente

```

# phpMyAdmin MySQL-Dump
# version 2.2.3
# http://phpwizard.net/phpMyAdmin/
# http://phpmyadmin.sourceforge.net/ (download page)
#
# Host: localhost
# Generation Time: Sep 19, 2006 at 11:42 PM
# Server version: 3.23.47
# PHP Version: 4.1.1
# Database : `electrica`
# -----
#
# Table structure for table `echipamente`
#
CREATE TABLE echipamente (
  id int(11) NOT NULL auto_increment,
  ref_table int(11) NOT NULL default '0',
  ref_record int(11) NOT NULL default '0',
  denumire varchar(255) NOT NULL default '',
  added_at__ datetime NOT NULL default '0000-00-00 00:00:00',
  edited_at__ datetime NOT NULL default '0000-00-00 00:00:00',
  fisier varchar(255) NOT NULL default '',
  CodEchipament varchar(100) NOT NULL default '',
  CodCelula int(11) NOT NULL default '0',
  PRIMARY KEY (id),
  KEY ref_table (ref_table),
  KEY ref_record (ref_record)
) TYPE=MyISAM;
#
# Dumping data for table `echipamente`
#
INSERT INTO echipamente VALUES (1, 0, 0, 'TTU', '2005-11-11 16:01:45', '2005-
12-09 16:46:12', '20051209164612_statii trafo jud arad.doc', '0', 0);
INSERT INTO echipamente VALUES (2, 0, 0, 'TTA', '2005-11-11 16:02:31', '0000-
00-00 00:00:00', '', '0', 0);

```

Codul sursă al întregii baze de date Electrica este prezentat în anexa 16.

Introducerea datelor într-un tabel se poate face fie direct în MySQL în pagina de administrator, fie utilizând un formular accesibil pe Internet pentru anumiți utilizatori, pe baza unui nume de utilizator și a unei parole unice pentru fiecare dintre aceștia.

Formularul de introducere a datelor în tabelul Echipamente este prezentat în figura 4.20:

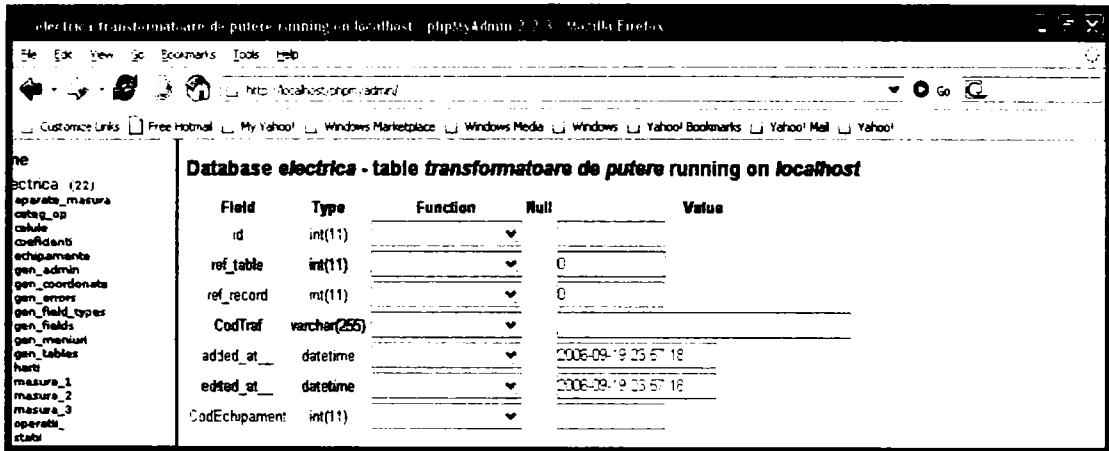


Figura 4.20 Interfața de introducere a datelor în tabelul Echipamente

În mod similar, în figurile 4.21 este prezentat formularul de introducere a datelor în tabelul Detalii_transformatoare:

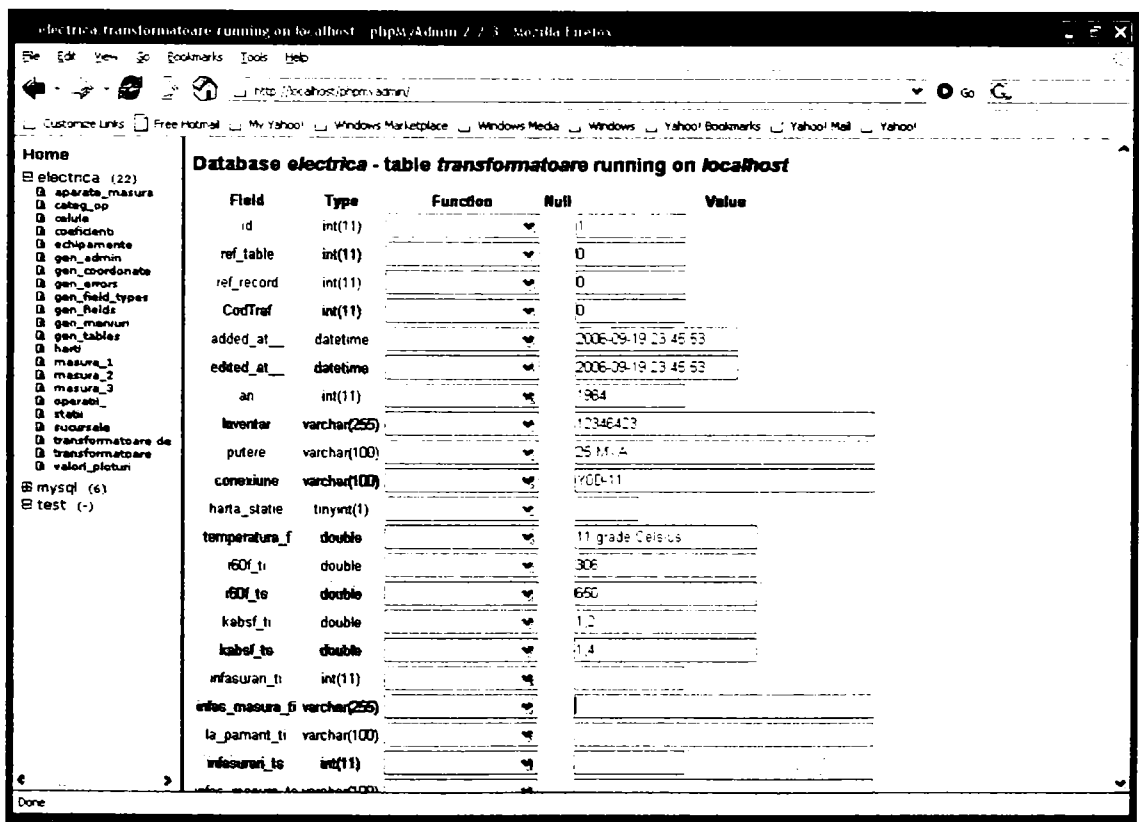


Figura 4.21 Interfața de introducere a datelor în tabelul Detalii_transformatoare

Introducerea datelor în baza de date și prin intermediul unui formular realizat cu ajutorul limbajului html.

Formularul, numit TrafoElectrica, asemenea bazei de date, a fost creat utilizând limbajul HTML (Hyper Text Markup Language – limbaj de marcare hipertext) [48], [118]. HTML este un limbaj de coduri speciale care se înserează într-un text, pentru a adăuga informații despre formatare și despre legături. Prin convenție, toate informațiile HTML încep cu o paranteză unghiulară deschisă (<) și se termină cu o paranteză unghiulară închisă (>). Acest marcaj HTML comunică unui interpretor HTML (program de navigare) că documentul este scris și formatat în limbajul HTML standard.

Pentru realizarea formularului s-au utilizat marcaje cum ar fi:

<HEAD>, </HEAD> pentru definirea antetului,
 <BODY>, </BODY> pentru definirea corpului,
 <TITLE>, </TITLE> pentru definirea titlului,

 pentru linie nouă,
 <H1>, <H2>...</H1>, </H2> pentru formatarea subtitlurilor,
 <HR>, </HR> pentru linie orizontală,
 , , <I>, </I> pentru formatarea textului,
 , pentru dimensiunea caracterelor,
 , pentru culoarea textului,
 <TABLE>, </TABLE> pentru definirea tabelelor,
 <TD>, </TD> pentru definirea celulelor,
 <TR>, </TR> pentru definirea rândurilor,
 CELLPADDING pentru spațierea dintre chenar și conținutul celulei,
 WIDTH pentru definirea lățimii tabelului,
 ALIGN pentru alinierea datelor în celule,
 <FORM>, </FORM> pentru delimitarea formularelor,
 <INPUT> câmp pentru date de tip text,
 TYPE pentru tipul câmpului de intrare,
 NAME pentru numele simbolic al valorii câmpului,
 VALUE pentru conținutul prestabilit al câmpului de tip text,
 <SELECT> pentru casete de validare,
 <TEXTAREA> pentru câmpurile de intrare de tip text pe linii multiple.

Pentru a descrie un formular se utilizează eticheta FORM, care are următoarea formă elementară: <FORM METHOD="metoda" ACTION="url"> [80].

Atributul METHOD poate lua una din valorile GET sau POST. Când METHOD este GET (implicit), datele introduse în form sunt trimise ca o cerere HTTP GET cu *?form_data* adăugat la sfârșitul URL-ului specificat de atributul ACTION. Astfel, datele trimise prin metoda GET pot fi vizualizate de către utilizator. Folosirea metodei GET permite ca trimiterea form-ului să fie conținută în URL. Aceasta prezintă avantajul că poate fi făcută bookmark în browser-ele actuale, dar, datele nu pot conține caractere non-ASCII precum "é" și "©". De asemenea, cantitatea de date care poate fi procesată prin metoda GET este limitată de lungimea maximă a URL-ului pe care o acceptă server-ul și browser-ul. Pentru siguranță, form-urile care ar putea conține caractere non-ASCII sau mai mult de 100 de caractere trebuie să folosească METHOD=POST. Cu valoarea METHOD egala cu POST, datele introduse în form sunt trimise ca o cerere HTTP POST, iar datele sunt conținute în interiorul cererii. Majoritatea browse-rerelor actuale nu pot face bookmark la cereri POST, dar, astfel POST nu limitează lungimea și tipul de caracter introdus.

