

IMPLEMENTAREA CONCEPTULUI SMART GRID ÎN MONITORIZAREA ON-LINE ȘI ÎNCĂRCAREA DINAMICĂ A LINIILOR ELECTRICE AERIENE

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

Ing. Luca - Nicolae IACOBICI

Conducător științific: Prof.univ.dr.ing. Petru ANDEA

2022

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- | | |
|---|---|
| 1. Automatică | 11. Știința și Ingineria Materialelor |
| 2. Chimie | 12. Ingineria Sistemelor |
| 3. Energetică | 13. Inginerie Energetică |
| 4. Inginerie Chimică | 14. Calculatoare și Tehnologia Informației |
| 5. Inginerie Civilă | 15. Ingineria materialelor |
| 6. Inginerie Electrică | 16. Inginerie și Management |
| 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații | 17. Arhitectură |
| 8. Inginerie Industrială | 18. Inginerie Civilă și Instalații |
| 9. Inginerie Mecanică | 19. Inginerie Electronică, Telecomunicații și Tehnologii Informaționale |
| 10. Știința Calculatoarelor | |

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

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2021

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

România, 300223 Timișoara, Bd. Vasile Pârvan 2B
Tel./fax 0256 404677
e-mail: editura@upt.ro

PREFAȚĂ

Teza de doctorat este rodul activității de mai mulți ani sub îndrumarea permanentă, generoasă și plină de înțelegere a conducătorului științific, Prof.univ.dr. ing. Petru Andea, căruia îi adresez cele mai respectuoase mulțumiri și pe această cale, pentru modul în care a știut să mă ghideze.

Lucrarea reprezintă o sinteză a rezultatelor de cercetare ale autorului, în perioada octombrie 2014 – martie 2022, în cadrul studiilor doctorale în domeniul *Inginerie Energetică* la *Universitatea Politehnica Timișoara*.

În acești ani, am avut șansa să particip, în cadrul CNTEE Transelectrica SA, la cercetarea, inițierea, coordonarea și implementarea unor importante proiecte de rețehnologizare a unor stații electrice și de construire a noi linii electrice aeriene în zona de Vest, Sud-Vest a României, proiecte care au avut și au o strânsă legătură cu tema tezei de doctorat. De asemenea, am avut o bună colaborare cu *Centrul de Cercetare pentru Analiza și Optimizarea Regimurilor Sistemelor Electroenergetice*, condus de Prof.univ.dr.ing. Ștefan Kilyeni. Aceste activități de cercetare au avut o puternică influență asupra formării și orientării mele profesionale. În acest context adresez mulțumiri Prof.univ.dr.ing. Ștefan Kilyeni, Conf.dr.ing. Doru Vătău, Conf.dr.ing. Flavius Frigură, Conf.dr.ing. Constantin Bărbulescu, împreună cu care am și publicat lucrări, pentru ajutorul acordat prin punerea la dispoziție a rezultatelor obținute în tezele de doctorat anterioare, pentru observațiile și sfaturile primite, mereu constructive, pentru îndrumarea și colaborarea permanentă.

În mod deosebit vreau să mulțumesc dr.ing. Constantin Moldoveanu – Director General SC Nova Industrial SA, împreună cu care am concretizat realizarea, testarea și omologarea echipamentelor de monitorizare on-line a liniilor electrice aeriene, pentru ajutorul deosebit în finalizarea cercetării. De asemenea, vreau să mulțumesc domnului Dumitru Corduneanu – Director General SC Electromontaj București SA, pentru sprijinul în montarea și demontarea echipamentelor testate pe liniile electrice aeriene.

Pentru sprijinul acordat în vederea finalizării tezei, doresc să adresez mulțumiri călduroase conducerii Departamentului de Electroenergetică – m-au încurajat și mi-au oferit un real ajutor. În mod special membrilor comisiei de îndrumare, care în toți acești ani i-am simțit alături de mine, cu sfaturi și critici binevenite, de un real folos pentru finalizarea tezei: Prof.dr.ing. Flavius Dan Șurianu, P.dr.ing. Flaviu Frigură-Iliasa și Șef lucr.dr.ing. Ioan Borlea.

Doresc să remarc, alături de recunoștința mea, ajutorul de care am beneficiat din partea colegilor mei specialiști din cadrul CNTEE Transelectrica SA, în special a dr.ing. Ioan Dorin Hațegan, Directorul Direcției tehnice, prin asigurarea suportului atât pe partea teoretică, cât și aplicativă a tezei.

Mulțumesc în mod deosebit membrilor comisiei de analiză a tezei de doctorat, Prof.univ.em.dr.ing. Mircea Eremia (Universitatea Politehnica din București), Prof.univ.em.dr.ing. Adrian Badea (Universitatea Politehnica din București) și Prof.dr.ing. Ștefan Kilyeni (Universitatea Politehnica Timișoara), pentru atenția cu care au parcurs teza de doctorat, pentru observațiile și aprecierile formulate, pentru sfaturile primite.

Nu în ultimul rând, doresc să adresez cele mai sincere mulțumiri familiei mele, pentru sprijinul și înțelegerea acordate în toți acești ani.

Timișoara, ianuarie 2022

Luca - Nicolae Iacobici

IACOBICI, Luca - Nicolae

Implementarea conceptului Smart Grid în monitorizarea on-line și încărcarea dinamică a liniilor electrice aeriene

Cuvinte cheie: Smart Grid, monitorizare on-line, linii electrice aeriene, mentenanță, sistem NOVA OHLM, regim dinamic de încărcare, sistem NOVA IZOMON

Rezumat: În această teză sunt prezentate rezultatele preocupărilor autorului pentru managementul stării tehnice și al funcționării liniilor electrice aeriene, respectiv pentru dezvoltarea și utilizarea sistemului inteligent, românesc, NOVA OHLM, pentru monitorizarea on-line, în timp real, a parametrilor de funcționare și de stare tehnică a liniilor electrice aeriene din rețeaua electrică de înaltă tensiune din România.

Sistemul NOVA OHLM este un sistem modular, fiecare modul fiind dedicat pentru măsurarea și monitorizarea on-line, în timp real, a curentului prin conductorul liniei, a temperaturii conductorului liniei, a săgeții conductorului liniei, a forței de tracțiune a conductorului liniei, a oscilațiilor conductorului liniei, a parametrilor mediului ambiant etc.

Sunt prezentate principiile pe baza cărora funcționează modulele sistemului NOVA OHLM, rezultatele testelor efectuate în laboratoarele de încercări curenți tari, respectiv încercări înaltă tensiune sau în rețeaua electrică de transport din România, performanțele și avantajele tehnice net superioare ale sistemului de monitorizare NOVA OHLM comparativ cu sisteme similare de pe piața internațională.

Exemplele prezentate în lucrare au la bază experiența aplicării sistemului NOVA OHLM în cadrul Companiei Naționale de Transport al Energiei Electrice – CNTEE "Transelectrica" SA.

Sistemul performant NOVA OHLM constituie componenta de bază care face posibilă introducerea și aplicarea în mod curent a tehnologiei de încărcare dinamică a liniilor electrice aeriene din România, cu beneficii tehnico-economice deosebite.

De asemenea, în lucrare sunt prezentate rezultatele utilizării în premieră națională și internațională a sistemului de monitorizare on-line a liniilor electrice aeriene și a sistemului de monitorizare on-line a curenților de scurgere la izolatoare, pentru elucidarea cauzelor producerii intempestive a ruperii unor izolatoare compozit de 400 kV pe linia electrică aeriană București Sud-Pelicanu și în stația 400/220/110 kV București Sud. Rezultatele au fost obținute folosind sistemele de monitorizare NOVA OHLM și NOVA IZOMON.

CUPRINS

CUPRINS	5
ACRONIME	7
DEFINIȚII	9
LISTA DE FIGURI	11
LISTA DE TABELE	15
1. INTRODUCERE	17
2. SMART GRID – CONCEPT, DEFINIȚII, ARGUMENTE	23
2.1. Conceptul Smart Grid (SG).....	23
2.2. Factorii care susțin introducerea Smart Grid	28
2.2.1. Necesitatea modernizării rețelelor electrice actuale.....	28
2.2.2. Funcțiile Smart Grid în contextul monitorizării on-line a liniilor și stațiilor electrice.....	32
2.2.3. Domeniile Smart Grid și actorii implicați	34
2.2.4. Beneficiile realizării rețelelor inteligente	34
2.3. Concluzii	36
3. MONITORIZAREA ON-LINE A LINIILOR ELECTRICE AERIENE DE ÎNALTĂ TENSIUNE	37
3.1. Necesitatea monitorizării on-line	37
3.2. Parametrii de funcționare și de stare tehnică a LEA	43
3.3. Echipamente de monitorizare on-line a LEA de înaltă tensiune	43
3.4. Concluzii	48
4. ÎNCĂRCAREA DINAMICĂ A LINIILOR ELECTRICE AERIENE DE ÎNALTĂ TENSIUNE (REGIMUL DLR)	49
4.1. Considerații preliminare.....	49
4.2. Scopul evaluării stării LEA și al aplicării tehnologiei DLR.....	50
4.3. Factori care afectează capacitatea termică de încărcare a LEA	51
4.4. Regimuri de încărcare a LEA	52
4.5. Beneficiile tehnologiilor DLR	58
4.6. Concluzii	59
5. SISTEME DE MONITORIZARE A PARAMETRILOR FUNCȚIONALI ȘI DE STARE AI LEA	61
5.1. Analiza critică a sistemelor de monitorizare existente la ora actuală.....	61
5.1.1. Considerații preliminare	61
5.1.2. Sistemul Power Donut.....	62
5.1.3. Sistemul ASTROSE	64
5.1.4. Sistemul intelligent HiTLMS	65
5.1.5. Sistemul OLM	66
5.1.6. Sistemul TLSM	68
5.1.7. Sistemul SMT	69
5.1.8. Sistemul AMPACIMON	70
5.1.9. Sistemul OTLM.....	72
5.1.10. Sistemul LINEAMPS	73
5.1.11. Sistemul CAT 1.....	75
5.1.12. Concluziile analizei	77

5.2. Principii care stau la baza specificației tehnice pentru sistemul de monitorizare on-line propus	78
5.3. Specificație tehnică pentru sistemul de monitorizare on-line propus în teză	80
5.3.1. Considerații preliminare	80
5.3.2. Standarde de referință	80
5.3.3. Condiții de funcționare	81
5.4. Concluzii	83
6. SISTEMUL OHLM DE MONITORIZARE ON-LINE ȘI DE ÎNCĂRCARE DINAMICĂ A LEA	85
6.1. Considerații preliminare și domeniul de utilizare	85
6.2. Arhitectura sistemului OHLM	86
6.3. Caracteristicile funcționale ale sistemului OHLM	87
6.4. Caracteristicile constructive ale sistemului OHLM	95
6.4.1. Subsistemul OHLM pentru monitorizarea parametrilor de funcționare a LEA	95
6.4.2. Subsistemul OHLM M pentru monitorizarea condițiilor de mediu	99
6.4.3. Subsistemul OHLM E (sursă independentă de alimentare cu energie electrică)	100
6.5. Prezentarea aplicației software a sistemului OHLM	101
6.5.1. Considerații preliminare	101
6.5.2. Aplicația soft NOVA OHLM Server	101
6.5.3. Aplicația soft NOVA OHLM Client	109
6.6. Proiectul Pilot de monitorizare on-line a LEA 400 kV București Sud-Pelicanu	116
6.6.1. Necesitatea implementării Proiectului Pilot	116
6.6.2. Arhitectura sistemului de măsurare din Proiectului Pilot	118
6.6.3. Măsurători în cadrul Proiectului Pilot	121
6.6.3.1. Considerații preliminare	121
6.6.3.2. Măsurarea on-line a parametrilor de funcționare ai LEA 400 kV București Sud – Pelicanu	122
6.6.3.3. Măsurarea on-line a curenților de scurgere pe izolatorii compozit ai LEA 400 kV București Sud – Pelicanu	128
6.6.4. Concluziile Proiectului Pilot	132
6.7. Concluzii	135
7. UTILIZAREA SISTEMULUI OHLM PENTRU APLICAREA TEHNOLOGIEI DE ÎNCĂRCARE DINAMICĂ A LEA	137
7.1. Date tehnice necesare aplicării regimului DLR	137
7.2. Metode de stabilire a regimului DLR. Programe de calcul și studii de caz	138
7.3. Condițiile pentru introducerea regimului DLR	150
7.4. Concluzii	151
8. CONCLUZII. CONTRIBUȚII	153
8.1. Concluzii generale	153
8.2. Contribuții personale	155
8.3. Perspectivele dezvoltării și aplicării rezultatelor cercetării	157
BIBLIOGRAFIE	159
LISTĂ LUCRĂRI PROPRII	167

ACRONIME

ACCR	Conductoare multifilare din AL cu inima de oțel / Aluminium Conductor Composite Reinforced
ACSR	Conductoare oțel aluminiu / Aluminium Conductor Steel Reinforced
AIE	Agenția Internațională de Energie
AMI	Infrastructuri avansate de măsură/ Advanced Metering Infrastructure
c.a.	Curent alternativ
c.c.	Curent continuu
CIGRE	Consiliul Internațional al Marilor Rețele Electrice / Conseil International des Grands Réseaux Électriques
CNE	Centrala Electrică Nucleară
CNTEE	Compania Națională de Transport al Energiei Electrice.
CSM	Conductor sag measurement
CTE	Conductor temperature evaluation
CTGM	Clearance-to-ground measurement
DER	Resurse energetice distribuite/ Distributed Energy Resources
DG	Generatoare distribuite / Distributed Generation
DLR	Regim dinamic de încărcare a LEA / Dynamic Line Rating
DSO	Operator al rețelei de distribuție / Distribution System Operator
DTR	Evaluare termică dinamică / Dynamic thermal rating
EMP	Energy Management Platform
EMS/SCADA	Sistemul de management al energiei / Monitorizare, Control și Achiziții de Date / Energy Management System/ Supervisory Control And Data Acquisition
ENTSO-E	European Network of Transmission System Operators for Electricity
EPRI	Institut de cercetări electroenergetice / Electric Power Research Institute
ERGEG	Grupul european de reglementare pentru electricitate și gaz / European Regulators Group for Electricity and Gas
FACTS	Sisteme de transport flexibile în c.a. / Flexible AC Transmission Systems
FERC	Comisia federală de reglementare în energie / Federal Energy Regulatory Commission
FSM	Full scale monitoring
GES	Gaze cu efect de seră
GPS	Sistem de poziționare globală / Global Positioning System
IEC	Comisia internațională de electrotehnică / International Electrotechnical Commission
IED	Intelligent electronic device
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers

LEA	Linie electrică aeriană
LTE	Long Term Emergency
MTE	Medium Term Emergency
NERC	North American Electric Reliability Corporation
NIST	National Institute of Standards and Technology
NOVA IZOMON	Sistemul Nova de monitorizare a stării tehnice a izolatorilor
NOVA OHLM	Sistem NOVA de monitorizare on-line al liniilor electrice aeriene / NOVA Over Head Line Monitoring
OD	Operator de distribuție al energiei electrice
OHLM E	Over Head Line Monitoring E
OHLM H	Over Head Line Monitoring H
OHLM HV	Over Head Line Monitoring – High Voltage
OHLM IED/RTU	Over Head Line Monitoring Intelligent Electronic Device / Remote Terminal Unit
OHLM M	Over Head Line Monitoring Meteo
OHLM T	Over Head Line Monitoring Tension
OHLM V	Over Head Line Monitoring Video
OMEPA	Operatorul de măsurare a energiei electrice pe piața angro
OPCOM	Operatorul comercial al pieței angro de energie electrică
OPGW	Optical Ground Wire
OPUG	Underground Fiber Optic Cables
OTS	Operatorul de transport și sistem al energiei electrice
PARS	Transformatoare de reglaj al unghiului / Phase Angle Regulating Transformers
PMU	Unitatea Management de Proiect / Project Management Unit
RET	Rețeaua electrică de transport al energiei electrice
RTU	Remote terminal unit
SEN	Sistemul Electroenergetic Național
SER	Seasonal rating
SER	Surse de energie regenerabilă
SG	Rețea inteligentă / Smart Grid
SMCENEL	Sistemul de monitorizare a calității energiei electrice
STE	Short Term Emergency
STPA	Sistemului de telecontrolizare a pieței angro de energie electrica
STR	Static rating / Încărcarea Statică a Liniei
TM	Tension monitoring
TOU	Time of use
TSO	Operator de transport și sistem / Transmission System Operators
UNO-DEN	Unitatea operațională – Dispecerul Energetic Național
WF	Prognoza meteo / Weather forecast
WM	Modelul meteo / Weather model

DEFINIȚII

Ampacitate	Curentul maxim admisibil din punct de vedere termic al liniei electrice aeriene
Armături	Dispozitive cu ajutorul cărora se asamblează și se montează conductoare, izolatoare și alte accesorii ale liniilor electrice aeriene
Catenară	O catenară este curbă a unui lanț agățat absolut sub greutatea proprie (în cazul liniilor electrice aeriene, conductorul în una din deschideri)
Conductoare ale liniilor electrice aeriene	Funii metalice întinse liber între punctele de prindere la stâlpi sau alte construcții speciale, aparținând liniilor electrice aeriene, indiferent dacă sunt sau nu sub tensiune
Deformare	Modificarea formei unui corp de la o configurație originală la o configurație curentă
Echipament al liniilor electrice aeriene	Ansamblu de conductoare, izolatoare, cleme și armături, montat pe stâlpii liniilor electrice aeriene
Fundații ale stâlpilor	Elemente de construcție cu ajutorul cărora se fixează în sol stâlpii, inclusiv ancorele acestora
Gabaritul liniei electrice aeriene	Distanța verticală a conductorului între cel mai mic punct al conductorului și sol
Înclinare	Modificarea poziției prin deplasarea în jos
Instalații de legare la pământ a liniei electrice aeriene	Instalații care stabilesc în mod voit legătura cu pământul a elementelor bune conductoare de curent electric, care nu fac parte din căile de curent, dar care pot ajunge accidental sub tensiune
Izolatoare	Elemente componente ale liniilor electrice aeriene cu ajutorul cărora se realizează izolarea părților aflate sub tensiune între ele și față de părțile legate la pământ
Linie electrică aeriană	Instalație montată în aer liber care servește la transportul și distribuția energiei electrice și este alcătuită din conducătoare, izolatoare, antivibratoare, cleme, armături, stâlpi, fundații, ancore și instalații de legare la pământ

10 Definiții

Săgeata liniei electrice aeriene	Distanța verticală a conductorului de la cel mai înalt punct la cel mai mic punct al conductorului
Stâlpii liniilor electrice aeriene	Construcții din metal, beton armat, lemn sau alte materiale care susțin echipamentul liniilor electrice aeriene deasupra solului

LISTA DE FIGURI

Nr. crt.	Numărul figurii	Titlul figurii
1.	Fig. 2.1.1.	Politica Smart Grid în SUA
2.	Fig. 2.1.2.	Concept cadru de Smart Grid, propunere NIST
3.	Fig. 2.2.1.	Un sistem electric SMART interconectat și integrat al viitorului
4.	Fig. 2.2.2.	Caracteristicile principale ale sistemului de transport și distribuție actual
5.	Fig. 2.2.3.	Caracteristicile principale ale sistemelor de transport al energiei electrice Smart Grid
6.	Fig. 3.1.1.	Schema de principiu a transferului energiei electrice de la producători la consumatori
7.	Fig. 3.1.2.	LEA 400 kV: Stâlp de 400 kV căzut în timpul unei furtuni de zăpadă datorită ruperii ecliselor de prindere a doua ancore la fundația subterană
8.	Fig. 3.1.3.	LEA 220 kV: Stâlpi metalici afectați de vântul foarte puternic
9.	Fig. 3.1.4.	Galoparea conductoarelor LEA de 400 kV datorită vântului puternic
10.	Fig. 3.1.5.	LEA 220 kV Stâlpi metalici înclinați sau căzuți afectați de eroziunea terenului datorită precipitațiilor abundente
11.	Fig. 3.1.6.	LEA 400 kV Urechesti - Rovinari, 2008, gabarit redus datorită copacilor sub și în culoarul liniei electrice aeriene
12.	Fig. 3.1.7.	LEA 220 kV Stejaru - Gheorghieni, 2008, culoar de trecere, de protecție și de siguranță redus de construcții sub sau în apropierea LEA
13.	Fig. 3.1.8.	Stâlp de 400 kV deteriorat ca urmare a tăierii ancorelor
14.	Fig. 3.1.9.	Stâlpi de înaltă tensiune doborâți de hoții de metale: a) stâlp de 750 kV pe LEA750/400 kV Isaccea – Varna; b) 7 (șapte) stâlpi metalici pe LEA 400 kV Tariverde - Tulcea Vest distruși în 2014 (indisponibilitate LEA 36 zile)
15.	Fig. 3.1.10.	2 (doi) stâlpi metalici de la LEA 400 kV Roșiori – Oradea distruși în 2014 (indisponibilitate LEA 16 zile)
16.	Fig. 3.3.1.	Tipuri de sisteme comerciale bazate pe/și pe monitorizarea temperaturii conductorului LEA (pozițiile a, b, c, d, e, f, g, l, m, n) (exemple)
17.	Fig. 4.2.1.	Varietatea factorilor care influențează capacitatea de încărcare a unei linii electrice aeriene de transport

