

**UNIVERSITATEA DIN ORADEA  
FACULTATEA DE ENERGETICĂ  
CENTRUL DE CERCETARE  
MANAGEMENTUL PROCESELOR ENERGETICE**



**RAPORT DE CERCETARE  
Contractul Nr. 34 GR/21.05.2007**

**CERCETĂRI CU CARACTER  
FUNDAMENTAL ȘI APLICATIV PRIVIND  
EFECTELE PRODUCERII,  
TRANSPORTULUI, DISTRIBUȚIEI ȘI  
UTILIZĂRII ENERGIEI ELECTRICE ÎN  
REGIM DEFORMANT**

**2008**



## **RAPORT DE CERCETARE**

# **CERCETĂRI CU CARACTER FUNDAMENTAL ȘI APLICATIV PRIVIND EFECTELE PRODUCERII, TRANSPORTULUI, DISTRIBUȚIEI ȘI UTILIZĂRII ENERGIEI ELECTRICE ÎN REGIM DEFORMANT**

### **ELABORATORI**

**prof. dr. ing. FELEA IOAN** - Universitatea din Oradea – **Responsabil de contract**

**prof. dr. ing. POPENȚIU FLORIN** - Universitatea din Oradea

**prof. dr. ing. VASILIEVICI ALEXANDRU**– Universitatea “Politehnica” Timișoara

**prof. dr. ing. GHEJU PETRU** – Universitatea “Politehnica” Timișoara

**prof. dr. ing. MOGA MIHAI** – Universitatea “Politehnica” Timișoara

**prof. dr. ALBEANU GRIGORE** – Universitatea “Spiru Haret” București

**conf. dr. ing. MATICA LILIANA** - Universitatea din Oradea

**conf. dr. ing. MATICA RADU** – Universitatea din Oradea

**conf. dr. ing. DALE EMIL** – Universitatea din Oradea

**conf. dr. ing. COROIU NICOLAE** - Universitatea din Oradea

**conf. dr. ing. BENDEA GABRIEL** - Universitatea din Oradea

**conf. dr. ing. SECUI CĂLIN** - Universitatea din Oradea

**ș.l. dr. ing. DZIȚAC SIMONA** - Universitatea din Oradea

**ș.l. drd. ing. POPOVICI DIANA** - Universitatea din Oradea

**ș.l. drd. ing. RANCOV NICOLAE** - Universitatea din Oradea

**ș.l. drd. ing. BUNDA ȘERBAN** - Universitatea din Oradea

**prep. drd. ing. ALBUȚ DANA DANIEL** - Universitatea din Oradea

**cerc. șt. drd. ing. BARLA EVA** - Universitatea din Oradea



NR CONTRACT: 34GR/21.05.2007 , 79 GR / 11.06.2008

COD CNC SIS: 812

VALOARE TOTALĂ GRANT: 86.878 lei (2007), 78.448 lei (2008)

FAZA finală an 2008

## CERCETĂRI CU CARACTER FUNDAMENTAL ȘI APLICATIV PRIVIND EFECTELE PRODUCERII TRANSPORTULUI, DISTRIBUȚIEI ȘI UTILIZĂRII ENERGIEI ELECTRICE ÎN REGIM DEFORMANT

### I. OBIECTIVELE CERCETĂRII ȘI GRADUL DE ÎNDEPLINIRE

#### 1.1. Preliminarii

Proiectul și raportul de cercetare poate fi caracterizat astfel:

- Se fundamentează pe o amplă cercetare bibliografică, pe intense preocupări anterioare ale membrilor echipei, cu rezultate recunoscute;
- Își propun să aprofundeze problematica modelării și evaluării efectelor (energetice, termice, fiabilistice, economice) regimului deformant, al mărimilor electrice din cadrul sistemului de producere, transport, distribuție și utilizare a energiei electrice (**SPTDUEE**).

Proiectul este încadrat în domeniul prioritar energie și vizează ariile tematice 2, 6 și 7 din cadrul acestui domeniu.

Obiectivul central al proiectului a fost acela de a identifica instrumentele științifice menite să crească precizia evaluărilor, cu scopul evidențierii soluțiilor de creștere a performanțelor sistemelor de **PTDUEE** care funcționează în regim deformant (RD).

În conformitate cu programul asumat la efectuarea propunerii, cercetările sunt orientate în 4 direcții:

- Modelare matematică, privind, în speță, efectele fiabilistice și economice ale RD;
- Testare experimentală a echipamentelor din SPTDUEE puternic afectate de RD (transformatoare electrice, condensatoare electrice, motoare asincrone);

- Validarea modelelor matematice;
- Elaborarea de software pentru evaluarea efectelor;
- Simularea proceselor analizate.

În cadrul proiectului s-au asumat un număr de 5 obiective care înglobează 32 de activități.

## 1.2. Obiectivele fixate pe etape și stadiul îndeplinirii acestora

Pentru atingerea obiectivelor propuse, s-au fixat și s-au parcurs etapele metodologice definite în figura 1.

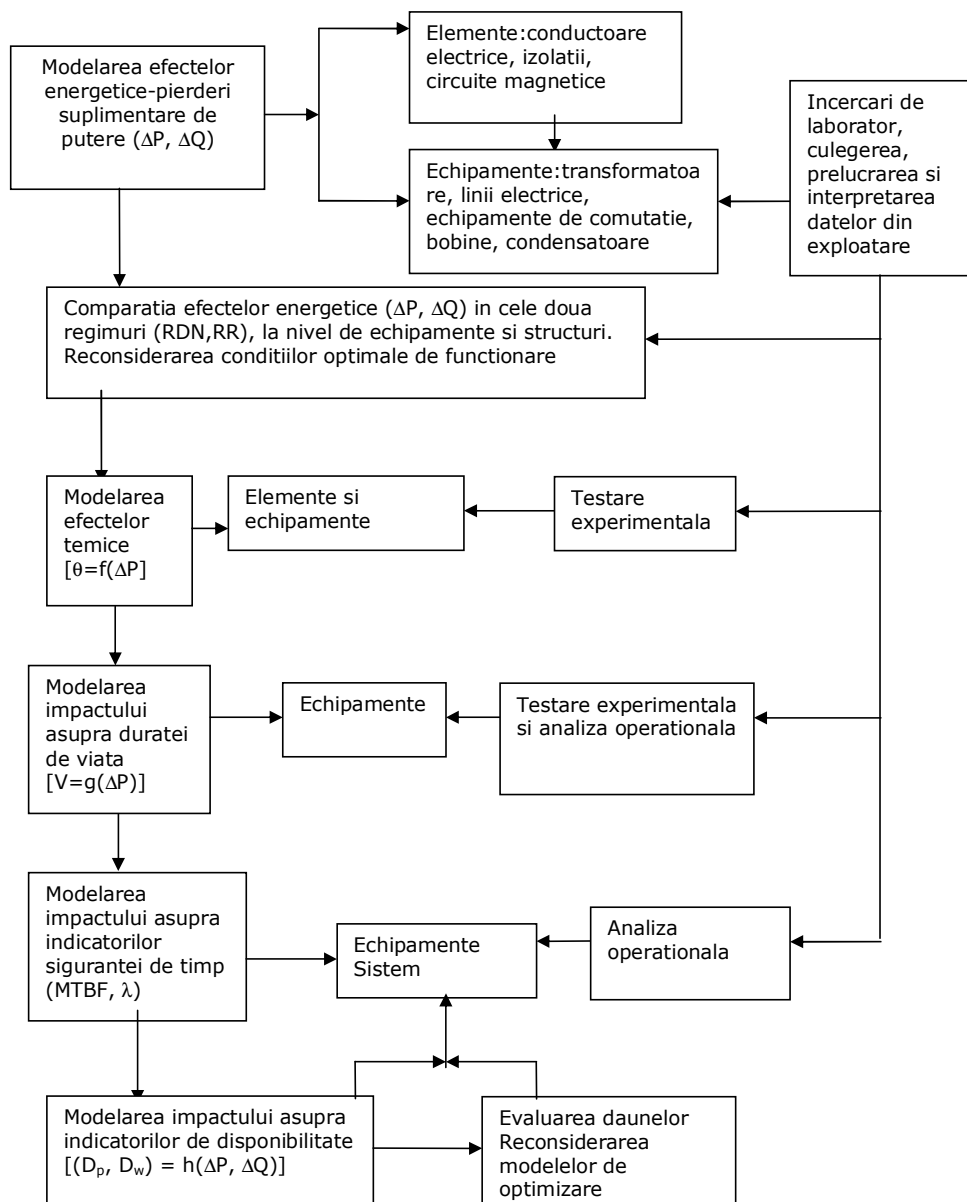


Fig. 1 – Etape ale metodologiei de analiza a impactului RD asupra performantelor SPTDUEE

Vom prezenta, în continuare, obiectivele asumate pentru fiecare etapă, activitățile și rezultatele obținute.