Variabilele din php pot fi preluate și afișate într-o fereastră nouă prin una din modalitățile:

1. `$_POST["nume_variabila"]` sau cu `$_GET["nume_variabila"]` (în funcție de atributul method al formularului – post sau get)
2. `$HTTP_POST_VARS["nume_variabila"]` sau `$HTTP_GET_VARS["nume_variabila"]`.

Așa cum se observă din sursele prezentate, pentru preluarea datelor am utilizat metoda POST.

Fișierele corespunzătoare formularelor de introducere a datelor în baza de date Electrica au fost salvate cu denumirile Echipamente.php, respectiv Trafo.php. Pagina principală a fost salvată în fișierul index.html. Fișierele au fost copiate pe serverul de unde pot fi accesate formularele prin intermediul Internetului utilizând tehnologia SSH (Secure Shell).

Tehnologia SSH reprezintă standardul folosit ca securizare a accesului la distanță pentru conectarea în rețele ce folosesc protocolul IP. SSH securizează conectarea prin Internet realizând o criptare a tuturor datelor transmise: parole, fișiere sau comenzi de administrare. SSH înlocuiește în întregime programele comune de Telnet, FTP și poate chiar oferi o canalizare securizată pentru alte aplicații ce rulează în rețea oferind suport integrat pentru Public Key Infrastructure (PKI) și alte metode de autentificare (smart cards sau chei USB).

Pentru conectarea la serverul utilizat pentru găzduirea fișierelor menționate și a bazei de date, trebuie introduse câteva date ca: Host Name, User Name, și Port Number.

Server-ul utilizat pentru găzduirea fișierelor menționate, cu adresa bc.uav.ro/electrica funcționează pe sistemul de operare Linux, directorul corespunzător bazei de date găsindu-se în directorul Home din rădăcină.

Pentru crearea fișierelor .html și .php s-a optat pentru utilizarea editorului de texte sub Windows, Edit Plus, transferul pe server făcându-se prin fereastra de transfer de fișiere a aplicației SSH workstation.

Un browser web nu se poate lega direct la server-ul MySQL, nu poate trimite interogări și nu poate afișa rezultatul returnat de acestea. Un browser web nu poate decât să afișeze pagini HTML. Din acest motiv este necesar PHP, care se poate conecta la MySQL, poate trimite interogări și poate afișa rezultatul interogărilor în format HTML, format înțeles de un browser web. Ca și alte limbaje de scripting pentru Web, PHP permite furnizarea unui conținut Web dinamic. Principiul de funcționare este reprezentat în figura 4.22 [64], [65].

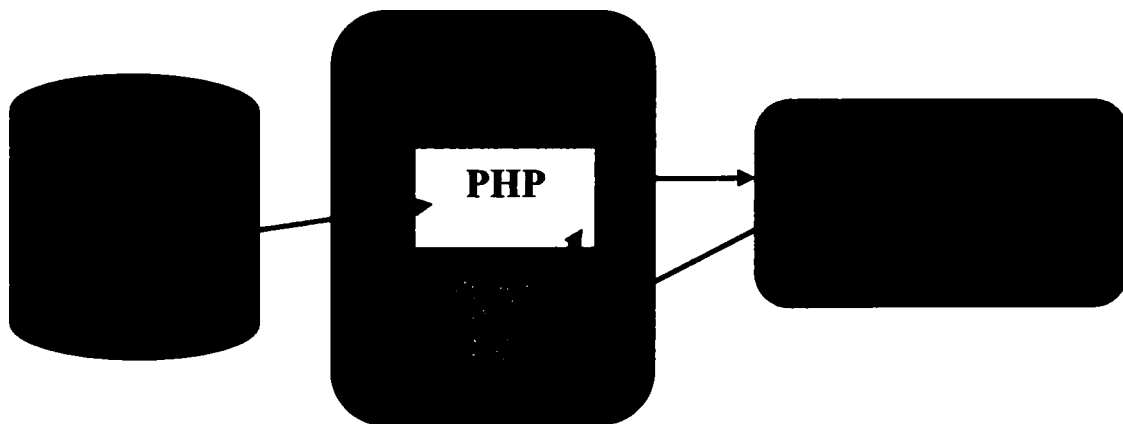


Figura 4.22 Transmiterea datelor în mod dinamic

În cazul în care browser-ul web vrea să afișeze o pagină, el cere această pagină serverului web, care recunoaște că este o pagină de tip PHP și o trimite spre prelucrare modulului PHP instalat. Acesta interpretează codul, vede că sunt cerute date din baza de date, se conectează la aceasta, le obține și generează codul html pentru afișarea lor. Astfel pagina generată este trimisă browser-ului care o afișează.

Realizarea acestor etape presupune:

1. Conectarea PHP la MySQL care se face prin următoarea funcție PHP:

```
<?php
$link = mysql_connect("mysql_host", "mysql_user", "mysql_password")
or die("Nu se poate conecta");
?>
```

unde funcția *mysql_connect* se conectează la MySQL folosind ca parametrii adresa serverului unde rulează MySQL și parola, funcția *die* face să se afișeze mesajul și să nu se mai execute nici un cod după, iar variabila *\$link* reprezintă un identificator pentru această conexiune (pentru că ne putem conecta simultan la mai multe server MySQL).

2. Trimiterea de interogări cu PHP care se face prin intermediul funcției *mysql_query* care transmite serverului MySQL interogarea pe care dorim să o executăm. Se pot executa orice fel de interogări, dar cele mai importante sunt cele care selectează și afișează informații din baza de date.

3. Manipularea rezultatelor selectate care se face prin intermediul funcției *mysql_fetch_array*, funcție ce ia pe rând fiecare înregistrare returnată de query și o introduce într-un vector (*\$myrow*). Cheile acestui vector sunt chiar numele câmpurilor din tabele.

4. Introducerea de date noi în baza de date care se face prin intermediul unui formular (fișier html) și a unui script (fișier php) care va prelua datele din formularul și le va introduce în baza de date.

Pornind de la structura bazei de date s-a creat structura aplicației. Accesul în baza de date se face prin intermediul unui nume de utilizator și a unei parole, interfață prezentată în figura 4.23. Interfața conține un meniu utilizator care permite introducerea și vizualizarea datelor prin intermediul a două meniuri: un Meniu principal prezentat în figura 4.24, respectiv un meniu Nomenclator prezentat în figura 4.25:

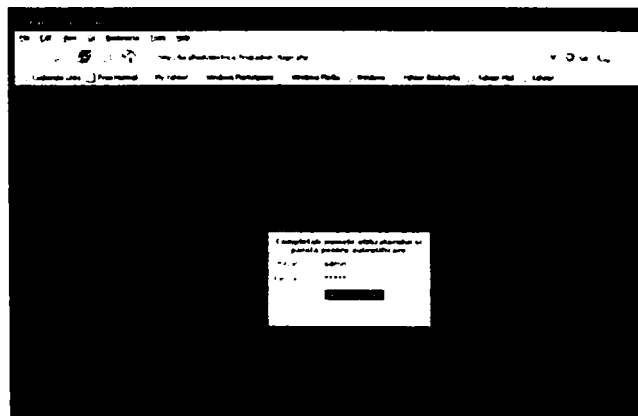


Figura 4.23 Interfața de acces în baza de date electrica

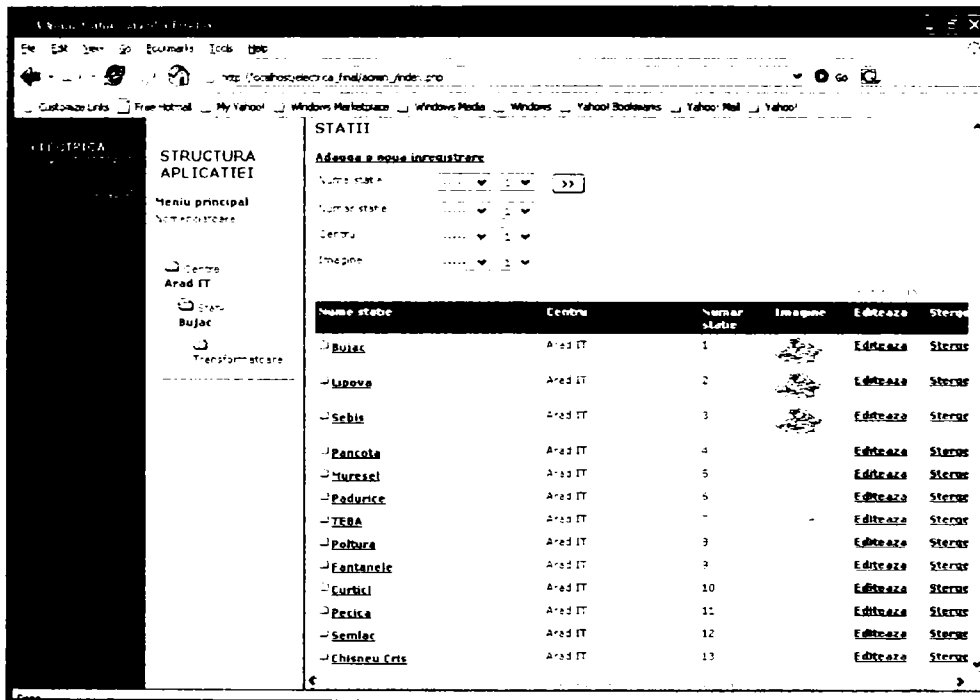


Figura 4.24 Meniul principal din fereastra administrator a bazei de date

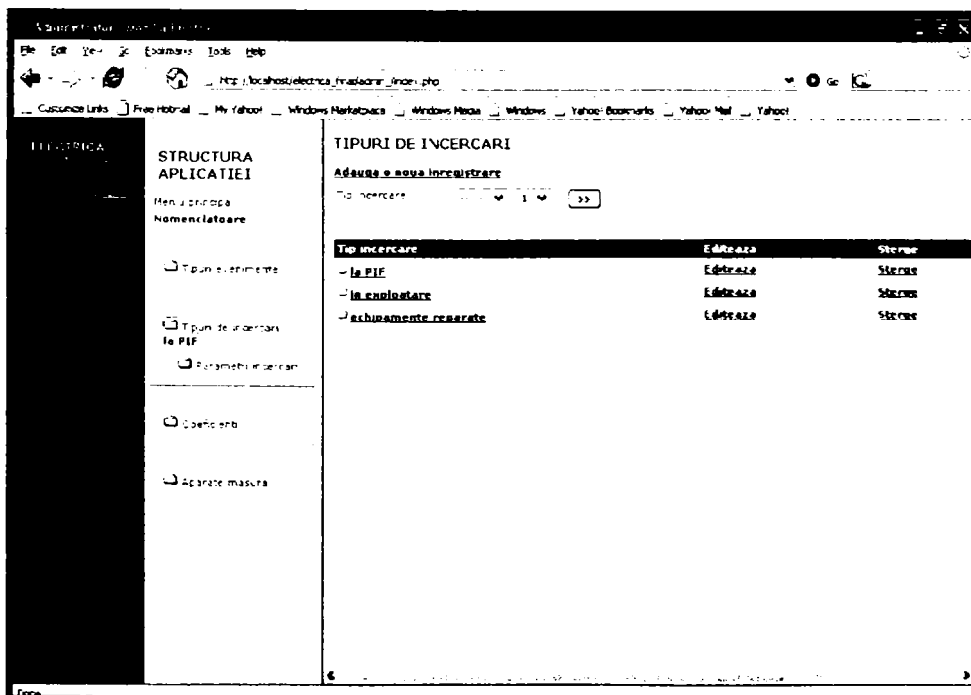


Figura 4.25 Meniul Nomenclator al interfeței administrator

Utilizatorul are la dispoziție o interfață în care, printr-o structură arborescentă poate introduce date despre centre, stații și echipamente. Particularizarea s-a făcut pentru transformatoarele de putere din cadrul stațiilor existente în județul Arad.

Prin intermediul interfeței prezentate în figura 4.26 se poate alege centrul, respectiv stația, se pot face operații de adăugare, editare și actualizare.

Pentru fiecare stație se pot vizualiza echipamentele aferente, poziția stației geografică în cadrul județului Arad fiind semnalizată prin semnal optic așa cum este prezentat în figura 4.27

Pentru fiecare transformator se poate urmări variația principalilor parametrii care caracterizează îmbătrânirea transformatoarelor: rezistența de izolație și tangenta unghiului de pierderi. Pentru fiecare parametru se poate alege data fiecărui buletin de verificare și rezultatele obținute prin respectivul buletin de verificare.

Figurile 4.28 și 4.29 prezintă interfețele puse la dispoziția utilizatorilor pentru urmărirea principalilor parametri specifici transformatoarelor de putere:

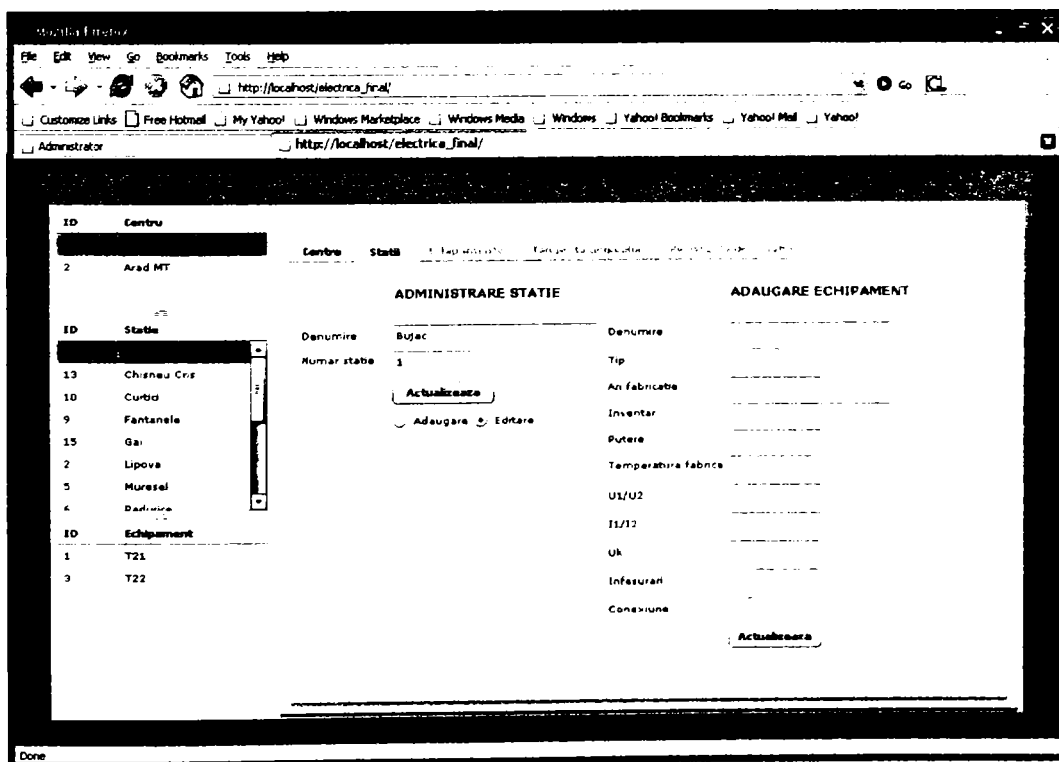


Figura 4.26 Interfața utilizator de urmărire a stațiilor

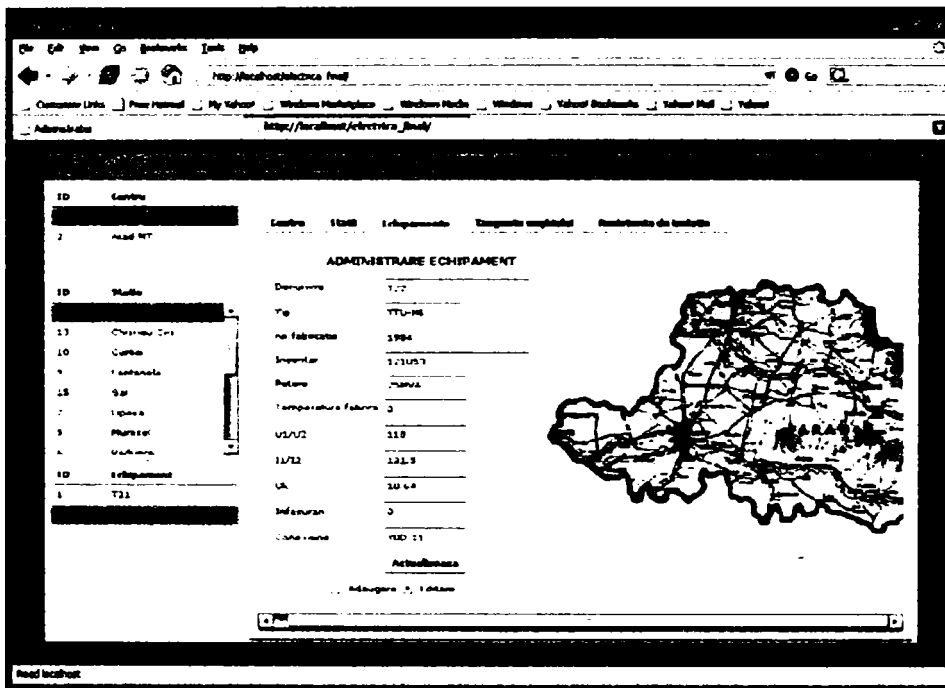


Figura 4.27 Interfața utilizator de urmărire a transformatoarelor

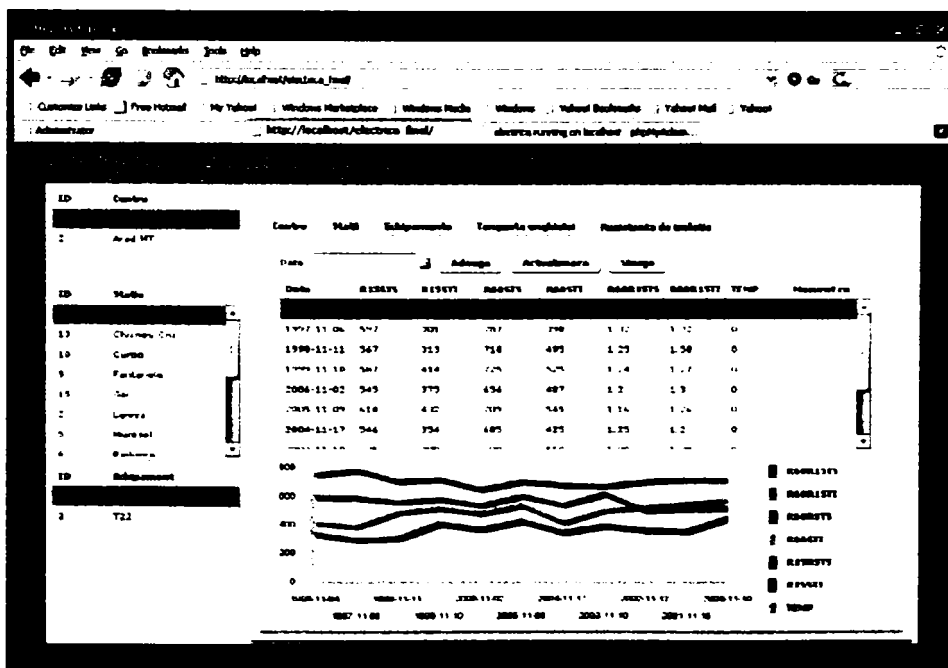


Figura 4.28 Interfața utilizator de urmărire a rezistenței de izolație

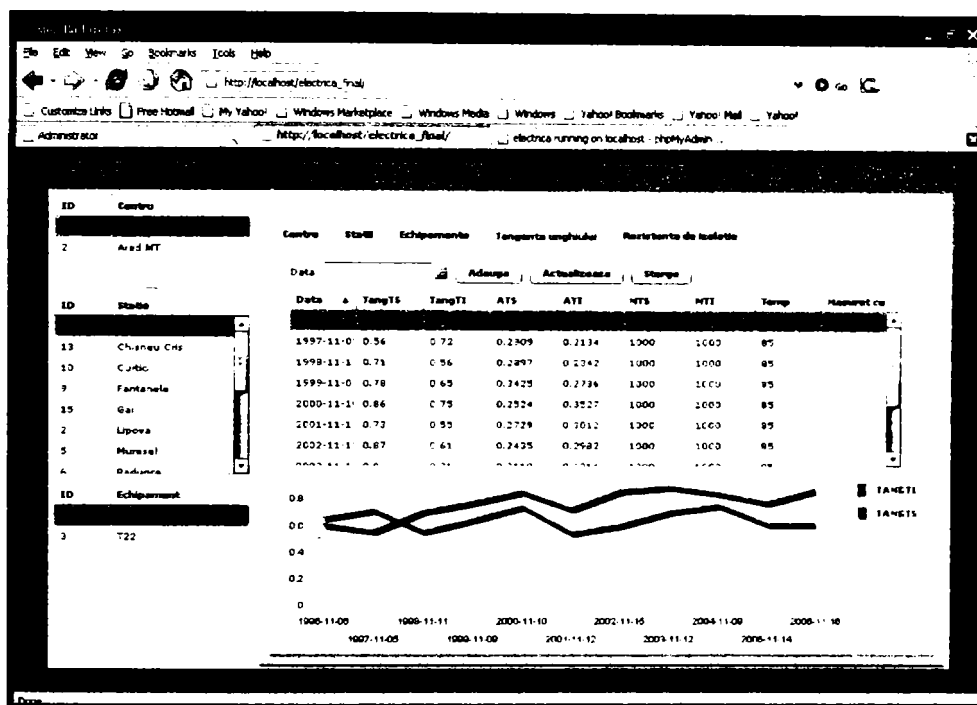


Figura 4.29 Interfața utilizator de urmărire a tangentei de delta

4.4. Concluzii

Companiile energetice trebuie să găsească modalități pentru a evita întreruperile bruște, pentru a minimiza timpilor de întrerupere, pentru a reduce costurile de întreținere și pentru a extinde durata de viață a transformatoarelor.

În prezent informatizarea activităților în cadrul s.c. Electrica s.a. este o cerință majoră pentru creșterea prestațiilor, atât în ce privește menținerea parametrilor optimi ai energiei electrice și asigurarea continuității alimentării, cât și în domeniul creșterii eficienței economice.

Ca urmare, se pot trage următoarele concluzii:

- Aplicațiile monitorizării stării în stațiile de transformare și dezvoltarea noilor tehnici au devenit una din cele mai importante sarcini pentru majoritatea companiilor energetice încă de la începutul anilor 90;
- Realizarea unui sistem de monitorizare s-a impus din două motive importante: în stațiile de transformare funcționarea fără șocuri a echipamentelor electrice și implicit a transformatoarelor de putere este deosebit de importantă deoarece întreruperile neprevăzute și avariile pot duce la accidente și pot avea ca repercusiuni și asupra întregii activități a întreprinderii, iar pe de altă parte transformatoarele de putere reprezintă active costisitoare și au nevoie de costuri de întreținere corespunzătoare mari;
- Produsele program au depășit de mult teritoriul centrelor de calcul. Ele sunt încorporate și controlează echipamente industriale (linii tehnologice automate, mașini cu comandă numerică, roboți), mijloace de transport și de comunicații, tranzacții financiare și bancare, rețele energetice, sisteme de apărare națională, etc.

- Odată cu perfecționarea tehnicilor "virtual realty" și multimedia, calculatorul este tot mai folosit ca mijloc didactic sau de divertisment și în activități de concepție.
- Tehnologia informațiilor face permanente modificări mijloacelor de muncă în întreaga lume. Informații care erau altădată stocate în depozite pline de dulapuri pot fi accesate acum la o singură apăsare a butonului mouse-ului. Pentru a stoca informații în orice mediu imaginabil în zilele noastre sunt folosite sisteme de baze de date.
- Cel mai folosit model de stocare a datelor este baza de date relațională. Acest nou model s-a dezvoltat pornind de la un articol, "A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks" (Un model relațional al datelor pentru bănci mari de date folosite în comun), scris de Dr. E. F. Codd în anul 1970. Ideea lui Codd pentru un sistem de administrare a bazelor de date relaționale folosește conceptele matematice de algebră relațională pentru a grupa datele în mulțimi și a stabili relații între submulțimile (domeniile) comune;
- Complexitatea actuală a aplicațiilor de management al bazelor de date face necesară o combinație a procesării tranzacțiilor on-line, a încărcării și a creșterii sprijinului decizional. În scopul satisfacerii acestor necesități, este nevoie de baze de date scalabile și performante care pot fi ajustate dinamic pentru a realiza un compromis între bazele de date (mai mari) și utilizatorii simultani (mai mulți). De asemenea, sunt necesare tehnologii pentru baze de date proiectate pentru a maximiza capacitățile configurației hardware/software disponibile (incluzând arhitecturi simplu și multiprocesor), precum și pentru valorificarea unor arhitecturi hardware (cum ar fi clustere cuplate larg și mașini paralele puternice).
- Ultima dintre arhitecturile dezvoltate este cea a aplicațiilor distribuite pe web. Clientul devine o aplicație cât mai simplă posibil, accesată de obicei printr-un banal browser de internet, serverul de date și cel de aplicații web preluând cea mai mare parte a sarcinilor.
- În urma monitorizării transformatoarelor de putere am putut trage următoarele concluzii:
 - Transformatoarele de putere au o durată de viață mare;
 - Referitor la principalele mărimi urmărite, tgδ și rezistența izolație :
 - valorile acestor mărimi diferă de la un transformator la altul funcție de vechime, constructor, materiale folosite, regim de funcționare (de exemplu rezistența de izolație are în general valori de la 600MΩ la un transformator și până la 3000-4000 MΩ la alt transformator) , valorile tgδ trebuie să fie mai mici decât valorile date de normativ, în general sunt valori diferite pentru că îmbătrânirea izolației este diferită.
 - variația acestor mărimi este aproximativ lineară și anume tgδ crește ușor, iar rezistența de izolație scade tot lent;
 - temperatura semnificativă la măsurarea acestor mărimi este cea a înfășurărilor, care se determină astfel:
 - direct, cu termometrul, introdus într-o țevă sudată de la suprafața transformatorului spre interiorul lui, partea de jos fiind lângă înfășurări;
 - la măsurătorile de fabrică s-au determinat cu precizie valorile temperaturii uleiului și rezistența ohmică a înfășurărilor; în stație din rezistența ohmică a înfășurărilor se determină temperatura și se transpun valorile măsurate ale tgδ și rezistența de izolație la temperatura de fabrică;
 - Conform PE se face anual revizie tehnică, care constă în măsuratori ale rezistenței de izolație, rezistența ohmică a înfășurărilor, tgδ, analiza uleiului,

măsurători pentru care se emit buletine de verificare care reflectă starea echipamentului.

○ În cadrul programelor de mentenanță, cele mai frecvente acțiuni sunt acțiunile corective (reparații accidentale) când :

- se elimină scurgerile de ulei de la garnitura cuvei, a comutatorului de ploturi, a mecanismului de acționare a comutatorului de ploturi, la izolatorii transformatorului, la diverși robineti;

- au loc reparații, după caz, la instalația de ventilație, de circulație forțată a uleiului, - poate avea loc o defectare a izolatorilor transformatorului; în acest caz aceștia se înlocuiesc. Defectul poate fi cauzat de: scurgerile de ulei pe la flanșa de fixare pe transformator sau pe la partea superioară a izolației, modificarea caracteristicilor electrice ale transformatorului, deteriorare mecanică, obturarea circuitului de răcire a uleiului (înfundare conducte);

- defectarea mecanismului de acționare a comutatorului de ploturi;
- defectarea instalației de măsurare a temperaturii uleiului transformatorului, a sondei sau aparatului de măsură;

- defect la comutatorul de ploturi când crește rezistența contactelor din acesta pentru că s-au uzat contactele, s-au desfăcut sau rupt legăturile părților de circuit, sunt scurgeri de ulei pe la garnituri.

○ La îmbătrânirea izolației, rezistența de izolație a înfășurărilor scade, iar temperatura crește mult mai mult cu sarcina;

○ Procentual principalele defecte pentru transformatoarele de 20-30 ani sunt:

- scurgeri diverse de ulei - 3% ;

- defect intern - sub 0.2% ;

- defect ventilație (ventilator, pompă de circulație, radiator răcire, circuite de comanda) - 2%

- defect izolatori trafo - sub 1%

- defect releu gaze - sub 1%

Contribuțiile aduse de autor sunt următoarele:

- Sistematizarea și prezentarea principalelor sisteme de gestiune a bazelor de date, cu specificarea particularităților fiecăruia;

- Prezentarea modurilor în care un sistem de baze de date poate contribui la o eficientizare a întregii activități a oricărei întreprinderi și implicit și în domeniul electroenergetic;

- Exemplificarea concretă a utilizării unui sistem de gestiune a bazelor de date în monitorizarea și diagnosticarea echipamentelor electrice din cadrul stațiilor de transformare, cu referire directă la transformatoarele electrice de putere.

- Elaborarea și implementarea subsistemului software ce constituie suportul iterativ și extensibil destinat achiziției, analizei și vizualizării datelor.

- Studiarea și prezentarea unitară a specificațiilor de proiectare ale subsistemului (modul de interfațare a utilizatorului cu calculatorul, modul de interogare a bazei de date).