Nr. crt.	Numărul figurii	Titlul figurii
18.	Fig. 4.4.1.	Regimurile static și dinamic de încărcare a unei linii electrice aeriene
19.	Fig. 4.4.2.	Condițiile de definire a ampacității conductorului LEA de către producătorul conductorului
20.	Fig. 4.4.3.	Factori care influențează ampacitatea unei linii electrice aeriene
21.	Fig. 4.4.4.	Schema tehnologică de aplicare a regimului dinamic de încărcare a liniilor electrice aeriene
22.	Fig. 4.4.5.	Tendențe în implementarea tehnologiilor DLR pe plan mondial
23.	Fig. 5.1.1.	Sistemul de monitorizare a liniilor electrice aeriene tip D3 Power Donut
24.	Fig. 5.1.2.	Sistemul de monitorizare a liniilor electrice aeriene tip Astrose
25.	Fig. 5.1.3.	Sistemul de monitorizare a liniilor electrice aeriene tip HiTLMS Hyundai
26.	Fig. 5.1.4.	Sistemul de monitorizare a liniilor electrice aeriene tip OLM, Kepco
27.	Fig. 5.1.5.	Sistemul de monitorizare a liniilor electrice aeriene tip TLMS, Idaho Laboratory
28.	Fig. 5.1.6.	Sistemul de monitorizare a liniilor electrice aeriene tip SMT Artech
29.	Fig. 5.1.7.	Sistemul de monitorizare a liniilor electrice aeriene tip Ampacimon și principiul lui de determinare a săgeții (f_0 frecvența fundamentală a vibrațiilor conductorului, în deschidere; g accelerația gravitațională: $9,81 \text{ m/s}^2$)
30.	Fig. 5.1.8.	Sistemul de monitorizare a liniilor electrice aeriene tip OTLM
31.	Fig. 5.1.9.	Sistemul de funcționare a sistemului de monitorizare a liniilor electrice aeriene tip LINEAMPS (Electrotech)
32.	Fig. 5.1.10.	Sistemul de monitorizare a liniilor electrice aeriene tip CAT 1
33.	Fig. 5.1.11.	Schema bloc a sistemului CAT 1 și principiul specific de determinare a parametrilor de funcționare a LEA
34.	Fig. 6.2.1.	Arhitectura sistemului Nova OHLM
35.	Fig. 6.4.1.	Modulul Nova OHLM - HV la sol
36.	Fig. 6.4.2.	Imagini din timpul încercării modulului OHLM - HV în laboratorul de înaltă tensiune
37.	Fig. 6.4.3.	Imagini din timpul încercărilor în laboratorul de curenți tari a modulului OHLM-HV
38.	Fig. 6.4.4.	Modul OHLM-T, traductoare folosite la Proiectul Pilot pe LEA 400 kV București Sud - Pelicanu

Nr. crt.	Numărul figurii	Titlul figurii
39.	Fig. 6.4.5.	Modulul OHLM-V Camera foto, iluminatorul și markerul videosagometrului
40.	Fig. 6.4.6.	Modulul OHLM-H
41.	Fig. 6.4.7.	Modulul OHLM-IED/RTU montat pe stâlpul LEA 400 kV București Sud - Pelicanu
42.	Fig. 6.4.8.	Subsistemul OHLM M - stația meteo
43.	Fig. 6.4.9.	Piranometrul Masa
44.	Fig. 6.4.10.	Modulul Ice Detector pentru măsurarea chiciurei/gheții
45.	Fig. 6.4.11.	Modulul Nova OHLM - E este sursa independentă de alimentare cu energie electrică a întregului sistem de monitorizare
46.	Fig. 6.5.1.	Arhitectura software NOVA OHLM
47.	Fig. 6.5.2.	Comunicația "înlănțuită" între modulele hardware NOVA OHLM IED (una din variantele posibile de comunicație)
48.	Fig. 6.5.3.	Fereastra principală a aplicației OHLM server
49.	Fig. 6.5.4.	Panoul de comenzi destinat modulului OHLM-RTU
50.	Fig. 6.5.5.	Panoul de comenzi destinat modulului GSM
51.	Fig. 6.5.6.	Panoul cu pachetul curent de date
52.	Fig. 6.5.7.	Panoul cu istoricul pachetelor
53.	Fig. 6.5.8.	Fereastra cu setările bazei de date
54.	Fig. 6.5.9.	Fereastra cu parametri calculați
55.	Fig. 6.5.10.	Fereastra principală a aplicației NOVA OHLM Server
56.	Fig. 6.5.11.	Fereastra principală a aplicației NOVA OHLM Client - Varianta grafică
57.	Fig. 6.5.12.	Fereastra principală a aplicației NOVA OHLM Client – Varianta tabelară
58.	Fig. 6.5.13.	Selectarea unui stâlp al LEA (partea din dreapta)/înregistrare NOVA OHLM RTU (partea din stânga)
59.	Fig. 6.5.14.	Fereastra principală a aplicației NOVA OHLM Web Client
60.	Fig. 6.5.15.	Secțiune de afișare pentru ultimele alarme de la RTU-uri
61.	Fig. 6.5.16.	Poziționarea LEA pe hartă și informații despre aceasta
62.	Fig. 6.5.17.	Informații LEA
63.	Fig. 6.5.18.	Fereastra principală a aplicației NOVA OHLM Web Client – Parametri funcționare LEA
64.	Fig. 6.5.19.	Fereastra principală a aplicației NOVA OHLM Web Client – Date Meteo

Nr. crt.	Numărul figurii	Titlul figurii
65.	Fig. 6.5.20.	Fereastra principală a aplicației NOVA OHLM Web Client - secțiunea "Securitate"
66.	Fig. 6.5.21.	Aplicația NOVA OHLM Web Client - istoric
67.	Fig. 6.5.22.	Exemplu de grafic parametru
68.	Fig. 6.5.23.	Export istoric parametri funcționare LEA în format Excel
69.	Fig. 6.6.1.	Izolatoare compozit de 400 kV rupte, intempestiv, pe LEA 400 kV București Sud - Pelicanu și în stația 400/220/110 kV București Sud
70.	Fig. 6.6.2.	Arhitectura sistemului de măsurare folosit în cadrul proiectului pilot de monitorizare on-line a LEA 400 kV București Sud - Pelicanu
71.	Fig. 6.6.3.	Echipamentele componente sistemului NOVA OHLM în timpul monitorizării on-line a parametrilor de funcționare a LEA 400 kV București Sud - Pelicanu
72.	Fig. 6.6.4.	Sistemul NOVA IZOMON pentru monitorizarea on-line a curenților de scurgere pe lanțurile de izolatoare de la LEA 400 kV București Sud - Pelicanu
73.	Fig. 6.6.5.	Imagini din timpul montării componentelor sistemului NOVA OHLM pe LEA400 kV București Sud - Pelicanu
74.	Fig. 6.6.6.	PC Serverul de achiziție, prelucrare și stocare a datelor furnizate de sistemele de măsurare și monitorizare on-line NOVA OHLM și NOVA IZOMON
75.	Fig. 6.6.7.	Rezultate ale măsurării on-line a parametrilor de funcționare a LEA 400 kV București Sud - Pelicanu folosind sistemul NOVA OHLM
76.	Fig. 6.6.8.	Markerul videosagometrului pe conductorul LEA 400 Bucuresti Sud-Pelicanu, folosit la măsurarea înclinării / săgeții conductorului LEA
77.	Fig. 6.6.9.	Modulul NOVA OHLM - HV fără descărcări corona la tensiunea de funcționare a LEA 400 kV București Sud - Pelicanu
78.	Fig. 6.6.10.	Curenții de scurgere la 6 izolatoare compozit de 400 kV mășurați on-line
79.	Fig. 6.6.11.	Izolatorul compozit de 400 kV nr. 4 de pe faza S stalp nr. 1 LEA 400 kV București Sud - Pelicanu
80.	Fig. 7.1.1.	Parametrii constructivi ai conductorului LEA tip IPROEB ALOLN 450/75 mm ²
81.	Fig. 7.2.1.	Modalitatea de calcul pentru modulele de autotestare

LISTA DE TABELE

Nr. crt.	Numărul tabelului	Titlul tabelului
1.	Tabelul 2.1.1.	Blackout-uri pe arii întinse determinate de probleme în sistemul de transport al energiei electrice
2.	Tabelul 2.2.1.	Modernizarea rețelelor electrice existente în urma realizării conceptului Smart Grid
3.	Tabelul 2.2.2.	Funcțiile rețelelor inteligente
4.	Tabelul 2.2.3.	Domeniile Smart Grid și factorii implicați
5.	Tabelul 3.3.1.	Parametri de funcționare ai LEA, măsurați direct (nu prin calcul) de sistemul de monitorizare
6.	Tabelul 3.3.2.	Influența tipului de echipament de monitorizare
7.	Tabelul 3.3.3.	Temperatura conductorului LEA, minimă și maximă, măsurată direct și precizia de măsură
8.	Tabelul 3.3.4.	Intensitatea curentului prin conductorul LEA măsurată și precizia de măsurare
9.	Tabelul 3.3.5.	Săgeata/gabaritul conductorului LEA și precizia de măsură
10.	Tabelul 3.3.6.	Modul de alimentare cu energie electrică a sistemului de monitorizare LEA
11.	Tabelul 4.4.1.	Modificarea ampacității liniei electrice aeriene, conductor oțel-aluminiu (ACSR) pentru un regim de încărcare statică de 787 A, la temperatura ambiantă de 40 °C
12.	Tabelul 4.4.2.	Parametrii de funcționare ai liniei electrice aeriene
13.	Tabelul 4.4.3.	Valorile curentului limită termic pentru LEA folosite în calculele de regim în România (valori corespunzătoare unei temperaturi a mediului ambiant de 30 °C)
14.	Tabelul 4.5.1.	Experiența aplicării regimului dinamic de încărcare a liniilor electrice aeriene
15.	Tabelul 5.3.1.	Documente și standarde de referință
16.	Tabelul 5.3.2.	Condiții de mediu pentru sistemul de monitorizare
17.	Tabelul 5.3.3.	Subsisteme ale sistemului complex de monitorizare a liniilor electrice aeriene
18.	Tabelul 6.3.1.	Caracteristicile tehnice principale ale sistemului Nova OHLM
19.	Tabelul 6.6.1.	Măsurarea parametrilor de funcționare a LEA 400 kV București Sud – Pelicanu
20.	Tabelul 6.6.2.	Măsurarea curentului de scurgere la izolatoare compozit pe LEA 400 kV București Sud – Pelicanu

Nr. crt.	Numărul tabelului	Titlul tabelului
21.	Tabelul 7.2.1.	Parametrii de proiectare ai LEA
22.	Tabelul 7.2.2.	Numărul Reynold pentru tipuri de conductoare
23.	Tabelul 7.2.3.	Domeniul de marime al produsului Gr*Pr
24.	Tabelul 7.2.4.	Exemplul 1 – aplicarea regimului DLR în funcție de parametrii previzionați ai mediului ambiant
25.	Tabelul 7.2.5.	Exemplul 2 – aplicarea regimului DLR în funcție de parametrii previzionați ai mediului ambiant
26.	Tabelul 7.2.6.	Exemplul 3 – aplicarea regimului DLR în funcție de parametrii previzionați ai mediului ambiant
27.	Tabelul 7.2.7.	Exemplul 4 – aplicarea regimului DLR în funcție de parametrii previzionați ai mediului ambiant
28.	Tabelul 7.2.8.	Exemplul 5 – aplicarea regimului DLR în funcție de parametrii previzionați ai mediului ambiant
29.	Tabelul 7.2.9.	Exemplul 6 – aplicarea regimului DLR în funcție de parametrii previzionați ai mediului ambiant

1. INTRODUCERE

Sistemele electroenergetice sunt supuse astăzi unor provocări ca urmare a progreselor tehnologice, dezvoltării și implementării surselor de energie regenerabilă, evoluției sistemelor de telecomunicație și a electronicii de putere, periclitării siguranței fizice ca urmare a furturilor sau atacurilor teroriste din ce în ce mai numeroase, etc.

Conform Agenției Internaționale a Energiei, consumul de energie electrică în Europa va crește, până în 2030, cu o rată anuală de 1,4%, iar puterea instalată în surse de energie regenerabilă se va dubla, de la 13%, în prezent, la 26% în 2030. Se constată un ritm de creștere a consumului de energie electrică care solicită o disponibilitate și siguranță crescută în producerea, transportul și distribuția energiei electrice [Gian2016].

La nivel mondial, companiile energetice sunt preocupate în prezent de creșterea eficienței energetice, accelerarea producției de energie regenerabilă și dezvoltarea tehnologiilor de tip Smart Grid [ENTSO2012c].

Ideea de rețea inteligentă – Smart Grid apare ca o consecință a evoluției tehnologice care va conferi o flexibilitate crescută rețelei electrice și va crește calitatea serviciului de alimentare cu energie electrică a consumatorilor, contribuind la îndeplinirea obiectivelor stabilite prin Strategia de la Lisabona, din 2007, în ceea ce privește resursele și energia [EURO2009], [PE2007], [ENTSO2006a], [EISA2007], [EPRI2009], [ENTSO2012a].

Rețelele electrice inteligente (Smart Grid) sunt rețele electrice care pot să integreze în mod inteligent comportamentul și acțiunile tuturor utilizatorilor conectați la aceste rețele - producători, transportatori, distribuitori și consumatori de energie, precum și pe cei care produc și consumă simultan, cu scopul de a asigura furnizarea eficientă, sustenabilă, economică și în condiții de securitate a energiei electrice [ETP2007], [ENTSO2006b], [ENTSO2013a].

Conceptul Rețelelor Electrice Inteligente – Smart Grid a fost lansat în SUA în urma avariei extinse din 2003, care a afectat teritoriile întinse din SUA și Canada, iar în Europa, în anul 2005, în cadrul Platformei Tehnologice Europene pentru Rețele Electrice ale Viitorului, a Programului Cadru 7 al Comisiei Europene [Bamb2006], [ENTSO2012b], [ECSG2008].

Rețeaua electrică inteligentă (Smart Grid) poate moderniza rețeaua actuală de electricitate, astfel încât să facă față cerințelor societății secolului XXI [DOE2009], [ENISA2012], [ENTSO2013b], [EPRI2013].

Tranzitul către rețelele viitorului se realizează printr-o abordare integrată și inovatoare pe plan tehnic, comercial și de reglementare.

La nivelul țării noastre, referitor la rețelele inteligente, Ministrul Economiei, Comerțului și Mediului de Afaceri, a semnat la data 11.11.2010 ordinul nr. 2081 [MECM2011] prin care a aprobat documentul *PLAN DE ACȚIUNE pentru elaborarea și implementarea în Sistemul Energetic Național a conceptului de Rețele Inteligente - "Smart Grid"*. Conform acestui document, CNTEE Transelectrica SA este un actor important în implementarea rețelei inteligente (Smart Grid) în România, având rolul de coordonator tehnic pentru acțiunea de elaborare a „Strategiei și Studiului de fezabilitate pentru implementarea conceptului Smart Grid în SEN” [Guv2010].

Prin introducerea rețelelor inteligente (Smart Grid) în sistemul energetic din România se urmărește realizarea următoarelor obiective [Guv2015], [Guv2017]:

- Eliminarea sau reducerea semnificativă a avariilor la echipamente și/sau instalații de înaltă tensiune care pot afecta și alte echipamente și pot cauza întreruperi în cascadă;
- Eliminarea cauzelor și a factorilor care conduc la distrugerea totală sau parțială a echipamentelor și/sau instalațiilor de înaltă tensiune care pot afecta clădiri, oameni și mediul înconjurător, care pot cauza întreruperea alimentării cu energie electrică pe arii mari (blackouts) și pierderi economice importante;
- Creșterea duratei de funcționare a tuturor componentelor active din stațiile electrice până la limitele lor și chiar și peste;
- Creșterea fiabilității/disponibilității și siguranței în funcționare a sistemului energetic;
- Cunoașterea cât mai repede posibil unde și când a apărut o problemă;
- Reducerea costurilor de mentenanță;
- Creșterea rapidității și eficienței în utilizarea și managementul informațiilor tehnice chiar dacă personalul este mai puțin calificat sau redus numeric;
- Creșterea siguranței în alimentarea consumatorilor;
- Îmbunătățirea eficienței în operarea zilnică a rețelei electrice de transport;
- Asigurarea securității rețelelor, a sistemelor de control al calității în alimentare folosind un număr mai mare de senzori și sisteme de control, inclusiv schimburi de date în timp real cu operatorii europeni ai rețelelor de transport (Transmission System Operator - TSO), ajutând în acest mod la echilibrarea fluctuațiilor de producție generate de surse de energie regenerabile (Renewable Energy Sources – SER) și contribuind esențial la securitatea în alimentare;
- Creșterea capacității rețelei pentru a permite integrarea utilizatorilor cu cerințe noi (în particular a surselor de energie cu producție fluctuantă, care are relevanță directă pentru sarcina TSO de a asigura securitatea alimentării);
- Implementarea mijloacelor și procedurilor pentru îmbunătățirea monitorizării și a rețelelor electrice (linii și stații electrice de înaltă tensiune);
- Creșterea utilizării de tehnologii ICT (Tehnologii Informatice și de Telecomunicații) pentru securizarea operațiilor și mărirea flexibilității rețelelor;
- Reducerea pierderilor de energie electrică;
- Creșterea eficienței investițiilor;
- Creșterea eficienței activelor existente corelată cu creșterea eficienței energetice.

În acest context, tematica tezei de doctorat se încadrează în preocupările actuale din domeniul transportului energiei electrice, prezenta lucrare propunându-și aprofundarea acestui concept și aducerea de contribuții la implementarea conceptului Smart Grid în sistemul de transport al energiei electrice din România, prin monitorizarea on-line și încărcarea dinamică a liniilor electrice aeriene.

Teza de doctorat se extinde pe 168 de pagini, fiind structurată pe 8 capitole, prefață și o amplă listă bibliografică. Ea conține un număr de 81 figuri, respectiv 29 tabele. Lista bibliografică cuprinde 128 titluri, remarcându-se prezența unor lucrări semnificative, atât din categoria celor considerate deja "clasice" cât și a celor de dată recentă, apărute în țară sau în publicații de prestigiu din străinătate.

Capitolul 1 are un caracter introductiv. Prima parte cuprinde încadrarea și justificarea tematicii tezei de doctorat, în contextul stadiului actual de evoluție a electroenergeticii, al preocupărilor existente pe plan mondial și în România. Partea a doua realizează o prezentare succintă a conținutului fiecărui capitol al tezei. Ultima

parte a capitolului evidențiază atât modul de valorificare a cercetărilor efectuate în cadrul tezei de doctorat (lucrări publicate în reviste de specialitate sau susținute în cadrul unor conferințe internaționale), cât și utilitatea rezultatelor obținute pentru operatorul de transport și de sistem din România. În final se subliniază perspectivele deschise de această teză de doctorat privind direcțiile posibile de continuare și extindere a investigațiilor.

Se menționează faptul că fiecare dintre capitolele tezei cuprinde un subcapitol final, care, alături de evidențierea concluziilor și a contribuțiilor originale, deschide calea pentru capitolul (capitolele) următoare.

Capitolul 2 scoate în evidență conceptul de Smart Grid, cauzele și nevoile care au condus la implementarea unui astfel de concept în țările dezvoltate ale lumii și factorii care susțin implementarea tehnologiilor inteligente și în țara noastră. În prima parte a capitolului 2 se vorbește despre avariile extinse din SUA și Canada, precum și de politica acestor state de a sprijini modernizarea sistemelor de transport și distribuție a energiei electrice, pentru a menține o infrastructură de energie electrică fiabilă și sigură. În consecință, se arată faptul că în Statele Unite ale Americii și ulterior în Europa, s-au definit un set de parametri care determină dimensiunile exacte ale acestui concept de rețea inteligentă, punându-se accentul pe posibilitățile de integrare eficientă a comportamentului și acțiunilor tuturor utilizatorilor conectați (producători, consumatori care produc și consumă simultan), în scopul de a se asigura un sistem energetic sustenabil, eficient din punct de vedere economic, cu pierderi reduse și nivele ridicate de calitate, securitate și siguranță în alimentarea cu energie electrică. Partea a doua a acestui capitol ne oferă factorii care susțin introducerea conceptului de rețea inteligentă, plecând de la necesitatea modernizării rețelelor electrice, având în vedere provocările majore cu care se vor confrunta acestea în viitor. De asemenea, în această parte au fost scoase în evidență funcțiile Smart Grid în contextul monitorizării on-line a liniilor și stațiilor electrice, domeniile Smart Grid și actorii implicați, precum și beneficiile realizării unor astfel de rețele, din următoarele perspective: alimentarea sigură și continuă cu energie electrică, fiabilitatea și calitatea energiei electrice, eficiență energetică, îmbunătățirea factorilor de mediu și reducerea costurilor de funcționare a rețelei în întregul ei (de la producător până la consumator) prin utilizarea de tehnologii avansate.

