

METODĂ ȘI ECHIPAMENT PENTRU DETERMINAREA DURATEI DE

VIAȚĂ RĂMASĂ A SISTEMELOR DE IZOLATIE ALE

TRANSFORMATOARELOR DE PUTERE

– EDVTP –

PN-III-P2-2.1-PTE-2016-0053

Contractul nr.6PTE/06.10.2016

RAPORT ETAPA de execuție III-2018

**ELABORAREA METODEI ȘI A SOFTULUI DE CALCUL AL DURATELOR
DE VIAȚĂ CONSUMATĂ ȘI RĂMASĂ ALE SITP. REALIZAREA ȘI
TESTAREA COMPONENTELOR SOFT ALE EDVTP.
REALIZAREA ȘI ÎNCERCAREA PROTOTIPULUI CONFIGURAȚIEI
MAXIMALE A EDVTP.**

REZUMAT

al Raportului Etapei III

Scopul proiectului: elaborarea unei metode și a unui echipament pentru estimarea cât mai precisă a rezervelor de durată de viață ale transformatoarelor.

Obiectivul general al proiectului: realizarea unui echipament pentru determinarea cu precizie a duratei de viață rămasă a sistemelor de izolație ale transformatoarelor de putere.

Obiective specifice ale proiectului: 1. Conceperea, realizarea și experimentarea modelului experimental pentru măsurarea curenților de absorbție/resorbție cu celula on-line în laborator; 2. Elaborarea metodei și a softului de calcul al duratei de viață consumată și rămasă a uleiului; 3. Conceperea, realizarea și experimentarea modelului experimental pentru determinarea constantelor a și E_a ale sistemelor de izolație; 4. Elaborarea metodei și a softului de calcul al duratelor de viață consumată și rămasă ale SITP; 5. Realizarea și testarea componentelor soft ale EDVTP; 6. Realizarea și încercarea prototipurilor configurațiilor EDVTP.

Etapa de execuție III, derulată în anul 2018, a cuprins următoarele activități și subactivități pentru a atinge obiectivele specifice 4, 5 și 6.

Activitatea A3.1 - Elaborarea metodei de calcul a duratei de viață a SITP

Cap.1. Subactivitatea A3.1-1: *Elaborarea metodei de calcul a duratei de viață a SITP – executant UPB.*

Activitatea A3.2 - Elaborarea aplicației software de calcul a duratei de viață a SITP

Cap.2. Subactivitatea A3.2-1: *Realizarea aplicației software pentru calculul duratei de viață a SITP - executant SIMTECH.*

Cap.3. Subactivitatea A3.2-2: *Testarea și validarea aplicației software pentru SITP - executant UPB.*

Activitatea A3.3 - Diseminarea rezultatelor

Cap.4. Subactivitatea A3.3-1: *Elaborarea și prezentarea unei lucrări la conferințe naționale/ internaționale- executant UPB.*

Activitatea A3.4 - Elaborarea aplicației software al EDVTP

Cap.5. Activitatea A3.4-1: *Realizarea aplicației software pentru EDVTP- executant SIMTECH.*

Cap.6. Subactivitatea A3.4-2: *Testarea și validarea aplicației software pentru EDVTP- executant UPB.*

Activitatea A3.5 - Diseminarea rezultatelor

Cap.7. Subactivitatea A3.5-1: *Elaborarea și prezentarea unei lucrări la conferințe naționale/ internaționale- executant UPB.*

Activitate A3.6 - Stabilirea configurațiilor EDVTP

Cap.8. Subactivitatea A3.6-1: *Elaborarea configurațiilor EDVTP- executant SIMTECH.*

Cap.9. Subactivitatea A3.6-2: *Validarea configurațiilor EDVTP- executant UPB.*

Activitatea A3.7 - Realizarea și încercarea prototipului configurației maxime a EDVTP

Cap.10. Subactivitatea A3.7-1: *Realizarea prototipului configurației maxime a EDVTP- executant SIMTECH.*

Cap.11. Subactivitatea A3.7-2: *Testarea și validarea prototipului EDVTP- executant UPB.*

Activitatea A3.8 - Diseminarea rezultatelor

Cap.12. Subactivitatea A3.8-1: *Elaborarea și prezentarea unei lucrări la conferințe naționale/ internaționale - executant UPB.*

Cap.13. Concluzii finale

RAPORT ETAPA III

Activitatea A3.1 - Elaborarea metodei de calcul a duratei de viața a SITP

Cap.1. Subactivitatea A3.1-1: Elaborarea metodei de calcul a duratei de viață a SITP – executant UPB

Obiectivul subactivității A3.1-1 l-a constituit elaborarea unei metode de calcul al duratei de viață a sistemelor de izolație ale transformatoarelor electrice de putere utilizând ca factor de diagnostic *rezistența de izolație a înfășurărilor*, evaluând critic rezultatele de cercetare efectuate în primele două etape ale Proiectului EDVTP. În *Anexa III-1* a prezentului Raport este prezentată detaliat elaborarea metodei de calcul a duratei de viață a SITP.

Metoda de calcul a duratei de viață a sistemelor de izolație a transformatoarelor electrice de putere propusă în acest capitol este stabilită în următoarele condiții și ipoteze:

- Metoda se aplică sistemelor de izolație ale transformatoarelor electrice dar și unor modele fizice de sisteme de izolație supuse unor procese de îmbătrânire accelerată;
- Se adoptă ca factor de diagnostic rezistența de izolație a înfășurărilor, măsurată în condiții precizate;
- Se adoptă ca și criteriu de sfârșit de viață a sistemului de izolație o anumită valoare a rezistenței de izolație raportată la o valoare inițială de referință;
- Îmbătrânirea sistemului de izolație al transformatorului se datorează preponderent solicitării termice în timpul funcționării în condițiile de exploatare;
- În procesul de îmbătrânire termică, sistemului de izolație se comportă asemănător unui material electroizolant supus unei reacții chimice a cărei viteză depinde de temperatura locală după o lege exponențială de tip Arhenius;
- Parametrii dreptei duratei de viață, atât în modelul Dakin cât și în modelul Montsinger, rămân valabili în plaja de temperaturi normale de funcționare;
- Se definesc pe considerente fizice două relații pentru evaluarea duratei de viață consumată relativă, unul în funcție de factorul rezistența de izolație măsurat din exterior și altul în funcție de parametri dreptelor duratelor de viață Dakin sau Montsinger, determinate pe modele fizice supuse la teste de îmbătrânire termică accelerată;
- Se adoptă criteriul că durata de viață consumată relativă determinată pe cele două căi depinde doar de îmbătrânirea sistemului de izolație și nu de modul de determinare. (Valorile determinate în cele două moduri sunt egale, pentru condițiile specificate);
- Parametrii dreptelor duratelor de viață pot fi recalculați din condițiile de egalitate a celor două relații de calcul al duratelor de viață consumată relativă.

Situațiile pentru care metoda este aplicabilă sunt sintetizate în tabelul următor:

Parametrii dreptelor duratelor de viață	Temperatura de funcționare a sistemului de izolație
Cunoscuți	Constantă în timp, cunoscută
	Variabilă în timp, cunoscută
	Variabilă în timp, necunoscută
Necunoscuți	Constantă în timp, cunoscută
	Variabilă în timp, cunoscută
	Variabilă în timp, necunoscută

În cadrul metodei sunt acceptate expresiile generice pentru expresiile duratelor de viață și dreptele duratelor de viață, larg vehiculate în literatura de specialitate:

$$D_D = A_D \exp\left(\frac{b_D}{T}\right) \quad (1.1)$$

$$D_M = A_M \cdot \exp(-b_M \cdot \theta) \quad (1.2)$$

$$T = 273,15 + \theta \quad (1.3)$$

$$\ln D_D = a_D + b_D/T, \quad \text{cu} \quad a_D = \ln A_D. \quad (1.4)$$

$$\ln D_M = a_M - b_M \theta, \quad \text{cu} \quad a_M = \ln A_M. \quad (1.5)$$

în care A_D , A_M , b_D și b_M sunt constante specifice sistemului. A_D , A_M sunt exprimate în unități timp, b_D în K, b_M în $1/^\circ\text{C}$.

Constanta $b_D = E_a/k$ în care E_a - energia de activare în J, k - constanta lui Boltzmann în J/K. (Dacă energia de activare se exprimă în J/mol, atunci constanta lui Boltzmann se înlocuiește cu constanta gazelor perfecte R , $b_D = E_a/R$ cu R exprimat în J/mol·K).

Parametrul A_D depinde de factorul de diagnostic și de criteriul de sfârșit de viață ales. Energia de activare depinde principial numai de natura materialului izolant.

Parametrii care întervin în relațiile de mai sus sunt determinați pentru factorul de diagnostic rezistență de izolație.

În primă aproximare, se acceptă că valorile parametrilor A_D , A_M , b_D și b_M determinați prin încercări pe modele fizice de sisteme de izolație supuse succesiv îmbătrânirii accelerate unifactor la temperaturile θ egale cu 155°C , 135°C și 115°C se mențin aceleași și pentru temperaturile de funcționare normale ale transformatoarelor electrice de putere, corespunzătoare clasei termice de izolație a transformatorului (indice de temperatură 105°C la transformatoare în ulei).

La relațiile de mai sus se adaugă următoarele relații propuse în cadrul proiectului.

Calculul duratei de viață consumată relativă într-un interval de timp Δt de funcționare a sistemului de izolație se face cu relațiile:

$$D_{crD}(\Delta t) = \frac{1}{A_D} \int_0^{\Delta t} e^{-\frac{b_D}{T(t)}} dt \quad (1.6)$$

$$D_{crM}(\Delta t) = \frac{1}{A_M} \cdot \int_0^{\Delta t} e^{b_M \theta(t)} dt \quad (1.7)$$

în funcție de parametrii dreptelor duratelor de viață (adică în funcție de proprietățile intrinseci ale sistemului de izolație), respectiv cu relațiile:

$$D_{crR}(\Delta t) = \frac{R_i(0) - R_i(\Delta t)}{R_i(0) - R_{ieol}} \quad (1.8)$$

$$D_{crR}(\Delta t) = \frac{1 - R_{ir}(\Delta t)}{1 - R_{ieol}} \quad (1.9)$$

în funcție de rezistența de izolație, adică în funcție de un parametru global în care nu se reflectă explicit structura materială a sistemului de izolație.

În relațiile de mai sus: $R_i(0)$ și $R_i(\Delta t)$ reprezintă valorile rezistenței de izolație a înfășurării măsurate la momentele $t = 0$ și $t = \Delta t$ de la punerea în funcțiune a transformatorului, R_{ieol} reprezintă criteriul de sfârșit de viață, iar R_{ir} reprezintă valorile raportate ale rezistențelor de izolație.

În principiu, din egalitatea expresiilor (1.6) sau (1.7) cu (1.8) sau (1.9) se pot calcula parametrii $A_{D,M}$ și $b_{D,M}$ și apoi duratele de viață D_D sau D_M .

Durata de viață consumată în intervalul de timp Δt se calculează cu relațiile :

$$D_{cD}(T, \Delta t) = D_D(T) \cdot D_{crD}(\Delta t), \text{ respectiv } D_{cM}(\theta, \Delta t) = D_M(\theta) \cdot D_{crM}(\Delta t) \quad (1.10)$$

Durata de viața a sistemului de izolație rămasă după funcționarea în intervalul de timp Δt se calculează cu relațiile este:

$$D_{rD}(T) = D_D(T) - D_{cD}(T, \Delta t), \text{ respectiv } D_{rM}(\theta) = D_M(\theta) - D_{cM}(\theta, \Delta t) \quad (1.11)$$

Principalele concluzii stabilite în urma realizării subactivității A3.1-1- sunt:

1. Sistemele de izolație ale transformatoarelor electrice de putere au o structură materială constituită din materialele conductoare ale înfășurărilor și un ansamblul de materiale electroizolante care asigură izolarea electrică a căilor de curent unele față de altele și față materialele metalice din construcția transformatoarelor, numită *schemă de izolație*. Structura materială electroizolantă nu poate fi echivalată unui singur material electroizolant. Totuși, în schema de izolație, unele materiale au un rol dominant, de exemplu hârtia și uleiul de transformator.