## 1.2.1. Obiectivele asumate pentru etapa I-a (2007)

### 1.2.1.1. Modelarea efectelor RD asupra fiabilității previzionale și a disponibilității componentelor SPTUDEE

Aceasta preocupare se încadrează în categoria *elaborarea de noi abordări și teorii în aria aferentă temei*. Pe baza modelelor structurale ale celor 4 componente (TE, LE, CD, MAS), a MM atașate efectelor energetice și termice, avându-se în vedere MM existente în teoria fiabilității, s-au efectuat următoarele:

- Exprimarea indicatorilor fundamentali de fiabilitate (probabilitatea de bună funcționare  $\equiv R$ , media timpului de bună funcționare  $\equiv MTBF$ , rata defectării  $\equiv \lambda$  și rata mentenanței  $\equiv \mu$ ) ai TE în RD;
- Elaborarea MM de evaluare a disponibilității de putere și energie a TE în funcție de mărimile caracteristice ale RD și în funcție de regimul de sarcină;
- Elaborarea MM de evaluare a indicatorilor fundamentali de fiabilitate (IFF) și a indicatorilor de disponibilitate / indisponibilitate (ID/D) de putere reactivă pentru CD care funcționează în RD;
- Elaborarea modelului matematic destinat evaluării fiabilității și disponibilității LEC care funcționează în RD;
- Modelarea efectelor RD asupra indicatorilor fundamentali de fiabilitate și asupra disponibilității de putere, cuplu și viteză a MAS.
- Exprimarea indisponibilității MAS care funcționează într-un RD definit prin valori ale cuplului și vitezei ca și mărimi caracteristice, față de funcționarea MAS în RR;
- Elaborarea MM pentru evaluarea nivelului de fiabilitate și disponibilitate al RE de transport și distribuție, caracterizată structural, funcționând în RD, față de cazul funcționării în RR.

Modelele elaborate sunt prezentate în capitolul III al raportului de cercetare detaliat, făcând trimitere și la capitolul 2 în care se prezintă modelarea efectelor energetice.

### 1.2.1.2. Cercetări aplicative privind efectele producerii, transportului, distribuției și utilizării EE în RD

Au ca și scop principal verificarea MM de evaluare a efectelor energetice (pierderi de putere) și termice (temperaturi, supratemperaturi) ale RD. Se încadrează în categoria *adaptarea unor metode experimentale existente, pentru a fi utilizate în noi aplicații*. Se are în vedere testarea experimentală a câte 5 exemplare, cu caracteristici diferite, din componentele: TE ( $S_n \leq 10$  kVA), CD ( $Q_n \leq 10$  kVAr) și MAS ( $P_n \leq 5,5$  kW).

O altă componentă a cercetării aplicative pe care și-a propus-o proiectul de cercetare este studiul fiabilității operaționale a TE din cadrul SPTDUEE care

funcționează în RD, comparativ cu TE de aceleași caracteristici și care funcționează în RR.

În conformitate cu programul de activități prestabilit, cu referire la acest obiectiv, în prima etapă s-a realizat proiectarea standului de laborator pentru studiul efectelor energetice și termice ale RD asupra TE, MAS și CD. Schema bloc a standului se reprezintă în fig. 2.

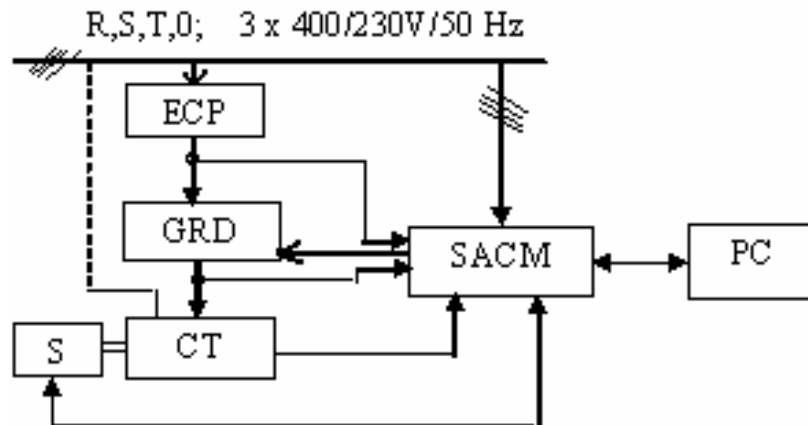


Fig. 2 – Schema bloc a standului destinat testării componentelor (TE, CD, MAS) în RD:  
ECP – elemente de comutație și protecție; GRD – generator de regim deformant; CT – componenta testată; S – sarcina (pentru TE și MAS); SACM – sistem de achiziție, comandă, măsură; PC – calculator

### 1.2.1.3. Elaborarea unui sistem software dedicat simulării și evaluării efectelor PTDUEE în RD

S-au elaborat două programe de calcul și anume:

a. Program de calcul al pierderilor de putere active și reactive și al pierderilor de energie în TE, MAS, CD și LEC, care funcționează în RD. Programul de calcul este elaborat în limbaj DELPHI, pe baza modelului matematic prezentat în capitolul 2 al raportului de cercetare și se numește „EERD” (evaluarea efectelor energetice ale RD).

b. Program de calcul al indicatorilor de fiabilitate și al indicatorilor de disponibilitate ai TE, MAS, CD și LEC, care funcționează în RD. Acest program se numește „IFDRD” (evaluarea indicatorilor de fiabilitate și disponibilitate în RD), este elaborat în limbaj DELPHI și este fundamentat pe modele de evaluare prezentate în capitolul 3 al raportului de cercetare.

Prezentarea celor două programe de calcul se face în capitolul 6 al raportului de cercetare.

### 1.2.1.4. Asigurarea bazei materiale și informaționale pentru evaluarea cercetării

După proiectarea standului de cercetare, s-au comandat toate echipamentele necesare, precizate în anexa 8 a proiectului de cercetare. În prima etapă s-au cules

datele statistice privind comportarea în exploatare a 40 de transformatoare de putere de 110 kV/MT, pe durata a 5 ani și s-au calculat valorile indicatorilor de fiabilitate operațională pentru lotul de transformatoare de putere. Rezultatele acestor măsurători și evaluări sunt prezentate în subcapitolul 4.3 al raportului de cercetare.

#### **1.2.1.5. Diseminarea, utilizarea și transferul rezultatelor**

În prima etapă autorii cercetărilor efectuate în cadrul acestui proiect, au desfășurat următoarele acțiuni de diseminare, utilizare și transfer al rezultatelor cercetării:

##### **a. Participări la Conferințe:**

- CNE – FOREN 2006: 3 participanți

Lucrări prezentate și publicate:

- Impactul calității energiei electrice asupra performanțelor rețelelor electrice, Ioan Felea, Nicolae Coroi, Emil Dale

- CIRED 2007: 4 participanți

Lucrări prezentate și publicate:

- The reliability centered maintenance database of urban medium voltage networks, Ioan Felea, Diana Popovici, Dan Petrescu, Gabriel Bendea, Daniel Albuț
- Defining and evaluating the parametrical reliability of power transformers in oil, Ioan Felea, Nicolae Coroiu, Calin Secui, Ionel Boja

- EUROCON 2007: 2 participanți

Lucrări prezentate și publicate:

- Electric Switchers Parametrical Reliability Evaluate of an Electric Energy Distribution Zone, Felea Ioan, Coroiu Nicolae, Manea Ioan, Albut Daniel
- Modeling the parametrical reliability of power transformers, Ioan Felea, Calin Secui, Ionel Boja

- CIE 2007: 12 participanți

Lucrări prezentate și publicate:

- Anals of the University of Petroșani, Electrical Engineering, vol IX, 2007: 2 participanți

Lucrări prezentate și publicate:

- Contribution to implement the reliability centered maintenance at the thermo-electric plants, Ioan Felea, Horia Goia, Simona Dzițac
- Consideration viewing the optimal dimensioning of the maintenance team from termo-electric power plants, Miltiade Cârlan, Horia Goia, Simona Dzițac

##### **b. Lucrări publicate în reviste de specialitate:**

- Evaluarea pierderilor de putere și energie în transformatoarele electrice care funcționează în regim deformant, Revista Producerea

Transportul și Distribuția Energiei Electrice și Termice, Noiembrie-Decemberie 1996, nr.11-12, Ioan Felea, Emil Dale

- Aspecte privind impactul regimurilor deformante (RD) asupra fiabilității transformatoarelor electrice, Revista ENERGETICA, Octombrie Nr.10, 1998, Ioan Felea, Emil Dale
- Studiu privind regimul deformant și nesimetric la nivelul SEE Bihor și efectele acestuia, Revista Producerea Transportul și Distribuția Energiei Electrice și Termice August-Septembrie Nr.8-9, 1999, Ioan Felea, emil Dale

c. S-a elaborat raportul de cercetare, care tratează toate problemele fixate prin „planul de activitate” al proiectului pentru anul 2007 și care este structurat în 6 capitole cu titlul:

- I. Stadiul actual privind identificarea și evaluarea efectelor regimului deformant
- II. Evaluarea sistematică a efectelor energetice ale RD asupra componentelor SPTDUEE
- III. Efectele RD asupra performanțelor de fiabilitate ale echipamentelor din structura SPTDUEE
- IV. Cercetări experimentale și operaționale privind efectele PTDUEE în RD
- V. Pachetul software elaborat
- VI. Concluzii

## **1.2.2. Obiectivele asumate pentru etapa a II-a (2008)**

### **1.2.2.1. Cercetări aplicative privind efectele producerii, transportului, distribuției și utilizării EE în RD**

Au ca și scop principal verificarea MM de evaluare a efectelor energetice (pierderi de putere) și termice (temperaturi, supratemperaturi) ale RD. Se încadrează în categoria *adaptarea unor metode experimentale existente, pentru a fi utilizate în noi aplicații*.