Obiectivul capitolului 3 este de a scoate în evidență necesitatea monitorizării on-line a liniilor electrice aeriene (LEA) de înaltă tensiune, ca parte a implementării Smart Grid în România. De asemenea, în acest capitol sunt prezentate cercetările tehnico – aplicative realizate până în prezent, cercetări care au avut în vedere, pe de o parte, deficiențele și defectele care apar în funcționarea liniilor electrice din diferite cauze, care de cele mai multe ori nu se descoperă imediat, ci după investigații minuțioase și de lungă durată, pe de altă parte, congestiile în sistemele de transport care sunt sporadice și dificil de a se prezice unde vor apare, congestii care trebuie să fie depășite cu efecte minime, acolo unde dezvoltarea rețelei este dificil de realizat. Așadar, în prima parte din acest capitol sunt prezentate câteva exemple de avarii la liniile electrice aeriene din România, constând în declanșări cauzate de condiții climatice grele, defecțiuni determinate de acțiunea mediului ambiant și îmbătrânirea materialului, precum și în defecțiuni ale liniilor supuse unor eforturi mecanice deosebite datorate condițiilor climatice extrem de dure (vânt puternic, chiciură, temperaturi foarte scăzute). Totodată, acest capitol se focusează pe prezentarea parametrilor de funcționare și de stare tehnică ai LEA, precum și pe prezentarea echipamentelor sau sistemelor de monitorizare on-line a LEA, existente în prezent în lume, în funcție de metodele folosite pentru determinarea parametrilor de funcționare a liniilor electrice.

Capitolul 4 își propune introducerea și dezvoltarea teoretică a tehnologiei de încărcare dinamică a liniilor electrice aeriene prin utilizarea mai multor tehnici de măsurare/ monitorizare on-line și prognoză disponibile. În acest sens, capitolul începe cu câteva considerații privind regimul DLR și continuă cu prezentarea scopului evaluării stării tehnice a LEA și aplicării acestei tehnologii, evidențiind diferența dintre regimul static și regimul dinamic de încărcare a liniilor, precum și factorii care afectează capacitatea termică de încărcare a liniilor. În același timp, obiectivele finale ale acestui capitol sunt să prezinte regimurile de încărcare a LEA (regimul static, respectiv dinamic), menționând parametrii critici care se urmăresc în special, în cazul regimului de încărcare dinamic și beneficiile aduse de tehnologiile DLR.

Obiectivele capitolului 5 sunt să prezinte detaliile privitoare la realizarea sistemelor de monitorizare a parametrilor funcționali și de stare ai LEA. De aceea, în primul subcapitol, după ce se enunță obiectivele, indicatorii și coordonatele care stau la baza funcționării rețelei electrice de transport (în special) din România, se face o analiză critică a sistemelor de monitorizare existente la ora actuală, pe plan internațional, sisteme care ar putea fi achiziționate și pentru România. Având în vedere faptul că sistemele descrise și analizate în subcapitolul 5.1 diferă semnificativ între ele din punct de vedere a soluției tehnico-constructive, în subcapitolul 5.2 se definesc principiile care stau la baza specificației tehnice pentru sistemul de monitorizare on-line românesc, propus în teză. Subcapitolul 5.3 conturează specificația tehnică pentru sistemul de monitorizare propus în teză, precizând standardele de referință și condițiile tehnice pentru realizarea în România a sistemului de monitorizare on-line a liniilor electrice aeriene de 110 – 750 kV, astfel încât acesta să poată face parte din sistemul integrat de tip Smart Grid de monitorizare și diagnoză on-line a stării tehnice momentane a liniilor electrice aeriene, în special a celor din rețeaua electrică de transport. Specificațiile tehnice sunt concepute în așa fel încât sistemul de monitorizare să asigure măsurarea parametrilor principali de funcționare a liniilor electrice aeriene (curentul prin conductorul LEA, temperatura conductorului, săgeata conductorului, forța de tracțiune în conductorul linei, oscilațiile conductorului) și a parametrilor mediului ambiant (temperatura ambiantă, viteza și direcția vântului, radiația solară) în culoarul linei electrice aeriene, considerați parametri de bază, necesari, pentru aplicarea în deplină siguranță a regimului dinamic de încărcare a liniilor electrice.

În capitolul 6 este descris sistemul autohton de monitorizare on-line și de încărcare dinamică a LEA (OHLM). După primul subcapitolul care conține câteva considerații cu caracter general, privitoare la echipamentul OHLM, în subcapitolul 6.2 este prezentată arhitectura acestuia, cu descrierea fiecărei părți componente. În subcapitolul 6.3 sunt descrise caracteristicile funcționale ale sistemului de monitorizare, ținând cont de: caracteristicile tehnice ale rețelei de transport al energiei electrice, condițiile climatice și de mediu în care va funcționa sistemul de monitorizare, condițiile generale și caracteristicile tehnice principale pe care trebuie să le îndeplinească sistemul de monitorizare OHLM, semnalizările pe care trebuie să le furnizeze în sistemul central de achiziție de date și software-ul acestuia. Subcapitolul 6.4 prezintă caracteristicile constructive ale sistemului OHLM și descrie fiecare subsistem în parte: subsistemul OHLM pentru monitorizarea parametrilor de funcționare a LEA, subsistemul OHLM M pentru monitorizarea condițiilor de mediu și subsistemul OHLM E (sursă independentă de alimentare cu energie electrică). Obiectivele subcapitolului 6.5 sunt de a prezenta aplicația software a sistemului OHLM, aplicație ce este de tip

client – server și este dezvoltată în mediul de programare Visual Studio.NET. Capitolul se încheie cu prezentarea proiectului pilot de monitorizare on-line a LEA 400 kV București Sud – Pelicanu (subcapitolul 6.6), descriindu-se arhitectura sistemului de măsurare și măsurătorile efectuate, rezultatele fiind deosebit de relevante în scopul elucidării unor incidente produse intempestiv la izolatoarele compozit de 400 kV pe LEA București Sud – Pelicanu, respectiv în stația 400/220/110 kV București Sud.

Capitolul 7 are ca scop prezentarea datelor tehnice necesare aplicării regimului de încărcare dinamică a LEA (DLR) și a metodelor de stabilire a acestuia. În acest cadru sunt detaliate programele de calcul și etapele necesare aplicării regimului dinamic de încărcare a liniilor electrice aeriene, și anume:

- Obținerea informațiilor și a datelor preliminare pentru analiza posibilității și a condițiilor aplicării regimului dinamic de încărcare;
- Controlul veridicității valorilor parametrilor de funcționare ai liniei electrice aeriene măsurați on-line;
- Stabilirea tipului de regim dinamic de încărcare (DLR) a liniei electrice aeriene și limitele admisibile de funcționare a acesteia;
- Validarea regimului DLR.

Ultimul subcapitol detaliază condițiile pentru introducerea regimului DLR.

Capitolul 8 cuprinde concluziile generale ale tezei și prezentarea sistematizată a contribuțiilor originale, precum și reliefaarea direcțiilor și perspectivelor oferite de teza de doctorat pentru continuarea și extinderea cercetărilor și aplicarea rezultatelor obținute și a experienței acumulate.

Rezultatele obținute au fost și vor fi valorificate în cadrul Operatorului de Transport și de Sistem din România – CNTEE Transelectrica SA – principalul beneficiar al unor astfel de sisteme de monitorizare on-line. Proiectele noi de investiții, constând în realizarea de linii electrice aeriene noi, inițiate mai ales în zona Banat, cuprind în caietele de sarcini și echiparea liniilor cu sisteme de monitorizare on-line. De asemenea, liniile existente de interconexiune și cele care asigură evacuarea energiei electrice produsă în zona Dobrogei, urmează a fi echipate cu astfel de sisteme de monitorizare a parametrilor LEA.

Așa cum rezultă din lista lucrărilor proprii de la finele tezei, activitatea de pregătire prealabilă a doctorandului și rezultatele obținute în perioada de elaborare a lucrării au fost valorificate prin 9 lucrări indexate ISI [Iaco2015a], [Iaco2015b], [Iaco2017b], [Iaco2017c], [Iaco2017d], [Iaco2018a], [Iaco2019a], [Iaco2019b], [Iaco2020], 3 lucrări indexate în alte baze de date internaționale (BDI) [Iaco2018b], [Iaco2020], [Mold2021], 8 lucrări publicate în volumele unor manifestări științifice internaționale [Ghit2016a], [Ghit2016b], [Iaco2017a], [Mate2017], [Marc2017], [Mold2016], [Roma2017], [Talp2017] și 2 rapoarte științifice realizate în procesul elaborării tezei de doctorat.

Analizele teoretice realizate în cadrul tezei de doctorat, precum și rezultatele practice obținute, deschid o serie de perspective clare de continuare și aprofundare a cercetărilor, dar și soluții de exploatare în siguranță a rețelei electrice de transport al energiei electrice. Atât teza actuală, împreună cu alte concepte analizate în acest context, oferă perspectiva inițierii și dezvoltării unei noi *Platforme de Management Energetic al SEN (EMP – Energy Management Platform)*, cu scopul de a asigura o platformă informatică modernă, unitară și integrată pentru managementul operațional

al SEN la un nivel de performanță și fiabilitate, în acord cu standardele contemporane pe plan mondial, cu următoarele obiective majore:

- Înlocuirea sistemului EMS/SCADA existent cu un sistem integrat într-o soluție complexă de tip EMP;
- Îmbunătățirea achiziției de date aferente EMS/SCADA, pentru a extinde gradul de vizibilitate al rețelei și al echipamentelor din SEN;
- Îmbunătățirea comunicațiilor cu sistemele și O.T.S. vecini și cu participanții la piață, cu centrele europene de coordonare din interconexiunea ENTSO-E, atât din punct de vedere al volumului de date cât și al vitezei schimbului de date, pe principiul unei arhitecturi software de tip "service oriented" (componente soft și aplicații interoperabile, cu funcționalități multiple, care permit dezvoltarea și integrarea sistemului/sistemelor);
- Realizarea unei platforme informatice integrată.

În concluzie, teza de doctorat constituie un serios punct de plecare pentru dezvoltarea cercetărilor privind realizarea noii platforme de management energetic, dezvoltarea Smart Grid în România și implementare a conceptului de digitalizare a sistemului energetic național.

2. SMART GRID – CONCEPT, DEFINIȚII, ARGUMENTE

În acest capitol se dorește evidențierea clară a conceptului de Smart Grid, cauzele și nevoile care au condus la implementarea unui astfel de concept în țările dezvoltate ale lumii și factorii care susțin implementarea tehnologiilor inteligente și în țara noastră.

În prima parte a capitolului 2 se vorbește despre avariile extinse din SUA și Canada, precum și de politica acestor state de a sprijini modernizarea sistemelor de transport și distribuție a energiei electrice, pentru a menține o infrastructură de energie electrică fiabilă și sigură. În consecință, se arată faptul că în Statele Unite ale Americii și ulterior în Europa, s-au definit un set de parametri care determină dimensiunile exacte ale acestui concept de rețea inteligentă, punându-se accentul pe posibilitățile de integrare eficientă a comportamentului și acțiunilor tuturor utilizatorilor conectați (producători, consumatori care produc și consumă simultan), în scopul de a se asigura un sistem energetic sustenabil, eficient din punct de vedere economic, cu pierderi reduse și nivele ridicate de calitate, securitate și siguranță în alimentarea cu energie electrică.

Partea a doua a acestui capitol ne oferă factorii care susțin introducerea conceptului de rețea inteligentă, plecând de la necesitatea modernizării rețelelor electrice având în vedere provocările majore cu care se vor confrunta acestea în viitor. De asemenea, în această parte au fost scoase în evidență funcțiile Smart Grid în contextul monitorizării on-line a liniilor și stațiilor electrice, domeniile Smart Grid și actorii implicați, precum și beneficiile realizării unor astfel de rețele, din următoarele perspective: alimentarea sigură și continuă cu energie electrică, fiabilitatea și calitatea energiei electrice, eficiență energetică, îmbunătățirea factorilor de mediu și reducerea costurilor de funcționare a rețelei în întregul ei (de la producător până la consumator) prin utilizarea de tehnologii avansate.

2.1. Conceptul Smart Grid (SG)

Conceptul de Smart Grid a apărut după avariile extinse / blackout care au cuprins regiuni întinse din Statele Unite ale Americii (SUA) și Canadei (tabelul nr. 2.1.1) ce au produs pagube importante în economie, avarii datorate în principal necunoașterii în timp real a stării tehnice și de funcționare a sistemului energetic și a componentelor sale [Bodr2004], [TF2004], [Huff2011], [ECSG2008].

În urma analizelor efectuate, Statele Unite ale Americii au căutat soluții de modernizare a sistemului energetic de transport și distribuție al energiei electrice în așa fel încât să poată opera o infrastructură de energie electrică fiabilă și sigură, atât din perspectiva alimentării în siguranță a consumatorilor, cât și din perspectiva satisfacerii cererilor crescute de energie electrică.

Tabelul 2.1.1. Blackout - uri pe arii întinse determinate de probleme în sistemul de transport al energiei electrice

Nr. Crt.	Locația afectată de blackout	Date	Populația afectată	Pierderi [USD]	Principalele cauze
1.	USA & Canada [TF2004]	14 August 2003	55 milioane oameni	1-2 miliarde	a) Insuficiența cunoaștere a sistemului de transport al energiei b) Necunoașterea condițiilor de deteriorare a sistemului de transport al energiei c) Toaletarea/tăierea necorespunzătoare a copacilor din culoarul liniilor electrice d) Suport necorespunzător privind diagnoza în timp real a stării componentelor sistemului de transport
2.	USA & Mexic [Huff2011]	8-9 Septembrie 2011	5 milioane	118 milioane	O lucrare de mentenanță minoră la un întreruptor de 500 kV care a întrerupt accidental LEA 500 kV între stațiile electrice Hassayampa și Yuma

În SUA termenul de Smart Grid a fost menționat pentru prima dată într-un document oficial și anume în documentul "*Energy Independence and Security Act of 2007*" Public Law 110-140, legiferat de Congresul SUA [EISA2007]. În acest document, la capitolul XIII, al. 1301 "SMART GRID" se menționează următoarele:

*"Este politica Statelor Unite de a sprijini modernizarea sistemelor de transport și respectiv de distribuție a energiei electrice, pentru a menține o infrastructură de energie electrică fiabilă și sigură, pentru a satisface creșterile viitoare ale cererii de energie electrică și pentru a realiza fiecare din următoarele cerințe ce **caracterizează împreună o rețea inteligentă**:*

- (1) *utilizarea sporită a tehnologiei informației și de control digital pentru a îmbunătăți fiabilitatea, securitatea, precum și eficiența rețelei electrice (Figura 2.1.1);*
- (2) *optimizarea dinamică a funcționării și a resurselor rețelei electrice, în condițiile unei depline securități cibernetice;*
- (3) *implementarea și integrarea resurselor distribuite și de generare, inclusiv a resurselor regenerabile;*
- (4) *dezvoltarea și încorporarea răspunsului la cerere (Demand response), a resurselor la cerere (demand-side resources) și a resurselor de eficiență energetică;*
- (5) *implementarea tehnologiilor inteligente (în timp real, automate, a tehnologiilor interactive care optimizează funcționarea fizică a aparatelor și a dispozitivelor consumatorului) pentru măsurare, comunicații privind funcționarea și starea rețelei, pentru automatizarea distribuției;*
- (6) *integrarea aparatelor "inteligente"/"Smart" și a dispozitivelor consumatoare de energie electrică;*

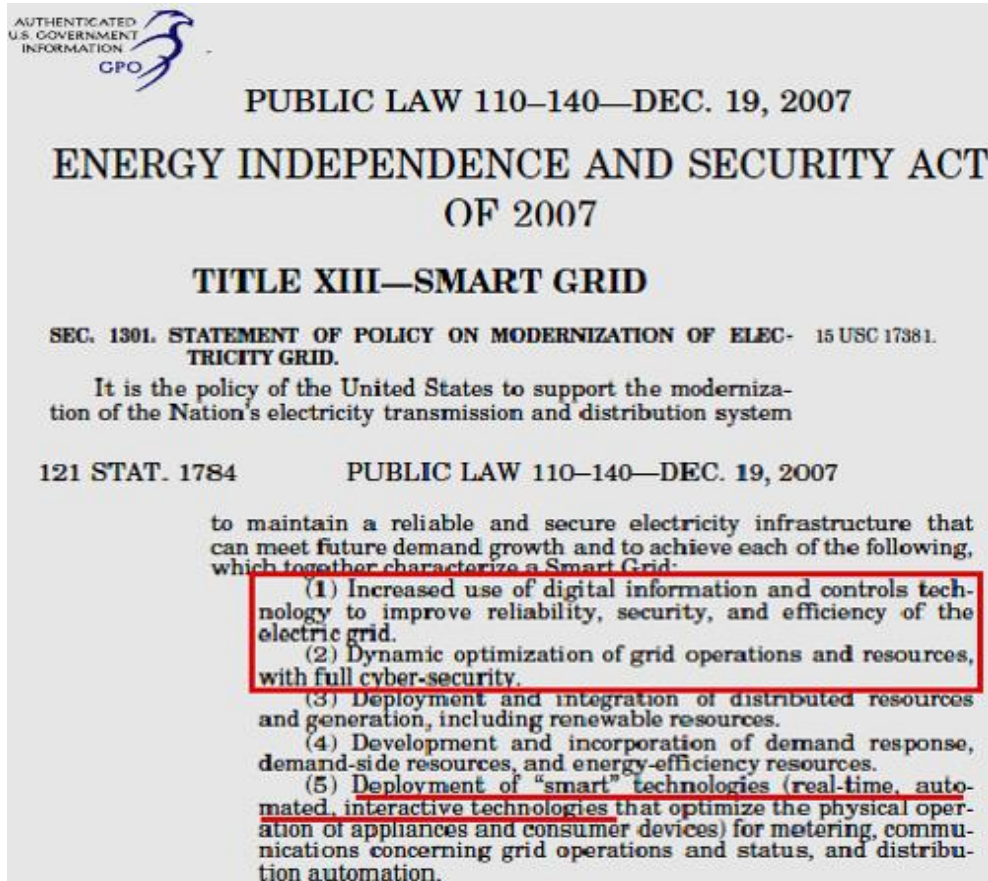


Fig. 2.1.1. Politica Smart Grid în SUA

- (7) implementarea și integrarea tehnologiilor avansate de stocare a energiei electrice și de aplatizare a curbei de sarcină, inclusiv a vehiculelor electrice, a vehiculelor hibride, a tehnologiilor de stocare bazate pe condiționarea termică a aerului;
- (8) furnizarea consumatorilor a opțiunilor de informare și control în timp real;
- (9) dezvoltarea de standarde de comunicație și interoperabilitate a aparatelor și echipamentelor conectate la rețeaua electrică, inclusiv infrastructura de deservire a rețelei;
- (10) identificarea și scăderea obstacolelor nerezonabile sau inutile în calea adoptării tehnologiilor, practicilor și a serviciilor de tip Smart Grid."

Importanța acordată politicii în domeniul SMART GRID rezultă în primul rând din prevederile aliniatului 1302 al aceleiași Legi, unde se menționează obligația ca la fiecare 2 ani să fie prezentat de către Departamentul de Energie al SUA în Congresul SUA un raport cu privire la stadiul actual și perspectivele implementării la nivel național a rețelei inteligente, respectiv despre orice obstacol legislativ sau guvernamental în continuarea implementării.

În figura 2.1.2 se prezintă conceptul cadru de Smart Grid propus de Institutul Național de Standardizare și Tehnologii din SUA (*National Institute of Standards and Technology - NIST, SUA [NIST2012]*).