2. Determinarea duratei de viață al sistemului de izolație al unui transformator se poate face pe cale experimentală directă, prin expunerea transformatorului unui anumit regim de funcționare, care determina un proces de îmbătrânire cu o anumită evoluție în timp, măsurând la anumite intervale de timp valoarea factorului

de diagnostic. Durata de viață a sistemului de izolație determinată astfel este influențată de natura, intensitățile și modul de acționare a solicitărilor, adică regimului de funcționare căruia i-a fost supus transformatorul. Procedul se poate dovedi costisitor, de durată și rezultatele pot să nu fie concludente pentru alte regimuri de funcționare sau pentru alte transformatoare.

3. Pe baza a numeroase cercetări teoretice și experimentale și analize de date de exploatare a transformatoarelor, s-au acceptat căi de compromis pentru determinarea duratelor de viață ale materialelor electroizolante și ale sistemelor de izolație prin încercări accelerate de eşantioane și modele fizice, considerând anumite modele de îmbătrânire accelerată a acestora.

4. Utilizarea rezultatelor determinate pe modele fizice de sisteme de izolație supuse îmbătrânilor accelerate la evaluarea îmbătrânirii sistemelor de izolații din transformatoare aflate în exploatare se poate face ca primă aproximare, urmând a efectua corecții după diferite perioade de exploatare, prin metode de tipul celei prezentate în acest proiect.

5. Modelele Montsinger și Dakin pot fi aplicate fără dificultăți la calculul duratei de viață prin îmbătrânire accelerată în laborator pentru eşantioane de materiale electroizolante și modele fizice de sisteme de izolație, la trei temperaturi impuse de norme, utilizând ca factor de diagnostic rezistența de izolație deoarece acest parametru se măsoară relativ ușor și în condiții reproductibile.

6. Parametrii a_D , A_D și b_D modelului Dakin pentru solicitări termice constante pe toată durata de viață a unui model fizic de sistem de izolație se determină prin identificarea duratei de viață din modelul Dakin cu dreapta duratei de viață $D(1/T)$ determinată din datele experimentale pentru factorul de diagnostic rezistență de izolație.

7. Metoda prezentată în acest capitol permit ca, pe baza valorilor parametrilor dreptelor duratelor de viață $a_{D,M}$ și $b_{D,M}$ și a curbilor de variație a temperaturii sistemului de izolației în exploatare să se calculeze duratele de viață consumate și rămase ale acestuia.

8. Calcularea duratei de viață estimată, duratei de viață consumată într-o anumită perioadă de funcționare și duratei de viață rămasă după această perioadă cu parametrii dreptelor duratelor de viață determinați prin încercări de îmbătrânire accelerată este acoperitoare doar în situația funcționării la temperatură constantă a transformatorului.

9. Urmare a consumării stabilizatorilor (antioxidanii, etc.) și a înrăutățirii proprietăților hârtiei și uleiului din transformatoarele de putere, energia de activare asociată procesului de degradare (îmbătrânire) a ansamblului izolației hârtiei-ulei se modifică în timp și, odată cu aceasta, se modifică și parametrii dreptelor duratelor de viață. Din acest motiv, valorile acestora ar trebui redeterminate după o anumită durată de funcționare a transformatorului.

10. Recalcularea valorilor parametrelor $a_{D,M}$ și $b_{D,M}$ și a energiei de activare E_a necesită măsurarea rezistenței de izolație la două momente de timp de exploatare și cunoașterea curbei de variație în timp a temperaturii înfășurărilor. Calculele pot impune metode numerice de rezolvare a sistemelor de ecuații din care aceștia se deduc.

11. Relațiile propuse în cadrul metodei prezentate în acest capitol permit calculul duratelor de viață consumate și rămase, chiar și în cazul în care nu se cunoaște variația în timp a temperaturii sistemului de izolație, pe baza măsurării valorilor rezistenței de izolație a înfășurărilor la trei momente succesive distincte din exploatare.

12. Relațiile prezentate în această metodă permit calculul parametrilor dreptei de viață Dakin pe baza parametrilor dreptei duratei de viață Montsinger și invers.

Având în vedere cele de mai sus, *apreciem că obiectivul subactivității A3.1-1 a fost atins.*

Activitatea A3.2 - Elaborarea aplicației software de calcul a duratei de viață a SITP
Cap.2. Subactivitatea A3.2-1: Realizarea aplicației software pentru calculul duratei de viață a SITP - executant SIMTECH

Obiectivul subactivității l-a constituit realizarea aplicație software cu ajutorul căreia să se calculeze durata de viață a unui sistem de izolație utilizat în transformatoarele electrice de putere, plecând de la date experimentale, prelevate atât on-line cât și off-line.

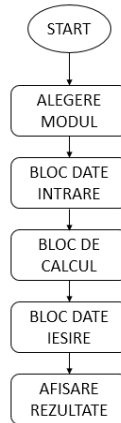
Aplicația software, denumită „Evaluarea duratei de viață a SITP” a fost elaborată pe baza *Metodei de calcul a duratelor de viață a SITP*, prezentată în capitolul 1 al Raportului etapei III a Proiectului EDVTP.

În esență, metoda de calcul este stabilită în ipoteza că îmbătrânirea transformatorului se produce preponderent datorită îmbătrânirii termice a sistemului său de izolație, în condiții reale de funcționare a transformatorului. Se acceptă ipoteza suplimentară că procesul de îmbătrânire termică a sistemului de izolație este uniform în tot sistemul și nu se modifică în timp. Ca urmare procesul de îmbătrânire poate fi descris cu ajutorul dreptelor duratelor de viață ale materialelor electroizolante din modelele Dakin și Monsinger, utilizând pentru determinarea parametrilor acestor drepte *factorul de diagnostic rezistență de izolație*, propus în urma cercetărilor desfășurate în cadrul Proiectului EDVTP.

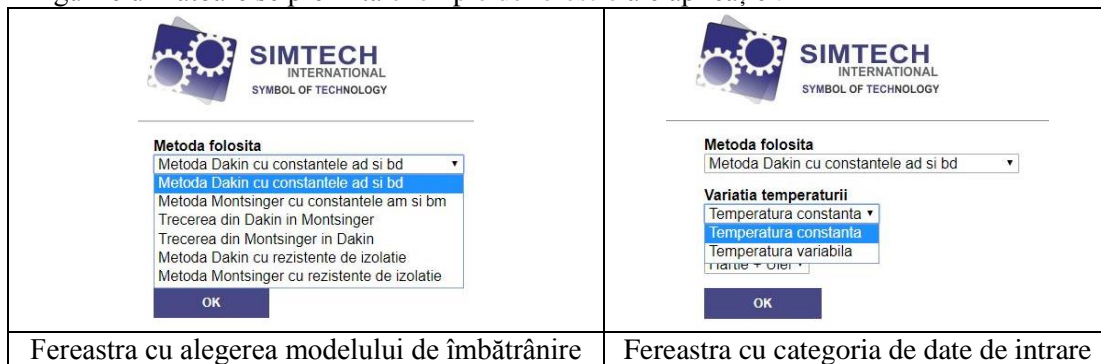
Metoda de calcul stabilește relații de calcul ale dreptelor duratelor de viață estimate, ale duratelor de viață consumate și ale duratelor de viață rămase, pentru o serie de condiții de exploatare a transformatoarelor electrice de putere, ca de exemplu: încărcări la sarcini care determină temperaturi constante ale înfășurărilor, temperaturi în paliere constante, temperaturi variabile în cicluri (zilnice, sezoniere,etc) temperaturi cu o variație stabilită în urma monitorizării încălzirii transformatorului și altele.

În vederea îndeplinirii cerințelor generale de utilizare a aplicației, aceasta a fost concepută modular, fiecare modul corespunzând unei posibile situații în care se află transformatorul al cărui sistem de izolație este diagnosticat.

Fiecare modul al aplicației are structura de principiu prezentată în schema logică următoare:



Aplicația software s-a realizat în programul Visual Studio, folosind limbajul de programare C++. În figurile următoare se prezintă exemple de ferestre ale aplicației.



SIMTECH
INTERNATIONAL
SYMBOL OF TECHNOLOGY

Metoda Dakin la temperatura variabila

Metoda folosita
Metoda Dakin cu constante ad si bd

Variatia temperaturii
Temperatura variabila

Tipul izolatiei
Hartie + Ulei

OK

Constanta ad
16.17

Constanta bd [K]
9770

Durata de viata estimata (ani)
24.13

Intervalul de timp t1 [Ani]
4

Temperatura [C]
70

Intervalul de timp t2 [Ani]
8

Temperatura [C]
80

Calculare

Durata de viata relativ consumata in 4 ani: 0.16
Durata de viata relativ consumata in 8 ani: 0.51
Durata de viata consumata in 4 ani: 3.79 ani
Durata de viata consumata in 8 ani: 12.28 ani
Durata de viata ramasa dupa 4 ani: 20.34 ani
Durata de viata ramasa dupa 8 ani: 11.85 ani

Fereastă cu rezultate

În **Anexa III-2** a prezentului Raport este prezentată detaliat conținutul aplicației software „Evaluarea duratei de viață a SITP”.

Principalele concluzii stabilite în urma realizării subactivității A3.2-1- sunt:

1. Aplicația software propusă permite calculul duratelor de viață ale sistemelor de izolație ale transformatoarelor de putere care funcționează o anumită durată de timp, în anumite condiții de funcționare, precum și duratele de viață rămase după funcționarea în aceste perioade, utilizând ca factor de diagnostic rezistențe de izolație. Condițiile de funcționare se descriu prin modul de variație în timp a temperaturii de lucru a sistemului de izolație. Aceste calcule se fac în două mari categorii de circumstanțe: se cunosc sau nu se cunosc parametrii dreptelor duratelor de viață, în modelul Dakin, respectiv în modelul Montsinger.

2. Aplicația este concepută modular, într-o arhitectură arborească deschisă. S-au identificat 12 module de bază, pentru situațiile care se pot întâlni în practică, la care s-au adăugat două module referitoare la calculul parametrilor dreptelor duratelor de viață într-un model (Dakin sau Montsinger) când se cunosc acești parametri în modelul complementar (Montsinger sau Dakin). Din cele 12 module de bază s-au reținut doar acelea care se întânesc în condițiile reale de exploatare.

3. În cazul în care se acceptă ipoteza că energia de activare în procesul de îmbătrânire termică asociată sistemului de izolație rămâne constantă pentru temperaturi de lucru mai mici decât temperatura clasei de izolație a transformatorului, parametrii dreptei duratei de viață, indiferent de modelul folosit, rămân constanți, dacă nu se schimbă *criteriul de sfârșit de viață*.

4. Dacă parametrii dreptelor duratelor de viață sunt cunoscuți, pentru factorul de diagnostic *rezistență de izolație*, calculele duratelor de viață consumate și rămase se pot face utilizând relația propusă în Proiect pentru calculul duratei de viață consumată relativă în funcție de parametrii dreptelor duratelor de viață, a curbei cunoscute de variație în timp a temperaturii de lucru și o durată de viață estimată a sistemului de izolație.

5. Durata de viață a sistemului de izolație se poate estima cu ajutorul parametrilor dreptei de viață și o temperatură de lucru, echivalentă sau medie, pe durata de exploatare a transformatorului.

6. Dacă parametrii dreptei duratei de viață nu sunt cunoscuți, aceștia se pot calcula în funcție de valorile rezistențelor de izolație, măsurate la cel puțin trei momente succesive din intervalul de timp în care transformatorul a funcționat. Calculele duratelor de viață consumate și rămase se pot apoi efectua în funcție de acești parametri, dacă se cunoaște curba de variație în timp a temperaturii de lucru a înfășurărilor.

7. Dacă nu se cunoaște curba de variație în timp a temperaturii, cu ajutorul valorilor rezistențelor de izolație la trei momente distincte de la punerea în funcțiune se pot calcula doar duratele de viață consumate relative, cu ajutorul relației propuse în Proiect.

8. Aplicația software propusă este ușor de folosit, are instrucțiuni clare de introducere a datelor cerute, iar mărimile de ieșire se salvează într-o bază de date, fiind astfel posibilă analiza evoluției acestora în timp.