În conformitate cu programul de activități prestabilit, cu referire la acest obiectiv, în etapa precedentă s-a efectuat proiectarea și execuția standului de laborator pentru studiul efectelor energetice și termice ale RD asupra TE, MAS și CD. Schema bloc a standului se reprezintă în fig. 2.

Pentru efectuarea testelor s-a definitivat structura specifică a standului destinat testării celor trei componente ale SPTDUEE, în conformitate cu fig. 3 ÷ 5.



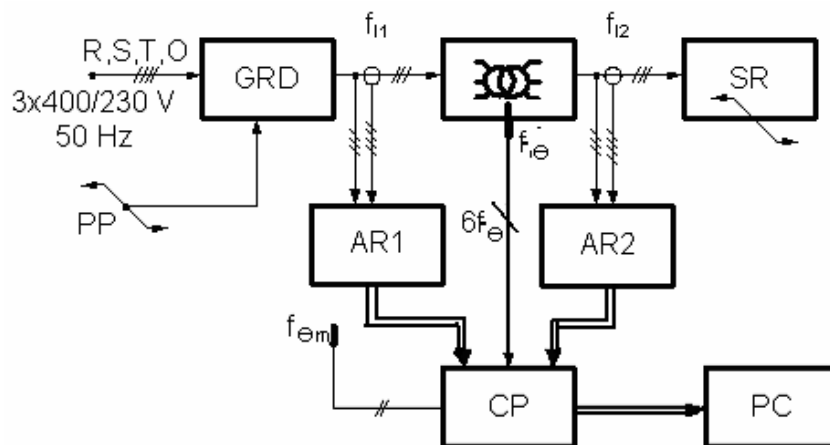


Fig. 3 – Schema electrică a standului pentru testarea TE

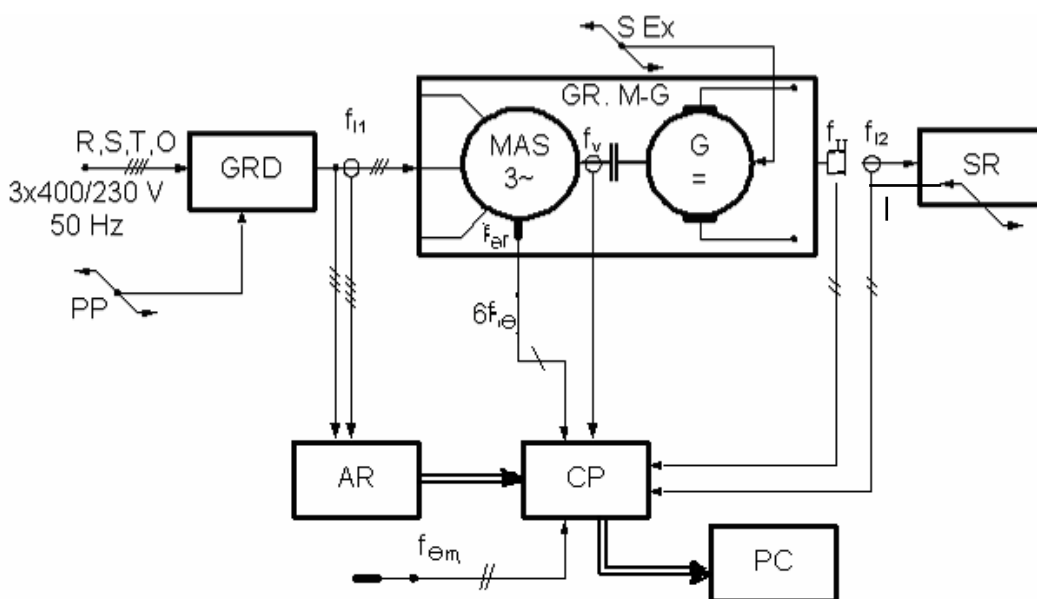


Fig. 4 – Schema electrică a standului pentru testarea MAS

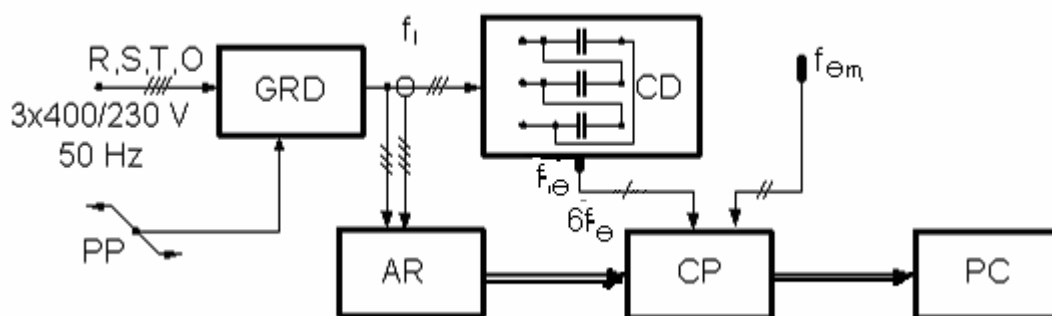


Fig. 5 – Schema electrică a standului pentru testarea CD

S-au efectuat următoarele:

- Testarea a 5 TE [250 VA, 480 VA, 630 VA, 5 kVA, 10 kVA] în RD, evidențierea efectelor energetice și termice, evaluarea indisponibilității TE pentru gama rezonabilă de valori ale mărimilor caracteristice RD, față de RR;

- Testarea a 5 MAS de mică putere [3 X 4 kW, 5,5 kW, 7,5 kW] în RD, evidențierea efectelor energetice și termice, evaluarea indisponibilității MAS pentru gama rezonabilă de valori ale mărimilor caracteristice RD, față de RR;
- Testarea a 5 CD de mică putere [2 X 7,5 kVAr, 10 kVAr, 10,75 kVAr, 20 kVAr] în RD, evidențierea efectelor energetice și termice, evaluarea indisponibilității CD pentru gama rezonabilă de valori ale mărimilor caracteristice RD, față de RR.

Rezultatele testelor sunt prezentate în capitolul 4 al raportului de cercetare, subcapitolele 4.1 și 4.2.

O altă componentă a cercetării aplicative pe care și-a propus-o proiectul de cercetare este studiul fiabilității operaționale a TE din cadrul SPTDUEE care funcționează în RD, comparativ cu TE de aceleași caracteristici și care funcționează în RR.

- S-au analizat 4 transformatoare aflate în 2 stații electrice care funcționează în RD de nivel semnificativ, și anume:
  - Stația electrică „Oradea Centru”: 110/6 kV; 25 MVA;
  - Stația electrică „Viișoara” din exploatarea SDEE Bistrița 110kV/MT; 25 MVA.

Cele 4 transformatoare sunt caracterizate sub aspectul indicatorilor RD și al regimului de sarcină.

S-a efectuat studiul de fiabilitate operațională al celor 40 transformatoare din stațiile electrice de 110 kV/MT aflate în gestiunea SDEE Oradea, determinându-se valorile indicatorului „intensitate de defectare ( $\lambda$ )”. S-au analizat, sub aspectul fiabilității operaționale cele 4 transformatoare, recalculându-se indicatorul ( $\lambda$ )” pentru nivelul mediu al sarcinii celor 40 de transformatoare. Prin comparația valorilor obținute pentru indicatorul ( $\lambda$ )” s-a concluzionat asupra posibilității de a pune în evidență efectul RD asupra fiabilității celor 4 transformatoare de putere. Detalii privind această analiză se prezintă în subcapitolul 4.3 al raportului de cercetare.

### **1.2.2.2. Elaborarea unui sistem software dedicat simulării și evaluării efectelor PTDUEE în RD**

S-au elaborat 3 programe de calcul și anume:

- a) Programul de calcul al daunelor provocate de funcționarea în RD a TE, MAS, CD și LEC, pe componente și subcomponente;
- b) Soft de simulare a RD cu valori variabile în trepte ale mărimilor caracteristice, pentru o RE și un set de consumatori cu caracteristici structurale și energotehnologice definite;
- c) Soft pentru evaluarea efectelor (energetice, fiabilistice, economice) ale RD simulat în RE și la setul de consumatori.

Prezentarea celor 3 pachete software se face în capitolul 5 al raportului de cercetare.