CONCLUZIILE TEZEI

Cercetarea bibliografică, studiile proprii și rezultatele obținute permit formularea următoarelor concluzii referitoare la transformatoarele electrice de putere:

- Energia electrică constituie un flux energetic foarte important pentru civilizația actuală. Echipamentele electrice constituie componente esențiale ale SEE, iar dintre acestea transformatoarele electrice de putere constituie echipamentul cel mai costisitor. Ca urmare starea în care se află aceste echipamente influențează major asupra prețului de cost al energiei electrice. În acest sens monitorizarea transformatoarelor electrice de putere este imperios necesară pentru a putea aprecia gradul de îmbătrânire al acestora și implicit durata lor de viață.
- Monitorizarea transformatoarelor presupune urmărirea principalilor parametri care le caracterizează comportarea în timp, păstrarea mărimilor măsurate într-o bază de date și prelucrarea acestora printr-un sistem de gestiune a bazelor de date.
- O apreciere corectă a stării transformatoarelor electrice de putere determină echipamente fiabile. Analiza fiabilității echipamentelor electrice implică abordarea corelată a aspectelor privind siguranța, mentenabilitatea, mentenanța și disponibilitatea.
- O evaluare corectă a stării unui transformator de putere determină menținerea acestuia la parametri normali un timp cât mai îndelungat.
- Prelungirea duratei de viață a transformatoarelor de putere poate fi realizată prin acțiuni specifice de mentenanță corectivă cumulat cu cele de mentenanță preventivă la momentul oportun. Astfel investițiile vor fi cu 20-30% mai mici decât în cazul achiziționării unui transformator nou.
- Un program de mentenanță corect aplicat determină o îmbunătățire a fiabilității transformatoarelor.
- Evaluarea indicatorilor de fiabilitate a transformatoarelor electrice de putere presupune urmărirea comportării în exploatare a acestora, sistematizarea și prelucrarea datelor statistice. Din rezultatele obținute se poate afirma că modelarea distribuției variabilei aleatoare „timp de bună funcționare” este recomandat a se face prin testarea distribuțiilor exponențiale, Weibull, în timp ce pentru modelarea variabilei aleatoare „număr de căderi pe durata de analiză” este recomandată distribuția Poisson.
- În analizele de fiabilitate previzionale transformatoarele electrice de putere au fost tratate ca și sisteme pentru care este necesară identificarea numărului real de stări,
- Corelarea analizelor cu funcțiile SEE în care lucrează transformatoarele și identificarea factorilor care influențează indicatorii de fiabilitate.
- Fiabilitatea transformatoarelor de putere poate fi determinată prin indicatorii de fiabilitate care să exprime: siguranța de timp, mentenabilitatea, disponibilitatea de timp, securitatea intrinsecă a transformatorului, disponibilitatea de putere și disponibilitatea de energie.
- Analiza fiabilității previzionale trebuie să se facă în trei etape: pe baza structurii transformatorului tratat ca sistem tehnic, pe baza funcțiilor pe care le

deține în cadrul SEE, respectiv analiza la nivel de element al sistemului cu determinarea modului de defectare al fiecărui element în parte.

- În cadrul SEEA există diferite ramuri socio-economice consumatoare de energie electrică, ceea ce implică existența unor valori diferențiate ale daunelor provocate de nonfiabilitatea echipamentelor electrice de același tip, cu același caracteristici, dar care lucrează în diferite puncte ale SEE zonale.

- Studiul de fiabilitate s-a făcut pe o perioadă cuprinsă între 1996 și 2005. În urma acestui studiu s-au constatat următoarele:

- În perioada analizată tendința generală este de creștere a fiabilității operaționale a SEEA și a componentelor sale;

- Elementele cu cel mai mare impact asupra fiabilității transformatoarelor de putere sunt înfășurările;

- Calitatea unor materiale cum ar fi materialele electroizolante sau garniturile constituie principala cauză de cădere a transformatoarelor;

- Distribuția Weibull oferă cea mai bună modelare pentru datele statistice ce caracterizează comportarea în exploatare a transformatoarelor de putere, cu referire la cele două variabile aleatoare TBF și TMC;

- Valoarea ratei de defectare a transformatoarelor de putere din cadrul SEEA depășește valoarea din literatura de specialitate. Transformatoarele de putere din cadrul SEEA se încadrează în categoria echipamentelor cu nivel de fiabilitate satisfăcător (NFS);

- Volumul datelor statistice existente cu referire la variabilele TBF și TMC permit doar evaluarea valorilor empirice ale indicatorilor ($MTBF^*$, $MTMC^*$, λ^* , μ^*) și exprimarea corespunzătoare a legilor de distribuție a celor două variabile aleatoare TBF și TMC;

- Pentru creșterea fiabilității operaționale a transformatoarelor de putere care fac parte din categoria echipamentelor NFS se recomandă:

- Scoaterea din uz a transformatoarelor cu defecte repetate și care au depășit durata de serviciu normală;
- Folosirea unor materiale de calitate în mod deosebit pentru materialele electroizolante;
- Monitorizarea transformatoarelor de putere prin achiziționarea on-line sau off-line a principalelor mărimi care caracterizează comportarea în timp a acestora.

- Dintre toate componentele transformatoarelor de putere cea mai solicitată este izolația care este supusă unui cumul de solicitări de natură termică, electrică, mecanică și chimică.

- Dintre aceste solicitări o influență deosebită o are temperatura la care se află izolația hârtie-ulei din transformator. Astfel evaluarea comportării transformatoarelor de putere se poate face cu ajutorul legilor duratei de viață (Montsinger, respectiv Büssing), cele mai relevante rezultate fiind obținute prin aplicarea legilor bazate pe regula celor „8 grade”.

- Variația temperaturii în timp poate avea o creștere liniară sau exponențială.

- Din acest punct de vedere îmbătrânirea transformatoarelor poate fi caracterizată prin factorul relativ de îmbătrânire (factor relativ de uzură termică) și prin uzura termică relativă (îmbătrânirea termică relativă). O uzură supraunitară dovedește că pe perioada considerată uzura transformatorului este sub cea normală.

- Din cazurile studiate s-a constatat că o parte din transformatoarele aflate în dotarea stațiilor de transformare din cadrul SEEA sunt necorespunzător exploatare, sub posibilitățile reale, iar altele sunt uzate moral și fizic, fiind necesară înlocuirea acestora.

- Exploatarea și mentenanța corectă a transformatoarelor de putere ca și restructurarea sistemului energetic impun existența unei baze de date informatizate care să permită o diagnosticare cât mai corectă a stării și duratei de viață a transformatoarelor.
- Un sistem de gestiune a bazelor de date permite urmărirea comportării individuale a fiecărui transformator din exploatare, centralizarea și vizualizarea datelor pe perioada de timp solicitată.
- Un sistem informatizat de urmărire în exploatare a echipamentelor permite realizarea unor rapoarte de sinteză și detaliu care pot sta la baza mecanismului decizional și ca urmare stabilirea unui program de mentenanță adecvat pentru fiecare transformator de putere aflat în dotare.
- Adecvarea strategiilor de mentenanță ale echipamentelor și instalațiilor electrice este o direcție de acțiune prin care se pot obține economii financiare majore în cadrul succursalelor de transport și distribuție a energiei electrice.
- Mentenanța instalațiilor energetice se conturează actualmente ca un domeniu major de preocupări privind fiabilitatea sistemelor energetice caracterizat prin principii, modele și modalități tehnice fundamentate științific și motivate economic.
- Mentenanța predictivă bazată pe diagnoza tehnică este o componentă a sistemului de mentenanță bazat pe fiabilitate, o tehnică de mare perspectivă pentru transformatoarele de putere, dar care nu se justifică economic în cazul transformatoarelor aflate în a treia perioadă a duratei de viață utilă.

Principalele contribuții ale autoarei în cadrul tezei sunt:

- Cercetarea bibliografică, analiza critică și sistematizarea materialului informativ existent în literatura de specialitate referitor la comportarea în a transformatoarelor electrice de putere;
- Sistematizarea și prezentarea într-o formă adecvată transformatoarelor a noțiunilor de mentenanță și monitorizare, cu analiza componentelor acestora;
- Prezentarea unui algoritm de realizare a mentenanței, respectiv a unui algoritm de realizare a monitorizării transformatoarelor electrice;
- Prezentarea într-o formă specifică echipamentelor electrice a principiilor monitorizării și diagnosticării;
- Stabilirea pe baza recomandărilor existente în literatura de specialitate, coroborate cu specificațiile structurale și funcționale ale echipamentelor electrice, a legilor de distribuție pentru modelarea distribuțiilor empirice ale variabilelor aleatoare „timp de bună funcționare”, „timp de mentenanță corectivă” și „număr de căderi”, a metodelor recomandate pentru analiza fiabilității previzionale a transformatoarelor electrice;
- Stabilirea algoritmilor de analiză a fiabilității previzionale pentru transformatoarele de putere în trei etape succesive: studiul pe baza structurii, studiul pe baza funcțiilor pe care le au fiecare dintre elementele sale componente, transformatorul fiind privit ca un sistem, respectiv studiul fiabilității previzionale pornind de la modurile de defectare ale elementelor din structura transformatoarelor;
- Sistematizarea și prezentarea fenomenelor care solicită transformatoarele de putere în sensul îmbătrânirii acestora și a metodelor de determinare a gradului de îmbătrânire a transformatoarelor cu particularizare asupra izolației hârtie-ulei;
- Determinarea gradului de uzură a izolației transformatoarelor folosind mediul Mathcad;