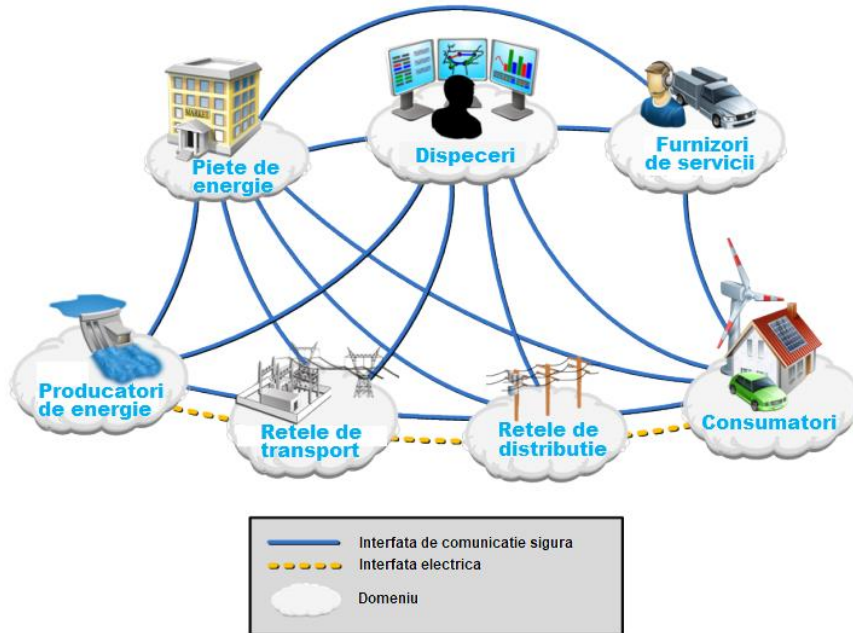


Fig. 2.1.2. Concept cadru de Smart Grid, propunere NIST

Acest concept a fost preluat de ERGEG (European Regulators Group for Electricity and Gas), definind Smart Grid, ca "o rețea de energie electrică care poate integra eficient comportamentul și acțiunile tuturor utilizatorilor conectați - producători, consumatori care produc și consumă simultan - în scopul de a se asigura un sistem energetic sustenabil, eficient din punct de vedere economic, cu pierderi reduse și nivele ridicate de calitate, securitate și siguranță în alimentarea cu energie electrică" [ENSG2014], [ENSG2014], [EPRI2011].

O rețea electrică inteligentă utilizează produse și servicii inovatoare, împreună cu tehnologii inteligente de monitorizare, control, comunicare, precum și de auto-vindecare, în scop de:

1. a facilita o mai bună conectare și funcționare a generatoarelor de toate mărimile și tehnologiile;
2. a permite consumatorilor să joace un rol în optimizarea funcționării sistemului;
3. a oferi consumatorilor mai multe informații și opțiuni mai bune pentru alegerea furnizorului de energie;
4. a reduce semnificativ impactul asupra mediului a întregului sistem de alimentare cu energie electrică;
5. a menține și îmbunătăți mult nivele actuale ale sistemului privind fiabilitatea, calitatea și securitatea furnizării energiei electrice;
6. a menține și îmbunătăți eficient serviciile existente;
7. a promova dezvoltarea unei piețe europene integrate.

Nu se observă diferențe semnificative între cele două definiții (în SUA și respectiv Europa), însă diferă semnificativ modul în care se acționează pentru susținerea cercetării soluțiilor tehnologice inovative și implementarea lor în vederea realizării Smart Grid.

Realizările sunt mult în favoarea SUA din mai multe puncte de vedere, cum ar fi:

- legiferarea deja a necesității modernizării sistemului energetic prin cercetarea și implementarea soluțiilor tehnologice inovative de tip Smart Grid;
- controlul periodic al Congresului SUA privind respectarea programului de implementare a proiectelor Smart Grid;
- alocarea fondurilor necesare;
- implicarea directă a Congresului și a Guvernului în eliminarea piedicilor care ar întârzia realizarea proiectelor Smart Grid;
- implicarea directă a Guvernului și a Președintelui SUA în alocarea și aprobarea fondurilor importante necesare pentru cercetare și implementare (inclusiv a soluțiilor de protecție antitero a stațiilor și a liniilor electrice de înaltă tensiune) etc.

Un element comun al celor mai multe definiții referitoare la conceptul Smart Grid este utilizarea procesării și a comunicațiilor digitale în rețelele electrice, ceea ce face ca fluxul de date și informațiile să fie nucleul Smart Grid.

Integrarea noilor informații despre rețea este una dintre problemele cheie în proiectarea și realizarea rețelelor inteligente.

Elemente specifice Smart Grid există în multe părți ale rețelelor actuale de transport și distribuție a energiei electrice, diferența între rețelele de azi și rețelele viitoare constă în principal în capacitatea rețelelor viitoare de a funcționa mult mai complex decât în prezent, într-un mod efektiv și eficient. O rețea Smart folosește produse și servicii inovative împreună cu tehnologii inteligente de monitorizare, control, comunicații și auto-vindecare.

Conform Enciclopediei "*Smart Grid este o rețea electrică (de transport și/sau distribuție), care suplimentar transportului/distribuției energiei electrice include două căi de comunicații bidireționale între producători și consumatori*".

O rețea inteligentă include un sistem inteligent de monitorizare care ține evidența întregului flux de electricitate în sistem.

O rețea Smart este o rețea electrică modernizată, care utilizează tehnologii de informare și comunicație analogice sau digitale pentru a aduna și a acționa asupra informațiilor, cum ar fi informații despre rețelele de transport și distribuție a energiei electrice, respectiv despre comportamentul furnizorilor și consumatorilor de energie, într-un mod automatizat, pentru a îmbunătăți eficiența, fiabilitatea, economia, precum și durabilitatea producției, transportului și distribuției de energie electrică.

Infrastructura unui sistem inteligent cuprinde 3 subsisteme: subsistemul energetic, subsistemul informatic și subsistemul de comunicații, fiecare fiind inteligent la rândul său.

- *Subsistemul inteligent de energie* include generarea electricității, transportul, distribuția, furnizarea și consumul;
- *Subsistemul inteligent informatic* cuprinde activitatea de monitorizare, măsurare avansată/inteligentă și conducerea rețelei;
- *Subsistemul de comunicație* este cel care permite comunicarea între rețele (conductoare fizice sau wireless), aparatele și aplicațiile stabilite pentru interoperabilitatea acestora.

Odată cu dezvoltarea aplicațiilor de management, monitorizare și control vor avansa tehnologiile de Smart Grid și deci rețeaua inteligentă (Smart Grid) va avea un rol activ în dezvoltarea durabilă a sistemului energetic [Ange2002], [Brow2021], [Chay2006], [Diac2008a], [Diac2008b], [Kezu2008], [Lacr2008].

2.2. Factorii care susțin introducerea Smart Grid

2.2.1. Necesitatea modernizării rețelelor electrice actuale

Sistemele energetice utilizate în prezent au în cea mai mare parte a lor o arhitectură centralizată, în care un număr de unități generatoare livrează energia electrică utilizatorilor.

Tehnologiile bazate pe combustibili fosili au îmbunătățit simțitor calitatea vieții, dar acest tip de producere are numeroase dezavantaje. Combustibilii fosili sunt principala cauză a poluării și degradării mediului înconjurător. Întrucât nevoia de energie este din ce în ce mai mare și resursele de combustibili fosili sunt în scădere puternică, este necesar ca omenirea să se concentreze pe surse de energie sustenabile.

Rețelele tradiționale au fost inițial interconectate pentru a asigura transportul între zone sau țări vecine în caz de urgență dar, în prezent, aceste interconectări facilitează și importul/exportul.

Rețelele de energie electrică clasice se vor confrunta în viitor cu o serie de provocări majore:

- a) satisfacerea consumului de energie electrică, care era în creștere cca 5%/ an, înainte de criza economică, conform prognozei AIE (*Agentia Internațională de Energie*);
- b) reducerea emisiilor de CO₂ și creșterea eficienței în utilizarea energiei electrice;
- c) asigurarea unei dezvoltări durabile.

Pentru a face față acestor provocări la nivel mondial, a fost introdus conceptul de Smart Grids / Rețele Inteligente, văzut ca o revoluție tehnologică în domeniul rețelelor electrice și nu numai.

Rețelele inteligente beneficiind de o deosebită inovare vor schimba modul în care este produsă, transportată, distribuită și utilizată energia electrică în prezent prin adăugarea inteligenței digitale în sistemele existente (tehnologii informatice și de telecomunicații) pentru a:

- crește randamentul acestora;
- reduce numărul de defecțiuni și întreruperi;
- îmbunătățește gestionarea cererii de energie și integrarea surselor de energie regenerabilă (SER), transformând rețeaua pasivă într-una activă, dinamică, utilizând informații luate în timp real.

Schimbările climatice, creșterea prețului energiei influențat de prețul combustibililor fosili, respectiv noile tehnologii care oferă servicii îmbunătățite, reprezintă provocări care modelează conștiința colectivă a consumatorilor, transformându-i pe majoritatea din "plătitori" pasivi ai facturii în consumatori informați și preocupați pentru reducerea consumului, costurilor energiei și îmbunătățirea mediului înconjurător. Sistemul electric actual condus/operat de la joasă până la cea mai înaltă tensiune va permite interacțiunea în timp real între entitățile interesate din lanțul producție-consumator final [Fikk2013], [CIGRE2016], [CIGRE2014b] [ENSG2014], [ENSG2014].

Smart Grid nu presupune înlocuirea rețelei electrice existente ci modernizarea ei. Tehnologia Smart Grid necesită un ansamblu de sisteme de control și management al rețelei, de senzori și mijloace de comunicare și informare, care încorporează atât elemente tradiționale, cât și de ultimă generație. Ea combină elemente de software și hardware menite să îmbunătățească semnificativ modul în care funcționează sistemul electric actual, oferind în același timp și posibilitatea modernizării ulterioare

Rețelele Smart Grid folosesc tehnologie digitală bidirecțională de comunicație pe suportul cablurilor/conductoarelor electrice existente, soluție care face posibil transportul de date din oricare punct al rețelei către dispeceratul central, și care are ca obiective creșterea calității serviciilor, reducerea pierderilor în rețea și asigurarea unei infrastructuri pentru sistemele de măsurare/monitorizare de la distanță.

Tranziția la rețelele inteligente se face progresiv și într-un mod flexibil, care să permită încorporarea unor noi servicii ce pot apărea în viitor.

Smart Grid constituie a treia generație de rețele electrice, cea în care rețeaua electrică este dublată sinergetic de rețele informatice care realizează conectarea participanților și informații. Ea combină elemente digitale menite să îmbunătățească semnificativ modul în care sunt conduse și exploatate rețelele electrice actuale de la joasă până la cea mai înaltă tensiune și să permită interacțiunea în timp real între entitățile interesate din lanțul producere - transport - distribuție - furnizare - consumator final de energie electrică.

În figura 2.2.1 este descris un sistem Smart Grid complex, care include controlul centralelor electrice și a fluxului de energie electrică în ambele sensuri și asigurarea informațiilor între utilități și consumatori [Krei2010].

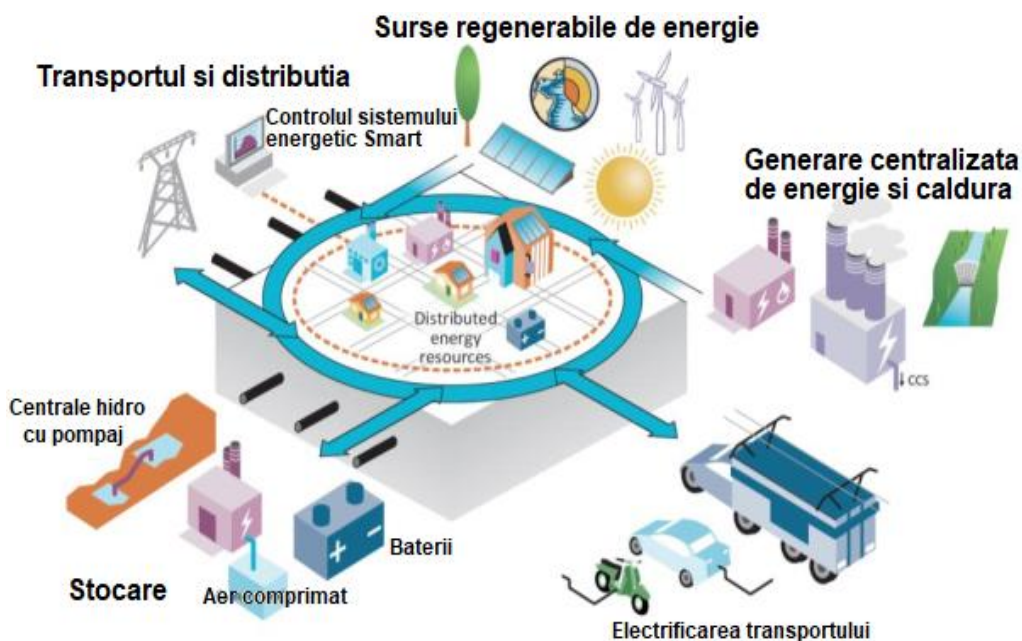


Fig. 2.2.1. Un sistem electric SMART interconectat și integrat al viitorului

Rețelele electrice actuale se bazează în principal pe centrale electrice de mare putere conectate la sisteme de transport al energiei electrice la înaltă tensiune, care, la rândul său, alimentează cu energie electrică sisteme de distribuție locale la medie și joasă tensiune. Sistemele de transport și de distribuție sunt de obicei conduse de monopoluri naturale (organisme naționale sau regionale) sub controlul autorităților din sectorul energetic. În schimb, sectorul de generare este tot mai competitiv.

Imaginea de ansamblu este încă una a fluxului de energie electrică într-o singură direcție, de la centralele electrice, prin sistemele de transport și distribuție, până la consumatorul final.

Dispecerizarea energiei și controlul rețelei este în responsabilitatea unor structuri centralizate care controlează mai multe regiuni dintr-un singur loc.

Proiectarea tradițională a rețelei a evoluat prin reducerea dimensiunii generării centralizate de mare putere a energiei electrice și prin distribuția geografică a resurselor de generare (locații aproape de minele de cărbune, de apă de răcire, de resursele hidro etc.). Rețelele au fost optimizate pentru caracter regional sau național. Interconexiunile au fost inițial dezvoltate pentru sprijin reciproc între țări și regiuni în situații de urgență, dar ele sunt din ce în ce mai utilizate pentru tranzacționarea energiei electrice între state.

Rețeaua de transport al energiei electrice asigură în mod tradițional fiabilitatea de ansamblu a livrării cu energie electrică și o excelentă bază de la care pot fi abordate viitoare provocări și oportunități (Figura 2.2.2).

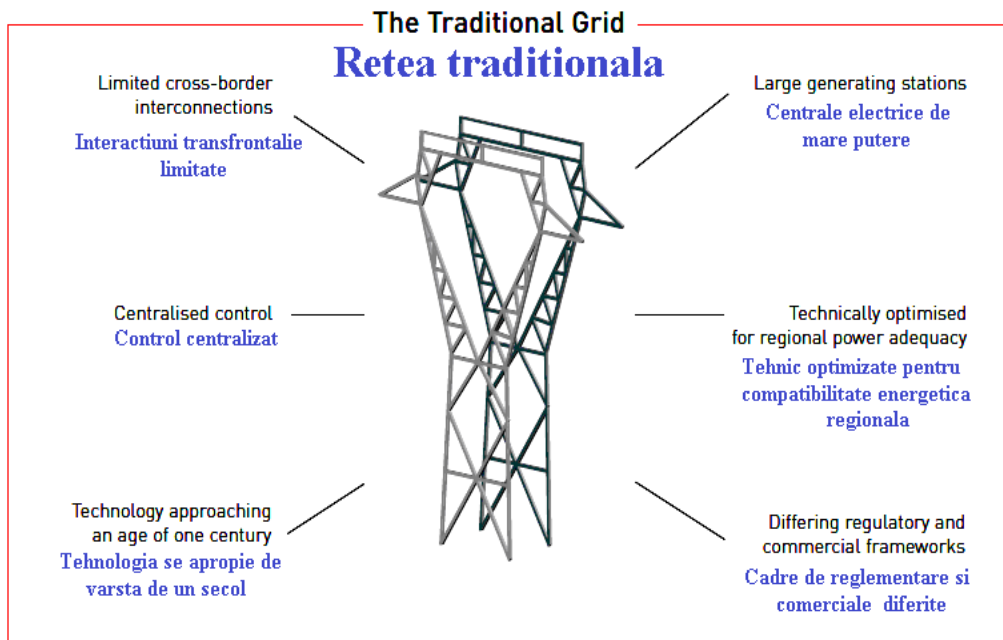


Fig. 2.2.2. Caracteristicile principale ale sistemului de transport și distribuție actual

Modernizarea rețelei necesită o strategie pe termen lung și aplicată în mai multe etape.

Pe măsură ce cererea de energie crește iar resursele de energie tradiționale se epuizează, fără dezvoltarea rețelelor Smart Grid valoarea reală a tehnologiilor specifice, cum ar fi energia solară, panourile foto voltaice (FV), parcurile eoliene, generarea distribuită, utilizarea automobilelor electrice, nu vor fi pe deplin valorificate.

Conform platformei Smart Grid europene, în viitorul apropiat sistemele inteligente de transport și de distribuție a energiei electrice vor deveni active și vor trebui să găzduiască fluxuri de putere bidirecționale (Figura 2.2.3).

Realizarea rețelelor inteligente necesită modernizarea rețelelor existente, diferențele între rețelele actuale și cele viitoare, de tip Smart Grid, putându-se observa în tabelul 2.2.1.

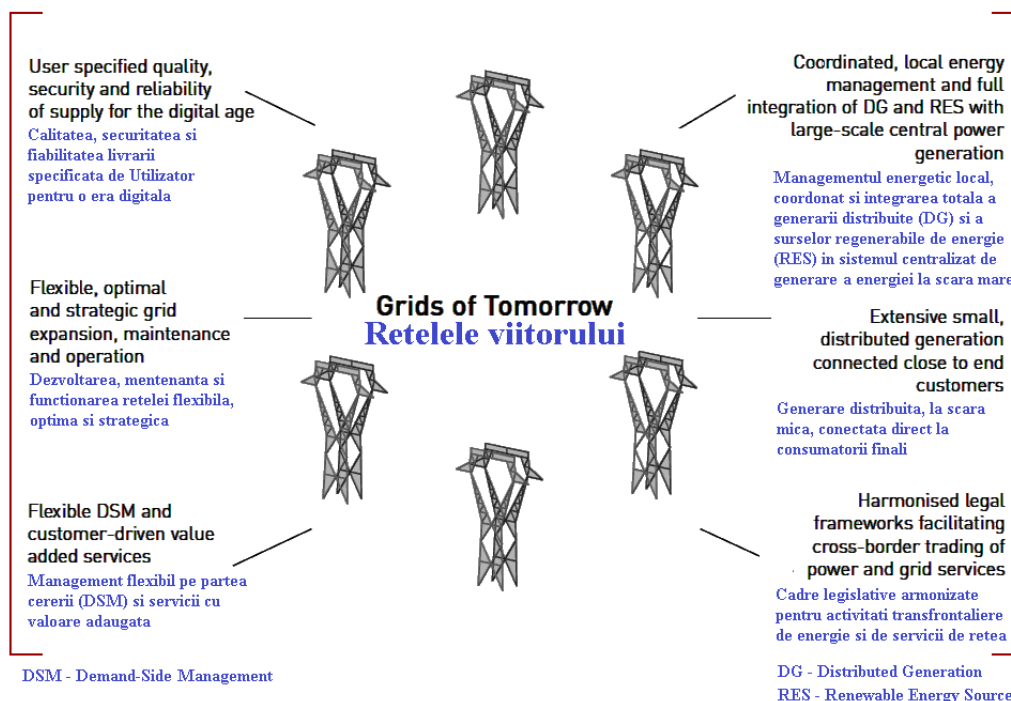


Fig. 2.2.3. Caracteristicile principale ale sistemelor de transport al energiei electrice Smart Grid

Tabelul 2.2.1. Modernizarea rețelelor electrice existente în urma realizării conceptului Smart Grid

Nr. crt.	Rețeaua actuală	Rețeaua viitoare Smart Grid
1	De regulă nu există sau există doar o singură cale de comunicație; nu în timp real	Comunicație bidirecțională și în timp real
2	Consumatorul interacționează limitat	Ia decizii inteligente, la un tarif dinamic
3	Multe din echipamente sunt electromecanice	Echipamente digitale și automate
4	Generarea energiei se face centralizat și în cantități mari	Centralizată și distribuită - deschide calea pentru resursele regenerabile de energie, limitarea producerii de CO ₂ și energia verde
5	Funcționarea și mentenanța sunt bazate pe operații manuale și timp	Monitorizează de la distanță, aplică mentenanța predictivă și cea bazată pe stare tehnică
6	Predispușe la defecte și întreruperi în cascadă	Caracteristici proactive, timp real și insularizare
7	Restaurarea este manuală	Adaptivă și auto-vindecare
8	Control limitat asupra fluxului de energie	Sisteme de control distribuite - stații electrice; automatizarea distribuției
9	Sisteme și aplicații autonome	Automatizare integrată, interoperabilă și coordonată

De asemenea Smart Grid este considerată un "Internet de energie", deoarece pune la dispoziția consumatorului informații despre energie în timp real, dându-i astfel posibilitatea să facă alegeri inteligente privind consumul.