9. La cererea beneficiarilor se pot adăuga și alte module de calcul al duratelor de viață consumată și rămasă.

10. Aplicația software se poate integra cu ușurință în aplicațiile de monitorizare și diagnosticare utilizate pentru determinarea stărilor transformatoarelor electrice de putere aflate în exploatare.

Având în vedere cele de mai sus, **apreciem că obiectivul subactivității A3.2-1 a fost atins.**

Cap.3. Subactivitatea A3.2-2: Testarea și validarea aplicației software pentru SITP -executant UPB

Obiectivul specific activității l-a constituit verificarea rezultatelor obținute cu aplicația software „Evaluarea duratei de viață a SITP” elaborată în cap.2 al acestui Raport.

În vederea testării funcționării aplicației software propusă și a corectitudinii rezultatelor furnizate de aceasta s-au efectuat câteva calcule numerice ale duratelor de viață consumată și rămasă, în diferite variante, în funcție de informațiile furnizate de constructorul și/sau de utilizatorul de transformatoare, referitoare la cunoașterea sau necunoașterea parametrilor dreptelor duratelor de viață în modelele Dakin sau Montsinger, cunoașterea curbei de variație în timp a temperaturii înfășurărilor și a rezistențelor de izolație ale acestora.

Verificarea corectitudinii rezultatelor se face comparând valorile calculate manual cu valorile calculate cu software-ul propus.

Validarea aplicației s-a bazat pe faptul că aplicația software răspunde cerințelor formulate în cap.2, că rezultatele furnizate de aplicație în cazul testelor confirmă calculele manuale și că aplicația este foarte ușor de utilizat.

În *Anexa III-3* a acestui Raport sunt prezentate detaliat calcule și considerentele efectuate pentru a valida aplicația software elaborată.

În urma efectuării calculelor și analizei rezultatelor se pot formula următoarele **concluzii**:

1. În urma comparării valorilor obținute prin calcul analitic al duratelor de viață ale SITP cu valorile calculate cu ajutorul aplicației software se constată că acestea sunt aproape identice, pentru ambele modele de îmbătrânire termică, respectiv modelul Dakin și modelul Montsinger.

2. Valorile raportate ale diferențelor dintre valorile calculate manual și valorile calculate cu ajutorul aplicației software se încadrează în eroarea de maxim 0,5%.

3. Aplicația software prezentată în Cap. 2 poate fi folosită în aplicațiile de monitorizare și diagnosticare utilizate pentru determinarea stărilor transformatoarelor electrice de putere aflate în exploatare.

4. Datorită factorului original de diagnostic aflat la baza aplicației precum și a definițiilor propuse pentru calculul duratelor de viață consumată relativă, aplicația software „Evaluarea duratei de viață a SITP” poate fi supusă protecției prin drepturi de autor.

Având în vedere cele de mai sus, **apreciem că obiectivul subactivității A3.2-2 a fost atins.**

Activitatea A3.3 - Diseminarea rezultatelor

Cap.4. Subactivitatea A3.3-1: Elaborarea și prezentarea unei lucrări la conferințe naționale/ internaționale - executant UPB

În cadrul activității A. 3.3-1, respectiv Diseminarea rezultatelor, s-a elaborat o lucrare științifică intitulată *"The use of electrical resistivity to estimate the lifetimes of power transformers oils"*, având următorii autori: Petru V. NOȚINGHER, Laurențiu Marius DUMITRAN, Ștefan BUȘOI și Gabriel TĂNĂSESCU.

În lucrare se prezintă o nouă metodă de determinare a rezistivității uleiului prin măsurarea curenților de absorbție/resorbție și de calcul al parametrilor dreptei duratei de viață, a duratei de viață consumate și a rezervei de durată de viață ale uleiului aflat în exploatare, în cazul funcționării transformatorului, atât la temperatură constantă, cât și variabilă. Sunt analizate valorile rezistivității, determinate în laborator pe un ulei mineral PRISTA neîmbătrânit, cu o nouă celulă de măsură on-line și sunt comparate cu cele obținute cu o celulă standard. În final, se arată că rezultatele obținute cu noua celulă de măsură susțin montarea acestuia pe un transformator de putere în scopul determinării în timp real a parametrilor uleiului.

Lucrarea a fost publicată în revista *Electrotehnică, Electronică, Automatică (EEA)* (Electrical Engineering, Electronics, Automation), Vol. 66, No. 1, pp. 100-108, ISSN 1582-5175 și este prezentată, în extenso, în *Anexa III-4*.

Se apreciază că obiectivul subactivității A3.3-1 a fost realizat.

Activitatea A3.4 - Elaborarea aplicației software a EDVTP

Cap. 5. Activitatea A3.4-1: Realizarea aplicației software pentru EDVTP- executant SIMTECH

Obiectivul subactivității l-a constituit realizarea aplicație software cu ajutorul căreia se asistă structura hardware pentru achiziționarea și prelucrare primară a datelor de la diferitele categorii de senzori și traductoare prin monitorizare on-line, integrarea datelor și informațiilor prin monitorizare off-line, se analizează și se diagnostichează starea tehnică a transformatoarelor electrice de putere și se stabilește tendința de evoluție în timp a parametrilor diferitelor componente ale transformatoarelor, în vederea stabilirii unor politici corecte de mentenanță a transformatoarelor electrice de putere.

Aceasta a implicat stabilirea funcțiilor pe care trebuie să le asigure aplicația, stabilirea algoritmului general al aplicației, alegerea unui limbaj de programare, transcrierea algoritmului în limbajul de programare ales, rularea unor exemple de calcul pentru a valida aplicația precum și prezentarea generală a aplicației, printr-o serie de capturi de ecran.

Un echipament de monitorizare și diagnosticare a stării transformatoarelor electrice de putere trebuie să asigure achiziția și prelucrarea unui anumit număr de date achiziționate on-line, precum și integrarea în procedura de diagnosticare a datelor și informațiilor cerute de încercările și verificările impuse de reglementările specifice (așa zisele date de monitorizare off-line).

Managementul energetic al structurilor electroenergetice din SEEN impune, adesea, ca monitorizare și diagnosticarea să se poată face atât de la nivelul unității de transformare (transformatorul cu toate aparatele și dispozitivele care asigură buna lui exploatare) cât și de la nivelul stației de transformare, sediului unei anumite sucursale, respectiv de la nivelul companiei beneficiarului.

Echipamentul complex pentru determinarea stării transformatoarelor de putere – EDVTP, propus în prezentul Proiect a fost conceput într-o structură hardware modulară și o arhitectură piramidală, asistată de o serie de aplicații software, grupate în aplicația software denumită a echipamentului EDVTP.

Modulele hardware pe care le conține echipamentul EDVTP în configurația maximală sunt următoarele:

1. modulul de monitorizare și analiză a gazelor dizolvate în ulei;
2. modulul de monitorizare și analiză a funcționării comutatorului de reglaj sub sarcină (CRS);
3. modulul de monitorizare și analiză a umidității în ulei;
4. modulul de monitorizare și analiză a descărcărilor parțiale;
5. modulul de monitorizare și analiză a încărcării și a temperaturi înfășurărilor;
6. modulul de analiză a trecerilor izolate;
7. modulul de monitorizare și analiză a sistem răcire;
8. modulul de monitorizare nivelului de ulei
9. modulul celulă de ulei on-line;
10. modulul de monitorizare durată de viață.

Aplicația software care asistă structura hardware a echipamentul EDVTP se compune din module software dedicate fiecărui modul hardware, la care se adaugă aplicațiile software pentru calculul duratelor de viață a uleiului electroizolant și a sistemului de izolație, pentru evaluarea generală a stării transformatorului și pentru întocmirea și generarea rapoartelor și alte categorii de documente necesare managementului energetic al transformatorului.

În linii generale, aplicația software a echipamentului EDVTP trebuie să asigure atât monitorizări on-line cât și off-line.

Monitorizările on-line asigură:

- informații generale despre componentele transformatorului;
- informații despre: regimul de încărcare, temperaturile componentelor, umiditatea din ulei și SITP, natură și volumul gazelor dizolvate în ulei, nivelul descărcărilor parțiale, starea comutatorului de reglaj sub sarcină, starea trecerilor izolante, starea sistemului de răcire, parametrii măsoarați cu celula de ulei, alarme și evenimente, istoricul transformatorului;
- determinarea on-line a indicelui de sănătate a duratelor de viață ale componentelor și transformatorului în ansamblu.

Monitorizările off-line asigură:

- informații despre: starea sistemului de izolație, starea înfășurărilor, starea comutatorului de ploturi, starea sistemului de răcire, indici de sănătate și durate de viață off-line ale componentelor transformatorului, starea de ansamblu a transformatorului;

- prelucrări de date provenite atât de la monitorizarea on-line , cât și de la monitorizarea off-line;
- redactarea și generarea unor categorii de rapoarte necesare gestionării exploatării transformatorului, precum și pentru managementul energetic al acestuia.

Aplicația software, concepută modular, în arhitectură piramidală deschisă, asistă fiecare modul al structurii hardware. Aceasta:

- funcționează sub sistemul de operare Windows, punând la dispoziția utilizatorului o interfață grafică de tip „user-friendly”, comodă, eficientă și sigură de utilizat, inclusiv din punct de vedere al securității informatice .
- este protejată din punct de vedere al securității informatice, cu acces parolat, cu evidență a utilizatorilor logați, cu limitare a posibilităților de intervenție /modificare a datelor și a programelor.
- permite acces atât din stația de transformare cât și din locații externe cerute de beneficiar.
- oferă asistență pentru utilizator (help) pentru fiecare modul.
- se autodiagnosticează, semnalând utilizatorilor evenimentele/erorile apărute în exploatarea programelor de calcul, cu specificarea modului de tratare a erorii.
- comunică cu baza de date asociată transformatorului monitorizat.

Structura aplicației software a echipamentului EDVTP realizată

- Aplicația software a echipamentului EDVTP are două secțiuni principale corespunzătoare monitorizării on-line și monitorizării off-line .
- Aplicația de monitorizare on-line asigură vizualizarea și analiza parametrilor în timp real, cu transformatorul în funcțiune (sub tensiune și cu toți senzorii montați). Datele achiziționate on-line se distribuie blocurilor de intrare, pentru analiza și diagnosticarea stării unității de transformare. Cu datele furnizate de fiecare modul în parte se calculează indicii de sănătate on-line, durata de viață rămasă a uleiului electroizolant determinată on-line (din măsurătorile de rezistivitate de volum a uleiului electroizolant) și a transformatoarelor de putere conform IEC 60076-7.
- Aplicația de monitorizare off-line asigură analiza stării transformatorului pe baza datelor măsurate în încercările cu transformatorul retras din exploatare, cuprinse în rapoartele generate în urma acestor încercări și introduse de operatori în blocurile de analiză. Se calculează indicii de sănătate off-line, durata de viață rămasă a SITP (determinată din valorile măsurate off-line ale rezistentelor de izolație ale înfășurărilor) și a transformatoarelor de putere conform IEC 60076-7.
- Din indicii de sănătate și duratele de viață rămasă determinați on-line și off-line se calculează valorile globale ale indicelui de sănătate și ale duratei de viață rămasă a unității de transformare.
- Aplicația echipamentului EDVTP este o aplicație web. Analiza și vizualizarea parametrilor se face prin accesarea Url-ului unde este instalată aplicația, printr-un browser web.
- După logarea în aplicație se deschide meniul de unde se poate accesa una dintre secțiuni: „Monitorizare On-line” sau „Monitorizare Off-line” Apoi, în funcție de opțiunea aleasă, se deschide meniul principal al fiecărei secțiuni.



Fig. 5.3. Ecranul principal al aplicației EDVTP



Fig. 5.4. Vederea paginii de start a secțiunii „Monitorizarea on-line”

În **Anexa III-5** a acestui Raport este prezentat detaliat conținutul aplicației software a echipamentului EDVTP.

Principalele **concluzii** stabilite în urma realizării subactivității A3.4-1- sunt:

1. Aplicația software propusă reprezintă o componentă esențială a Proiectului EDVTP de evaluare a stării tehnice a transformatoarelor de putere, atât pe bază datelor măsurate on-line cât și pe baza datelor și informațiilor furnizate de fabricant, de inspecțiile in situ, de testele și încercările în laboratoare specializate.