### **1.2.2.3. Validarea MM destinate evaluării efectelor PTDUEE în RD**

După efectuarea testelor s-a parcurs un algoritm de evaluare a  $\Delta P$  și  $\Delta Q$  totale, pe componente și suplimentare, cu referire la TE, CD și MAS. Astfel s-a procedat la:

1. Aplicarea MM la evaluarea pierderilor de putere, a temperaturii și a disponibilității de putere a TE și a CD testate, pentru valorile mărimilor caracteristice RD la care s-au efectuat testele experimentale; compararea rezultatelor, stabilirea valorilor coeficienților de corecție pentru MM;
2. Aplicarea MM la evaluarea pierderilor de putere, a temperaturii și a disponibilității de cuplu și viteză a MAS testate, pentru valorile mărimilor caracteristice RD la care s-au efectuat testele experimentale; compararea rezultatelor, stabilirea valorilor coeficienților de corecție pentru MM;
3. Aplicarea MM la evaluarea IFF previzională ai TE de putere supuse studiului de fiabilitate operațională, pentru valorile mărimilor caracteristice RD identificate la urmărirea în exploatare a TE; compararea rezultatelor, stabilirea valorilor coeficienților de corecție pentru modelul matematic de evaluare ai IFF ai TE în RD.

Rezultatele algoritmului de validare se prezintă în subcapitolul 4.4 al raportului de cercetare.

### **1.2.2.4. Modelarea consecințelor economice ale PTDUEE în RD**

Pe baza efectelor energetice, termice și fiabilistice ale RD asupra componentelor SPTDUEE, s-a procedat la evaluarea consecințelor economice (daune) provocate de RD și la completarea modelelor de optimizare a eficienței economice la compensarea RD. În acest cadru s-au efectuat următoarele:

1. Elaborarea MM de evaluare a daunelor provocate de existența unor pierderi suplimentare de EE în RE, în instalațiile de producere a EE din resurse regenerabile și la consumatori în RD, față de RR;
2. Elaborarea modelului matematic de evaluare a daunelor provocate de reducerea duratei de viață a TE, LEC, CD și MAS, în RD, față de RR;
3. Elaborarea modelului matematic de evaluare a daunelor provocate de reducerea disponibilității de EE la consumatori, a disponibilității sistemelor de acționări electrice cu MAS și a disponibilității instalațiilor de producere a EE din resurse regenerabile;
4. Completarea modelelor de optimizare a eficienței economice a gradului de compensare a RD în RE, la consumatorii de EE și la instalațiile de producere a EE.

### **1.2.2.5. Asigurarea bazei materiale și informaționale pentru evaluarea cercetării**

Baza materială și informațională s-a achiziționat, în cea mai mare parte, pe parcursul etapei precedente. În această etapă s-a completat baza materială cu un

calculator portabil și cu cele trei pachete software elaborate.

### 1.2.2.6. Diseminarea, utilizarea și transferul rezultatelor

Până în prezent autorii cercetărilor efectuate în cadrul acestui proiect, au desfășurat următoarele acțiuni de diseminare, utilizare și transfer al rezultatelor cercetării:

#### 1. Participări la Conferințe:

- CNE – FOREN 2008: 2 participanți

Lucrări prezentate și publicate:

- Evaluarea gradului de afectare a eficienței rețelelor electrice de distribuție în regim deformant și nesimetric; Ioan Felea, Emil Dale, Nicolae Coroiu, Eva Barla;

- CIRED Zonal 2008:

Lucrare acceptată pentru publicare:

- Stabilizing the optimal operation states of transformer stations for supplying the industrial consumers with electric energy, Ioan Felea;

- WESC 2008: 4 participanți

Lucrări prezentate și publicate:

- Consideration on the risk concept for the exploiting personal of the power systems; Ioan Felea, Nicolae Coroiu, Ioan Demeni, Călin Secui, Gabriel Bendea, Constantin Dubău;

- Estimation of distortional operation condition impact on power transformers reliability; Ioan Felea, Călin Secui, Emil Dale;

- ICCCC 2008: 2 participanți

- An application of neuro-fuzzy modelling to prediction of some incidence in an electrical energy distribution center, Simona Dzițac, Ioan Felea, Ioan Dzițac, Tiberiu Wesselenyi;

- CIE 2008: 10 participanți

Lucrări prezentate și publicate:

- Testing procedure of the electric transformer in deforming range; Ioan Felea, Nicolae Rancov, Viorel Haș;

- Testing procedure in distortional operation condition of asynchronous machine; Ioan Felea, Nicolae Rancov, Daniel Albuț-Dana.

#### 2. Lucrări publicate sau acceptate spre publicare în reviste de specialitate:

- An application of neuro-fuzzy modelling to prediction of some incidence in an electrical energy distribution center, Simona Dzițac, Ioan Felea, Ioan Dzițac, Tiberiu Wesselenyi, ICCCC 2008 Journal (ISI);

- Evaluarea sistematică a efectelor energetice ale regimului deformant asupra transformatoarelor electrice de putere, Ioan Felea, Călin Secui, Emil Dale, Simona Dzițac, Eva Barla, Revista Tehnologiile Energiei TDEE;

- Evaluarea indicatorilor de calitate la nivelul sistemului de distribuție a

energiei electrice Oradea, Ioan Felea, Simona Dzițac, Călin Secui, Revista Tehnologiile Energiei TDEE.

3. Lucrări propuse spre publicare în reviste cotate ISI:

- The evaluation of damages caused by the existence of nonsymmetrical and deforming regimes; Ioan Felea, Emil Dale, Energy Economics
- The efficiency of electric distribution networks that operates in distortion and nonsymmetrical regimes, Ioan Felea, Emil Dale, Nicolae Coroiu, Electrical Power and Energy Systems

4. Cereri de brevetare înregistrate la OSIM:

- Procedeu pentru testarea și determinarea pierderilor de putere în mașina asincronă care funcționează în regim deformant;
- Pachet software dedicat simulării efectelor producerii, transportului, distribuției și utilizării EE în RD.

5. Tratatul „Efecte ale regimului deformant” este finalizat și depus la Editura Universității din Oradea pentru publicare.

6. Rezultate cercetărilor sunt integrate în fișele disciplinelor de la programele de master și doctorat care se desfășoară în cadrul Facultății de Energetică, astfel:

- Programul de master „Managementul Sistemelor Energetice”:

Disciplinele:

- Managementul calității și fiabilității sistemelor energetice;
- Managementul și măsurarea calității;
- Audit energetic;
- Simularea și optimizarea sistemelor energetice;

- Programul de Doctorat „Inginerie Energetică”

Disciplina de PUA:

- Ingineria Sistemelor de Energie.

S-a elaborat raportul de cercetare, pentru etapa a doua (2008) care tratează toate problemele fixate prin „planul de activitate” al proiectului pentru anul 2008 și care completează raportul pentru prima etapă, constituind raportul final structurat în peste 300 de pagini, astfel:

- I. Stadiul actual privind identificarea și evaluarea efectelor regimului deformant
- II. Evaluarea sistematică a efectelor energetice ale RD asupra componentelor SPTDUEE
- III. Efectele RD asupra performanțelor de fiabilitate ale echipamentelor din structura SPTDUEE
- IV. Cercetări experimentale și operaționale privind efectele PTDUEE în RD
- V. Evaluarea efectelor economice ale RD
- VI. Pachetul software elaborat pentru analiza RD
- VII. Concluzii

### 1.3. Prezentarea gradului de îndeplinire al obiectivelor și activităților asumate prin proiect

Obiective	Gradul de realizare	Activități	Gradul de realizare	Anul
1. Modelarea efectelor RD asupra fiabilitatii previzionale și a disponibilitatii componentelor SPTDUEE	Total	1.1. Elaborarea MM de calcul a IFF și a disponibilitatii TE, CD și LEC în RD	Total	2007
		1.2. Elaborarea MM pentru evaluarea nivelului de fiabilitate al RE de transport și distribuție caracterizate structural și care funcționează în RD față de funcționarea în RR	Total	
		1.3. Exprimarea IFF ai MAS în RD, a disponibilitatii de putere, cuplu și viteză a MAS în RD	Total	
		1.4. Exprimarea indisponibilitatii MAS care funcționează în RD definit prin anumite valori ale marimilor caracteristice, față de funcționarea MAS în RR	Total	
2. Cercetări aplicative privind efectele transportului, distribuției și utilizării energiei electrice în RD	Total	2.1. Proiectarea unui stand de laborator pentru studiul efectelor energetice și termice ale RD asupra TE, MAS, și CD	Total	2007
		2.2. Studiul fiabilitatii operationale a TE care funcționează în RD, comparativ cu TE având aceleași caracteristici care funcționează în RR. Evidențierea IFF operationala în fiecare caz	Total	
3. Elaborarea unui sistem software dedicat simulării și evaluării efectelor producerii, transportului, distribuției și utilizării EE în RD	Total	3.1. Elaborarea programului de calcul al pierderilor de putere active și reactive și energie în TE, MAS, CD, LEC care funcționează în RD	Total	2007
		3.2. Elaborarea programului de calcul al IFF și al ID ai TE, MAS, CD și LEC care funcționează în RD	Total	
4. Asigurarea bazei materiale și informaționale pentru efectuarea cercetării	Total	4.1. Comanda și aprovizionarea echipamentelor necesare pentru execuția standului de laborator destinat studiului efectelor energetice și termice ale RD asupra TE, MAS și CD	Total	2007
		4.2. Execuția standului de laborator	Total	
		4.3. Culegerea datelor statistice necesare pentru efectuarea studiului de fiabilitate operationala a TP	Total	
		4.4. Achiziția softului de baza și a produselor hardware pentru configurarea pachetului software pentru simularea și evaluarea efectelor TDUEE în RD	Total	
5. Diseminarea, utilizarea și transferul rezultatelor cercetării	Total	5.1. Elaborarea și editarea rapoartelor de cercetare și a documentatiei tip pentru anul 2007	Total	2007
		5.2. Prezentarea rezultatelor cercetării în cadrul unor manifestări științifice de profil (CIRED, CNEE, CIE, EUROCON)	Total	
		5.3. Publicarea rezultatelor cercetării în: Prosiding-uri ale unor conferințe: ➤ CIRED (ISI) – 2 lucrări ➤ EUROCON (ISI) – 2 lucrări ➤ CNEE (B-CNCSIS) – 1 lucrare ➤ CIE (C-CNCSIS) – 2 lucrări	Total	