Sistemele europene de electricitate au adoptat un model în care generatoarele de energie electrică sunt dispecerizate conform cu cerințele pieții, iar centrul de control al rețelelor își asumă rolul de supraveghere globală (pentru monitorizarea în timp real a stării tehnice a echipamentelor și instalațiilor componente ale sistemelor de transport a energiei electrice, pentru echilibrarea balanței de putere activă, pentru servicii auxiliare cum ar fi stabilitatea tensiunii etc.).

Rețelele de distribuție, pe de altă parte, au puține schimbări și tind să fie radiale, cu cea mai mare parte a fluxurilor de energie unidirecționale și cu funcționare "pasivă". Rolul lor principal este de furnizare a energiei pentru utilizatorii finali, în deplină siguranță și continuitate.

2.2.2. Funcțiile Smart Grid în contextul monitorizării on-line a liniilor și stațiilor electrice

Principalele funcții ale rețelelor inteligente Smart Grid sunt menționate în tabelul 2.2.2.

Tabelul 2.2.2. Funcțiile rețelelor inteligente

Nr. crt.	Funcțiile rețelelor inteligente	Scurtă descriere
1	Monitorizare, vizualizare, & control pe arie largă	Necesită senzori sincronizați în timp, comunicații și prelucrarea informațiilor care fac posibilă observarea și cunoașterea stării sistemului în timp real, astfel încât să se poată acționa în mod corect
2	Diagnoza și notificarea privind starea echipamentelor	Monitorizarea și analiza online a echipamentelor, a performanțelor lor și a mediului de funcționare pentru detectarea condițiilor anormale (de exemplu, numărul mare de operațiuni ale echipamentelor, temperatura, sau vibrații). Notificarea automată a managerilor și operatorilor de active, pentru a răspunde/a lua măsuri pentru stările (tehnice) care cresc probabilitatea de defectare a echipamentelor
3	Capacitate de evaluare dinamică	Poate fi obținută prin determinarea în timp real a capacității unei componente a rețelei (de exemplu linie electrică, transformator de putere, etc.) de a suporta sarcini pe baza condițiilor electrice și de mediu
4	Controlul fluxului de energie	Controlul fluxului de energie necesită tehnici care sunt aplicate la nivelul rețelelor de transport și distribuție a energiei electrice, pentru a influența calea pe care puterea electrică (activă și reactivă) este transportată. Acestea utilizează diverse soluții cum ar fi sisteme de transport alternativ flexibile (FACTS - Flexible AC Transmission Systems), transformatoare de reglaj al unghiului (PARS - Phase Angle Regulating Transformers), condensatoare serie și supraconductori cu impedanța foarte mică
5	Control automat al tensiunii și a puterii reactive	Necesită funcționarea coordonată a resurselor de putere reactivă, cum ar fi condensatoare, regulatoare de tensiune, comutatoare de reglaj sub sarcină la transformatoarele de putere, și generatoare distribuite (Distributed Generation - DG) cu sisteme de senzori, de control și de comunicații. Aceste dispozitive ar putea funcționa autonom ca răspuns la evenimente locale sau ca răspuns la semnalele de la un sistem central de comandă

Nr. crt.	Funcțiile rețelelor inteligente	Scurtă descriere
6	Protecție adaptivă	Utilizează setări reglabile pentru relee de protecție (de exemplu pentru curent, tensiune, linie electrică, echipamente), în timp real, pe baza semnalelor de la senzori locali sau de la un sistem de control centralizat. Aceasta este deosebit de utilă pentru transferul/ comutarea liniilor și aspectele legate de fluxul de energie bidirecțional asociat cu penetrarea mare a resurselor energetice distribuite (Distributed Energy Resources – DER)
7	Comutare automată a liniilor electrice	Izolarea și reconfigurarea automată a segmentelor de linie de distribuție avariate, cu ajutorul senzorilor, controalelor, aparaturii de comutație și a sistemelor de comunicații. Aceste dispozitive pot funcționa autonom ca răspuns la evenimente locale sau la semnalele de la un sistem central de comandă
8	Insularizare și reconectare automată	Separarea automată și reconectarea ulterioară (sincronizare autonomă) a unei porțiuni, exploatată independent, a sistemului de transport și distribuție (de exemplu microgrid) din rețeaua electrică interconectată. Microgrid este un sistem energetic integrat format din consumatori interconectați și resurse energetice distribuite, care, asemănător unui sistem integrat, poate funcționa în paralel cu rețeaua sau ca o „insulă”
9	Limitarea curentului de defect, a numărului de defecte și amplitudinii lor	Poate fi realizat prin senzori, comunicații, prelucrarea informațiilor și elemente de acționare care permit Operatorului de transport/distribuție a energiei electrice să aibă un grad mai mare de coordonare a rețelei pentru a reconfigura sistemul în scopul prevenirii depășirii nivelurilor periculoase pentru curenții de defect
10	Protecția sporită la defectare	Necesită o precizie mai mare și o mai mare exactitate privind locul și tipul de defect, pe baza măsurării coordonate între mai multe dispozitive. Pentru aplicații la rețelele de distribuție, aceste sisteme vor detecta și izola defectele fără deconectarea și reconectarea întregii linii reducând astfel frecvența/numărul curenților de defect. Folosind senzori de înaltă rezoluție și semnăturile/amprenta defectului, aceste sisteme pot detecta mai bine defectele de înaltă impedanță. Pentru aplicații în rețelele de transport, aceste sisteme vor folosi comunicații de mare viteză între multiple elemente (de exemplu stații electrice), pentru a proteja regiuni întregi, mai degrabă decât doar elemente singulare. De asemenea, vor folosi cele mai noi tehnici digitale ca un progres față de releele de impedanță convențională a liniilor de transport
11	Măsurarea și managementul sarcinii în timp real	Asigură măsurarea în timp real a energiei electrice furnizate consumatorului și managementul sarcinii prin infrastructuri avansate de măsură - Advanced Metering Infrastructure - AMI (contoare inteligente, comunicații bidirecționale) și aparate cu controlere încorporate care ajută clienții să ia decizii în cunoștință de cauză privind utilizarea energiei, prin semnalizarea prețului în timp real, tarife pe intervale de timp de utilizare (time-of-use -TOU) și opțiuni de servicii
12	Transferul sarcinii în timp real	Realizat prin reconfigurarea și optimizarea rețelei de alimentare în timp real pentru a diminua sarcina/încărcarea la echipamente, pentru a îmbunătăți utilizarea activelor, pentru a îmbunătăți eficiența sistemului de transport/distribuție și a spori performanța sistemului
13	Optimizarea utilizării electricității de către consumator	Posibilă în cazul în care consumatorilor le sunt furnizate informații pentru a lua decizii fundamentate cu privire la utilizarea energiei electrice. Consumatorii ar trebui să poată să optimizeze mai multe obiective cum ar fi costul, fiabilitatea, impactul asupra mediului

2.2.3. Domeniile Smart Grid și actorii implicați

Domeniile Smart Grid și factorii implicați în domeniu sunt prezentate succint în tabelul 2.2.3.

Tabelul 2.2.3. Domeniile Smart Grid și factorii implicați

Nr. crt.	Domeniu	Factori/Actori implicați în domeniu
1	Generare în cantități mari	Producătorii de energie electrică în cantități mari. Pot de asemenea să fie incluși și cei care stochează energie în cantități importante pentru a fi livrata mai târziu (în condiții de preț mai avantajoase)
2	Transportul energiei electrice	Operatorii de Transport a Energiei Electrice (OTS) în cantități mari și pe distanțe lungi. Aceștia pot de asemenea să stocheze și să genereze energie electrică, în situații critice pentru sistem (vârf de sarcini, stabilizare a tensiunii, etc.)
3	Distribuția energiei electrice	Operatorii de Distribuție a Energiei Electrice (ODS) la și de la consumatori. Și aceștia pot de asemenea să stocheze și să genereze energie electrică
4	Exploatare	Managerii responsabili cu managementul circulației energiei electrice
5	Prestatorii de servicii	Organizațiile care furnizează servicii companiilor de electricitate și consumatorilor
6	Piețe	Operatorii și participanții de pe piețele de energie electrică
7	Consumatorii	Utilizatorii finali de energie electrică care pot, de asemenea, să genereze, să stocheze și să gestioneze/ administreze utilizarea energiei. În mod tradițional, sunt în discuție trei tipuri de consumatori, fiecare cu propriul domeniu: casnici, comerciali/clădiri și industriali

Notă: O companie poate fi actor, atât în domeniul „Piețe” cât și în cel de „Exploatare”. În mod similar, o companie de distribuție nu este conținută în întregime în domeniul „Distribuție” - este foarte probabil ca ea să activeze de asemenea în domeniul „Exploatare”, (cum ar fi *Sistemul de Management al distribuției energiei electrice*), și/sau în domeniul „Consumator”.

2.2.4. Beneficiile realizării rețelelor inteligente

Necesitatea modernizării sistemului energetic și realizării Smart Grid este determinată de beneficiile importante pe care aceasta le aduce [NETL2010].

Beneficiile implementării Smart Grid pot fi clasificate după tipul lor și anume:

a) Beneficiile alimentării sigure și continue cu energie electrică și respectiv siguranței funcționării rețelelor electrice

O rețea inteligentă este ea însăși monitorizată continuu pentru a detecta situațiile periculoase sau nesigure care ar putea distra atenția de la marea sa fiabilitate și funcționare în condiții de siguranță.

Securitatea cibernetică la nivel superior este implementată în toate sistemele și operațiile, inclusiv în monitorizarea fizică a instalațiilor, securitatea instalațiilor, precum și în protecția vieții private a tuturor utilizatorilor și consumatorilor.

Comisia Europeană responsabilă cu elaborarea Platformei Smart Grid, a menționat, într-unul din documentele pe care le-a întocmit, importanța crucială

a rețelelor inteligente pentru securitatea și siguranța în funcționare a sistemelor energetice:

„Fără o dezvoltare efectivă a conceptelor SmartGrids, nu poate fi menținută securitatea Europeană privind alimentarea cu energie, în general și siguranța în funcționare a rețelelor electrice Europene, în particular. Aceasta este de importanță crucială nu numai pentru dezvoltarea la scară mare a energiei regenerabile, dar și pentru solicitările constant crescute și mult mai costisitoare privind condițiile de mediu, pe care rețelele electrice și metodologiile convenționale le vor îndeplini cu dificultate [Trans2021a].”

b) Beneficiile fiabilității și calității energiei

Smart Grid oferă o furnizare a energiei electrice fiabilă, cu întreruperi mai puține și de durată mult mai reduse, energie „mai curată” și sisteme energetice auto-vindecabile, prin utilizarea informațiilor digitale și a sistemelor de control automate și autonome.

c) Beneficiile eficienței energetice

Smart Grid este mult mai eficientă, asigurând consum total de energie mai redus, consum de vârf redus, pierderi de energie reduse și capacitate de a induce utilizatorilor finali hotărârea de a reduce consumul de energie electrică.

d) Beneficii de mediu și de conservare

Smart Grid facilitează îmbunătățirea mediului. Ea ajută la reducerea gazelor cu efect de seră (GES) și a altor poluanți prin reducerea generării energiei electrice din surse de energie ineficiente, sprijinul utilizării surselor regenerabile de energie și posibilitățile de înlocuire a vehiculelor pe benzină/motorină/gazolină cu vehicule electrice.

e) Beneficii financiare directe

Smart Grid oferă beneficii economice directe. Multe din costurile de funcționare sunt reduse sau evitate. Clienții au opțiuni de stabilire a prețurilor și au acces la informațiile despre furnizarea și consumul energiei electrice. Antreprenorii accelerează introducerea tehnologiilor avansate în generarea, distribuția, stocarea, precum și în coordonarea fluxului de energie electrică.

f) Beneficiile părților interesate

Beneficiarii rețelelor inteligente Smart Grid pot fi clasificați în trei grupuri de părți interesate:

1. *Consumatorii/Contribuabilii:* Consumatorii/Contribuabilii pot echilibra consumul de energie prin aprovizionare în mod inteligent. Smart Grid va oferi servicii suplimentare care nu sunt disponibile în prezent;
2. *Utilizatorii:* Utilizatorii (companiile de electricitate) pot oferi energie mai fiabil, mai ales în timpul situațiilor de urgență, în timp ce costurile lor de gestionare sunt mult mai eficiente.
3. *Societatea:* Societatea beneficiază de o furnizare a energiei mult mai fiabilă. Energia regenerabilă cu eficiență crescută și vehiculele electrice vor reduce costurile de mediu, inclusiv amprenta de carbon.

Un beneficiu adus oricăreia dintre aceste părți interesate poate, la rândul său, aduce beneficii și pentru ceilalți. Acele beneficii pot reduce costurile la micii utilizatori sau pot preveni creșterea prețurilor, la consumatori.

2.3. Concluzii

În cadrul acestui capitol au fost prezentate noțiunile teoretice legate de definirea conceptului de Smart Grid, cauzele și nevoile care au condus la implementarea unui astfel de concept în țările dezvoltate ale lumii și factorii care susțin implementarea tehnologiilor inteligente.

Ca și concluzii, pentru a facilita o mai bună conectare și funcționare a surselor de energie, pentru a permite consumatorilor să joace un rol în optimizarea funcționării sistemului, pentru a îmbunătăți siguranța în funcționare a sistemului electroenergetic național, în condițiile reducerii impactului asupra mediului înconjurător și dezvoltării unei piețe europene integrate, a fost și este necesară implementarea unui astfel de concept, promovarea și implementarea unor politici coerente privind realizarea unei rețele electrice inteligente ce utilizează produse și servicii inovatoare, împreună cu tehnologii inteligente de monitorizare, control, comunicare, precum și de auto-vindecare.

În ceea ce privește contribuția personală la acest capitol, aceasta a constat în realizarea unei sinteze documentate, în viziune proprie, bazată pe un amplu studiu bibliografic, a elementelor teoretice legate de conceptul de Smart Grid, în contextul înțelegerii nevoilor actuale identificate în rețeaua electrică de transport al energiei electrice din România.

3. MONITORIZAREA ON-LINE A LINIILOR ELECTRICE AERIENE DE ÎNALTĂ TENSIUNE

Obiectivul capitolului 3 este de a scoate în evidență necesitatea monitorizării on-line a liniilor electrice aeriene (LEA) de înaltă tensiune, ca parte a implementării Smart Grid în România. De asemenea, sunt prezentate cercetările tehnico-aplicative realizate până în prezent, cercetări care au avut în vedere, pe de o parte, deficiențele și defectele care apar în funcționarea liniilor electrice din diferite cauze, care de cele mai multe ori nu se descoperă imediat, ci după investigații minuțioase și de lungă durată, pe de altă parte, congestiile în sistemele de transport care sunt sporadice și dificil de a se prezice unde vor apare, congestiile care trebuie să fie depășite cu efecte minime, acolo unde dezvoltarea rețelei este dificil de realizat. Așadar, în prima parte din acest capitol sunt prezentate câteva exemple de avarii la liniile electrice aeriene din România, constând în declanșări cauzate de condiții climatice grele, defecțiuni determinate de acțiunea mediului ambiant și îmbătrânirea materialului, precum și în defecțiuni ale liniilor supuse unor eforturi mecanice deosebite datorate condițiilor climatice extrem de dure (vânt puternic, chiciură, temperaturi foarte scăzute).

Totodată, acest capitol se focusează pe prezentarea parametrilor de funcționare și de stare tehnică ai LEA, precum și pe prezentarea echipamentelor sau sistemelor de monitorizare on-line a LEA, existente în prezent în lume, în funcție de metodele folosite pentru determinarea parametrilor de funcționare a liniilor electrice.

3.1. Necesitatea monitorizării on-line

Cercetările tehnico-aplicative din cadrul prezentei lucrări au avut drept domeniu principal rețelele inteligente de monitorizare și control în timp real a transferului fluxului de energie de la producători la consumatorii finali (figura 3.1.1.), cu referire specifică la monitorizarea on-line a liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune la nivelul cerințelor tehnice actuale pe plan național și internațional și în concordanță cu strategia energetică în România pentru perioada 2016-2030.

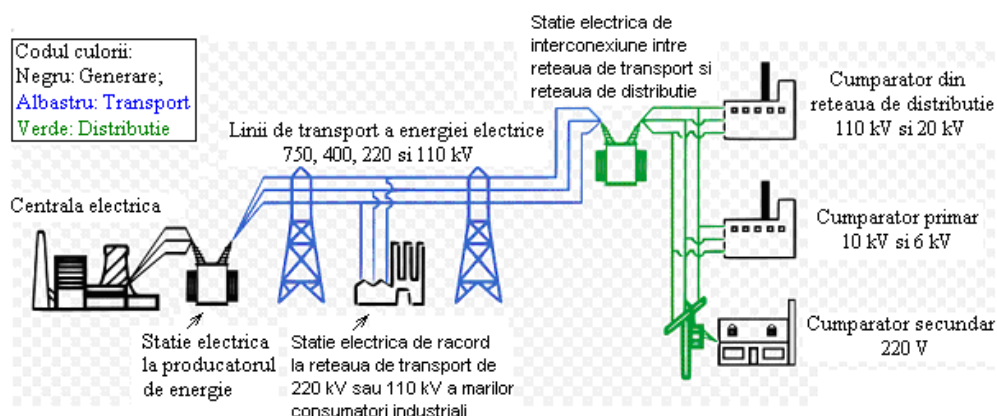


Fig. 3.1.1. Schema de principiu a transferului energiei electrice de la producători la consumatori

Monitorizarea on-line este astfel gândită încât să țină seama de următoarele particularități specifice sectorului electroenergetic [Barth2008], [Barto2008], [Bond 2008], [CIGRE2010], [CIGRE2007a], [CIGRE2000], [CIGRE2008b], [Cloet2011], [Dai2013], [Doug2014] :

- a) Sistemele de monitorizare on-line trebuie să poată integra atât liniile și echipamentele electrice primare de înaltă tensiune vechi cât și pe cele noi (rezultat al operației de modernizare și rețehnologizare) din SEN, corespunzător noilor cerințe tehnice de vehiculare automată a informației pentru o mai bună gestiune a resurselor din sistem;
- b) Majoritatea incidentelor și defectelor produse la liniile și echipamentele electrice primare de înaltă tensiune implică o perioadă de timp necesară trecerii de la faza de inițiere până în faza de avarie/incident, ele putând fi depistate / sesizate în fază incipientă prin monitorizarea on-line;
- c) Defecțiunile la liniile și la echipamentele electrice de înaltă tensiune se pot produce în cascadă, putând cauza întreruperea alimentării cu energie electrică pe arii mari (blackouts) și pierderi economice importante;
- d) Întreruperea alimentării cu energie electrică poate afecta instantaneu un număr mare de sectoare de infrastructură critică (energetic, transport, sănătate, informații și comunicații, alimentare cu apă, alimentație etc.).

Pentru operatorii de transport de energie electrică, necesitatea și oportunitatea realizării monitorizării on-line a liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune este determinată de următorii factori [Reid2002], [Doug2000a]:

- obținerea în timp real a datelor despre parametrii de funcționare și de stare tehnică;
- furnizarea de avertismente, în avans, în cazul unor probleme de funcționare în apropierea sau peste limitele admise:
 - temperatura conductorului peste limita de alarmă;
 - săgeata/gabaritul conductorului peste/sub limita de alarmă;
 - forța de tracțiune în conductorul LEA/lanțul de izolatoare peste limita de alarmă;
 - oscilațiile/galoparea conductorului peste limita de alarmă;
 - înclinarea stâlpului peste limita de alarmă; etc.
- timp de reacție rapid pentru situații neprevăzute și capacitate crescută de reacție la intemperii;
- optimizarea utilizării liniilor electrice;
- corelarea dintre gradul de încărcare reală a liniei electrice, capacitatea de încărcare (ampacitatea) proiectată și condițiile meteo (pentru aplicarea regimului dinamic de încărcare a liniei electrice – DLR);
- eliminarea intervențiilor inutile și adeseori riscante;
- întreruperi minime ale rețelei în vederea remedierii unor disfuncționalități sesizate din timp;
- instalațiile/echipamentele învechite și/sau bugete de investiție reduse fac obligatorie creșterea duratei de funcționare a tuturor componentelor active ale LEA din RET până la limita duratei de exploatare și chiar peste;
- nevoia ca liniile de transport a energiei electrice să funcționeze până la limita lor sau chiar peste, pe toată perioada de funcționare impun:
 - cunoașterea cât de repede posibil unde și când a apărut o problemă;
 - optimizarea activității de mentenanță sub aspect tehnic și economic;
 - optimizarea costurilor de exploatare a LEA;
 - prevenirea incidentelor grave cu repercusiuni deosebite de natură tehnico-economică, umană;

- prevenirea/limitarea acțiunilor de vandalism înregistrate asupra componentelor din LEA;
- crearea bazei de date în vederea aprecierii stării tehnice, precum și a duratei de viață a LEA;
- optimizarea capacității de transport.
- costurile din ce în ce mai mari pentru eliminarea restricțiilor tehnice și a congestiilor interne rețelei electrice de transport (prin implementarea unor sisteme de tip Smart-Grid, care cuprind echipamente de monitorizare a parametrilor LEA, aceste costuri pot fi reduse la jumătate).