2. Prin secțiunea „Monitorizare on-line” se asigură asistența modulelor hardware de monitorizare on-line, inclusiv a celor propuse în cadrul Proiectului (modulul celula ulei on-line, modulul curenți absorbție - resorbție, modulul descărcări parțiale, modulul treceri izolante, modulul CRS, modulul sistem de răcire).

3. Prin secțiunea „Monitorizare off-line” se asigură implementarea metodelor de calcul ale duratelor de viață care au constituit obiective secundare ale Proiectului (durata de viață a uleiului de transformator cu metoda rezistivității de volum, durata de viață a sistemului de izolație cu metoda rezistenței de izolație, evaluarea stărilor componentelor și ansamblului transformator cu indicii de sănătate), dar și implementarea unor metode prevăzute în standarde (durata de viață cu metoda hot-spot).

4. Multitudine rapoartelor și documentelor generate de secția „Monitorizare off-line a aplicației acoperă cea mai mare parte a informațiilor necesare managementului energetic al transformatoarelor electrice din exploatare.

5. Aplicația este concepută modular, într-o arhitectură arborescentă deschisă și permite adăugare de noi module software.

6. La cererea beneficiarilor se pot adăuga module software atât la secția „Monitorizare on-line”, cât și la secția „Monitorizare off-line” pentru a include noi module hardware de monitorizare on-line, sau pentru a extinde categoriile de rapoarte cerute de evoluția cunoștințelor despre diagnosticarea sau managementul energetic al transformatoarelor.

7. Logarea utilizatorilor se face parolat, fiecare utilizator fiind înregistrat în registrul istoric al utilizatorilor. Odată cu dreptul de acces, se stabilesc și drepturile de intervenție în aplicații.

8. Aplicația software propusă este ușor de folosit, are instrucțiuni clare de introducere a datelor și de extragere a rezultatelor, mărimile de interes se salvează într-o bază de date, fiind accesibile ulterior.

9. Accesarea aplicației se poate face din stația de transformare și de la un număr solicitat de beneficiar de adrese externe, datorită interfeței de comunicare cu internetul.

10. Aplicația software poate integra cu ușurință aplicații de monitorizare și diagnosticare existente pe transformatoarele electrice de putere aflate în exploatare.

Cap.6. Subactivitatea A3.4-2: Testarea și validarea aplicației software pentru EDVTP- executant UPB

Obiectivul subactivității 1-a constituit testarea și validarea aplicației software a echipamentului EDVTP, realizată în cadrul Proiectului și prezentată în cap.5 al prezentului Raport.

Testarea și validarea aplicației a cuprins o etapă de testare și o etapă de validare.

În Etapa de testare s-a efectuat o verificare globală a aplicației (instalare, lansare, selectare module, etc) și a modului de lucru al diferitelor module ale aplicației, în situația utilizării unui *fișier de simulare*, întocmit de Simtech International din date colectate de-a lungul anilor, la care s-au adăugat datele de la diferitele încercări de laborator efectuate în cadrul Proiectului. Acest fișier a cuprins două secțiuni: date pentru verificări on-line și date pentru verificări off-line.

În etapa de validare s-a verificat că aplicația răspunde cerințelor formulate în cap.5, precum și faptul că au putut fi lansate toate modulele software, că rezultatele furnizate de diferitele module sunt coerente, dacă

aplicația este suficient de flexibilă ca să deservească configurații hardware mai reduse decât configurația maximală propusă în proiect.

Etapă de verificare globală a aplicației cuprins:

- instalarea aplicației pe un server corespunzător;
- constituirea unor fișiere cu date pentru a simula comunicarea cu modulele hardware on-line;
- verificarea modului de logare a utilizatorului de la serverul pe care este instalată și de la cel puțin două calculatoare conectate în rețeaua severului;
- evaluarea nivelului de protecție a accesului la aplicație (calitate parolă, posibilități de a o evita, ce se întâmplă dacă utilizatorul precedent nu a închis aplicația, de câte ori se tolerează greșeala de user și parolă, ce se întâmplă dacă doi utilizatori de prioritate egală accesează aplicația, etc);
- lansarea aplicației;
- selectarea, lansarea în execuție și închiderea unei secții sau modul al aplicației;
- închiderea aplicației.

În Etapa de verificare a funcționării modulelor software ale aplicației:

- s-au lansat pe rând câte un modul software al secției „Monitorizare on-line” a aplicației, s-au introdus datele cerute de modul, de la tastatură sau/și din fișierul de simulare;
- s-a verificat corectitudinea valorilor parametrilor afișați (valori neintroduse, valori anormale/absurde sau erori de tipul NULL);
- s-a verificat funcționarea uneltelor puse la dispoziție de modul, simulând eventuale erori ce trebuie corectate;
- s-au analizat ecranele cu rezultate pentru a verifica corectitudinea date și informațiilor înscrise pe ecran (corectitudinea lingvistică a mesajelor, unități de măsură, etc), comparația valorile afișate cu cele din standardele și normele în vigoare, comparația valorilor afișate cu limitele de alarmare;
- s-au verificat apariției alarmelor la valori ale parametrilor și factorilor de diagnostic ce depășesc limitele inferioare/superioare stabilite;
- s-au lansat pe rând modulele software al secției „Monitorizare off-line” a aplicației, introducând datele cerute de modul, de la tastatură sau/și din fișierul de simulare și s-au efectuat aceleași verificări ca în cazul modulelor din secția de „Monitorizare off-line”.

În urma testelor realizate s-a verificat că:

- aplicația răspunde cerințelor formulate în cap.5, având modulele software necesare asistării modulelor hardware de monitorizare, montate pe unul sau mai multe transformatoare, de la unul sau mai multe puncte de operare;
- au putut fi lansate în execuție toate modulele constituente ale aplicației;
- toate modulele aplicației funcționează corect, realizând funcțiunile pentru care au fost concepute;
- lansarea unui modul este independentă de alte module, fiind posibilă utilizarea aplicației și pentru configurații mai restrânse decât configurația maximală;
- rezultatele furnizate de diferitele module sunt coerente;
- aplicația este ușor de folosit, ferestrele având afișate opțiuni clare și sugestive de introducere a datelor și a comenzilor care pot conduce la rezultate.

Având în vedere cele prezentate mai sus, **se validează aplicația software a echipamentului EDVTP.**

În **Anexa III-6** a prezentului Raport sunt prezentate detaliat testele efectuate pentru a valida aplicația software elaborată.

În urma testelor efectuate se pot formula următoarele **concluzii**:

1. Aplicația software propusă reprezintă componenta esențială a echipamentului EDVTP de evaluare a stării tehnice a transformatoarelor de putere, atât pe bază datelor măsurate on-line cât și pe baza a datelor și informațiilor furnizate de fabricant, de inspecțiile in situ, de testele și încercările în laboratoare specializate, de informațiile și cerințele formulate în standarde și normative de încercare, exploatare și mentenanță a transformatoarelor electrice de putere.

2. Împărțirea aplicației în cele două secțiuni, „Monitorizare on-line” și „Monitorizare off-line” se dovedește inspirată, asigurând separarea prelucrării de date și generarea de evaluări de stare provenite de la

modulele hardware de monitorizare on line de prelucrarea și generarea de evaluări de stare introduse prin monitorizarea off-line.

3. Cele două secțiuni ale aplicației implică baze de date separate pentru datele obținute prin monitorizarea on-line, respectiv prin monitorizarea off-line. Modificările datelor din baza de date on-line pot fi operate numai de furnizorul aplicației, pe când cele din baza off-line pot fi modificate de operatorul autorizat de la beneficiar, asigurându-se astfel un nivel mai ridicat de protecție a informațiilor și de diagnosticare a incidentelor de exploatare a echipamentului EDVTP.

4. Modul de implementare a funcțiilor de autodiagnostic, atenționare și alarmare este diferit în cele două secțiuni ale aplicației. În cadrul secției „Monitorizare on-line”, depășirile valorilor prescrise, respectiv ieșirile din domeniile de normalitate ale valorilor parametrilor monitorizați sau calculați este semnalată prin generarea de atenționări și alarme, afișate pulsativ în fereastra în cauză și înscrierea în registrul de evenimente și alarme a secției. În cadrul secțiunii „Monitorizare off-line” semnalarea ieșirilor din plajele de valori normale ale parametrilor sunt semnalate prin culori care sunt asociate cu diagnosticul de stare.

5. Opțiunea de a deschide ferestre succesive distincte pentru introducerea de date, analiză și afișare de date și rezultate de calcul, urmată de reprezentări grafice ale variațiilor parametrilor pe anumite intervale de timp se dovedește foarte utilă în exploatarea aplicației. Flexibilitatea și ușurința de utilizare a aplicației sunt sporite de multitudinea listelor derulante cuprinse în meniurile modulelor software.

6. La prima utilizare a aplicației, denumirile modulelor, opțiunilor de meniu și de comenzi pot părea ambigue, repetându-se în cele două secțiuni, dar după mai multe rulări se ajunge la interpretarea și înțelegerea corectă a funcțiilor pe care le îndeplinesc modulele respective.

7. Aplicația software propusă este ușor de folosit, ferestrele având afișate opțiuni clare și sugestive de introducere a datelor și a comenzilor ce pot conduce la rezultate, mărimile de interes putând fi salvate și accesate ulterior.

8. Aplicația poate fi extinsă la un număr mare de beneficiari, puncte de operare și transformatoare. Ea este deschisă în sensul că se pot adăuga și alte module de monitorizare a transformatoarelor, respectiv monitorizarea se poate extinde la alte tipuri de echipamente din sisteme electroenergetice, definind module de monitorizare și diagnosticare specifice acelor echipamente, ceea ce poate conduce la creșterea interesului comercial pentru aplicație.

Având în vedere cele de mai sus, *apreciem că obiectivul subactivității A3.4-2 a fost atins.*

Activitatea A3.5 - Diseminarea rezultatelor

Cap.7. Subactivitatea A3.5-1: Elaborarea și prezentarea unei lucrări la conferințe naționale/ internaționale - executant UPB

În cadrul subactivității A3.5-1 s-a elaborat o lucrare științifică intitulată *"INSULATION RESISTANCE – MONITORING PARAMETER OF POWER TRANSFORMERS INSULATIONS"*, autori Petru V. NOTINGHER, Laurențiu Marius DUMITRAN și Cristina STANCU.

Lucrarea a fost prezentată în cadrul lucrărilor celui de-al 20-lea International Symposium “MATERIALS, METHODS & TECHNOLOGIES (MMT), organizat de Bulgarian Academy of Science și Union of Scientists in Bulgaria, Elenite Holiday Village, în perioada 25 iunie-01 iulie 2018.

Lucrarea (21pagini) a fost prezentată la acest simpozion de Cristina STANCU și a fost publicată în *"Materials, Methods & Technologies Journal", Vol. 12, 2018, ISSN 1314-7269*, indexată de Google Scholar, Russian Science Citation Index, China National Knowledge Infrastructure (CNKI), Scholar Polish Scholarly Bibliography.

În prima parte a lucrării se prezintă informații privitoare la transformatoarele de putere și la rolul lor în transportul și distribuția energiei electrice. Se arată că defectarea și scoaterea lor accidentală din funcțiune conduce la pierderi economice importante și la poluarea aerului, solului și apei. De aceea, monitorizarea stărilor transformatoarelor și, mai ales, a sistemelor lor de izolație reprezintă o preocupare permanentă a utilizatorilor acestor echipamente.

În continuare, în lucrare, se prezintă un studiu privind monitorizarea sistemelor de izolație hârtie-ulei ale transformatoarelor de putere aflate în exploatare, utilizând un nou factor de diagnostic, respectiv *rezistența de izolație*. Sunt prezentate modelele de laborator utilizate pentru experimentări, metodele și procedurile de

îmbatranire accelerată a eşantioanelor (motoare plane), instalația de măsurare a curenților de absorbție și resorbție și relațiile de calcul al rezistenței de izolație și al duratelor de viață estimate, consumate și rămase corespunzătoare funcționării izolației la temperatura constantă și/sau variabilă.

În final se prezintă rezultatele unui calcul numeric al duratelor de viață pentru un transformator de putere care a funcționat 8 ani și pentru care se cunoaște curba de variație în timp a temperaturii.