Obiective	Gradul de realizare	Activități	Gradul de realizare	Anul
0	1	2	3	4
1. Cercetari aplicative privind efectele transportului, distributiei si utilizarii energiei electrice în RD	Total	1.1. Studiul fiabilitatii operationale a TE care functioneaza în RD, comparativ cu TE avand aceleasi caracteristici care functioneaza în RR. Evidentierea IFF operationala în fiecare caz	Total	2008
		1.2. Testarea a 5 TE de mica putere ( $S_n \leq 10$ kVA) în RD, evidentierea efectelor energetice si termice, evaluarea indisponibilitatii TE pentru gama rezonabila de valori ale marimilor caracteristice RD, fata de RR	Total	
		1.3.. Testarea a 5 CD de mica putere ( $Q_n \leq 10$ kVAr) în RD, evidentierea efectelor energetice si termice, evaluarea indisponibilitatii CD pentru gama rezonabila de valori ale marimilor caracteristice RD, fata de RR	Total	
		1.4. Testarea a 5 MAS de mica putere ( $P_n \leq 5,5$ kW) în RD, evidentierea efectelor energetice si termice, evaluarea indisponibilitatii MAS pentru gama rezonabila de valori ale marimilor caracteristice RD, fata de RR	Total	
2. Elaborarea unui sistem software dedicat simularii si evaluarii efectelor producerii, transportului, distributiei si utilizarii EE în RD	Total	2.1. Elaborarea programului de calcul al daunelor provocate de functionarea în RD a TE, MAS, CD si LEC, pe componente si subcomponente	Total	
		2.2. Soft de simulare a RD cu valori variabile în trepte ale marimilor caracteristice, pentru o RE si un set de consumatori cu caracteristici structurale si energotehnologice definite	Total	
		2.3. Soft pentru evaluarea efectelor (energetice, fiabilistice, economice) ale RD simulat în RE si lșa setul de consumatori pentru care s-a efectuat simularea	Total	
3. Validarea MM destinate evaluarii efectelor PTDUEE în RD	Total	3.1. Aplicarea MM la evaluarea pierderilor de putere, a temperaturii si a disponibilitatii de putere a TE si a CD testate, pentru valorile marimilor caracteristice RD la care s-au efectuat teste experimentale. Compararea rezultatelor, stabilirea valorilor coeficientilor de corectie pentru MM	Total	
		3.2. Aplicarea MM la evaluarea pierderilor de putere, a temperaturii si a disponibilitatii de cuplu si viteza a MAS testate, pentru valorile marimilor caracteristice RD la care s-au efectuat teste experimentale. Compararea rezultatelor, stabilirea valorilor coeficientilor de corectie pentru MM	Total	
		3.3. Aplicarea MM la evaluarea IFF previzionala ai TE de putere supuse studiului de fiabilitate operationala, pentru valorile marimilor caracteristice RD identificate la urmarirea în exploatare a TE. Compararea rezultatelor, stabilirea valorilor coeficientilor de corectie pentru modelul matematic de evaluare ai IFF ai TE în RD.	Total	

0	1	2	3	4
4. Modelarea consecințelor economice ale PTDUEE în RD	Total	4.1. Elaborarea MM de evaluare a daunelor provocate de existența unor pierderi suplimentare de EE în RE, în instalațiile de producere a EE din resurse regenerabile și la consumatori în RD, fata de RR	Total	2008
		4.2. Elaborarea modelului matematic de evaluare a daunelor provocate de reducerea duratei de viață a TE, LEC, CD și MAS, în RD, fata de RR	Total	
		4.3. Elaborarea modelului matematic de evaluare a daunelor provocate de reducerea disponibilității de EE la consumatori, a disponibilității sistemelor de act. el. cu MAS și a disponibilității instalațiilor de producere a EE din resurse regenerabile	Total	
		4.4. Completarea modelelor de optimizare a eficienței economice a gradului de compensare a RD în RE, la consumatorii de EE și la instalațiile de producere a EE	Total	
5. Asigurarea bazei materiale și informaționale pentru efectuarea cercetării	Total	5.1. Achiziția unui sistem modern de vizualizare și prezentare a rezultatelor cercetării (laptop)	Total	
6. Diseminarea, utilizarea și transferul rezultatelor cercetării	Total	6.1. Elaborarea și editarea rapoartelor de cercetare și a documentației tip pentru fiecare fază și transmiterea acestora la beneficiar	Total	
		6.2. Prezentarea rezultatelor cercetării în cadrul unor manifestări științifice de profil (CIRED, CNE, CNEE, CIE)	Total	
		6.3. Publicarea rezultatelor cercetării în: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reviste de specialitate; <ul style="list-style-type: none"> <li>➢ IEEE Transmission and Power Delivery (<b>ISI Publication</b>) – 2 lucrări;</li> <li>➢ Rev. Energetica (<b>B-CNCSIS</b>) – 2 lucrări;</li> </ul> </li> <li>• Prosidings-uri ale unor conferințe [CIRED (<b>BDI</b>), CNE (<b>B-CNCSIS</b>), CNEE (<b>B-CNCSIS</b>)] – câte o lucrare;</li> <li>• Ediția a II – a tratatului de specialitate „Efecte ale regimului deformant și nesimetric”</li> <li>• Publicarea tratatului “Efecte ale RDN”, în limba engleză, în publicația ELSEVIER (<b>ISI Publication</b>) pe baza invitației pe care o avem în acest sens</li> </ul>	Total	
		6.4. Prezentarea rezultatelor cercetării în cadrul cursurilor de specialitate ale învățământului de masterat (Calitate și fiabilitate în energetică, Managementul sistemelor energetice) și din cadrul școlii doctorale în energetică	Total	
		6.5. Elaborarea și înregistrarea a două propuneri brevete de invenție (una pentru software și cealaltă pentru metada și stand de laborator pentru studiul efectelor energetice și termice ale RD)	Total	

## 1.4. Concluzie

Obiectivele asumate prin proiect au fost realizate integral, atât în fiecare etapă (2007, 2008), cât și pe ansamblul perioadei de derulare a proiectului.



## II. CONCLUZIILE CERCETĂRILOR EFECTUATE

### Capitolul I

1. Având în vedere importanța identificării și evaluării efectelor RDN asupra echipamentelor electrice și consumatorilor, actualmente există preocupări intense în direcția cercetării acestor regimuri poluante;
2. Conform normativelor naționale, mărimile caracteristice ale regimului deformant sunt: coeficientul de formă, coeficientul de vârf, coeficientul de distorsiune, nivelul armonicilor, indicatorii de influență telefonică;
3. Valorile normate ale mărimilor caracteristice ale RDN fixate prin PE 143/1999 sunt compatibile cu cele conținute în normativele internaționale: EN50160, IEC1000-3-6, IEC1000-3-3;
4. În literatura de profil sunt precizat efectele RDN (pierderi suplimentare de putere, supratensiuni, supracurenți, efecte termice și perturbații asupra liniilor de telecomunicații), însă evaluările cantitative ale pierderilor de putere și efectele termice nu sunt suficient de detaliate;
5. Teoria propagării reziduurilor de putere în rețelele electrice este bine fundamentată și amply ilustrată, dar se necesită evaluarea efectelor energetice, termice, fiabilistice și economice ale acestora asupra echipamentelor și a consumatorilor de energie electrică;
6. Literatura de specialitate conține multiple recomandări privind mijloacele de atenuare a RDN, sunt necesare însă preocupări legate de modernizarea și implementarea acestor echipamente pe considerente economice;
7. O posibilitate de evaluare a efectelor RD este aceea a determinării impedanțelor în RD, (impedanțele armonice), a schemelor echivalente pentru fiecare armonică și pentru o structură a RD;