Pe perioada exploatării liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune, din componența rețelei electrice de transport din România, au apărut o multitudine de defecte datorită diferitelor cauze, de multe ori neidentificate imediat, ci în urma unor investigații aprofundate și de durată:

- declanșări datorită condițiilor climatice grele;
- defecțiuni determinate de acțiunea mediului ambiant și îmbătrânirea materialului (figurile 3.1.2. a,b);
- defecțiuni ale liniilor supuse, în anumite perioade ale anului, unor eforturi mecanice deosebite datorate condițiilor climatice extrem de dure (vânt puternic, chiciură, temperaturi foarte scăzute), precum LEA 400 kV CNE Cernavodă-Gura Ialomiței, LEA 400 kV CNE Cernavodă-Pelicanu, LEA 400 kV Jântăreni-Sibiu Sud, LEA 400 kV Bradu-Jântăreni, LEA 400 kV Gutinaș-Brașov, LEA 220 kV Porțile de Fier-Reșița, LEA 220 kV Paroșeni-Târgu Jiu, LEA 220 kV Lotru-Sibiu Sud și altele, ce alcătuiesc RET (Figurile 3.1.3. a,b; 3.1.4).



a)



b)

Fig. 3.1.2. LEA 400 kV: Stâlp de 400 kV căzut în timpul unei furtuni de zăpadă datorită ruperii ecliselor de prindere a doua ancore la fundația subterană



a)



b)

Fig. 3.1.3. LEA 220 kV: Stâlpi metalici afectați de vântul foarte puternic



Fig. 3.1.4. Galoparea conductoarelor LEA de 400 kV datorită vântului puternic

- defectări ale componentelor LEA pentru care nu s-au avut stocări și procesări de informații detaliate despre mediul înconjurător și despre starea lor, precum: stâlpi, conductoare active, lanțuri de izolatoare etc. (Figurile 3.1.5. a,b);



a)



b)

Fig.3.1.5. LEA 220 kV Stâlpi metalici înclinați sau căzuți afectați de eroziunea terenului datorită precipitațiilor abundente

- reducerea gabaritului față de sol a liniilor electrice aeriene datorită vegetației și/sau a construcțiilor sub sau în apropierea conductoarelor liniei (Figurile 3.1.6 și 3.1.7):
- acțiuni vandalice asupra stâlpilor de înaltă tensiune (prin tăierea ancorelor sau a structurilor metalice ale stâlpului) care au determinat întreruperea funcționării liniilor electrice și pagube economice importante (Figurile 3.1.8 - 3.1.10).



Fig. 3.1.6. LEA 400 kV Urechești - Rovinari, 2008, gabarit redus datorită copacilor sub și în culoarul liniei electrice aeriene



Fig. 3.1.7. LEA 220 kV Stejaru - Gheorghieni, 2008, culoar de trecere, de protecție și de siguranță redus de construcții sub sau în apropierea LEA



a)



b)

Fig. 3.1.8. Stâlp de 400 kV deteriorat ca urmare a tăierii ancorelor



a)



b)

Fig. 3.1.9. Stâlpi de înaltă tensiune doborâți de hoții de metale
a) stâlp de 750 kV pe LEA750/400 kV Isaccea – Varna;
b) 7 (șapte) stâlpi metalici pe LEA 400 kV Tariverde-Tulcea Vest distruși în 2014
(indisponibilitate LEA 36 zile)



Fig. 3.1.10. 2 (doi) stâlpi metalici de la LEA 400 kV Roșiori – Oradea
distruși în 2014 (indisponibilitate LEA 16 zile)

3.2. Parametrii de funcționare și de stare tehnică a LEA

Pentru optimizarea exploatarei sistemelor de transport și distribuție la înaltă tensiune a energiei electrice este necesar să se monteze sisteme de monitorizare a parametrilor funcționali și a condițiilor climatice locale, sisteme integrabile în rețelele Smart-Grid. Aceste sisteme cuprind senzori de mare sensibilitate, care pot să transmită informații privind starea în timp real a LEA [CIGRE2004], [CIGRE2008a].

Pentru stabilirea condițiilor de funcționare a liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune și posibilitatea aplicării tehnologiei de încărcare dinamică (Dynamic Line Rating – DLR) a acestora, importanți sunt următorii parametri principali care definesc starea tehnică de funcționare a unei linii și anume:

- 1) intensitatea curentului prin conductorul activ al liniei;
- 2) temperatura conductorului liniei;
- 3) săgeata conductorului liniei;
- 4) tensiunea/forța de tracțiune în conductoarele liniei;
- 5) oscilațiile conductorului liniei.

Parametrii menționați, referitori la funcționarea liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune, sunt influențați puternic de condițiile meteo și anume:

- a) temperatura aerului ambiant în apropierea conductorului LEA;
- b) presiunea și direcția vântului în raport cu direcția LEA;
- c) radiația solară;
- d) depunerea chiciurei sau a gheții pe conductorul LEA.

3.3. Echipamente de monitorizare on-line a LEA de înaltă tensiune

Pentru măsurarea și monitorizarea on-line a parametrilor menționați la punctul 3.2. există pe plan internațional sisteme/echipamente/dispozitive de monitorizare on-line a liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune, care se împart în două categorii, în funcție de metodele folosite pentru determinarea parametrilor de funcționare a liniilor electrice, și anume:

- a) metode directe;
- b) metode indirecte.

Echipamentele/dispozitivele de monitorizare directă obțin date despre caracteristicile liniei prin intermediul uneia dintre următoarele variabile: săgeata conductorului, tensiunea/forța de tracțiune în conductoarele liniei, gabaritul/săgeata conductorului sau temperatura conductorului. Sistemele de monitorizare directă utilizează de obicei intrări suplimentare de la un sistem de monitorizare a mediului ambiant pentru a calcula parametrii de funcționare a liniei.

Echipamentele de monitorizare sunt instalate pe linia aeriană, de unde transmit datele direct sau prin intermediul unui Dispozitiv Electric Inteligent (IED) montat local pe unul din stâlpii LEA, către sistemul de management și control.

Metodele indirecte de măsurare se bazează pe măsurarea parametrilor mediului ambiant în lungul liniei și pe faptul că se cunoaște din măsurătorile în stație valoarea curentului pe LEA.

Sistemele de monitorizare pot avea funcții diferite. Unele dintre ele sunt utilizate pentru monitorizarea on-line a condițiilor meteorologice și/sau pentru măsurarea temperaturii conductorului LEA și/sau pentru măsurarea curentului prin

conductorul LEA și/sau pentru măsurarea săgeții conductorului LEA și/sau pentru măsurarea tensiunii în conductorul LEA.

Sistemele de monitorizare on-line și metodele existente au fost clasificate în funcție de complexitate și precizia de măsurare și/sau de determinare prin calcul a parametrilor de funcționare a liniilor electrice aeriene.

Pentru a evalua monitorizarea sistemului, toate metodele au fost împărțite în următoarele categorii [Kari2019], [Muhr2008]:

- a. Evaluarea statică (Static rating - STR) sau fără evaluare: o încărcare standard a liniilor, conform standardelor internaționale sau naționale;
- b. Evaluare sezonieră (Seasonal rating - SER): cunoscută și sub denumirea de vară-iarnă sau, în mai multe cazuri, evaluare vară - toamnă - iarnă;
- c. Evaluare pe baza datelor meteo (Weather model - WM): evaluare bazată pe datele meteorologice medii colectate pe o perioadă de câțiva ani. Aceasta are o precizie mai bună decât ratingul sezonier;
- d. Evaluare pe baza prognozei meteo (Weather forecast - WF): metodă de monitorizare on-line, atunci când sunt colectate date meteo în timp real în apropierea conductorului și valorile sunt stabilite conform previziunilor;
- e. Evaluarea temperaturii conductorului (Conductor temperature evaluation CTE): o metodă de monitorizare on-line, când temperatura conductorului se măsoară cu ajutorul senzorului/lor de temperatură;
- f. Monitorizarea forței de tracțiune în conductorul LEA (Tension monitoring TM): procesul de monitorizare a forței de tracțiune se face prin plasarea celulelor de sarcină/tracțiune în serie cu lanțul de izolatoare. Celulele de sarcină/tracțiune trebuie izolate electric de conductorul LEA aflat la înalta tensiune. Monitorizarea forței de tracțiune este utilă, deoarece există o relație directă între înclinarea și forța de tracțiune în conductor. Majoritatea sistemelor de monitorizare a forței de tracțiune necesită instalarea și a echipamentelor pentru monitorizarea on-line meteo, pentru evaluarea ulterioară a parametrilor sistemului și calcularea ampacității liniei;
- g. Măsurarea săgeții liniei (Conductor sag measurement - CSM): este un sistem mai avansat care poate măsura efectiv săgeata conductorului liniei prin plasarea unor astfel de echipamente în cele mai defavorabile zone ale sistemului energetic, linia putând astfel să funcționeze în marjele de siguranță. Metoda este ideală pentru liniile electrice când densitatea curentului este mai mare de 1 A/mm^2 ;
- h. Măsurarea gabaritului la sol (Clearance-to-ground measurement - CTGM): sistemul de monitorizare on-line a liniei electrice aeriene măsoară direct nu săgeata conductorului, ci gabaritul conductorului față de sol;
- i. Monitorizarea on-line a fiecărui segment de linie aeriană sau monitorizare la scară completă (full scale monitoring FSM); această metodă poate fi o combinație a mai multora dintre metodele menționate la pct. E-H. Principala caracteristică a acestei metode constă în plasarea unor senzori mici de-a lungul liniei. Plasarea a numeroase dispozitive de-a lungul liniei electrice determină un preț relativ ridicat a sistemului de monitorizare on-line a LEA.

Unele dintre echipamentele de monitorizare a liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune pot fi atribuite mai multor categorii în același timp, deoarece oferă seturi de date diferite pentru evaluarea corectă a liniilor electrice aeriene.

Prin urmare, pentru estimarea corectă a avantajelor fiecăruia dintre dispozitivele de monitorizare, informațiile despre precizia fiecăruia dintre module trebuie să fie combinată și analizată.

În prezent, pe piața internațională, există cel puțin 20 de tipuri comerciale de sisteme de monitorizare on-line a liniilor electrice aeriene, unele mai complexe altele mai simple, fiecare dintre acestea diferind în funcție de mai mulți factori :

- tipul și numărul senzorilor de măsurare directă a parametrilor LEA menționați (tabelele 3.3.1, 3.3.2 și figura 3.3.1);
- caracteristicile tehnice măsurate, domeniul și precizia de măsurare (tabelele 3.3.3, 3.3.4, 3.3.5);
- modul de alimentare cu energie electrică (tabelul 3.3.6) etc.

Tabelul 3.3.1. Parametri de funcționare ai LEA, mășurați direct (nu prin calcul) de sistemul de monitorizare

Nr. Crt.	Tipul sistemului de monitorizare	Temperatura conductorului LEA	Curentul în conductor	Unghiul de înclinare a conductorului	Săgeata conductorului	Forța de tracțiune în conductor	Oscilațiile conductorului
1	Power Donut (SUA)	x	x	x			
2	SMT (Spania)	x	x				
3	OTLM (Slovenia)	x	x				
4	TLM (SUA)	x		x			x
5	FMC-T6 (SUA)	x	x				
6	Emo (SUA)	x					
7	Ritherm (Germania)	x					
8	Astrose (Germania)	x	x	x	x		x
9	CAT1 (SUA)					x	
10	Ampacimon (Belgia)						x
11	Sagometru (SUA)				x		
12	TLSM (SUA)	x	x				
13	OLM (Coreea de Sud)	x	x	x	x		

Tabelul 3.3.2. Influența tipului de echipament de monitorizare

Nr. crt.	Tipul sistemului de monitorizare (parametrul măsurat)	Cost				Precizie				
		Costul procurării	Costul instalării	Costul mentenanței	Este necesară scoaterea LEA de sub tensiune pentru instalare	Domeniul de măsurare	Vânt normal Curent mare pe LEA	Vânt normal Curent mic pe LEA	Vânt slab Curent mare pe LEA	Vânt mare Curent mic pe LEA
1	Temperatura conductorului	Medie	Medie	Medie	Nu(*)	Variabil	Bună	Redusă	Bună	Bună
2	Curentul prin conductor	Medie	Medie	Medie	Nu (*)	Punctual	Bună	Redusă	Bună	Bună
3	Săgeata conductorului prin metoda înclinometru	Medie	Medie	Medie	Nu(*)	Deschideri multiple	Bună	Bună	Mare	Bună
4	Gabaritul conductorului	Medie	Medie	Medie	Nu (*)	Deschideri multiple	Bună	Redusă	Bună	Redusă

Nr. crt.	Tipul sistemului de monitorizare (parametrul măsurat)	Cost				Precizie				
		Costul procurării	Costul instalării	Costul mentenanței	Este necesară scoaterea LEA de sub tensiune pentru instalare	Domeniul de măsurare	Vânt normal Curent mare pe LEA	Vânt normal Curent mic pe LEA	Vânt slab Curent mare pe LEA	Vânt mare Curent mic pe LEA
5	Forța de tracțiune în conductor	Medie	Mare	Mare	Da	Deschideri multiple	Bună	Redusă	Mare	Bună
6.	Parametrii mediului	Medie	Redus	Redus	Nu	Variabil	Bună	Bună	Redusă	Bună
7.	Combinat	Medie	Medie	Medie	Da	Deschideri multiple	Bună	Bună	Mare	Bună

NOTĂ: (*) montajul se poate face cu linia sub tensiune sau cu linia scoasă de sub tensiune (o perioadă scurtă de timp (maxim o oră)).



Fig. 3.3.1. Tipuri de sisteme comerciale bazate pe/și pe monitorizarea temperaturii conductorului LEA (pozițiile a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, l, m, n) (exemple)

Tabelul 3.3.3. Temperatura conductorului LEA, minimă și maximă, măsurată direct și precizia de măsură

Nr. crt	Tipul sistemului de monitorizare	Temperatura minimă a conductorului (°C)	Temperatura maximă a conductorului (°C)	Precizia de măsurare a temperaturii (°C)
1	Power Donut	-40	250	± 1
2	SMT	0	120	-
3	OTLM	-40	125	± 1
4	TLM	-	250	-
5	FMC-T6	-10	85	± 2
6	Emo standard	-25	85	±1,5
7	Emo pentru temperatura ridicată	-25	210	±1,5
8	Ritherm	-35	150	±0,5
9	OHLM	-35	250	±1

Tabelul 3.3.4. Intensitatea curentului prin conductorul LEA măsurată și precizia de măsurare

Nr. crt.	Tipul sistemului de monitorizare	Intensitatea minimă a curentului prin conductorul LEA (A)	Intensitatea maximă a curentului prin conductorul LEA (A)	Precizia de măsurare a intensității curentului (%)
1	Power Donut	60	1500	±0,5
2	SMT	100	1500	-
3	OTLM	65	1100	-
4	FMC-T6 300	10	300	±1
5	FMC-T6 600	30	600	±1
6	Arteche	100	1500	± 1

Tabelul 3.3.5. Săgeata/gabaritul conductorului LEA și precizia de măsură

Nr. crt.	Tipul sistemului de monitorizare	Domeniul de măsură		Precizia de măsurare	
		Înclinarea conductorului (°)	Gabaritul conductorului (cm)	Înclinarea conductorului (°)	Săgeata/Gabaritul conductorului (cm)
1	Power Donut	± 11		±0,05	
2	Ampacimon				± 20
3	Astrose	± 10			
4	TLM		max. 3650		±10
5	CAT 1				± 6
6	TLSM	± 10			

Tabelul 3.3.6. Modul de alimentare cu energie electrică a sistemului de monitorizare LEA

Nr. crt.	Tipul sistemului de monitorizare	Alimentarea cu energie electrică a senzorilor aflați pe conductorul LEA	Intensitatea minimă a curentului prin conductorul LEA la care echipamentul de monitorizare începe să funcționeze (A)	Baterie de back-up (de rezervă) (h)	Durata de viață a bateriei (an)
1	Power Donut	Autoalimentat	60 0-60	12	
2	SMT	Autoalimentat	100	-	
3	OTLM	Autoalimentat	50	-	
4	TLM	Autoalimentat	100	0	
5	FMC-T6 300	Autoalimentat	10	48	
6	FMC-T6 600	Autoalimentat	30	48	
7	CAT	Autoalimentat	80	-	10

În tabelul 3.3.2 s-a prezentat analiza influenței tipurilor de senzori aferenți sistemului de monitorizare asupra: costurilor de procurare, instalare și respectiv mentenanță; tehnologiei de execuție a montajului, domeniului de măsurare și preciziei de măsură în funcție și de influența vântului

Din tabelul 3.3.2. rezultă următoarele concluzii importante:

- a) fiecare metodă de măsurare și monitorizare a parametrilor de funcționare a liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune, are avantaje și dezavantaje;
- b) dintre toate metodele, cea bazată pe măsurarea săgeții conductorului asigură cele mai multe avantaje;
- c) pentru reducerea riscurilor de evaluare corectă a parametrilor de funcționare a unei linii electrice aeriene de înaltă tensiune, bază pentru aplicarea regimului de încărcare dinamică a liniei, companiile de electricitate (OTS sau OD) folosesc echipamente de monitorizare care au minim trei senzori de măsurare simultană (de regulă senzori de curent, de temperatură și de înclinație), la care se adaugă stația meteo, iar pentru situații dificile de exploatare (de mediu sau de regim de funcționare) se poate adăuga și senzorul de măsurare a forței de tracțiune a conductorului liniei.

3.4. Concluzii

Prin monitorizarea on-line a liniilor electrice aeriene se pot obține în timp real datele privind funcționarea și starea tehnică a acestora. În același timp, aceste sisteme pot furniza din timp avertismente în cazul unor probleme de funcționare în apropierea sau peste limitele permise ale LEA, ceea ce conduce la un timp de reacție mult mai scurt pentru rezolvarea unor situații neprevăzute și la o capacitate crescută de reacție în condiții meteo nefavorabile.

Implementând acest concept se optimizează utilizarea liniilor electrice, se elimină intervențiile inutile și adesea riscante și se minimizează întreruperile în rețea pentru a remedia unele defecțiuni sesizate la timp.

Nu în ultimul rând, instalațiile/echipamentele depășite și/sau bugetele reduse de investiții și mentenanță majoră fac obligatorie creșterea duratei de viață a tuturor componentelor active ale LEA în RET până la limita timpului de funcționare și chiar și peste. Acest lucru conduce la creșterea costurilor pentru eliminarea restricțiilor tehnice și a congestiilor interne ale rețelei de transport al energiei electrice. Prin implementarea sistemelor Smart-Grid, care includ echipamente pentru monitorizarea parametrilor LEA, aceste costuri pot fi reduse considerabil.

În ceea ce privește contribuția personală la acest capitol, aceasta a constat în efectuarea unei analize tehnice a tuturor avariilor cu impact semnificativ asupra rețelei electrice de transport al energiei electrice, pentru a identifica atât cauzele ce au condus la producerea acestor incidente, dar mai ales consecințele acestora. Concluziile acestei analize au fost relevante pentru fundamentarea necesității realizării acestor sisteme. În același timp, contribuția autorului a fost determinantă în realizarea unei analize de detaliu, bazată pe un amplu studiu bibliografic, privind arhitectura tuturor tipurilor de sisteme de monitorizare on-line a liniilor electrice aeriene existente în lume, cu scopul de a identifica parametrii monitorizați, rezultatele obținute în timp prin folosirea acestor sisteme și factorii care fac diferența dintre ele: metodele folosite pentru determinarea parametrilor de funcționare a liniilor electrice (metode directe, indirecte), tipul și numărul senzorilor de măsurare directă a parametrilor LEA, caracteristicile tehnice măsurate, domeniul și precizia de măsurare și modul de alimentare cu energie electrică al acestora.