Confirmarea sustinerii lucrării este prezentată în *Anexa III-7.1*, iar lucrarea în extenso este prezentată în *Anexa III-7.2* a acestui Raport.

Având în vedere cele de mai sus, *apreciem că obiectivul subactivității A3.5-1 a fost atins.*

Activitatea A3.6 - Stabilirea configurațiilor EDVTP

Cap. 8. Subactivitatea A3.6-1: Elaborarea configurațiilor EDVTP- executant SIMTECH

Obiectivul subactivității l-a constituit *elaborarea modulelor* configurațiilor echipamentului EDVTP, ceea ce a implicat:

- identificarea cerințelor generale de diagnosticare a transformatoarelor;
- stabilirea funcțiilor pe care trebuie să le asigure echipamentul în ansamblul său;
- stabilirea structurii generale a echipamentului;
- stabilirea numărului de module hardware din alcătuirea structurii echipamentului;
- definirea funcțiilor modulelor hardware;
- proiectarea fiecărui modul.

Elementele enumerate mai sus se regăsesc în temea de proiectare a echipamentului EDVTP, prezentată detaliat în cadrul **Anexei III-8**.

Structura configurației maximele a echipamentului EDVTP este dată în fig. 8.1.

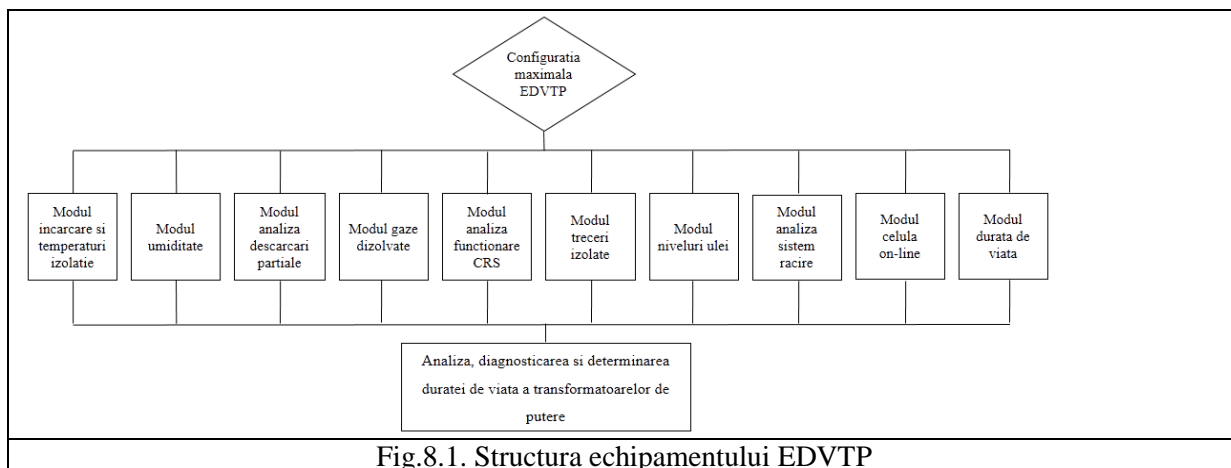


Fig.8.1. Structura echipamentului EDVTP

Arhitectura hardware și software a echipamentului EDVTP propusă în prezentul Proiect este prezentată în figura 8.2.

Fiecare transformator monitorizat are propriul său cofret de monitorizare, ce include module de achiziție și echipamente ce preiau informațiile de la senzorii montați pe echipament și le trimit prin fibră optică către computerul de monitorizare din camera de comandă a stației electrice.

Datele de la fiecare transformator se aduc la serverul stației în care este montat transformatorul, pe server fiind instalate aplicațiile de monitorizare on-line și off-line. De la serverul stației informațiile ajung la serverul web, accesabil din toate locațiile dorite de beneficiar.

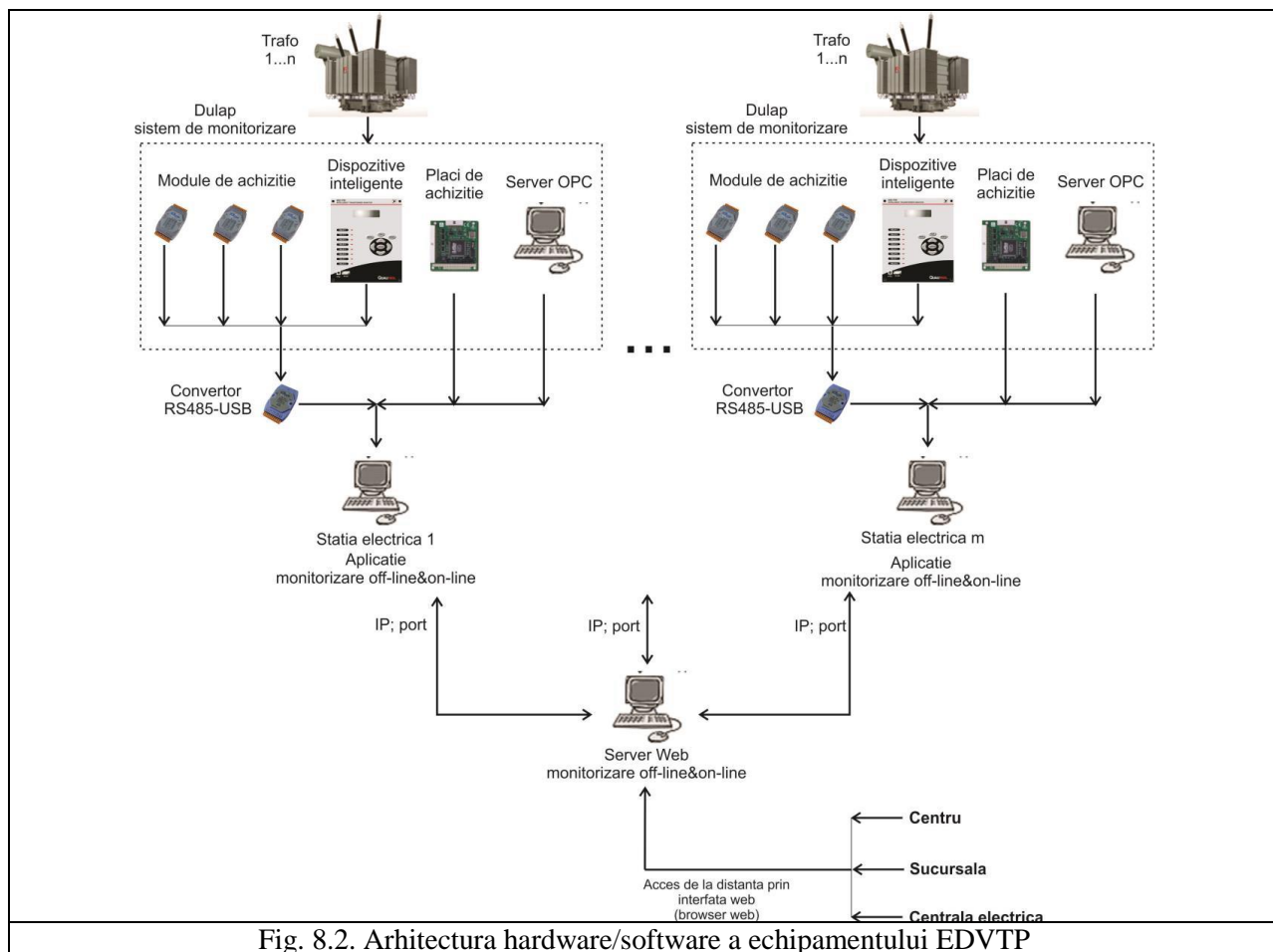


Fig. 8.2. Arhitectura hardware/software a echipamentului EDVTP

Conform angajamentelor din Cererea de finanțare a Proiectului, echipamentul EDVTP poate fi furnizat în configurația maximală, precum și în încă 5 configurații mai simple, prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1. Configurațiile variantelor EDVTP.

Nr.	Modul conținut / Variantă EDVTP	-a	-b	-c	-d	-e	-f
1.	Gaze dizolvate (DGA)	X	X	X	X	X	X
2.	Analiza CRS		X	X	X	X	X
3.	Descărcări parțiale						X
4.	Încărcare și temperaturi izolație	X	X	X	X	X	X
5.	Umiditate în ulei			X	X	X	X
6.	Curenți de scăpări, capacitate și tangenta treceri					X	X
7.	Analiza sistemului de răcire				X	X	X
8.	Niveluri ulei	X	X	X	X	X	X
9.	Parametri celula de ulei on-line	X	X	X	X	X	X
10.	Software EDVTP	X	X	X	X	X	X

În **Anexa III-8** a acestui Raport este prezentată detaliat elaborarea configurației maximele a echipamentului EDVTP.

Principalele **concluzii** stabilite în urma realizării subactivității A3.6-1- sunt:

1. În elaborarea configurației maximele a structurii hardware a echipamentului EDVTP s-a optat pentru amplasarea senzorilor pe transformator și gruparea celorlalte componente necesare achiziției, digitizării, prelucrării primare și comunicării cu serverele dedicate într-un cofret de monitorizare atașat fiecărui transformator monitorizat.

2. Pentru comunicarea între cofretul de monitorizare și serverele de nivel superior s-a optat pentru transmisia prin fibră optică.

3. Pentru creșterea vitezei de prelucrare a informațiilor și descentralizarea prelucrării, în acord cu o arhitectură piramidală deschisă, s-au utilizat unele echipamente specializate, ca de exemplu: echipamentul electronic inteligent IED, echipamentul de achiziție, echipamentul monitorizare treceri izolante, analizorul complex de gaze on-line.

4. Utilizarea unor componente „inteligente” permite reducerea conexiunilor de la diferite categorii de senzori la modulele hardware, de exemplu, senzorii de curent, senzorii de temperaturi, senzorii de tensiuni.

5. Partea de cablare dintre senzorii de pe transformator și cofret rămâne deschisă, în sensul că trebuie adaptată la fiecare transformator în parte, în funcție de amplasarea lui în stația de transformare.

Având în vedere cele de mai sus, ***apreciem că obiectivul subactivității A3.6-1 a fost atins.***

Cap. 9. Subactivitatea A3.6-2: Validarea configurațiilor EDVTP- executant UPB

Obiectivul specific al subactivității l-a constituit validarea configurațiilor echipamentului EDVTP, elaborate în cadrul Proiectului și prezentate în cap. 8 al prezentului Raport.

Validarea configurațiilor echipamentului EDVTP a presupus:

- analiza considerentelor pe care s-a elaborat tema de proiectare și validarea structurii configurației maxime;
- validarea temei de proiectare;
- verificarea calitativă a documentelor de proiectare a modulelor hardware elaborate în cap. 8;
- verificarea faptului că modulele hardware asigură furnizarea datelor necesare aplicațiilor software ale echipamentului EDVTP, în condițiile în care s-a propus utilizarea unor componente inteligente în structura hardware;
- validarea proiectelor modulelor hardware.

Analizând conținutul capitolului 8, s-a constatat că în elaborarea structurii hardware a configurațiilor echipamentului EDVTP s-au avut în vedere:

- listă minimală cu parametrii pentru monitorizare on-line, ținând cont de prevederile standardelor și normativelor referitoare la încercările transformatoarelor, completată cu parametri care constituie elementele de noutate ale Proiectului, liste ce se regăsește în tema de proiectare.
- configurația maximală echipamentul EDVTP conține 10 module hardware precizate în tema de proiectare (cofretul de monitorizare s-a considerat el însuși un modul).
- fiecare module hardware are un modul software corespondent în aplicația software a echipamentului EDVTP.
- transformatoarele existente în stațiile de transformare pot avea deja diferite categorii de senzori și traductoare, ceea ce poate conduce la solicitarea de configurații mai restrânse decât configurația maximală a echipamentului EDVTP.
- pentru a anticipa cererea potențialilor beneficiari ai echipamentului EDVTP, aplicația software a prevăzut posibilitatea ca un beneficiar să aibă mai multe stații de transformare, în fiecare stație putând exista mai multe transformatoare electrice de putere.
- în cazul beneficiarului cu mai multe puncte de operare și mai multe transformatoare s-a adoptat soluția ca fiecare transformator monitorizat să aibă propriul său cofret de monitorizare, care include module de achiziție și echipamente ce preiau informațiile de la senzorii montați pe transformator și le trimit prin fibră optică către computerul de monitorizare din camera de comandă a stației electrice și de aici la alte locații dorite de beneficiar. Pe serverul stației în care este montat transformatorul, se află instalate aplicațiile de monitorizare on-line și off-line.