- Gestionarea comportării în timp a transformatoarelor de putere din cadrul SEEA cu ajutorul unui sistem de gestiune a bazelor de date;
- Prezentarea succintă a sistemelor de gestiune a bazelor de date cu particularitățile fiecăruia, cu avantajele și dezavantajele pe care le prezintă fiecare;
- Justificarea alegerii sistemului de gestiune a bazelor de date My SQL care îmbinat cu limbajul PHP determină o accesare facilă și la obiect din partea utilizatorului;
- Realizarea unui sistem de monitorizare a transformatoarelor de putere cu posibilitatea de extindere și asupra altor echipamente din cadrul sistemului electroenergetic Arad, permițându-se astfel eficientizarea întregii activități;
- Îmbinarea studiului teoretic al transformatoarelor de putere cu facilitățile oferite de bazele de date complexe, ceea ce conferă lucrării un puternic caracter interdisciplinar;
- Instituirea unui sistem de urmărire a comportării în exploatare a transformatoarelor de putere din cadrul SEEA în scopul valorificării rezultatelor obținute pentru realizarea unui management adecvat al mentenanței, ceea ce va duce la reducerea costurilor de exploatare.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Albert H., Preotescu D. – Analiza componentelor mentenanței corective. *Energetica*, nr. 10, 2000
- [2] Albert H., Preotescu D. – Aspecte de management al mentenanței corective în rețelele electrice de distribuție. Volumul cu lucrările SIG 1999, ICEMENERG 1999
- [3] Albișor R., Barbu Gh., Bantaș A. – Materiale noi necesare aplicării tehnologiilor de mentenanță la instalațiile electrice. *Energetica*, nr.6, seria B, 1996
- [4] Alvin C. R. - *Linear Models in Statistics*, A Wiley-Interscience Publication, 2000.
- [5] Ambler Scott W. - *The Fundamentals of Mapping Objects to Relational Databases*, 2003, [http:// www.agiledata.org](http://www.agiledata.org)
- [6] Andrew P. Black / Object Identity , A Position Paper for I- WOOS'93, - www.cs.pdx.edu/~black/publications/ObjectIdentity.pdf
- [7] Annette Marquis, Gini Courter – Ghidul dumneavoastră pentru Access, Editura All, 1998
- [8] Ardelean D., Bărbulescu C. – Urmărirea comportării în exploatare a instalațiilor și echipamentelor energetice din punct de vedere al siguranței. *Producerea, transportul și distribuția energiei electrice și termice*, nr.1, 1998
- [9] Atkinson M., Bancelhon F, DeWitt D., Dittrich K., Maier D., Zdonik S. *The Object-Oriented System Manifesto*. 1995, <http://www.cs.cmu.edu/People/clamen/OODBMS/Manifesto/htManifesto/Manifesto.htm>
- [10] Barbu G. – Modele de simulare cu aplicații în fiabilitate. Editura Tehnică, București, 1992
- [11] Barry D. K.-*The Object Database Handbook : How to Select, Implement, and Use Object-Oriented Databases*, John Wiley & Sons, 1996.
- [12] Băduț M. – *Informatica pentru manageri*, Editura Teora, 1999
- [13] Băjenescu T. – *Fiabilitatea, disponibilitatea și mentenabilitatea sistemelor electronice complexe*, Editura de Vest, Timișoara, 1996
- [14] Băla C – *Baze de date Visual FoxPro*, Editura Editura Universității „A. Vlaicu” Arad, 2005
- [15] Băla C. – *Sisteme informatice. Prelucrarea informației economico-financiare*, Editura Universității „A. Vlaicu” Arad, 2004
- [16] Băla C., Chiș V. - *Windows XP & Internet*, Editura Mirton, Timisoara, 2003
- [17] Băla C. -*Baze de date-Microsoft-Access*, Editura Mirton, Timisoara, 2003
- [18] Băla C., - *Introducere in informatică. Note de curs si aplicatii*, Editura Mirton, Timisoara, 2003
- [19] Băla C. - *Introducere in informatică economică*, Editura Universității „Aurel Vlaicu” Arad, 2004
- [20] Băla C. - *Soluții economice in Microsoft Excel*, Editura Universității „Aurel Vlaicu” Arad, 2004

- [21] Băla C. - Parteneriatul resurselor în formarea formatorilor educaționali - Formarea formatorilor de formatori educaționali. Prioritate logică și etică a reformei în și prin educație - Fundația "Ideea", Arad, 1998
- [22] Băla C. - Informatică și contabilitate - Zilele Academice Arădene, Arad, 2000
- [23] Băla C. - Calculatorul în domeniul financiar-contabil - Zilele Academice Arădene, Arad, 2000
- [24] Băla C. - Using Internet in distance education - 2nd EUROPEAN CONFERENCE on E-COMMERCE, Bucuresti, 2001
- [25] Băla C. - Managementul asistat de calculator - Zilele Academice Arădene, Arad, 2002
- [26] Băla C. - Aspects regarding the implementation of e-business system - 2nd EUROPEAN CONFERENCE on E-COMMERCE, Bucuresti, 2001
- [27] Băla C. - Database implementation in modern management - Analele Universitatii "A. Vlaicu" Arad, 2002
- [28] Băla C. - Database and information system - Analele Universității "A. Vlaicu" Arad, 2002
- [29] Băla C. - Optimizarea bazelor de date relaționale, Analele Universității "Aurel Vlaicu" Arad, Seria Matematică-informatică, 2004
- [30] Băla C. - Numeric Modelation for Electric Transformers, Analele Universității "Aurel Vlaicu" Arad, Seria Matematică-informatică, 2006
- [31] Băla C. - The Use of Complex Data Bases in Monitorizing the Electric Transformers, Analele Universității "Aurel Vlaicu" Arad, Seria Matematică-informatică, 2006
- [32] Băla C. - Monitorizarea parametrilor transformatoarelor electrice dintr-o stație de transformare, Referat 1, Teză de doctorat, Timișoara, 2005
- [33] Băla C. - Metode de diagnoză a stării transformatoarelor din stațiile de transformare, Referat 2, Teză de doctorat, Timișoara, 2005
- [34] Băla C. - Realizarea unei baze de date complexe în vederea monitorizării și diagnozei transformatoarelor electrice, Referat 3, Timișoara, 2005
- [35] Bala C.- Mașini electrice - Editura Didactică și Pedagogică, București, 1979
- [36] Bărbulescu C. - Utilizarea feed-back-ului informațional necesar planificării, dezvoltării și îmbunătățirii performanțelor de siguranță ale instalațiilor SEN pe baza Sistemului Unitar de urmărire a comportării în exploatare. Volumul cu lucrările celui de-al doilea Simpozion Național de Siguranță în Funcționarea SEN, Craiova, 1997
- [37] Berbente C., Mitran S., Zancu S. - Metode numerice, Editura Tehnica, 1997.
- [38] Bernardo R. - Marker-Assisted Best Linear Unbiased Prediction of Single-Cross Performance, Published in Crop Sci. 39:1277-1282, 1999.
- [39] Bethard G. L. - A Microcomputer Simulation to Evaluate Management Strategies For Rearing Dairy Replacements, 1997, <http://www.scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-831102339731121/unrestricted/ETD.PDF>
- [40] Beynon-Davies P. - Database Systems - Macmillan Press Ltd, 2000
- [41] Bill McCarty - PHP4, Editura Teora, 2002
- [42] Boch, G., - Object Oriented Analysis and Design, Benjamin-Cummings, Redwood City. CA, 1987.

- [43] Boruz L., Rusoiu C., Parvu Gh. – Evaluarea stării transformatoarelor și autotransformatoarelor de putere în exploatare, considerații generale, recomandări. Simpozionul internațional CNTEE TRANSELECTRICA „Transformatoare de putere”, Predeal, România, 29-30 septembrie, 2004
- [44] Bruce K. - Foundations of Object-Oriented Languages Types and Semantics, MIT Press Cambridge, MA, USA, 2002.
- [45] Bryan Morgan, Jeff Perkins – SQL fără profesor în 14 zile, Editura Teora, 1997
- [46] Bucerzan D. – Lecții de Excel, Editura Albastră, Cluj-Napoca, 2001
- [47] Căunranu V. M., Bacivarof A. – Structuri electrice de înaltă fiabilitate. Editura Militară, 1989
- [48] Cioc I., Vlad I., Calotă G. – Transformatorul electric. Editura Scrisul românesc, Craiova, 1989
- [49] Cira O. – Lecții de Mathcad 2001 Professional, Editura Albastră, Cluj-Napoca, 2006
- [50] Codd E. F. - A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks, Communications of the ACM, Vol. 13, No. 6, June 1970, pp. 377-387.
- [51] Codd, E.E., The Relational Model for Database Management, Addison-Wesley, Reading M.A., 1990.
- [52] Conecini – Modernizarea exploatarei stațiilor electrice prin introducerea unui echipament numeric de gestiune și prelucrare a evenimentelor, Energetica, nr 5/1987
- [53] Conecini A. – Concepția GTDEE privind trecerea de la mentenanță preventivă la cea bazată pe fiabilitate. Energetica, nr.1, seria B, 1996
- [54] Coroiu N, Felea I. – Considerații privind analizele de fiabilitate ale transformatoarelor electrice de mare putere. Analele Universității din Oradea, Fascicula de Energetică, Volumul II/1998
- [55] Coroiu N., Felea I. – Preocupări privind implementarea sistemului de mentenanță bazat pe fiabilitate la S.D. Oradea – Al XVI-lea Simpozion Național „Siguranța în Funcționare a Sistemului Energetic”, Bacău, 23 septembrie 1999
- [56] Coroiu N. – Studii și cercetări privind fiabilitatea echipamentelor de Î.T. și M.T. din sistemele electroenergetice, Teză de doctorat, Universitatea Oradea, Facultatea de Energetică, Oradea, 2000
- [57] Dare O. - An exploration of Object oriented database management systems - 2001, <http://www.25hoursaday.com/WhyArentYouUsingAnOODBMS.html>
- [58] Date, C.J. , An Introduction to Database System, Addison-Wesley, reading, MA, 1995.
- [59] Datta G. S., Lahiri P. - A unified measure of uncertainty of estimated best linear unbiased predictors in small area estimation problems, Statistica Sinica 10, 613-627, 2000.
- [60] Davidescu A. – Analiza și procesarea datelor în Matlab. Editura Politehnica, Timișoara, 2003
- [61] Davis, J. - "Extended Relational DBMSs: The Technology, Part 1," DBMS Online, June 1997. <http://www.dbmsmag.com/9706d13.html>
- [62] Deleşega I. – Aparate electrice. Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 1999
- [63] Deleşega I., Vasilevici Al. – Echipamente de comandă cu logică programată, Editura Politehnica, Timișoara, 1998