### Capitolul II Transformator electric

1. Funcționarea transformatoarelor electrice în regim deformant implică apariția unor pierderi suplimentare de putere care afectează randamentul, regimul termic și fiabilitatea acestora.
2. Dacă TE funcționează în RD atunci analiza de pierderi (totale, suplimentare) se face conform principiului suprapunerii efectelor. S-au dedus și s-au redat expresiile de calcul pentru pierderile (active, reactive) de putere în înfășurări, circuitul magnetic și în dielectric, evidențiindu-se pierderile suplimentare a pierderilor de putere în RD. S-au definit și s-au exprimat coeficienții de suplimentare a pierderilor de putere în RD , față de regimul de referință RR (sinusoidal);
3. Modelul matematic elaborat permite determinarea corectă a consumului propriu tehnologic (CPT) al TE în regim deformant. Pe lângă evaluarea cu precizie a pierderilor de putere și energie aferente TE care funcționează în

RD, evidențierea variabilelor RD ( $U_v$ ,  $f_v$ ,  $I_v$ ) face posibilă tratarea adecvată a unor aspecte de optimizare. În acest sens, s-au dedus expresiile factorului de încărcare ( $\beta_{mD}$ ,  $\beta'_{mD}$ ,  $\beta''_{mD}$ ) pentru care randamentul de funcționare al TE este maxim, cu referire la condițiile concrete de funcționare în regim deformant.

4. În regim deformant sunt posibile trei exprimări ale factorului de încărcare pentru care randamentul este optim, în funcție de ipotezele de calcul admise și de nivelul admis al erorilor de calcul [ $(\beta_{mD})$ ,  $(\beta'_{mD})$ ,  $(\beta''_{mD})$ ]. Cunoașterea acestor valori permite operarea adecvată în exploatarea stațiilor electrice, cu scopul optimizării regimului de funcționare al TE, prin aplicarea criteriului „pierderi minime de putere”;
5. TE analizate în cadrul studiului de caz, lucrează într-un RD pronunțat, provocat îndeosebi de consumatorul de tip „tracțiune electrică urbană”; pierderile active de putere (PAP) suplimentare în RD reprezintă 4,5 % din PAP totale în RR; pierderile reactive de putere (PRP) suplimentare în RD reprezintă 19% din PRP totale în RR;
6. Pierderile în RD se pot calcula cu modele relativ simple, conform standard IEEE C57110 și standard IEC 61000
7. Pierderile suplimentare provocate de RD al tensiunii sunt mult mai mici decât cele provocate de RD al curentului și, adesea, cele provocate de RD al tensiunii se neglijează.
8. Armonicile de curent cresc vizibil pierderile de putere în cazul transformatorului având conexiunea stea-triunghi;
9. Pentru TE, documentul de armonizare CENELEC 428, recomandă utilizarea unui factor de reducere a sarcinii, prin care să se compenseze pierderile suplimentare provocate de RD.
10. Studiile efectuate asupra TE de putere arată că uneori rezultatele analitice privind calculul temperaturii (conform IEC60354 și IEEE C57.91) în condiții de RD diferă mult față de valorile măsurate ale temperaturii în aceleași condiții de RD. Un ANN antrenat cu un set propriu de informații dă estimări mai exacte ale temperaturii TE.

## Capitolul 2 – MAS

11. Funcționarea motorului asincron (MAS) în regim deformant (RD) implică următoarele efecte: energetice, termice, fiabilistice și economice;
12. Evaluarea efectelor energetice ale funcționării MAS în RD reprezintă o necesitate, atât pentru evaluarea performanțelor acestuia în condiții improprii de funcționare cât și pentru evaluarea efectelor provocate în rețeaua electrică;
13. Pentru evaluarea efectelor energetice ale funcționării MAS în RD se impune o analiză sistematică a pierderilor de putere în componentele acestuia (înfășurări, circuitul magnetic, pierderi mecanice, influența asupra alunecării și a cuplului electromagnetic);
14. Pierderile suplimentare de putere reactivă care apar la funcționarea MAS în

- RD influențează performanțele de disponibilitate ale MAS;
15. S-au introdus o serie de coeficienți de corecție pentru parametrii din schema echivalentă în RD. Pentru evaluarea parametrilor schemei echivalente, se apelează la metoda elementelor finite, luând în calcul variația cu frecvența a parametrilor și saturația.
  16. În cazul alimentării MAS printr-o tensiune nesinusoidală modelarea impune câte o schemă echivalentă pentru fiecare armonică, recalculând parametri, utilizarea schemei specifice fundamentalei (schema de bază) introducând erori datorate fenomenelor intime care se manifestă în circuitul magnetic. O evaluare simplificată se face prin modificarea valorii rezistenței echivalente a circuitului magnetic ( $R_m$ ) în funcție de conținutul de armonici.
  17. La evaluarea analitică a efectelor RD asupra pierderilor în MAS se admit ipotezele:
    - $\mu = \text{ct.}$  (determinată pentru fundamentală);
    - pierderile prin histerezis sunt neglijabile față de cele prin curenți turbionari, ceea ce permite cumularea pentru toate armonicile a pierderilor prin curenți turbionari, pentru determinarea pierderilor în fier;
  18. La evaluarea analitică a pierderilor în fier și înfășurări se are în vedere faptul că o anumită armonică produce pierderi doar pe adâncimea de pătrundere corespunzătoare frecvenței, ceea ce se introduce în calcul printr-o constantă de echivalare a ariei geometrice ( $k = 0,3$ );
  19. Pentru a determina impactul nivelului de saturație al circuitului magnetic asupra pierderilor de putere în MAS se recomandă a se analiza puterea instantanee de magnetizare ca funcție de rata de magnetizare ( $dB/dt$ ) și inducție ( $B$ ).
  20. La calculul pierderilor în circuitul magnetic ( $P_F$ ) însumarea pierderilor de putere pentru fiecare armonică dă rezultate satisfăcătoare în cazul pierderilor prin curenți turbionari, dar cu privire la pierderile prin histerezis rezultatele sunt controversate deoarece, în acest caz, faza fiecărei armonici cotează.
  21. Cercetările experimentale au demonstrat o legătură strânsă între rata de magnetizare ( $dB/dt$ ) și puterea instantanee de magnetizare (pierderile de putere) fig. 2.19, ceea ce înseamnă că modelul clasic utilizat ( $\Delta P_F \sim f^{1,3} B^2$ ) este inexact.
  22. Carcasa MAS emite în mediu circa 75% din puterea disipată pe mașină, iar restul este emisă, în bună parte, prin scuturi.
  23. Metoda de determinare a pierderilor suplimentare pe MAS este, conform IEC 61972 și IEEE 112, aceea a diferenței dintre pierderile totale și cele cunoscute ( $\Delta P_F, \Delta P_W, \Delta P_M$ ). Pierderile totale se calculează ca diferență între puterea intrată și cea ieșită (metoda intrare – ieșire).
  24. Datorită preciziei sale ridicate (0,2 % pentru MAS sub 30 kW și 0,5 % peste 30 kW) și a independenței față de puterea nominală, metoda calorimetrică se pretează la verificarea metodei intrare – ieșire (standard) și la determinarea pierderilor suplimentare .

25. Utilizarea modelului prezentat pentru evaluarea performanțelor energetice ale funcționării MAS în regim deformant este facilitată de faptul că acest model este astfel construit încât să opereze cu mărimi prelevate direct din procese, cu ajutorul unor înregistratoare specializate (valorile efective ale tensiunilor și curenților armonici și frecvențelor acestora).
26. Pierderile suplimentare relative provocate de RD la MAS, au următoarea evoluție:
- Scad odată cu creșterea frecvenței fundamentale, la o sarcină dată;
  - Scad odată cu creșterea sarcinii, în principal, la valori mici ale frecvenței fundamentale [(10 – 20) Hz].
27. Testele actuale permit evaluarea cumulată a pierderilor suplimentare totale provocate de RD la MAS, nefiind posibilă separarea prin măsurători a celor două componente (fier, înfășurări).
28. Rezultatele numerice obținute pe baza evaluărilor în regimul deformant (RD):
- Pierderile active în înfășurări scad (față de regimul de referință RR odată cu scădere încărcării MAS și anume pentru încărcări în gama [0,2 – 1], scăderea variază în gama: [80% - 5%];
  - Pierderile active în circuitul magnetic ( $\Delta P_F$ ) se mențin constante în raport cu variația sarcinii;
  - Pierderile mecanice ( $\Delta P_M$ ) cresc cu scăderea încărcării, deoarece scade alunecarea, deci crește turația, rezultă creșterea pierderilor prin frecări în lagăre, rulmenți prin ventilație, etc., variația este [0,03% - 3,2%];
  - Pierderile suplimentare de putere activă ( $\Delta P_S$ ) scad cu încărcarea de la [20% - 0,24%];
  - Pierderile reactive de putere, de magnetizare ( $\Delta Q_o$ ) au o creștere de 10% față de RR și se mențin constante în raport cu încărcarea;
  - pierderile reactive, prin dispersie ( $\Delta Q_K$ ) cresc cu încărcarea între [0,04 – 21 %];
  - rezultă creșterea energiei absorbite, în raport invers cu încărcarea, în gama [12,5 % - 89 %];
29. Se constată deci, în general, că:
- Abaterile pierderilor active și reactive de putere în RD față de regimul de referință sunt semnificative, îndeosebi la sarcini normale ( $M_R / M_N \in [0,6 \div 11]$ ;
  - Funcționarea MAS în RD implică importante consumuri energetice (active și reactive) suplimentare, inutile și reduce capacitatea de încărcare a mașinii.
30. Se constată că, funcționarea condensatoarelor electrice în RD este periclitată, în sensul că, pierderile de putere cresc în aceste echipamente, în plus, trebuie avute în vedere fenomenele de rezonanță. Dimensionare bateriilor de condensatoare trebuie corect efectuată, ținând seama de posibilitatea apariției RD și de efectul distructiv al armonicilor asupra condensatoarelor.