Având în vedere cele de mai sus, s-a validat structura configurației maxime a echipamentului EDVTP pentru un transformator precum și structura propusă pentru deservirea mai multor puncte de operare, fiecare având mai multe transformatoare supuse monitorizării.

De asemenea, constatând că tema de proiectare reflectă cerințele privind mărimile și parametrii ce trebuie monitorizați, funcțiile de stare pe care trebuie să le asigure, atenționările și alarmele pe care să le

genereze, comenzile pe care să le genereze echipamentul pentru a asigura buna funcționare a transformatorului, **se validează tema de proiectare a echipamentului EDVTP.**

În urma analizei funcțiilor fiecărui modul, verificării calitative a documentelor sale de proiectare și a faptului că modulele hardware asigură furnizarea datelor necesare aplicațiilor software ale echipamentului, în condițiile în care s-a propus utilizarea unor componente inteligente în structura unora din module, s-au validat proiectele modulelor hardware ale echipamentului EDVTP.

În **Anexa III-9** a prezentului Raport este prezentată detaliat parcurgerea etapelor de validare a configurației maxime a echipamentului EDVTP.

Principalele **concluzii** stabilite în urma realizării subactivității A3.6-2- sunt:

1. Considerentele pe baza cărora s-a elaborat tema de proiectare a echipamentului EDVTP sunt pertinente și reflectă atât spiritul cât și conținutul angajamentelor asumate prin Contractul de finanțare a Proiectului.

2. Apreciind ca realizabile cele cuprinse în tema de proiectare a structurii hardware a echipamentului EDVTP, s-a validat tema de proiectare propusă în cap. 8.

3. Verificarea calitativă a proiectelor modulelor hardware a scos în evidență că aceste module asigură furnizarea datelor necesare aplicațiilor software ale echipamentului EDVTP, în condițiile în care s-a propus utilizarea unor componente inteligente în structura hardware.

4. Utilizare în cadrul structurii hardware a echipamentului EDVTP a unor componente inteligente ca și echipamente de sine stătătoare permite cert simplificarea proiectării, însă ridică o problemă de costuri a produsului final, ceea ce justifică propunerea ca la o ediție viitoare a aparatului să se aibă în vedere proiectarea unor plăci electronice care să preia unele din funcțiunile echipamentelor inteligente propuse în prezentul proiect al echipamentului EDVTP.

5. S-au validat configurația maximală a structurii hardware și s-a verificat că sunt realizabile configurații mai simple, pentru cerințe mai reduse ale unor posibili beneficiari, în contextul în care în aplicația software exista posibilitatea inactivării unor module software.

Având în vedere cele de mai sus, **apreciem că obiectivul subactivității A3.6-2 a fost atins.**

Activitatea A3.7 - Realizarea și încercarea prototipului configurației maxime a EDVTP

Cap.10. Subactivitatea A3.7-1: Realizarea prototipului configurației maxime a EDVTP - executant SIMTECH

Obiectivul subactivității l-a constituit realizarea prototipurilor modulelor configurației maxime a echipamentului EDVTP, conform proiectului prezentat în cap. 8 al prezentului Raport.

Echipamentul EDVTP, prin măsurarea și procesarea on-line a unor parametri specifici ai subsansamblurilor transformatorului permite caracterizarea mai completă a stărilor acestor subsansambluri și o estimare mai bună a rezervelor duratelor de viață ale transformatoarelor electrice de putere.

Echipamentul EDVTP conține atât module hardware, cât și module software. Variantele echipamentului EDVTP se diferențiază prin componentele hardware pe care le conțin, toate fiind asistate de aceeași aplicație software. În cazul în care anumite componente hardware lipsesc, modulele software asociate sunt dezactivate.

Prototipul Echipamentului EDVTP, în configurația maximală, a fost realizat în conformitate cu tema de proiectare și conține următoarele *module hardware de monitorizare on-line*:

1. modulul de monitorizare și analiză a gazelor dizolvate în ulei;
2. modulul de monitorizare și analiză a funcționării comutatorului de reglaj sub sarcină (CRS);
3. modulul de monitorizare și analiză a umidității în ulei;
4. modulul de monitorizare și analiză a descărcărilor parțiale;
5. modulul de monitorizare și analiză a încălzirii și a temperaturilor înfășurărilor;
6. modulul de analiză a trecerilor izolante;
7. modulul de monitorizare și analiză a sistemului de răcire;
8. modulul de monitorizare nivelului de ulei;
9. modulul celulei de ulei on-line.

10. cofretul de monitorizare (modul hardware care cuprinde toate componentele hardware cu excepția senzorilor montați direct pe transformator)

Toate cele 9 module hardware au un modul software corespondent în aplicația software a echipamentului EDVTP.

Având în vedere că realizarea și validarea aplicației software a echipamentului EDVTP, constituită din cele două mari secțiuni „Monitorizare on-line ” și „Monitorizare off-line”, cu diferite module software dedicate modulelor hardware au fost prezentate în cap.5 și ,respectiv cap. 6 al acestui Raport, în cadrul cap. 10 s-au prezentat doar prototipurile modulelor hardware ale echipamentului EDVTP..

În *Anexa III-10* a prezentului Raport se prezintă detaliat prototipurile configurației maxime ale echipamentului EDVTP realizate.

Principalele **concluzii** stabilite în urma realizării subactivității A3.7-1- sunt:

1. Prototipurile configurației maxime a structurii hardware a echipamentului EDVTP s-au realizat în conformitate cu cerințele formulate în tema de proiectare și proiectele individuale ale modulelor, prezentate în cap.8. al prezentului Raport.

2. Efortul de realizare a prototipurilor modulelor hardware a fost concentrat pe identificarea celei mai economice soluții constructive care să asigure un produs fiabil, accesibil din punct de vedere economic, care să poată fi utilizat în condițiile de mediu existente în marea majoritate a stațiilor de transformare din SEN.

3. Utilizarea unor componente „inteligente” a permis reducerea conexiunilor de la diferite categorii de senzori la modulele hardware, dar și compactarea cofretului de monitorizare.

4. O parte dintre componentele inteligente au fost achiziționate de la unii furnizori cu rezultate remarcabile în monitorizarea unor subsambluri sau structuri ale transformatoarelor de putere. Acolo unde s-au desfășurat activități de cercetare industrială și aplicativă asumate prin Proiect s-au realizat prototipuri cu soluții originale.

5. Partea de cablare dintre senzorii de pe transformator și cofret rămâne deschisă, în sensul că trebuie adaptată la fiecare transformator în parte, în funcție de amplasarea lui în stația de transformare.

Având în vedere cele de mai sus, **apreciem că obiectivul subactivității A3.7-1 a fost atins.**

Cap.11. Subactivitatea A3.7-2: Testarea și validarea prototipului EDVTP- executant UPB.

Obiectivul specific al subactivității constă în testarea și validarea prototipurilor modulelor echipamentului EDVTP realizate în cadrul Etapei 3 a Proiectului.

Testarea și validarea prototipurilor a cuprins o etapă de testare și o etapă de validare.

În etapa de testare s-a asigurat verificarea globală a prototipurilor modulelor configurației maxime ale echipamentului EDVTP, cu identificarea fiecărui modul al acestuia, urmată de verificarea funcționării diferitelor module hardware și aplicațiile software asociate, în diferite condiții de testare.

În etapa de validare s-a verificat dacă prototipurile realizate răspund cerințelor formulate în tema de proiectare, dacă rezultatele furnizate de diferitele teste ale module sunt coerente, dacă modulele software funcționează corect cu datele furnizate de modulele hardware.

În vederea testării prototipului echipamentului EDVTP s-au conceput două nivele de testare:

- o testare în regim de simulare fizică a semnalelor generate de senzorii care se montează pe transformatoare, realizată în laborator, denumită *încercări funcționale de laborator*;
- o testare în condiții reale, cu senzori montați pe un transformator real, denumită *încercări funcționale de fabrică*.

În acest sens, s-a convenit ca Simtech Internațional să întocmească o *Procedură pentru încercări funcționale de laborator ale modulelor prototipului echipamentului EDVTP* și, respectiv o *Procedură pentru încercări funcționale de fabrică ale modulelor prototipului echipamentului EDVTP*.

Procedurile respective sunt prezentate în Anexa 11.1, respectiv Anexa 11.2 ale capitolului 11 a prezentului Raport.

Etapa de verificare globală a prototipurilor modulelor echipamentului EDVTP a cuprins:

- identificarea standardelor sau altor reglementări referitoare la condițiile generale de încercare și utilizare a echipamentelor de monitorizare și diagnosticare a transformatoarelor electrice de putere;

- analiza detaliată a schemei funcționale a echipamentului și a documentelor prezentate în cap. 10 al Raportului etapei 3 al Proiectului;

- evaluarea nivelului de protecție fizică a personalului care lucrează cu echipamentul EDVTP;
- punerea sub tensiune a cofretului de monitorizare și lansarea aplicației software.

Etape de verificare în laborator a funcționării prototipurilor modulelor hardware și software ale aplicației s-a executat conform *Procedurii pentru încercări funcționale de laborator ale prototipurilor modulelor echipamentului EDVTP* din Anexa 11.1. a Cap. 11 a prezentului Raport și cuprinde:

- utilizarea de aparate de laborator și montaje electrice pentru generarea semnalelor test pentru intrările diferitelor module hardware;
- aplicarea semnalelor test la intrările componentelor hardware dedicate acestor semnale;
- verificare generării semnalelor de ieșire de la modulele hardware și măsurarea lor, în cazul aplicării la porturile de intrare a semnalelor de la senzori;
- lansarea modulului software dedicat modulului hardware al secției „Monitorizare on-line” a aplicației și compararea rezultatelor afișate de ecranele modulului software pentru a verifica corectitudinea datelor și informațiilor înscrise pe ecran (corectitudinea lingvistică a mesajelor, unități de măsură, etc);
- acolo unde este cazul, se compară valorile afișate cu cele din standardele și normele în vigoare, se compară valorile afișate cu limitele de alarmare;
- se verifică generarea alarmelor la valori ale parametrilor și factorilor de diagnostic ce depășesc limitele inferioare/superioare stabilite;
- se notează orice anomalie constatată în urma testării;
- se decide dacă prototipul modulului hardware corespunde funcțional sau nu proiectului său.

Etape de verificare funcțională în fabrică a funcționării prototipurilor modulelor hardware și software ale aplicației se execută conform *Procedurii pentru încercări funcționale de fabrică ale prototipurilor modulelor echipamentului EDVTP* din Anexa 11.2. a cap. 11 a prezentului Raport și cuprinde:

- montarea pe un transformator electric de putere, supus încercărilor curente de lot, a tipurilor de senzori care se au în vedere a fi utilizați în situația reală;
- realizarea cablărilor între senzori și cofretul de monitorizare astfel încât să se evite culegerea unor semnale parazite sau să se pună în pericol operatorul uman;
- aplicarea semnalelor provenite de la senzori pe porturile de intrare corespunzător din echipamentele de achiziție din cofretul de monitorizare;
- verificarea generării semnalelor digitale de ieșire din echipamentele de achiziție;
- verificarea transmiterii semnalelor digitale către modulele software dedicate;
- verificarea datelor de ieșire afișate de modulele software și compararea lor cu valorile măsurate cu ajutorul aparatelor de măsură existente în standul uzinal, acolo unde e cazul;
- se notează dificultățile de realizare a încercărilor, precum și orice anomalie constatată în funcționarea echipamentului EDVTP;
- formularea concluziilor cu privire la funcționarea prototipurilor modulelor în condițiile din standul de încercări, în raport cu cerințele funcționale din tema de proiectare.

Verificarea globală a structurii prototipului echipamentului EDVTP

Configurația maximală a EDVTP (variante EDVTP-f) conține cele nouă module hardware prezentate în tabelul din cap.5 și aplicația software completă.