- [64] Dollinger R. – Baze de date și gestiunea tranzacțiilor, Editura Albastră, Cluj-Napoca, 2001
- [65] Dollinger R. – Utilizarea sistemului SQL Server, Editura Albastră, Cluj-Napoca, 2001
- [66] DuBois P. – MySQL, Editura Teora, 2001
- [67] Dușa V. – Instalații de comandă și control ale stațiilor electrice, Editura de vest, Timișoara, 1996
- [68] Dușa V., Vaida V. – Comanda și controlul funcționării rețelelor electrice, Editura Tehnică, București, 2001
- [69] Eftimie C., Soare D. – Fiabilitatea sistemelor de distribuție electroenergetice industriale. Editura Tehnică, București, 1979
- [70] Felea I. – Ingineria fiabilității în electroenergetică. EDP, 1996
- [71] Felea I. Dale E. – Aspecte privind impactul regimului deformant asupra fiabilității transformatoarelor electrice. Analele Universității din Oradea, Fascicola de Energetică, 1996
- [72] Felea I. Dale E. – Evaluarea pierderilor de putere și energie în transformatoarele electrice care funcționează în regim nesimetric. Analele Universității din Oradea, Fascicola de Energetică, 1997 .
- [73] Felea I. Dale E. – Metodologie de analiză a impactului regimului deformant asupra fiabilității echipamentelor electrice. Analele Universității din Oradea, Fascicola de Energetică, 1996
- [74] Felea I., Coroiu N. – Fiabilitatea și mentenanța echipamentelor electrice. E.D.P. 2001
- [75] Filip F.- Decizie asistată de calculator, Editura Tehnică, București, 2005
- [76] Fotache M. - Baze de date relaționale. Organizare, interogare și normalizare, Junimea Iasi 1997
- [77] Fotache M. – SQL, Dialecte DB2, Oracle, Visual FoxPro, Editura Polirom, 2001
- [78] Fotache M., Strâmbel C., Crețu L. – Oracle 9i, Editura Polirom, 2003
- [79] Gal S., Kovacs S., Farcaș A., Moraru A. - Preocupări privind siguranța în exploatare a unităților de transformare aparținând sucursalei de transport energie electrică Sibiu. Simpozionul internațional CNTEE TRANSELECTRICA „Transformatoare de putere” , Predeal, România, 29-30 septembrie, 2004
- [80] Galan N., Ghiță C., Cistelean M. – Mașini electrice, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1981
- [81] Gavrilă M. – Aspecte privind posibilitatea de funcționare optimă a transformatoarelor. Considerații asupra evaluării ofertelor de transformatoare. Producerea, transportul și distribuția energiei electrice și termice, nr. 4, 1998
- [82] Gavrilă M. – Prezentarea curbelor de pierderi de energie ale transformatoarelor. Producerea, transportul și distribuția energiei electrice și termice, nr. 4, 1998
- [83] Gavrilă M. – Sinteză asupra noii metodologii de calcul al pierderilor și al gradului de încărcare la transformatoare. Producerea, transportul și distribuția energiei electrice și termice, nr. 4, 1998
- [84] Gheju P., Dușa V. – Partea electrică a centralelor și stațiilor electrice. Circuite secundare și instalații auxiliare, Litografia I.P. Timișoara, 1973

- [85] Gheju P., Duşa V. – Stații și posturi de transformare, vol.1 și vol.2, Litografia I.P. Timișoara, 1978
- [86] Grupul BDASEIG – Baze de date. Fundamente teoretice și practice, Editura Infomega, 2002
- [87] Hanson E. N., Harvey T. M.- Experiences in Database System Implementation Using a Persistent Programming Language Pages: 314
- [88] Hazi G., Vizetu I. – Optimizarea acțiunilor de mentenanță pentru rețelele electrice. Producerea, transportul și distribuția energiei electrice și termice, nr. 12, 1998
- [89] Henderson C.R - A rapid method for computing the inverse of a relationship matrix. J. Dairy Sci. 58:1727-30.,1975
- [90] Hohan I. – Tehnologia și fiabilitatea sistemelor. E.D.P., Bucuresti, 1982
- [91] Heinrich I., ș.a. – Stații și posturi electrice de transformare, Editura Tehnică, 1988
- [92] Ifrim A., Hotingher P. – Materiale electrotehnice, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1979
- [93] Ionescu D., Dascălu D. – O abordare realistă a modelării fiabilității în vederea optimizării strategiei de mentenanță a echipamentelor energetice. Energetica, nr.4, 2002
- [94] Ionescu F. – Baze de date relaționale și aplicații. Editura Tehnică, București, 2004.
- [95] Ionescu T. – Sisteme și echipamente pentru conducerea proceselor, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982
- [96] Ipate F., Popescu M. – Dezvoltarea aplicațiilor de baze de date în Oracle8 și Forms6, Editura All, 2000
- [97] Ivașcu C. – Automatizarea și protecția sistemelor electroenergetice, Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 1999
- [98] Koller E., Roșculeț M.– Programare în Access, Editura Teora 2002
- [99] Lane D. M. - Online Statistics: A Multimedia Course of Study, http://psych.rice.edu/online_stat/, 2005.
- [100] Luers T. – Bazele Oracle, Editura Teora 1995
- [101] Luke Welling, Laura Thomson – Dezvoltarea aplicațiilor Web cu PHP și MySQL, Editura Teora, 2005
- [102] Lupu I.– Exploatarea stațiilor de transformare – Editura Cyd Serv, Piatra Neamț, 1999
- [103] Marinescu A., ș.a. – Considerații privind concepția și implementarea echipamentelor de monitorizare a transformatoarelor de putere. Conferința Națională a Energiei-CNE 2004, Neptun, 13-14 iunie, 2004
- [104] Martin J. - Principles of Object-Oriented Analysis and Design. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1993
- [105] Mazilu M, Iatvinschi A., Georgescu D. – Programe de diagnoză a rețelelor electrice de distribuție urbană și instruirea dispecerilor energetici – PITD. Simpozionul Național de Rețele Electrice, Volumul 2, Suceava, 1994
- [106] McCarty B. – PHP 4. Editura Teora, București, 2002
- [107] Mesea N., Bazacliu G., Dumbravă V. – Calculul pierderilor de energie pe baza curbelor de sarcină relative prin raportare la mărimi de bază. Producerea, transportul și distribuția energiei electrice și termice, nr. 12, 1998
- [108] Microsoft Corporation - Microsoft SQL Sever 2000.

- [109] Mihoc Gh., ș.a. – Bazele matematice ale teoriei fiabilității. Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1976
- [110] Militaru Gh. – Sisteme informatice, Editura All, 2004
- [111] Miller G. - What's New in UML. 2.0? A Borland White Paper, 2003.
- [112] Moga M. – Conducerea proceselor din energetică cu calculatoare de proces, Editura Mirton, Timișoara, 1997
- [113] Moldoveanu C., ș. a. – TRANSPOWER – Sistem expert pentru evaluarea gradului de umezire a izolației transformatoarelor de putere în ulei. Simpozionul internațional CNTEE TRANSELECTRICA „Transformatoare de putere” , Predeal, România, 29-30 septembrie, 2004
- [114] Munteanu F. – Posibilități de diagnosticare a defectelor în instalațiile de înaltă tensiune. Energetica, nr.6-7/1990
- [115] NagyM. – Baze de date, Editura Mirton, Timișoara, 2002
- [116] Năstase P., Mihai F., Cosăcescu L. – Baze de date. Microsoft Access 2000, Editura Teora, 2002
- [117] Nica G., Erbașu A. – Programe de mentenanță și minimizarea costului, Editura tehnică, 1993
- [118] Nițu V. I. – Fiabilitate, disponibilitate, mentenanță în energetică. Editura Tehnică, București, 1987
- [119] Nițu V. I. – Metode statistico-probabilistice în energetică. Editura Tehnică, București, 1968
- [120] Nițu V. I. – Principiile fundamentale ale proiectării politicilor energetice. Editura Academiei, București, 1984
- [121] Nobel-Jørgensen M., Rasmussen R. - Object Relational Database Framework ORDBFX Theory and implementation, Database Systems, Aalborg University, Denmark 2002, www.eyeweb.dk/ordbfx
- [122] Otomega B. – Exploatarea și mentenanța transformatoarelor de putere din exploatare
- [123] Panaite V., Munteanu R. – Control statistic și fiabilitate. E.D.P., București, 1982
- [124] Pantea A. – Probe și verificări la transformatoarele de putere, Colecția Electricianului, Editura tehnică, 1990
- [125] Pâslaru C. – Alinierea reglementărilor privind mentenanța în instalațiile electrice de transport la cele folosite pe plan mondial. Electrica, nr. 10, 2000
- [126] PE 016-8/99 Normativ privind lucrările de mentenanță în instalațiile de transport a energiei electrice
- [127] PE 029/96 Normativ de proiectare a sistemelor informatice pentru conducerea prin dispecer a instalațiilor energetice din SEN.
- [128] PE 029/96 Normativ pentru proiectarea instalațiilor de automatizare a părții electrice a centralelor și stațiilor.
- [129] PE 101/85 Normativ pentru construcția instalațiilor electrice de conexiuni și transformare cu tensiuni peste 1kV.
- [130] PE 503/95 Normativ de proiectare a sistemelor informatice pentru conducerea prin dispecer a instalațiilor energetice din SEN.
- [131] Perkins J., Morgan B. – SQL fara professor in 14 zile, Ed Teora, 1995.
- [132] Pietreanu E. – Agenda electricianului. Editura Tehnică, București, 1986
- [133] Pispiris C. – Tehnologii de diagnoză a liniilor electrice în cablu. Energetica, nr.1, seria B, 1996