### Capitolul III

1. Regimul deformant afectează fiabilitatea transformatoarelor electrice sub aspectul siguranței de timp și al disponibilității de putere și energie;
2. Pornind de la relația între temperatură și puterea disipată pe transformator, se pot exprima analitic indicatorii „siguranță de timp” și de disponibilitate / indisponibilitate ai transformatorului, în funcție de indicatorii care caracterizează regimul deformant. S-au pus în evidență expresiile de calcul ale indicatorilor: durata de viață, factorul de îmbătrânire termică relativă, uzura termică relativă, MTBF,  $\lambda$ , probabilitatea de bună funcționare și indisponibilitatea de putere;
3. pentru estimarea duratei de viață a echipamentelor mașinilor și condensatoarelor (EMC  $\equiv$  transformator, MAS și condensatoarele) se aplică două modele:
  - Modelul simplificat (Arrhenius) care se bazează pe relația între durata de viață și temperatură, deci ia în calcul doar fenomenul de îmbătrânire a izolației;
  - Modelul complet (Arrhenius + energetic) ia în calcul, pe lângă solicitarea termică, efectul solicitărilor de altă natură (electrice, mecanice).
4. Evaluarea efectivă a indicatorilor menționați, la transformatorul electric necesită cunoașterea coeficientului de corelație temperatură – pierderi ( $\alpha$ ), a constantelor caracteristice materialului electroizolant (a, b, A, B) și a indicatorilor regimului de funcționare ( $\beta$ ,  $K_{DI}$ ,  $K_{DF}$ ,  $K_{DD}$ ) pentru transformatorul analizat.
5. Elementele din structura transformatorului la care performanța siguranței de timp este afectată evident în RD sunt: înfășurările și izolațiile între înfășurări și față de circuitul magnetic;
6. Pentru evaluarea indicatorilor de fiabilitate ai echipamentelor electrice în RD se necesită reprezentarea diagramei echivalente de fiabilitate a acestora, evidențiindu-se elementele din structura TE care sunt afectate de RD și elementele care nu sunt afectate de RD;
7. Analiza performanțelor de fiabilitate ale liniilor electrice, condensatoarelor electrice și ale mașinii electrice asincrone se face aplicând aceiași metodologie ca și în cazul transformatorului electric;
8. Pentru componentele de rețea sau racordate la rețea (LEC, CD, MAS) analizate, modelul de evaluare al indicatorilor de siguranță de timp este același ca și în cazul TE, dar diagramele echivalente de fiabilitate sunt specifice, adaptate la structura și modurile de defectare ale acestor componente.
9. Mărimile, în raport cu care se analizează disponibilitatea celor patru echipamente sunt strâns corelate cu rolul acestora în proces, astfel:
  - Puterea aparentă – în cazul TE și LEC;

- Puterea reactivă – în cazul CD;
  - Cuplul util și viteza unghiulară - în cazul MAS.
10. Nivelul de afectare al performanțelor de fiabilitate ale LEA în RD este neglijabil;
11. Cu referire la aplicația prezentată se poate observa că, chiar și în cazul unor RD nu foarte severe, influența asupra indicatorilor de siguranță este semnificativă, ceea ce întărește convingerea că preocupările pentru evaluarea performanțelor de fiabilitate ale echipamentelor electrice în RD sunt pe deplin justificate.
12. Evaluarea statistică și analitică utilizând modelul complet a duratei de viață, pentru elementele SPTDUEE, a condus la următoarea ierarhizare (de la cel mai puțin fiabil, la cel mai fiabil): conductor LEA - cablu transformator de putere - întreruptor.

## Capitolul IV

1. Determinarea experimentală a pierderilor de putere în regim deformant (RD) implică generarea în laborator a RD se poate face prin două metode (intrare-ieșire sau metoda calorimetrică) și implică adaptarea structurii standului de testare la tipul EMC testat: transformator (TE), mașină asincronă (MAS), condensator (CD).
2. Determinările experimentale pe toate cele 3 categorii de elemente ale SPTDUEE reflectă – pentru toate exemplarele testate – diferențe ale valorilor pierderilor de putere (activă și reactivă) diferite față de valorile determinate analitic (pe bază de model matematic), ceea ce justifică aplicarea unor coeficienți de corecție asupra modelului analitic.
3. Rezultatele testelor de laborator efectuate asupra TE conduc la următoarele concluzii:
  - Coeficientul „ $\alpha$ ” are valori variabile cu încărcarea (supratemperatura), prin urmare metoda calorimetrică implică utilizarea unei caracteristici  $\alpha = f(A\theta)$ ;
  - Cele mai credibile rezultate sunt cu referire la  $TE_1 \div TE_3$ , unde factorul de încărcare are valori normale  $[0,2 \div 0,75]$ . Pentru celelalte două transformatoare ( $TE_4, TE_5$ ) nivelul de încărcare fiind anormal de redus  $[0,02 \div 0,36]$ , rezultatele vor fi avute în vedere doar la încărcări rezonabile (minim 0,2);
  - Factorul de corecție al PAP este, cu certitudine, supraunitar, ceea ce înseamnă că valorile reale (în funcționare) ale PAP sunt mai mari decât valorile calculate analitic. Se constată o dependență clară a factorului de corecție al PAP ( $k_{\Delta PD}$ ) de nivelul de încărcare al TE, în sensul proporționalității [odată cu creșterea factorului de încărcare ( $\beta$ ) crește factorul de corecție ( $k_{\Delta PD}$ )]. Pentru transformatoarele analizate, la încărcare rezonabilă ( $\beta \geq 0,2$ ) se obține o valoare medie a factorului

de corecție al PAP:  $k_{\Delta PD} = 2,34$ .

- PAP reale sunt mai mari decât valorile teoretice datorită faptului că PAP în înfășurări reale sunt mai mari decât cele teoretice (determinate analitic). Pentru încărcările rezonabile, la toate TE testate se constată:
    - Valori mai mari ale PAP în înfășurări determinate experimental față de valorile determinate analitic. Tendința de variație cu sarcina a PAP suplimentară în înfășurările TE care funcționează în RD este aceeași ca și pentru PAP totale, adică de creștere odată cu creșterea sarcinii. Valoarea medie a factorului de corecție pentru PAP în înfășurări pentru valori rezonabile ale sarcinii ( $\beta \geq 0,2$ ) este  $k_{\Delta PW} = 4,32$ .
    - Valori mai mici ale PAP în circuitul magnetic determinate experimental, față de valorile determinate analitic. NU s-a identificat o dependență a PAP suplimentare în circuitul magnetic al TE, calculată pentru valori rezonabile ale sarcinii ( $\beta \geq 0,2$ ) este  $k_{\Delta PF} = 0,4$ .
  - Factorul de corecție al PRP este, cu certitudine, subunitar, ceea ce înseamnă de valorile reale ale PRP sunt mai mici decât cele calculate analitic. Se constată tendința de variație a factorului de corecție și deci al PRP suplimentare în același sens factorul de încărcare (se cuvine precizarea că factorul de încărcare include și nivelul de tensiune). Valoarea medie a factorului de corecție al PRP, obținută prin prelucrare rezultatelor evidențiate la TE cu încărcare rezonabilă ( $\beta \geq 0,2$ ) este  $k_{PRP} = k_{\Delta Q} = 0,69$ .
4. Rezultatele testelor de laborator efectuate asupra CD conduc la concluzia că, pentru toate CD, valorile pierderilor active de putere (PAP) reale (în funcționare) sunt mai mari decât valorile calculate analitic. Constatăm tendința de scădere a factorului de corecție odată cu creșterea tensiunii. Valoarea medie a factorului de corecție al PAP pentru CD testate este  $k_{CD} = 2,73$ .
5. Rezultatele testelor de laborator efectuate asupra MAS, conduc la următoarele concluzii:
- Coeficientul „ $\alpha$ ” are valori variabile cu încărcarea, ceea ce înseamnă că utilizarea metodei calorimetrice presupune operarea cu caracteristica  $\alpha = f(A\theta)$ ;
  - Factorul de corecție al PAP este, cu certitudine supraunitar (ca și în cazul TE). Prin urmare valorile reale (în exploatare) ale PAP pe MAS sunt mai mari decât valorile calculate analitic. În cazul MAS nu s-a identificat o dependență a factorului de corecție al PAP cu nivelul de încărcare al motorului. Pentru MAS testate, valoarea medie a factorului de corecție al PAP este  $k_{\Delta PD} = 2,22$ ;
  - Valorile PAP reale sunt mai mari decât valorile determinate analitic

datorită creșterii PAP în înfășurări reale, față de PAP în înfășurări teoretice. Valoarea coeficientului de corecție al PAP în înfășurări este  $k_{\Delta PW} = 3,75$ ; iar valoarea coeficientului de corecție al PAP în circuitul magnetic al MAS este  $k_{\Delta PF} = 0,65$ ;