Figura 11.1. prezintă structura de principiu a configurației maxime a echipamentului EDVTP.

Conform documentelor puse la dispoziție de Simtech International, prototipul echipamentului EDVTP este realizat conform schemei funcționale prezentate în fig. 11.2. Din această schemă se identifică categoriile de senzori care se montează pe transformator și care sunt indispensabili configurației maxime a EDVTP. Se constată, de asemenea, blocurile cu structuri hardware, ale diferitelor module hardware, dar mai ales căile prin care semnalele de la senzori sunt direcționate către modulele hardware, precum și informațiile digitale care ajung la diferite module software ale echipamentului. EDVTP.

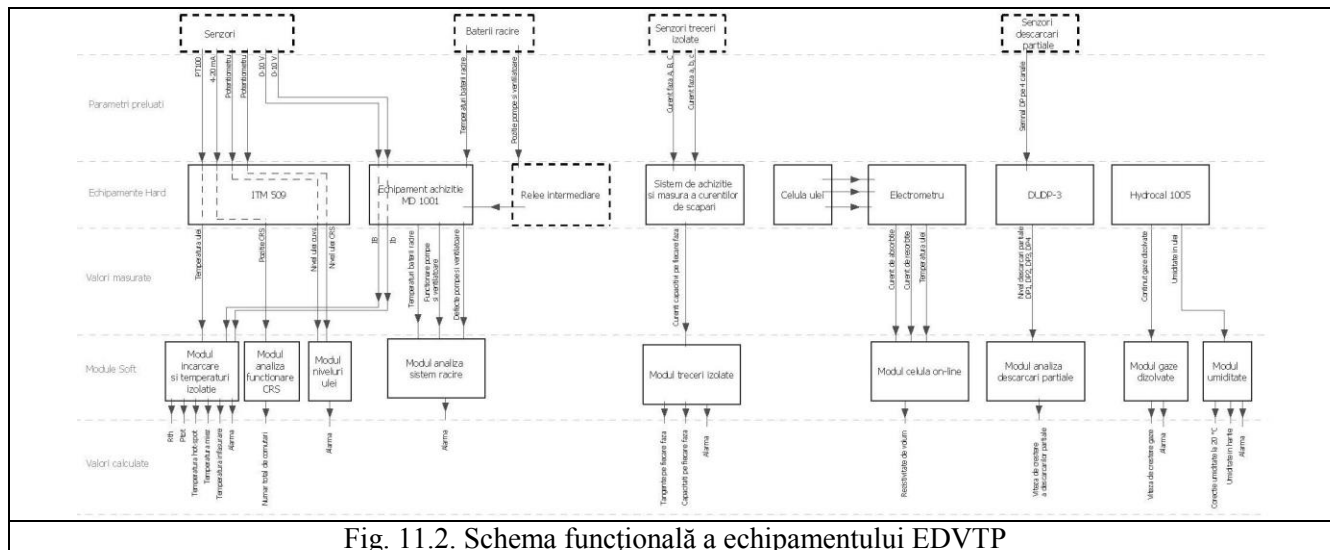


Fig. 11.2. Schema funcțională a echipamentului EDVTP

Analiza detaliată a schemei funcționale din fig. 11.2 a permis următoarele *constatări generale*:

1. Blocurile punctate din schemă reprezintă elementele de unde se preiau parametrii primari de pe transformator (temperaturi de pe cuvă, curenți din secundarele transformatoarelor de curent, poziții CRS, nivele de ulei din cuvă și CRS, baterii răcire, izolatori de trecere, uleiul prin analizorul de gaze, etc).

2. Categoriile de parametri preluați și traseele de legătură cu componentele hardware sunt reprezentați explicit și permit o bună înțelegere a schemelor de conexiuni.

3. Sunt bine evidențiate pozițiile funcționale ale componentele hardware propriu-zise: echipamentul Qualitrol ITM 509, echipamentul de achiziție MD 1001, sistemul de achiziție și măsură a curenților de scăpări prin trecerile izolante, celula de ulei on-line cu blocurile sale de alimentare și măsură, echipamentul Hydracal 105, echipamentul de măsurare acustică a descărcărilor parțiale.

4. Categoriile de parametri de ieșire din modulele hardware sunt reprezentați explicit și permit verificare că sunt în acord cu cerințele de mărimi de intrare din modulele software, prezentate în cap. 5 al Raportului Etapei 3.

5. Sunt bine evidențiate pozițiile funcționale ale celor 9 module ale aplicației software a echipamentului EDVTP și faptul că unele module software preiau date de la mai multe module hardware.

6. Nu sunt evidențiate legăturile funcționale cu structura SCADA din stația de transformare.

7. Corelând informațiile din capitolele 8 și 10 din Raportul Etapei 3 cu schema funcțională din fig. 11.2 se constată că:

a) *Modulul software încărcare și temperaturi izolație* primește informații on-line de la echipamentele hard ITM 509 și echipament de achiziție MD, descrise în capitolul 10. Echipamentul ITM 509 are o intrare de PT 100 pentru preluarea temperaturii uleiului, iar echipamentul de achiziție are 2 intrări de 0-10V pentru preluarea curenților I_B și I_C . Cu ajutorul acestor parametri, modulul încărcare și temperaturi izolație calculează și afișează temperatura miezului, temperatura hot-spot, temperatura înfășurării, R_{th} , P_{tot} și furnizează alarme la depășirea valorilor standardizate ale acestora, conform capitolului 6.

b) *Modulul software analiză funcționare CRS* utilizează echipamentul hardware ITM 509 pentru preluarea poziției CRS și calculează numărul total de comutări. Poziția CRS este preluată de ITM de la senzori prin semnal unificat 4-20 mA.

c) *Modulul software niveluri ulei* utilizează echipamentul hardware ITM 509 pentru preluarea de la senzorii potențiometre de pe indicatoarele magnetice de nivel a nivelurilor ulei din cuvă și ulei din comutator. Modulul afișează alarme la depășirea nivelurilor de ulei, conform capitolului 6.

d) *Modulul software analiză sistem răcire* preia informații de echipamentului de achiziție MD, și de la blocurile de relee intermediare din schemele de alimentare electrică a motoarelor pompelor și ventilatoarelor.

Echipamentul de achiziție preia de la bateriile de răcire temperatura și poziția pompelor și ventilatoarelor, iar de la relele intermediare preia informații despre starea de funcționare sau de defect a acestora. Modulul afișează alarme la depășirea nivelurilor de ulei, conform capitolului 6.

e) *Modulul software treceri izolate* utilizează echipamentul hardware Sistem de achiziție și măsură a curenților de scăpări ale trecerilor izolate care preia de la bornele de măsură ale trecerilor izolate prin senzori de curent semnale proporționale cu curenții de scăpări de pe fiecare fază. Cu parametri primiți de la echipamentul hardware se calculează tangenta unghiului de pierderi și capacitatea pe fiecare fază și se afișează alarme la depășirea acestora, conform capitolului 6.

f) *Modulul software celula ulei on-line* utilizează echipamentele hardware celula ulei propriu-zisă și un amplificator de curent (electrometru). Cu ajutorul acestora sunt preluați curenții de absorbție-resorbție și temperatura uleiului, necesare calculării rezistivității de volum a uleiului.

g) *Modulul software descărcări parțiale* utilizează echipamentul hardware DUDP-3 (Detector Ultraacustic de Descărcări Parțiale), care preia semnalele pe 4 canale de la senzorii de descărcări parțiale și le transmite modulului pentru calcularea vitezei de creștere a descărcărilor parțiale.

h) *Modulele software gaze dizolvate și modulul umiditate* utilizează echipamentul hardware Hydrocal 1005. *Modulul gaze dizolvate* afișează viteza de creștere a gazelor și furnizează alarme la depășirea acestora, conform capitolului 6.

i) *Modulul umiditate* afișează corecția umidității la 20°C, calculează umiditatea din hârtie și furnizează alarme la depășirea acestora, conform capitolului 6.

Având în vedere cele de mai sus, ***se trage concluzia că structura configurației maxime a prototipului realizat îndeplinește cerințele funcționale din tema de proiectare.***

Prototipul cofretului de monitorizare al echipamentului EDVTP în configurația maximală este reprezentat în (fig. 11.3).

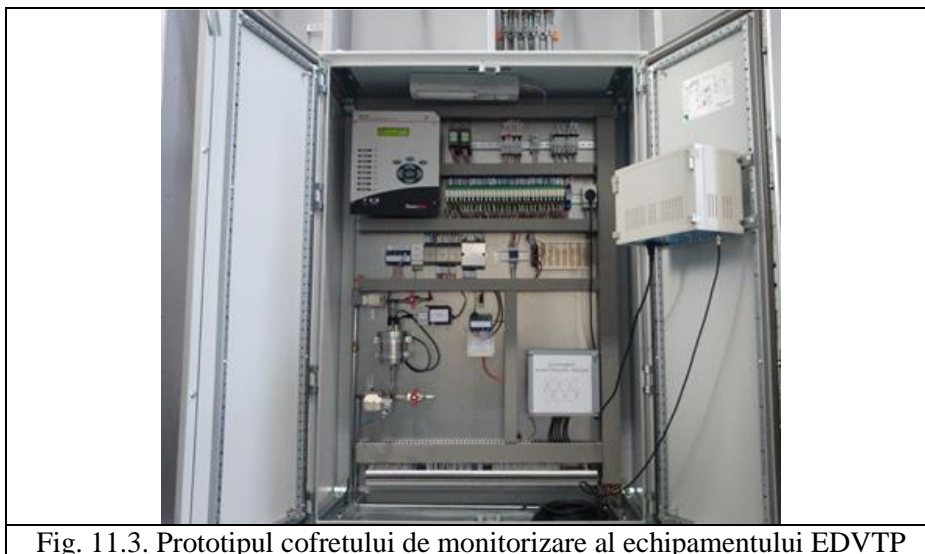


Fig. 11.3. Prototipul cofretului de monitorizare al echipamentului EDVTP

Rezultatele încercărilor funcționale în laborator ale prototipurilor modulelor echipamentului EDVTP.

Încercările funcționale de laborator (încercări de „casa”) ale diferitelor prototipuri ale modulelor echipamentului EDVTP au fost realizate în conformitate cu procedura propusă de SIMTECH INTERNATIONAL, prezentată în Anexa 11.1 la cap. 11 al prezentului Raport.

Scopul acestor încercări a fost acela de a verifica faptul că prototipurile structurilor hardware și software ale echipamentului EDVTP realizate în cadrul Etapei 3 a Proiectului răspund funcțional cerințelor de proiectare.

În tabelul următor s-au centralizat concluziile privind concordanța prototipurilor modulelor echipamentului EDVTP rezultate în urma încercărilor funcționale de laborator cu cerințele funcționale din tema de proiectare.

Tabelul 2. Concluzii privind realizarea funcțiilor de proiectare ale prototipurilor modulelor echipamentului EDVTP

Nr. crt.	Denumire prototipului modulului	Concluzie	Observație
1.	Prototipul modulului încărcare și temperaturi izolație	Corespunde	
2.	Prototipul modulului analiză funcționare CRS	Corespunde	
3.	Prototipul modulului niveluri ulei	Corespunde	
4.	Prototipul modulului analiză sistem răcire	Corespunde	
5.	Prototipul modulului treceri izolate	Corespunde	
6.	Prototipul modulului celulă on-line	Corespunde	
7.	Prototipul modulului analiză descărcări parțiale	Corespunde	
8.	Prototipul modulului gaze dizolvate	Corespunde	S-a verificat numai funcționarea conexiunilor
9.	Prototipul modulului umiditate	Corespunde	S-a verificat numai funcționarea conexiunilor

Rezultate ale încercărilor funcționale ale prototipurilor modulelor echipamentului EDVTP în fabrică

Încercările funcționale în fabrică ale echipamentului EDVTP au fost realizate în standul de încercări uzinale al S.C. RETRASIB S.A. din Sibiu, pe un transformator real care a fost supus încercărilor de lot. Pe acest transformator s-au montat senzorii, în conformitate cu procedura propusă de SIMTECH INTERNATIONAL și prezentată în Anexa 11.2 a capitolului 11 a prezentului Raport.