- [134] Pop I. T. – Considerații privind trecerea de la mentenanța preventivă la cea bazată pe fiabilitate. Modalități, posibilități și impedimente în aplicare. Producerea, transportul și distribuția energiei electrice și termice, nr. 11, 1998
- [135] Popescu I. – Modelarea bazelor de date, Editura Tehnică, București, 2001
- [136] Popescu-Vifor – Urmărirea prin calcul a epuizării duratei de viață a echipamentelor în RENEL. Analiza aplicării normei germane TRD 301. Energetica, nr. 6, seria A, 1995
- [137] Preda L. – Stații și posturi electrice de transformare , Editura Tehnică, București, 1998
- [138] Sandor Kovacs – Microsoft Access 97, Editura Albastră, Cluj, 2001
- [139] Scortan S. - Dezvoltarea aplicațiilor web folosind arhitectura Model-View- Controller (MVC) model 2 și Apache Struts, 2002.
- [140] Shawn Wildermuth - Pragmatic ADO.NET Data Access for the Internet World, Addison-Weley, October 2002
- [141] Shusman Dan, Oscillating Between Objects and Relational: The Impedance Mismatch, InterSystems Corporation for ITtoolbox Database, 2002, <http://database.ittoolbox.com/documents/document.asp?i=1948>
- [142] Simovici D.A., Tenney , R.L., Relational database System, Academic Press, NY, 1999
- [143] Spînu M. N. – Previziune economică. Concept, metode, tehnici. Editura Concordia, Arad, 2004
- [144] Stanciu V. – Proiectarea sistemelor informatice, Editura Dual Tech, 2004
- [145] Stanciu V., ș.a. – Proiectarea sistemelor informatice. Editura Dual Tech, București, 2003
- [146] Stein M., Anastasiu D., Roșescu G - Sistem de gestiune și urmărire a lucrărilor de mentenanță preventivă planificată. Simpozionul de Informatică în Energetică, Suceava, 23-24 mai 1996, Ediția I – Vol I
- [147] Stein M., Anastasiu D., Roșescu G. – Principii de optimizare a stocurilor de echipamente și materiale electrice. Volumul cu lucrările SIG 1999, ICEMENERG, 1999
- [148] Stein M., Anastasiu D., Vâlcereanu A. – Managementul riscului în activitatea de mentenanță cu considerarea modurilor de defectare. Buletinul ISPE, nr.1, 1997
- [149] Stelian Gal, Kovacs Sandor, Adrian Farcas, Aurora Moraru - Preocupări privind siguranța în exploatare a unităților de transformare. Simpozionul Național de rețele electrice –Culegere de lucrări, Iași, 2000
- [150] Stoica I. – Aspecte privind mentenanța instalațiilor energetice. Sesiunea anuală de comunicări științifice, 27-29 mai, Oradea, 1999
- [151] Stonebraker Michael - Object-Relational DBMS - The Next Wave Discussion Report , 2001, <http://www.eecs.wsu.edu/~cdyreson/teaching/advancedDatabase/011/discussions/tworeport.htm#security>
- [152] Stonebraker Michael. "Object-Relational DBMS--The Next Wave," Informix website. <http://db.cs.berkeley.edu/papers/Informix/www.informix.com/informix/corp/info/zines/whitpprs/illuswp/wave.htm>
- [153] Suci I. – Aparate electrice, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1968

- [154] Sullivan Sean C. - Advanced DAO programming. Learn techniques for building better DAOs, 2003, <http://www-128.ibm.com/developerworks/java/library/j-dao/>
- [155] Șora C. - Bazele electrotehnicii, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982
- [156] Șuța Gh. - Analiza situației incidentelor și avariilor din unitățile RENEL în anul 1992. Producerea, transportul și distribuția energiei electrice și termice, nr. 4, 1993
- [157] Thomas Connolly, Carolyn Begg - Baze de date. Proiectare. Implementare. Gestiune, Editura Teora 2001
- [158] Ulmeanu P., Ionescu D. C., Dascălu D. - Un model general de apreciere în timp real a lucrărilor de mentenanță realizate în sistemele energetice. Volumul cu lucrările SIG 1999, ICEMENERG, 1999
- [159] Unknown - DataFit version 7.1.44, <http://www.curvefitting.com>
- [160] Unknown, User's guide, TogetherSoft Corporation, 2001.
- [161] Vasilievici A. - Aparate și echipamente electrice. Editura MS, Sibiu, 1996
- [162] Vasilievici A. Andea P. - Aparate și echipamente electrice. Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 2000
- [163] Velicescu C., Oprea L. - Fiabilitatea sistemelor energetice. Editura Politehnica, Timișoara, 1999
- [164] Viziteu I., Hazi G., Munteanu F. - Managementul calității lucrărilor de mentenanță a instalațiilor de distribuție. (Comunicare în cadrul Simpozionului Național de Rețele Electrice, Pitești, 9-10 septembrie, 1998). Producerea, transportul și distribuția energiei electrice și termice, nr. 1, 1999
- [165] Viziteu I., Hazi G., Munteanu F. - Managementul lucrărilor de mentenanță a instalațiilor de distribuție. Energetica, nr. 10, 2000
- [166] Welling L., Thomson L. - Dezvoltarea aplicațiilor Web cu PHP și MySQL. Editura Teora, București, 2005
- [167] Zaharie D. - Sisteme informatice pentru asistarea deciziei. Editura DualTech, București, 2001
- [168] Zaharie D., Albescu F., Ivancenco V., Bojan I., Vasilescu C. - Sisteme informatice pentru asistarea deciziei, Editura Dual Tech, 2001
- [169] Zaharie D., Albescu F., Mihai F., Năstase P., Bojan I., Popa A. - Sisteme expert, Editura Dual Tech, 1999
- [170] Zaharie D., Roșca I. - Proiectarea obiectuală a sistemelor informatice, Editura Dual Tech, 2002
- [171] Zaharie D., ș.a. - Sisteme expert. Editura DualTech, București, 1999

CUPRINS

INTRODUCERE	5
Actualitatea temei	5
Obiectivele și structura tezei	8
CAPITOLUL I	11
MENTENANȚA ECHIPAMENTELOR DIN INSTALAȚIILE ENERGETICE	11
1.1. Menținerea transformatoarelor de putere	11
1.2. Analiza componentelor menținerei corective	15
1.3. Analiza menținerei preventive.....	19
1.4. Monitorizare. Diagnosticare. Conducere	22
1.5. Principiile monitorizării	26
1.6. Mărimi achiziționate „on-line” pentru un transformator	28
1.7. Elementele hardware și software ale sistemului de monitorizare și diagnoza	29
1.8. Concluzii	31
CAPITOLUL II	33
ASPECTE PRIVIND FIABILITATEA ECHIPAMENTELOR ELECTRICE	33
2.1. Conceptul de fiabilitate	33
2.2. Transformatoarele de putere, obiecte ale analizelor de fiabilitate	35
2.3. Indicatorii de fiabilitate	38
2.4. Menținabilitatea și disponibilitatea echipamentelor.....	40
2.5. Legi de distribuție ale variabilelor aleatoare folosite în studiul fiabilității echipamentelor electrice.....	42
2.5.1. Distribuția exponențială	42
2.5.2. Distribuția Weibull.....	43
2.5.3. Distribuția normală (Gauss-Laplace)	44
2.6. Studiul fiabilității previzionale a transformatoarelor de putere	44
2.6.1. Analiza fiabilității previzionale la transformatoarele de putere pe baza structurii acestora	45
2.6.2. Analiza fiabilității previzionale la transformatoarele de putere pe baza funcțiilor acestora în cadrul SEE	47
2.7. Studiul fiabilității operaționale la nivelul SEEA	53
2.7.1. Numărul de incidente și durata disponibilității	53
2.7.2. Indicatorii de fiabilitate ai transformatoarelor electrice de putere	58
2.8. Concluzii	62

CAPITOLUL III	65
MODELAREA NUMERICĂ A SOLICITĂRILOR DIN DIELECTRICI ȘI ESTIMAREA DURATEI DE VIAȚĂ A SISTEMELOR DE IZOLAȚIE	65
3.1. Solicitățile transformatoarelor electrice de putere	65
3.2. Solicitățile externe ale izolației transformatoarelor electrice	66
3.3. Factorii care determină starea izolației	67
3.4. Încercări ale izolației transformatoarelor	68
3.5. Îmbătrânirea termică a materialelor electroizolante	78
3.6. Uzura termică a transformatoarelor	81
3.6.1. Cazul variației liniare în raport cu timpul a temperaturii.....	81
3.6.2. Cazul variației exponențiale în raport cu timpul a temperaturii ..	82
3.6.2.1. Cazul procesului termic de încălzire.....	84
3.6.2.2. Cazul procesului termic de răcire	86
3.6.3. Evaluarea uzurii termice relative a transformatoarelor electrice de putere	88
3.6.3.1. Cazul procesului de încălzire	90
3.6.3.2. Cazul procesului de răcire.....	93
3.6.4. Exemple de calcul	95
3.7. Concluzii	98
CAPITOLUL IV	99
IMPLEMENTAREA SISTEMULUI DE MONITORIZARE	99
4.1. Structura generală a sistemului electroenergetic Arad.....	99
4.2. Structura bazei de date pentru aplicația Electrica	101
4.3. Modelarea datelor	104
4.3.1. Modelul de date relațional	105
4.3.1.1. Reprezentarea relațiilor prin tabele	106
4.3.1.2. Sisteme de gestiune bazelor de date relaționale	107
4.3.1.3. Arhitectura bazei de date	108
4.3.1.4. Trăsături caracteristice	109
4.3.2. Modelul de date orientat obiect	110
4.3.2.1. Necesitatea introducerii bazelor de date orientate obiect.....	110
4.3.2.2. Sisteme de gestiune bazelor de date orientate obiect ...	111
4.3.3. Modelul de date relațional-obiectual	113
4.3.3.1. Implementarea trăsăturilor specifice modelului orientat obiect	114
4.3.4. Limbajul PHP, ca limbaj de programare	116
4.3.5. Baza de date Electrica de monitorizare a comportării transformatoarelor de putere din cadrul SEEA..	119
4.3.6. Concluzii	136

CAPITOLUL V	139
CONCLUZIILE TEZEI	139
BIBLIOGRAFIE	143