- Factorul de corecție al PRP are, în unele cazuri valori supraunitare, iar pentru alte MAS, valori supraunitare. Valoarea medie acestui factor de corecție pentru MAS testate, este  $k_{PRP} = k_{\Delta PW} = 1,15$ ; ceea ce reflectă o bună precizie a modelului analitic pentru PRP în MAS;
  - Se remarcă tendința de creștere odată cu sarcina MAS, determinate experimental, față de PAP determinate analitic.
6. Rezultatele experimentale obținute, sintetizate mai sus, reflectă, necesitatea aplicării unor coeficienți asupra modelelor (formulelor) de calcul ale pierderilor de putere (active, reactive), totale și pe componente, în TE, MAS și CD care funcționează în RD. Pentru început se recomandă utilizarea valorilor menționate mai sus [punctele 3 ÷ 5] ale factorilor de corecție, urmând ca – pe baza unor teste ulterioare – valorile acestora să fie calculate cu o mai bună precizie.
7. Estimarea impactului regimului deformant asupra fiabilității transformatoarelor de putere se face prin calculul indicatorului „reducerea duratei de bună funcționare, în regim deformant, față de regimul sinusoidal”.

Pentru estimarea duratei de bună funcționare (de viață) a TP, inclusiv în RD, se recomandă operarea cu modelul de tip Eyring, având două variabile: sarcina permanentă (S) și temperatura ( $\theta$ ) dependentă direct de pierderile de putere pe TP.

Evaluarea cu un nivel de încredere corespunzător a constantelor modelului pentru durata de bună funcționare, implică existența unei baze de date, pentru un număr semnificativ de TP și pentru un interval de cel puțin 5 ani.

Rezultatele obținute reflectă următoarele:

- fiabilitatea TP este influențată de nivelul RD de lucru al TP;
- regimul deformant de curent are un impact mult mai mare asupra fiabilității TP, comparativ cu RD de tensiune;
- există o suprapunere relativ bună între rezultatele obținute prin aplicarea modelului (TBF) și cel obținute în cadrul studiului de fiabilitate operațională al TP analizat.

Rezultatele obținute pe baza modelului prezentat sunt perfectibile prin integrarea într-o rețea neuronală artificială care să asigure actualizarea continuă a datelor de intrare constantelor și a indicatorilor de fiabilitate evaluați.

## Capitolul V

1. Funcționarea rețelelor electrice în regim deformant (RD) provoacă următoarele categorii de daune: pierderi suplimentare de energie, reducerea duratei de viață a transformatoarelor și liniilor electrice în cablu,



indisponibilități de putere și energie. Aceste categorii de daune se pot exprima analitic, pe baza parametrilor înregistrați ai RD și pe baza caracteristicilor elementelor din structura rețelei.

2. Exprimarea analitică a celor trei categorii de daune, conduce la concluzia existenței următoarelor componente de daună, reprezentând consumuri suplimentare în RDN, față de regimul de referință: energetică, materială, forță de muncă retribuită suplimentar, profit nerealizat de către furnizorul de energie electrică.
3. Pentru stabilirea soluției de filtrare a armonicilor se va aplica algoritmul: înregistrarea mărimilor RD – proiectul tehnic (variante) – analiza economică (variantă optimă).
4. Pentru analiza economică a variantelor de compensare a regimului deformant se pot aplica criteriile „durata de recuperare a investiției”, „cheltuieli anuale de calcul”, „cheltuieli totale actualizate”, „efort economic justificat”.
5. Pentru stabilirea succesiunii de efectuare a investițiilor în instalațiile de filtrare (ierarhizarea amplasării compensatoarelor de RD), în cazul unui sistem care necesită mai multe compensatoare, se recomandă aplicarea criteriului „efort economic raportat minim”.
6. Evaluarea duratei de recuperare a investiției pentru compensatorul proiectat conduce la concluzia că amplasarea acestuia în punctul vizat este avantajoasă sub aspect economic.
7. Cu referire la studiul de caz efectuat detaliat se pot face următoarele constatări:
  - Sunt depășiri ale limitelor admise (normate) în România ale coeficienților de distorsiune;
  - Măsurători efectuate, inclusiv valorile ale coeficienților de distorsiune, conduc la concluzia că, o bună parte din energia pe nivele energetice inutile, generată de consumatorii deformanți, se transmite înspre surse, amplificând consecințele RD în rețea și numai o parte din energia menționată se transmite înspre consumatorii liniari și echilibrați;
  - Pierderile suplimentare de energie provocate de funcționare transformatoarelor analizate în RD pe parcursul unui an se estimează la 3318,06 MWh;
  - Funcționarea în RD conduce la reducerea duratei de viață a transformatoarelor și liniilor electrice în cablu, cu atât mai semnificativă cu cât încărcarea este mai mare și abaterea față de regimul de referință este mai pronunțată; Elementele afectate sunt: pentru TE Cicero, Redresori, Zamfirescu, Trafo 1, Trafo 2, (St. Oradea Centru) și AT 200 (St. Oradea Sud), iar pentru liniile electrice: Redresori și Zamfirescu. Pentru celelalte elemente din rețeaua analizată reducerea duratei de viață este puțin semnificativă.

- Daunele provocate de funcționare rețelei analizate în RD sunt estimate la 321014,5 Euro / an, din care ponderea o deține categoria de daună provocată de consumul suplimentar de energie în transformatoare și liniile electrice 198975.4 Euro/an. Sunt semnificative și daunele provocate de reducerea duratei de viață a transformatoarelor și LEC 122039,1 Euro/an. La nivelul rețelei analizate nu se înregistrează daune provocate de indisponibilități ale elementelor de rețea, datorită încărcării relativ reduse a acestora.

8. Daunele menționate sunt, actualmente suportate, practic, de către furnizorul de energie electrică. Această situație este anormală întrucât RD este generat de către o serie de consumatori. Pentru a corecta această stare de fapt sunt posibile trei direcții de acțiune:

- Reducerea (la limită eliminarea) RD prin obligarea consumatorilor în cauză să-și monteze compensatoare de armonici și să-și simetrizeze consumurile;
- Facturarea la consumatorii în cauză a contravalorii daunelor provocate de RD pe care-l generează;
- Acțiuni comune, de tip DSM, ale furnizorului în colaborare cu consumatorii de energie în direcția corectării indicilor de calitate ai energiei electrice.

Declanșarea unor acțiuni menite să amelioreze calitatea energiei electrice este condiționată de efectuare unor analize tehnico-economice care să stabilească dacă asemenea acțiuni sunt oportune sau nu sunt oportune.

## Capitolul VI

1. În acest capitol se prezintă pachetul software ESRD (Evaluarea și Simularea Regimului Deformant) elaborat pentru evaluare efectelor energetice, de fiabilitate și economice ale regimului deformant asupra SPTDUEE. Programul ESRD este structurat astfel:

- Modul pentru crearea unei baze de date cu privire la caracteristicile regimului deformant și ale rețelei electrice. În cadrul rețelei electrice sunt analizate efectele regimului reformant asupra transformatoarelor electrice de putere și asupra liniilor electrice;
- Modul pentru evaluarea pierderilor de putere și energie în regim deformant, a pierderilor suplimentare de putere și energie în regim deformant față de regimul de referință (sinusoidal),
- Modul pentru evaluarea daunelor în regim deformant în rețelele electrice și evaluarea reducerii duratei de viață a transformatoarelor și liniilor electrice în regim deformant față de regimul de referință;
- Modul pentru simularea diferitelor regimuri deformante și evaluarea pentru fiecare dintre acestea a efectelor energetice, de fiabilitate și economice. Rezultatele obținute pot fi vizualizate tabelar sau grafic.

2. De asemenea au fost elaborate module de calcul în mathcad care vizează

evaluarea următoarelor aspecte:

- Evaluarea efectelor energetice ale funcționării MAS în regim deformant;
- Evaluarea efectelor energetice ale funcționării bateriilor de condensatoare în regim deformant;
- Evaluarea impactului regimului deformant asupra indicatorilor de fiabilitate ai liniilor în cablu;
- Evaluarea impactului regimului deformant asupra indicatorilor de siguranță ai transformatoarelor de putere.