Astfel:

- Componentele principale ale echipamentului EDVTP au fost testate în condițiile din exploatare sau foarte apropiate de acestea, pe un transformator real, alimentat electric și supus unor probe în standul de încercare a transformatoarelor electrice.
- Toate interfețele dintre modulele componente ale echipamentului EDVTP au fost supuse unei verificări în condiții apropiate de cele de la locul de utilizare finală, stația de transformare din SEN. S-au verificat, prin teste reale și simulări și interfețele cu nivelele superioare sistemului de management al stației de transformare, în special comunicațiile de date către nivelul central, în scopul validării atât a modulelor hardware cât și a modulelor software ale echipamentului EDVTP.
- Au fost testate funcțiile de semnalizare și cele legate de apariția evenimentelor, precum și funcțiile de protecție și procedurile de diagnosticare.

În tabelul următor s-au centralizat concluziile privind rezultatele obținute în urma încercărilor funcționale în fabrică ale prototipurilor modulelor echipamentului EDVTP cu cerințele funcționale din tema de proiectare.

Tabelul 3. Concluzii privind realizarea funcțiilor de proiectare ale prototipurilor modulelor echipamentului EDVTP verificate prin montare pe un transformator real

Nr. crt.	Denumire prototipului modulului	Concluzie	Observație
1.	Prototipul modulului încărcare și temperaturi izolație	Corespunde	
2.	Prototipul modulului analiză funcționare CRS	Corespunde	
3.	Prototipul modulului niveluri ulei	Corespunde	
4.	Prototipul modulului analiză sistem răcire	Corespunde	
5.	Prototipul modulului treceri izolate	Corespunde	
6.	Prototipul modulului celulă on-line	Corespunde	
7.	Prototipul modulului analiză descărcări parțiale	Corespunde	
8.	Prototipul modulului gaze dizolvate	Corespunde	
9.	Prototipul modulului umiditate	Corespunde	

Testarea unor configurații restrânse ale echipamentului EDVTP.

În vederea testării unei configurații hardware mai restrânsă decât configurația maximală s-a procedat astfel:

- Cu transformatorul monitorizat în funcțiune, la nivelul cofretului de monitorizare s-au deconectat pe rând circuitele care asigurau alimentările cu semnale de la senzorii de pe transformator.
- S-au urmărit afișările diferitelor module software și s-a constatat că modulul pentru care nu se primesc date on-line semnaleză lipsa informație, celelalte module funcționând corect.

În **Anexa III-11** a prezentului Raport se prezintă detaliat rezultatele testării și validării prototipurilor modulelor configurației maximale a echipamentului EDVTP realizate.

Principalele **concluzii** stabilite în urma realizării subactivității A3.7-2- sunt:

1. Analiza detaliată a documentelor de proiectare, a schemelor funcționale și a prototipurilor modulelor echipamentului EDVTP permite constatarea că au fost realizate toate modulele configurației maximale a echipamentului EDVTP.

2. Prototipurile modulele hardware realizate asigură preluarea de la senzorii, traductoarele și alte structuri ale schemelor de comandă și control ale transformatoarelor electrice toate categoriile de parametri necesari modulelor software ale secțiunii „ Monitorizare on –line” a aplicației software a echipamentului EDVTP.

3. Gruparea într-un cofret unic a componentelor hardware cu rol de achiziție și prelucrare primară a semnalelor preluate de la senzori se dovedește foarte utilă și practică atunci când se implementează echipamentul EDVTP pe un transformator real.

4. Verificarea globală a prototipurilor realizate ale modulelor configurației maximale a echipamentului EDVTP a permis constatarea că acestea îndeplinesc cerințele funcționale formulate în tema de proiectare.

5. Echipamentul EDVTP, poate fi descris ca un echipament industriale de măsură și control pentru care nu s-au identificat standarde sau normative cu prevederi directe și nemijlocite. Se apreciază astfel că referitor la cerințele de securitate electrică, aplicare prevederilor din Normativul I7, sunt acoperitoare.

6. Punerea sub tensiune a echipamentului EDVTP, atât în laborator cât și în standul uzinal s-a făcut fără a se înregistra nici un fel de incidente și se apreciază că respectarea prevederilor Normativului I7 nu mai impune măsuri speciale de securitate împotriva electrocutărilor, altele decât cele referitoare la stațiile de transformare.

7. Testarea în laborator a diferitelor prototipuri ale modulelor echipamentului EDVTP se dovedește necesară și utilă pentru că, în afară de verificarea globală a punerii sub tensiune, este posibilă verificare că ansamblul cablărilor electrice din interiorul cofretului de monitorizare sunt corecte și că semnalele test, generate de montajele electronice sau de unele aparate de laborator ajung la intrările dedicate ale diferitelor module hardware.

8. Unele diferențe dintre rezultatele afișate de ecranele modulelor software și indicațiile aparatelor de măsură sunt dependente de clasa de precizie aparatelor de măsură din laborator și nu constituie erori ale modulelor hardware.

9. Testarea în condițiile existente într-un stand de încercări uzinale a transformatoarelor electrice s-a dovedit deosebit de utilă deoarece a permis verificarea în ansamblu a echipamentului EDVTP, cel puțin în ce privește monitorizarea și diagnosticarea on-line. Acest tip de testare ar putea fi inclus în încercările de lot ale echipamentului EDVTP.

10. Elaborarea unei instrucțiuni de instalare pe transformatoarele monitorizate, cu multe detalii de montaj, se dovedește necesară.

Având în vedere cele de mai sus, **apreciem că obiectivul subactivității A3.7-2 a fost atins.**

Activitatea A3.8 - Diseminarea rezultatelor

Cap.12. Subactivitatea A3.8-1: Elaborarea și prezentarea unei lucrări la conferințe naționale / internaționale - executant UPB

12.1. În cadrul subactivității A. 3.8-1 s-a elaborat o lucrare științifică intitulată "*Determinarea duratelor de viață estimată, consumată și rămasă ale izolațiilor hârtie-ulei ale transformatoarelor pe baza valorilor rezistenței de izolație a înfășurărilor*" (DETERMINATION OF ESTIMATED, CONSUMED AND

REMAINING LIFETIMES OF PAPER - OIL TRANSFORMERS INSULATION BASED ON WINDING INSULATION RESISTANCE), autori Petru V. NOTINGHER și Gabriel TANASESCU.

Lucrarea a fost prezentată în cadrul lucrărilor conferinței "2018 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE 2018)", organizată de National Technical University of Athens – Greece și supervizată de IEEE Dielectrics and Electrical Insulation Society. Conferința a avut loc la Atena (Grecia) în perioada 10 – 13 septembrie 2018. Lucrarea a fost prezentată la aceasta conferință de Petru V. NOTINGHER și a fost publicată în *Proceedings of 2018 International Conference on High Voltage Engineering and Application, indexat de IEEE Xplore*.

În această lucrare se prezintă un studiu privind utilizarea rezistenței de izolație a înfășurărilor transformatoarelor de putere ca factor de diagnostic pentru determinarea parametrilor dreptelor duratei de viață ale sistemelor de izolație ale acestora. Pentru aceasta s-au efectuat îmbătrâniri termice accelerate ale unor modele plane de înfășurări, realizate din conductare de aluminiu izolate cu hârtie Weidmann și introduse în cuve cu ulei PRISTA la 115, 135 și 155 °C, pe durate cuprinse între 1200 și 7000 h. Pentru anumite valori ale duratei de îmbătrânire τ s-au determinat valorile raportate ale rezistenței de izolație $R_{it}(\tau)$, s-au ales două valori ale criteriului de sfârșit de viață R_{ireot} , s-au trasat dreptele duratei de viață corespunzătoare modelelor de îmbătrânire Dakin și Montsinger, s-au determinat parametrii a și b ai acestora și s-au calculat duratele de viață estimate pentru diferite temperaturi de funcționare. Se propune o metodă nouă de determinare a parametrilor a și b prin măsurarea a trei valori ale rezistenței de izolație a înfășurărilor și se calculează duratele de viață consumate și rămase.

Lucrarea în extenso este prezentată în **Anexa III-12.1** a acestui Raport.

12.2. Tot în cadrul acestei activități a fost elaborată o lucrare intitulată „**Determination of lifetime line parameters for power transformer insulation**”, autori P.V. NOTINGHER, C. STANCU, S. BUȘOI și G. TĂNĂSESCU, care urmează să apară în revista Electrotehnica, Electronica, Automatica (EEA) în decembrie 2018.

Lucrarea în extenso este prezentată în **Anexa III-12.2**, atașată prezentului Raport.

Având în vedere cele de mai sus, **apreciem că obiectivul subactivității A3.8-1 a fost atins.**

13. Concluzii finale

În concluzie generală, se apreciază că obiectivele Etapei a III-a a Proiectului au fost realizate. Această concluzie se bazează pe cele expuse în continuare.

În Etapa de execuție nr.3 a Proiectului s-au executat activitățile și subactivitățile pentru îndeplinirea integrală a obiectivelor specifice asumate nr.4: *Elaborarea metodei și a softului de calcul al duratei de viață consumată și rămasă ale SITP*; nr.5: *Realizarea și testarea componentelor soft ale EDVTP* precum și a obiectivului nr.6: *Realizarea și încercarea prototipurilor configurațiilor EDVTP*.

Astfel:

- s-a elaborat o metodă originală de calcul al duratei de viață a sistemelor de izolație ale transformatoarelor de putere (SITP), bazată pe factorul de diagnostic rezistență de izolație;
- s-a realizat și testat aplicația software pentru calculul duratei de viață a sistemelor de izolație ale transformatoarelor de putere pe baza metodei proprii elaborate;
- s-a realizat și testat aplicația software pentru echipamentul EDVTP, cu două secțiuni, monitorizare on-line și, respectiv, monitorizare off-line;
- s-a elaborat (conceput și proiectat) structura configurației maxime a echipamentului EDVTP și s-au executat prototipurile modulelor proiectate;
- s-au realizat testele pentru validarea constructivă și funcțională a modulelor hardware a configurației maxime a EDVTP;
- s-au elaborat cele trei lucrări științifice planificate și s-a participat la două manifestări științifice internaționale pentru a asigura diseminarea rezultatelor.

Rezultatele activităților desfășurate s-au concretizat în:

1. Produse: 10 prototipuri de module hardware ale structurii maxime a echipamentului EDVTP.

2. Produse informatice:

2.1. O aplicație software pentru evaluarea duratei de viață a SITP cu trei module pentru determinarea dreptelor duratelor de viață, a duratelor de viață estimate, consumate și rămase ale ale SITP în cazul în care temperatura de funcționare a SITP este menținută constantă pe toată durata de exploatare a transformatorului, pentru o temperatură variabilă în timp după o curbă cunoscută, respective pentru variație necunoscută în timp a temperaturii de referință a SITP.

2.2. O aplicație software a echipamentului EDVTP, cu doua secțiuni majore pentru a asigura monitorizarea on line și monitorizarea off-line a transformatoarelor. Fiecare secțiune conține module software dedicate modulelor hardware și multiplelor analize și rapoarte necesare evaluării stării transformatorului în ansamblul sau.

3. Studii:

3.1. O relație originală pentru determinare a duratei de viață consumate a sistemului de izolație a unui transformator aflat în exploatare pe baza măsurării rezistenței electrice la anumite momente de timp din exploatarea transformatoarelor;

3.2. o relație pentru determinare a duratei de viață consumate a sistemului de izolației hârtie -ulei de transformator aflat în exploatare pe baza măsurării rezistenței de izolație.

4. Alte rezultate:

4.1. Metoda de determinare a duratelor de viață consumate relative și ale duratelor de viață rămase ale sistemului de izolație a transformatoarelor electrice de putere utilizând ca factor de diagnostic rezistența de izolație măsurată.

4.2. Metoda de determinare a parametrilor dreptelor duratelor de viață ale sistemului de izolație hârtie-ulei la un anumit moment din exploatarea transformatoarelor pe baza duratei de viață relative consumate in anumite intervale de timp, estimată prin măsurarea rezistenței de izolație.

4.3. Metoda de determinare a parametrilor dreptei duratei de viață in modelul Dakin cand se cunosc parametrii corespunzatori modelului Montsinger si invers.