4. ÎNCĂRCAREA DINAMICĂ A LEA DE ÎNALTĂ TENSIUNE (REGIMUL DLR)

Capitolul de față își propune introducerea și dezvoltarea teoretică a tehnologiei de încărcare dinamică a liniilor electrice aeriene prin utilizarea mai multor tehnici de măsurare / monitorizare on-line și prognoză disponibile.

În acest sens, capitolul începe cu câteva considerații privind regimul DLR și continuă cu prezentarea scopului evaluării stării tehnice a LEA și aplicării acestei tehnologii, evidențiind diferența dintre regimul static și regimul dinamic de încărcare a liniilor, precum și factorii care afectează capacitatea termică de încărcare a liniilor.

În același timp, obiectivele finale ale acestui capitol sunt să prezinte regimurile de încărcare a LEA (regimul static, respectiv dinamic), menționând parametrii critici care se urmăresc în special, în cazul regimului de încărcare dinamic și beneficiile aduse de tehnologiile DLR.

4.1. Considerații preliminare

Necesitatea reducerii congestiilor în rețelele electrice de transport și utilizării mai intense a infrastructurilor sistemului de transport a determinat Operatorii Sistemelor de Transport al energiei electrice (OTS) să efectueze investigații privind măsurile adecvate pentru a atinge aceste obiective.

În plus, pentru OTS, construcția de noi linii de transport nu este o procedură simplă, ca urmare a reglementărilor stricte de mediu, dar și a costurilor mari ale investițiilor.

Una dintre opțiunile posibile identificate se bazează pe aplicarea tehnologiei de încărcare dinamică a liniei prin utilizarea mai multor tehnici de măsurare / monitorizare on-line și prognoză disponibile [Maya2010], [Puf2012], [Uski2012], [Wang 2014].

Achiziția de date aferentă este foarte des combinată cu măsurători meteorologice. Având la dispoziție ambele informații, acestea se pot folosi într-un proces de obținere a limitelor variabile ale parametrilor de funcționare a unei linii electrice de transport utilizând inclusiv datele prognozate privind răcirea sau încălzirea mediului ambiant, respectiv datele referitoare la direcția și viteza vântului ca factori majori de intrare [CIGRE2010], [WMO2008].

Implementarea regimului dinamic de încărcare a liniei este o soluție importantă și promițătoare, acesta înlocuind regimul static de încărcare. Regimul static de încărcare a liniei se bazează pe anumite ipoteze destul de conservatoare cu privire la condițiile atmosferice de operare [Pohl2000].

Această abordare a fost larg acceptată și utilizată pe plan național și internațional, cu zeci de ani în urmă, când diferite tehnici de măsurare directe și indirecte nu erau disponibile sau erau folosite foarte rar.

În ultimul deceniu s-au realizat îmbunătățiri semnificative în domeniul tehnicilor de măsurare și monitorizare on-line în timp real și a telecomunicațiilor, permițând testarea și folosirea cu succes a regimului dinamic de încărcare a liniei electrice aeriene în funcționare. Un număr semnificativ de Operatori de sistem (OTS-uri) au abordat această variantă posibilă de exploatare a liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune, în moduri diferite, neexistând încă o confirmare finală privind soluția optimă referitoare la combinația de măsurători on-line și algoritmi de calcul.

Necesitatea și scopul introducerii și utilizării regimului dinamic de încărcare a liniilor electrice aeriene este de a utiliza în siguranță capacitatea de transport a liniilor electrice de înaltă tensiune existente pe baza condițiilor reale în care acestea funcționează [Aiva2010], [Albi2005], [Dino2009], [Doug2000a], [Doug2014], [Drag2008], [ENTSO2013b], [EPRI2013], [Falc2015], [Liji2008], [Maya2010], [Mold2016], [Nguy2010], [Pand2003], [Penc1998], [Pram2008], [Step2012], [Uski2012], [USDE2014].

4.2. Scopul evaluării stării LEA și al aplicării tehnologiei DLR

O diferență crucială între regimul static de încărcare și respectiv regimul dinamic de încărcare a liniilor este acela că „curentul static” este calculat pe baza unor condiții atmosferice destul de conservatoare, în timp ce la regimul de încărcare dinamic al liniei se iau în considerare condițiile atmosferice reale, care de cele mai multe ori oferă o răcire mai bună și permite astfel un curent „dinamic” mai mare.

Calculul regimului dinamic de încărcare a unei LEA de transport este o sarcină solicitantă, deoarece trebuie să rezolve inerent două probleme:

1. determinarea curentului limită termic pentru un anumit tronson de linie care poate implica diferite măsurători și diferite tehnici de calcul;
2. determinarea tronsonului de linie cel mai slab, adică tronsonul care reprezintă o limitare pentru întreaga linie electrică, care presupune că a fost efectuată determinarea curentului limită termic pentru toate secțiunile.

În figura 4.2.1 sunt descriși câțiva factori principali care influențează capacitatea de încărcare a unei linii electrice, pentru un coridor tipic.

Se observă că aceeași temperatură a conductorului poate fi atinsă cu sarcină scăzută în mediul ambiant fierbinte și vânt slab sau cu sarcină mare la temperatură ambiantă scăzută și vânt puternic.

Din această cauză Operatorii Sistemelor de Transport (OTS) din Europa au ajuns la concluzia conform căreia doar monitorizarea temperaturii în scopuri DLR nu este suficientă, deoarece încărcarea liniei și condițiile atmosferice sunt complet necorelate.

Regimul dinamic de încărcare a liniei se bazează pe evaluarea curentului maxim admisibil din punct de vedere termic (ampacității) al liniei în timp real, ținând seama în mod obligatoriu și de condițiile atmosferice de-a lungul liniei electrice aeriene, deoarece acestea definesc condițiile de răcire ale conductorului liniei [Chis1989], [Gonz2010], [Gran2010], [IEEE2012].

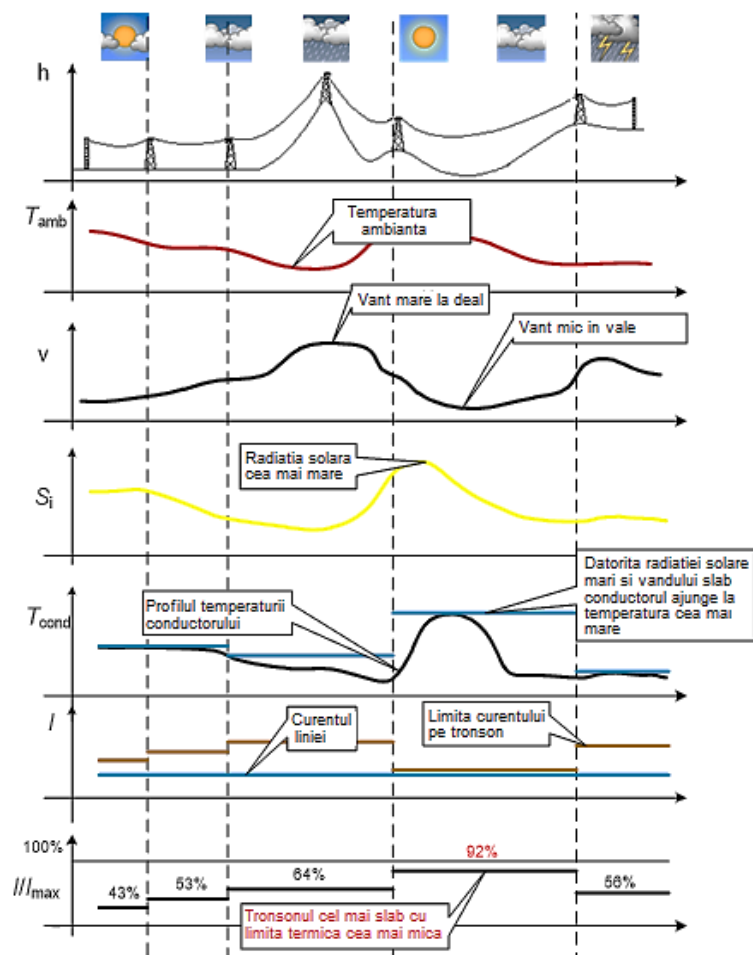


Fig. 4.2.1. Varietatea factorilor care influențează capacitatea de încărcare a unei linii electrice aeriene de transport

4.3. Factori care afectează capacitatea termică de încărcare a LEA

Capacitatea termică a unei linii electrice aeriene este determinată de curentul maxim pe care linia îl poate transporta/curentul maxim admisibil termic (ampacitatea liniei), fără supraîncălziri și alte efecte secundare, în condiții ideale pentru mediul ambiant al liniei [IEEE2012b].

Factorii care limitează mărimea curentului prin conductorul LEA sunt:

- temperatura conductorului;
- efectele temperaturii asupra liniei;
- parametrii mediului ambiant:
 - temperatura aerului ambiant;
 - viteza și direcția vântului;
 - radiația solară;

De influența acestor factori asupra componentelor LEA se ține cont, cel puțin în ceea ce privește:

➤ **Lubrifierea conductorului LEA**

Pentru reducerea coroziunii firelor conductoare din aluminiu și a nucleului din oțel a conductoarelor din oțel-aluminiu (ACSR), în timpul procesului de fabricație se impregnează un lubrifianț între firele conductoare.

Lubrifianțul trebuie să fie corespunzător pentru utilizare până la 75°C sau mai mare.

Nu întotdeauna se declară folosirea lubrefianților în procesul de fabricație.

Nu se cunoaște comportarea lubrefianților la temperaturi peste 80°C.

Posibilitatea topirii lubrifianțului este un factor important la stabilirea temperaturii limită de funcționare a LEA.

➤ **Călirea conductorului**

Conductoarele din oțel - aluminiu (ACSR) încep să se călească la temperaturi peste 90°C. Efectele călirii conductorului LEA sunt:

- se reduce rezistența mecanică a conductorului LEA și prin aceasta durata de viață, când LEA funcționează la temperaturi ridicate;
- crește săgeata/se reduce gabaritul la sol.

➤ **Slăbirea rezistenței mecanice la mufele de înădare a conductoarelor**

Mufele de înădare prin compresie utilizate la realizarea îmbinărilor conductoarelor tip ACSR reprezintă punctul cel mai slab al LEA din punct de vedere mecanic, în special când temperatura îmbinării depășește 100°C.

➤ **Săgeata conductorului LEA**

În majoritatea cazurilor, limitele termice sunt stabilite pornind de la gabaritul față de sol/săgeata conductorului.

4.4. Regimuri de încărcare a LEA

În practica internațională de exploatare a liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune sunt folosite două regimuri de încărcare a liniilor:

- Regimul static;
- Regimul dinamic (Figura 4.4.1).

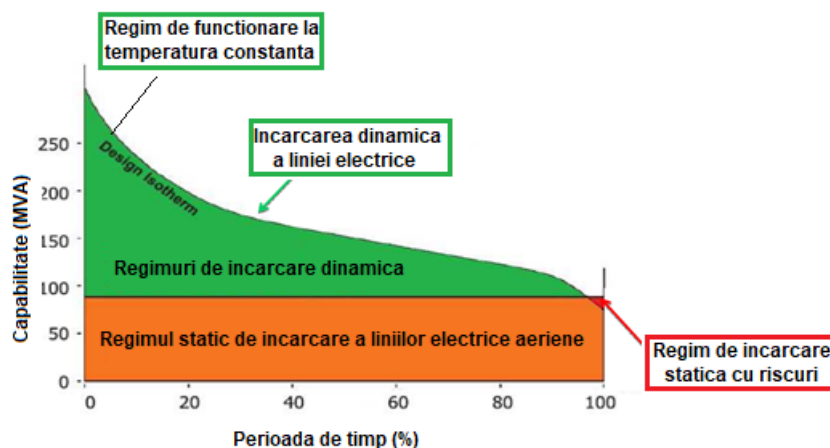


Fig. 4.4.1. Regimurile static și dinamic de încărcare a unei linii electrice aeriene

a) Regimul static

În regimul static încărcarea liniei se poate face până la valoarea maximă a curentului care este transportat în mod constant, ținând seama de următorii factori:

1. siguranța și securitatea în funcționare a liniei;
2. parametrii constructivi ai conductorului liniei (Figura 4.4.2);
3. condițiile de mediu cele mai defavorabile:
 - temperatura ambiantă: 35°C sau 40°C;
 - viteza vântului: 0,6 m/s;
 - direcția vântului: 90° față de conductor;
 - radiația solară: 1.000 W/m²;
 - absorbitivitatea conductorului: 0,6.

Conductoare din otel-aluminiu Aluminium Conductors Steel Reinforced												
ACSR												
CATALOG IPROEB												
Conductoare din otel-aluminiu, conform CEI 61089-1991 ACSR, Aluminium Conductors Steel reinforced, according to CEI 61089-1991												
Tip conductor	Secțiune			Otel		Aluminiu		Conductor		Forța de rupere nominală	Rezistența electrică la 20 °C	Capacitatea de transport a curentului
	Aluminiu	Otel	Totală	Numar sarne	Diametru	Numar sarne	Diametru	Diametru	Masa			
Code	Cross sectional area			Steel		Aluminium		ACSR		Breaking Load	Resistance at 20 °C	Current carrying capacity
	AL	ST	ACSR	No. of wires	Diameter mm	No. of wires	Diameter mm	Diameter mm	Weight kg			
	mm ²	mm ²	mm ²		mm		mm	mm	kg	N	Ohm/km	A
400	400	27.70	428.0	7	2.24	45	3.36	26.90	1320.1	96360	0.0722	1169
400	400	51.90	452.0	7	3.07	54	3.07	27.60	1510.3	123040	0.0723	1177
450	450	31.10	481.0	7	2.38	45	3.57	28.50	1485.2	107470	0.0642	1261
450	450	58.30	508.0	7	3.26	54	3.26	29.30	1699.1	138420	0.0643	1271
500	500	34.60	535.0	7	2.51	45	3.76	30.10	1650.2	119410	0.0578	1351
500	500	64.80	565.0	7	3.43	54	3.43	30.90	1887.9	153800	0.0578	1362

Nota: Capacitatea de transport a curentului, in cazul acestor conductoare a fost calculata folosind urmatoarele valori pentru conditiile de mediu (conform Publicatiei Comisiei Electrotehnice Internationale IEC 61597 TR 3-1995):

Viteza vantului :	1 m/s
Intensitatea radiatiei solare :	900 W/m ²
Coefficient de absorbtie solara :	0.5
Emisivitatea in raport cu un corp negru :	0.6
Temperatura aluminiului :	353 K (80 °C)
Temperatura mediului ambiant :	293 K (20 °C)

*Ampacity rating based on 20°C ambient, with 900 W/m² solar heating and 1m/sec wind, 80°C conductor temperature, 0.6 coefficient of emissivity, 0.5 coefficient of solar absorptivity.

Fig. 4.4.2. Condițiile de definire a amplitudinii conductorului LEA de către producătorul conductorului

Inconveniențele regimului static se observă în tabelul 4.4.1, unde în anumite condiții meteorologice linia poate fi încărcată peste valoarea limită stabilită pentru un regim static de încărcare, care ia în considerare temperatura mediului ambiant de +40°C și un curent maxim admisibil termic de 787 A.

Tabelul 4.4.1. Modificarea ampacității liniei electrice aeriene, conductor oțel-aluminiu (ACSR) pentru un regim de încărcare statică de 787 A, la temperatura ambiantă de 40 °C

Nr. crt.	Influența parametrilor mediului ambiant (exemplu)	Variația ampacității liniei (%)	Noua ampacitate (A)
1.	Temperatura ambiantă		
	Fluctuație de 2 (°C)	± 2	
	Scăderea temperaturii ambiante cu 10 (°C)	+ 11	874
2.	Radiația solară		
	Cer noros/clar	± cateva procente	
	Miezul nopții	+ 18	929
3.	Creșterea vitezei vântului cu 1 m/s		
	Direcția vântului la unghi de 45 (°) față de conductorul LEA	+ 35	1.060
	Direcția vântului la unghi de 95 (°) față de conductorul LEA	+ 44	1.130

b) Regimul dinamic

În regimul dinamic de exploatare a liniei electrice aeriene, încărcarea liniei este estimată în timp real și se poate face până la valoarea maximă a curentului la care în mod sigur nu se produce un defect termic, pentru condițiile de mediu momentane.

De regulă $I_{DLR} > I_{static}$

Regimul DLR necesită monitorizarea on-line a liniei și a parametrilor de mediu (tabelul 4.4.2).

Tabelul 4.4.2. Parametrii de funcționare ai liniei electrice aeriene

Nr. crt.	Parametrul	Unitate de măsură	Valoare inițială setată	
1	Înălțimea orizontală a conductorului	[m]		
2	Gabaritul minim admis	[m]		
3	Săgeata maxim admisă	[m]		
4	Forța de tracțiune în conductoare, care acționează și asupra lanțului de izolatoare de întindere	Nominală	[daN]	
		Maxim admisă	[daN]	
6	Temperatura nominală de proiectare a LEA, la funcționarea continuă, pentru condițiile:	Temperatura ambiantă	[°C]	
		Viteza vântului	[m/s]	
		Direcția vântului	[°]	
		Intensitatea radiației solare	[W/m ²]	
		Gabaritul LEA=gabaritul minim admis	[m]	
7	Încărcarea nominală a LEA, pentru funcționarea de durată la temperatura nominală de proiectare a LEA	[A]		
8	Condiții de formare a chiciurei pe conductor	Condițiile meteo	Temperatura ambiantă	[°C]
			Viteza vântului	[m/s]
		Umiditatea relativă a aerului ambiant		[°]
			Temperatura conductorului LEA	[°C]

Nr. crt.	Parametrul	Unitate de măsură	Valoare inițială setată
9	Oscilații eoliene de undă scurtă	Viteza vântului	[m/s]
		Amplitudinea maximă vârf-vârf	[mm]
		Frecvența	[Hz]
		Numărul de bucle pe o deschidere	
10	Oscilații de undă lungă (Galoparea conductorului)	Viteza vântului	[m/s]
		Amplitudinea maximă vârf-vârf	[m]
		Frecvența	[Hz]
		Numărul de bucle pe o deschidere	

Parametrii critici care se urmăresc în cazul regimului de încărcare dinamic sunt următorii:

- temperatura conductorului;
- săgeata/gabaritul la sol a conductorului liniei;
- curenții limită termic de funcționare pentru linia electrică aeriană și respectiv pentru echipamentele din stațiile electrice cuplate în serie la aceeași cale de curent cu linia electrică aeriană:
 - transformatoarele de curent;
 - întreruptoarele;
 - separatoarele;
 - barele colectoare din stație;
- parametrii mediului ambiant.

În regimul dinamic de încărcare a liniei se ține seama de curentul maxim admisibil termic (ampacitate) atât al liniei, cât și al aparatului din stația la care este conectată linia (întreruptoare, separatoare, transformatoare de curent, bare colectoare), figura 4.4.3.

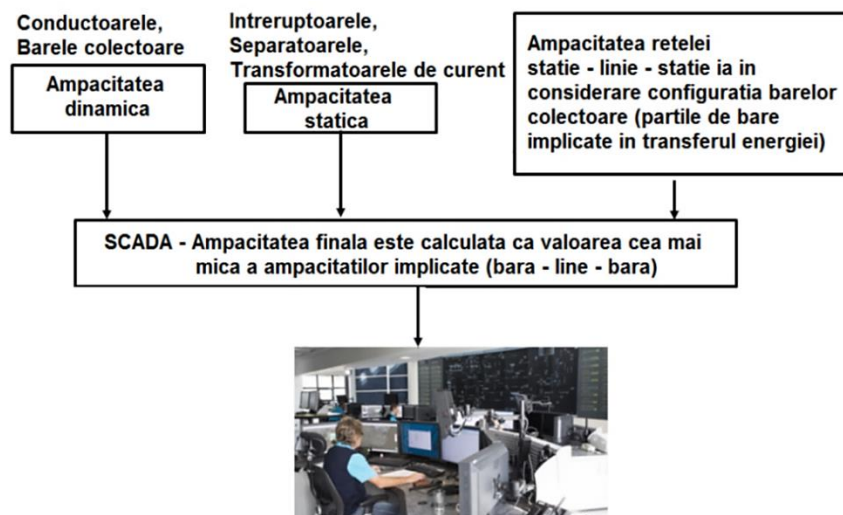


Fig. 4.4.3. Factori care influențează ampacitatea unei linii electrice aeriene

Schema tehnologică, de principiu, de aplicare a regimului dinamic de încărcare a liniilor electrice este prezentată în figura 4.4.4.

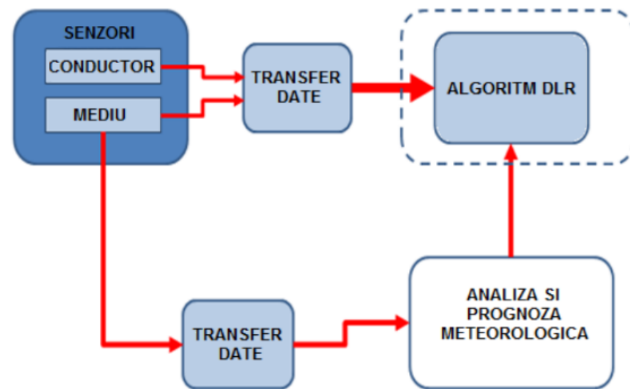


Fig. 4.4.4. Schema tehnologică de aplicare a regimului dinamic de încărcare a liniilor electrice aeriene

În prezent, sunt țări în care încărcarea liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune se face utilizând regimul static, având la bază datele meteo menționate la pct. 4.4. din prezenta lucrare și valorile din tabelul 4.4.3 pentru curenții limită termic, în funcție de secțiunea conductorului liniei.

Tabelul 4.4.3. Valorile curenților limită termic pentru LEA folosite în calculele de regim în România (valori corespunzătoare unei temperaturi a mediului ambiant de 30 °C).

S [mm ²]	R Ω/ mm	Curenți maxim admiși, în regim de durată, în funcție de temperatură mediului ambiant [A]															
		30°C	-25°C	-20°C	-15°C	-10°C	-5°C	0°C	5°C	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C	
95	0,326	496	476	474	460	445	431	417	398	384	368	350	335	315	298	275	
120	0,240	568	558	540	525	518	494	475	485	440	422	400	382	360	336	310	
150	0,198	662	648	625	606	592	573	554	530	512	493	467	446	420	395	362	
185	0,160	768	748	725	705	682	661	640	606	590	570	530	507	485	444	418	
240	0,124	908	885	860	840	810	785	760	714	700	674	640	610	575	538	495	
300	0,100	1018	1026	998	970	930	910	880	840	810	780	740	702	666	620	574	
400	0,080	1260	1238	1200	1162	1112	1050	1060	1018	978	940	890	850	800	748	690	
490	0,065	1470	1340	1300	1270	1228	1190	1150	1100	1062	1020	970	925	870	810	760	
900		2103			1930			1759			1560			1330		1152	

Există o strânsă legătură între parametrii menționați, astfel încât cunoscându-se unii dintre aceștia se pot determina ceilalți.

După cum se observă, în calculul regimului de încărcare a liniei electrice nu se ține seama de faptul că parametrii importanți ai mediului ambiant, cum ar fi: viteza vântului, direcția vântului în raport cu traseul conductorului LEA, temperatura aerului ambiant, de regulă se modifică permanent singular sau în ansamblu.

Tendențe în implementarea tehnologiilor DLR, rezultate din literatura tehnică de specialitate:

- Există mai mult de o mie de rapoarte despre diferite proiecte privind DLR (Figura 4.4.5). Mesajele pozitive din aceste rapoarte sunt rațiunile care au făcut ca IEEE, EPRI, FERC, NERC, Comisia Europeană, Departamentul de Energie al SUA etc. să recomande tehnologiile DLR pentru a rezolva congestiile în rețelele de transport;
- Deocamdată România nu face parte din ansamblul țărilor unde s-a aplicat regimul DLR. (Figura 4.4.5).

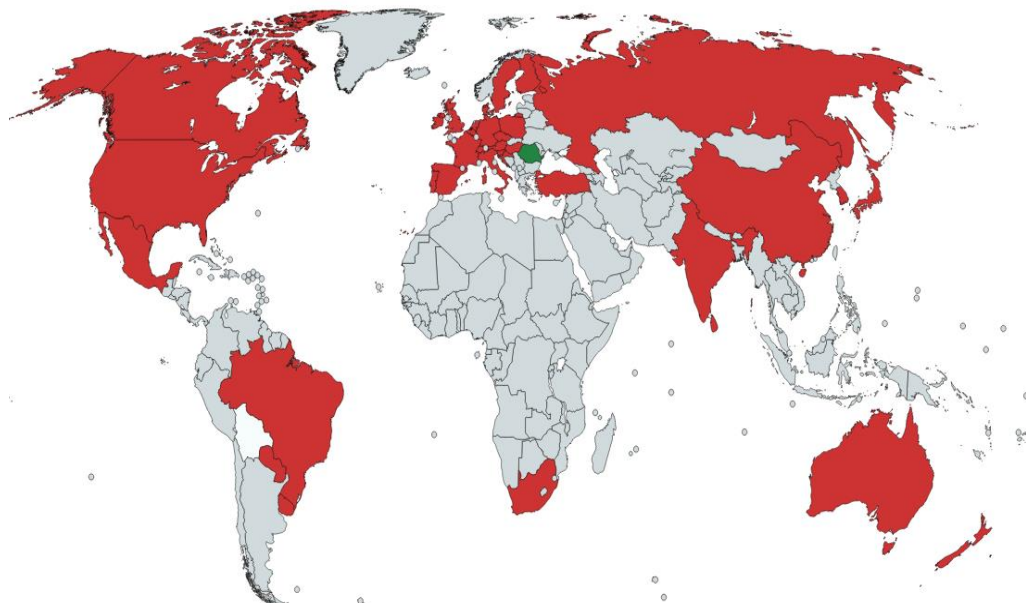


Fig. 4.4.5. Tendințe în implementarea tehnologiilor DLR pe plan mondial

- Mijloacele pentru proiectarea sistemului energetic (de ex. GE/PSLF, Power Word, V&R Energy POM suite, DSA Tools, PSS/E, Rate Kit, PSCAD, PLS-CADD etc.) sunt bazate pe SLR (Încărcarea Statică a Liniei). Există o tendință de a folosi Estimatoarele de Stare și modelul de topologie totală în timp real care permit o evaluare dinamică a limitelor sistemului de transport al energiei electrice.

Pentru România problema introducerii în regim de urgență a regimului dinamic de încărcare a liniilor electrice, bazat pe datele furnizate de sistemele de monitorizare on-line, a devenit extrem de importantă și actuală, așa cum rezultă din următoarele date:

- a) Planul Național Integrat în domeniul Energiei și Schimbărilor Climatice 2021-2030 al României, discutat cu Comisia Europeană în 2021 și pregătit pentru a fi aprobat de către Guvern, prevede instalarea în următorii 10 ani a încă cca. 2.300 MW capacități de producție eoliene, care ar duce totalul puterii instalate în acest tip de unități la peste 5.200 MW. O mare parte din sursele eoliene existente și prognozate, sunt sau vor fi localizate tot în zonele Dobrogea și Brăila-Galați. La acestea se adaugă cei 1.400 MW produși de CNE Cernavoda în aceeași zona.
 - b) În plus se estimează ca vor apare centrale eoliene offshore cu putere instalată mare, 3.000 MW, în trei etape fiecare, care să necesite racordarea tot în zona Dobrogea.
 - c) La momentul actual, în perioadele de vânt, liniile electrice din zona Dobrogea sunt încărcate la maxim și uneori, pentru respectarea criteriului de siguranță (n-1), sunt necesare măsuri de redispecerizare, conform mecanismelor de management a congestiilor de rețea, rezultând cheltuieli suplimentare pe piața de echilibrare. O parte din aceste linii electrice, au tronsoane cu secțiuni diferite, ceea ce îngreunează stabilirea regimului admisibil de încărcare a liniilor respective.
- Notă: Criteriul n-1 este "regula conform căreia la defectarea unui singur element de rețea (de exemplu o linie electrică, un transformator de mare putere

- etc.), elementele rămase în funcțiune trebuie să poată face față schimbării circulațiilor de curenți în rețea provocate de această defectare” fără întreruperea alimentării consumatorilor și fără apariția altor probleme în sistem, potrivit Codului tehnic al rețelei electrice de transport (RET).
- d) Având în vedere fluxul de putere care tranzitează regiunea Moldova venind din zona Dobrogea, este necesar, de asemenea, să fie crescută capacitatea de evacuare a energiei electrice din această regiune.
- e) Pentru creșterea capacității de evacuare a energiei electrice din zona Dobrogea, CNTEE Transelectrica SA a acționat pe cele trei direcții principale specifice și anume:
- a comandat în luna mai 2021 două lucrări, una referitoare la investiții în linii noi “*Soluții în curent continuu de evacuare a puterii din zona de sud-est a României*” [Trans2021b], iar cealaltă referitoare la modernizarea liniilor existente “*Creșterea capacității de transport pentru LEA 400 kV din zona de sud-est a României (secțiunea 6) prin soluții de reconductorare*” [Trans2021c];
 - a efectuat în luna februarie 2021 consultarea de piață pentru lucrarea “*Optimizarea funcționării LEA 400 kV existente în SEN, folosite în interconexiune și pentru evacuare putere din centrala nucleară Cernavoda și centralele de energie regenerabilă din Dobrogea, prin montarea de sisteme de monitorizare on-line (tip Smart Grid)*” [Trans2021c].

4.5. Beneficiile tehnologiilor DLR

În literatura tehnică de specialitate sunt menționate următoarele beneficii, demonstrate, la utilizarea tehnologiilor DLR:

- Reducerea congestiilor în funcționarea liniilor electrice;
- Creșterea fiabilității rețelei electrice;
- Reducerea slăbirii capacității de transport pe perioada congestiilor;
- Utilizarea optimizată a activelor și venituri suplimentare de la activele existente;
- Prețuri mai bune pentru consumatori;
- Acces mai bun pe piață a generatoarelor eoliene;
- Decizii bine informate ale operatorilor de sistem bazate pe capacitatea de transport în timp real a liniilor electrice;
- Integrarea rapidă a Resurselor Distribuite de Energie;
- Îmbunătățirea cunoașterii situației pe arie largă;
- Creșterea eficienței economice a liniilor electrice;
- Evitarea costurilor pentru construcții de linii electrice noi doar pentru a satisface cerințele pentru perioade scurte de timp dintr-un an;
- Reducerea costurilor globale pentru upgradarea liniilor electrice datorită întinderii lor pe mai mulți ani.

De asemenea este menționată eficiența economică deosebită a aplicării în mod curent a regimului dinamic de încărcare a liniilor electrice aeriene (a se vedea datele din tabelul 4.5.1 rezultate din experiența companiei de electricitate ONCOR, din SUA).

Tabelul 4.5.1 Experiința aplicării regimului dinamic de încărcare a liniilor electrice aeriene

Nr. crt.	Tipul liniei	Descrierea soluției alternative	Noua ampacitate (% față de cea statică)	Cost/km (USD)
1	138 kV zăbrele, structura H din lemn	Reconductorare cu conductor aluminiu cu miez compozit (ACCC)	193	201.157
		DLR	110	35.125
2.	138 kV structura H din lemn	Upgradare la 125 °C Modificări de structură	130	6.600
		Upgradare la 125 °C Înlocuiri structuri Reconstruită	130	4.325
			209	468.750
		DLR	110	18.420
3	138 kV structura H din lemn	Reconstruită	140	148.670
		DLR	110	10.480
4	138 kV structura H din lemn	Reconductorare	212	468.750
		DLR	110	17.700
5	345 kV stâlpi cu zăbrele	Ridicarea înălțimii structurii	120	46.000
		DLR	110	16.641

Oncor (ISO Texas) SUA a raportat o reducere a costului congestiilor, în numai 11 luni de utilizare a tehnologiei DLR, de la 405 milioane USD la numai 42 milioane USD.

Manitoba Hydro (Canada) a raportat că datorită folosirii tehnologiilor DLR costurile de energie s-au redus semnificativ, iar capacitatea de transport a crescut într-un an cu 30 % față de încărcarea în regim static.

UK Government a raportat că după 15 ani de folosință a tehnologiei DLR în întreg sistemul de transport din UK, se așteaptă să se reducă semnificativ costul congestiilor între 345 și 1.980 milioane USD.

Din motive de siguranță proiectanții sistemelor de transport iau în considerare o capacitate relativ redusă de încărcare a unei linii.

Folosind sistemele de monitorizare on-line a liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune și tehnologii DLR operatorii sistemelor de transport al energiei electrice pot ști capacitatea reală de transport disponibilă la un moment dat și pot lua decizii în consecință.

Mulți experți și Companii au recomandat folosirea tehnologiilor DLR ca alternativă mult mai puțin scumpă față de construcția unor linii electrice noi.

Există pe piață mai multe soluții de aplicare a tehnologiilor DLR, dar dintre aceste soluții Companiile trebuie să aleagă soluția cea mai potrivită.

O problemă importantă este aceea ca soluția tehnologică aleasă să fie integrată în soluțiile de funcționare, mentenanță, protecție și operare existente.

Conceptul DLR este considerat ca parte a programelor de integrare a rețelelor inteligente.

4.6. Concluzii

Având în vedere cererile de racordare a RET a noi surse de energie regenerabilă, cât și gradul de încărcare a rețelei, în special în zona Dobrogea, pentru România, problema introducerii în regim de urgență a regimului dinamic de încărcare a liniilor electrice, bazat pe datele furnizate de sistemele de monitorizare on-line, a devenit extrem de importantă și actuală.

Beneficiile utilizării tehnologiilor DLR sunt atât de natură tehnică vizând siguranța în funcționare a sistemului electroenergetic național, cât și de natură economică reducând considerabil costurile în ceea ce privește mentenanța rețelei pentru menținerea acesteia într-o stare tehnică corespunzătoare și implicit costurile la consumatorul final.

Contribuția personală a autorului tezei a constat în calculul regimului dinamic de încărcare a unei LEA și definirea factorilor principali care influențează capacitatea de încărcare a unei linii. De asemenea, evidențiem contribuția autorului tezei în analiza comparativă a celor două regimuri de încărcare a LEA (static și dinamic) și formularea concluziilor privind avantajele utilizării regimul dinamic de încărcare în funcție de factorii externi ce influențează funcționarea în siguranță a LEA. Nu în ultimul rând, contribuția personală a constat în realizarea unei sinteze a rapoartelor privind rezultatele proiectelor privind aplicarea DLR în lume și formularea unor concluzii care scot în evidență avantajele implementării acestui concept, atât din punct de vedere al funcționării în siguranță a rețelei de transport, la capacitatea reală de transport disponibilă, cât și din punct de vedere al reducerii costurilor cu congestiile în rețea.

5. SISTEME DE MONITORIZARE A PARAMETRILOR FUNCȚIONALI ȘI DE STARE AI LEA

Obiectivele capitolului 5 sunt să prezinte detaliile privitoare la realizarea sistemelor de monitorizare a parametrilor funcționali și de stare ai LEA. De aceea, în primul subcapitol, după ce se enunță obiectivele, indicatorii și coordonatele care stau la baza funcționării rețelei electrice de transport (în special) din România, se face o analiză critică a sistemelor de monitorizare existente la ora actuală, pe plan internațional, sisteme care ar putea fi achiziționate și pentru România. Sistemele descrise și analizate în acest subcapitol sunt: Power Donut (Usi, SUA), ASTROSE (The Fraunhofer Institute - ENAS, Germania), HiTLMS (Hyundai, Coreea de Sud), OLM (Kepco Research Institut, Coreea de Sud), TLSM (Idaho Laboratory Inc., USA), SMT (Arteche Groupe, Spania), Ampacimon (Ampacimon, Belgia), OTLM (OTLM, Slovenia), LINEAMPS (Electrotech, SUA) și CAT 1 (The Valley Group Inc/ Nexans, SUA). Odată cu descrierea componenței fiecărui sistem, sunt prezentate și avantajele/ dezavantajele fiecăruia, subcapitolul încheindu-se cu câteva concluzii referitoare la realizarea și eficiența acestora.

Având în vedere faptul că sistemele descrise și analizate în subcapitolul 5.1. diferă semnificativ între ele din punct de vedere a soluției tehnico-construcive, în subcapitolul 5.2. se definesc principiile care stau la baza specificației tehnice pentru sistemul de monitorizare on-line românesc, propus în teză.

Subcapitolul 5.3. conturează specificația tehnică pentru sistemul de monitorizare propus în teză, precizând standardele de referință și condițiile tehnice pentru realizarea în România a sistemului de monitorizare on-line a liniilor electrice aeriene de 110 - 750 kV, astfel încât acesta să poată face parte din sistemul integrat de tip Smart Grid de monitorizare și diagnoză on-line a stării tehnice momentane a liniilor electrice aeriene, în special a celor din Rețeaua Electrică de Transport. Specificațiile tehnice sunt concepute în așa fel încât sistemul de monitorizare să asigure măsurarea parametrilor principali de funcționare a liniilor electrice aeriene (curentul prin conductorul LEA, temperatura conductorului, săgeata conductorului, forța de tracțiune în conductorul linei, oscilațiile conductorului) și a parametrilor mediului ambiant (temperatura ambiantă, viteza și direcția vântului, radiația solară) în culoarul linei electrice aeriene, considerați parametrii de bază, necesari, pentru aplicarea în deplină siguranță a regimului dinamic de încărcare a liniilor electrice.

5.1. Analiza critică a sistemelor de monitorizare existente la ora actuală

5.1.1. Considerații preliminare

Așa cum s-a menționat în capitolele anterioare ale prezentei lucrări, optimizarea funcționării liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune și asigurarea siguranței de funcționare a acestora este absolut necesară, indiferent că este vorba despre linii electrice vechi sau noi, respectiv indiferent de condițiile meteorologice. Soluția cea mai modernă pentru controlul și optimizarea funcționării liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune necesită utilizarea rețelelor inteligente bazate pe sisteme de monitorizare on-line a parametrilor de funcționare și de stare. Eficiența energetică se referă, în contextul rețelelor inteligente, la reducerea congestiilor și a pierderilor de

exploatare a liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune, creșterea siguranței în exploatare a acestora, reducerea necesarului de investiții în noi linii electrice aeriene etc. Pentru o cât mai bună eficiență energetică trebuie să se asigure o funcționare *controlabilă și eficientă a liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune*.

O rețea inteligentă de transport a energiei electrice va trebui să aibă, pe lângă linii electrice eficiente din punct de vedere energetic și sisteme de control și monitorizare on-line necesare pentru realizarea unei programări eficiente a funcționării și coordonarea necesarului de transport a energiei electrice în raport cu starea tehnică a liniilor electrice și a echipamentelor electrice primare din stațiile electrice de înaltă tensiune și respectiv cu condițiile de mediu.

Calitatea energiei electrice vehiculate prin rețelele electrice de transport este influențată de regimurile de funcționare ale acestora, cu implicații tehnico-economice directe asupra consumului de energie electrică și asupra siguranței în funcționare a SEN. Optimizarea funcționării instalațiilor electrice se realizează printr-o bună supraveghere a proceselor și o bună gestionare a energiei electrice, doi factori de care depinde calitatea acesteia.

Informațiile asupra calității energiei electrice sunt strategice pentru companiile de electricitate și pentru utilizatorii finali, mai ales în condițiile liberalizării pieței de energie, acestea furnizând elementele necesare pentru asigurarea competitivității companiilor respective și satisfacerea cerințelor consumatorilor. Sistemele de monitorizare on-line, în timp real, a parametrilor de funcționare și de stare a liniilor electrice de transport al energiei electrice, facilitează obținerea și prelucrarea acestor informații despre regimurile de funcționare, precum și diagnosticarea stării sistemului de transport.

Cunoașterea situației din nodurile rețelei de transport precum și a surselor perturbatoare, necesită un sistem complex de măsură și control, care se bazează pe folosirea echipamentelor de achiziție și prelucrare specifice.

Adoptarea în România a normelor internaționale privind indicatorii de calitate a energiei electrice și includerea acestora în contractele economice privind serviciile de transport a energiei electrice necesită un management specific, bazat pe utilizarea:

- echipamentelor specifice de măsură/monitorizare on-line, a căror calitate trebuie certificată după proceduri unice la nivel național;
- procedurilor/normativelor unice la nivel național privind achiziția și prelucrarea datelor măsurate, evaluarea indicilor de sănătate și respectiv a indicilor de risc, raportarea rezultatelor;
- programelor software specializate pentru prelucrarea datelor și raportarea rezultatelor, în baza procedurilor/normativelor menționate, la nivel local și respectiv la nivel centralizat.

Pentru realizarea în România a obiectivelor menționate, una din variante constă în importul de echipamente de monitorizare on-line a liniilor electrice aeriene, ca de exemplu: Power Donut (Usi, SUA), SMT (Arteche, Spania) FMC (General Electric, SUA), OTLM (Slovenia), Astrose (Enas, Germania), CAT 1 (Nexans, SUA), Ampacimon (Ampacimon, Belgia), Sagometru sau Video Sagometru (EPRI, SUA), TLSM (Idaho Laboratory, SUA), OLM (Coreea de Sud) etc.

5.1.2. Sistemul Power Donut

Sistemul Power Donut (USI, SUA) [Chan2014], [Fish2012] dispozitiv electric inteligent wireless pentru monitorizarea on-line a LEA prin măsurarea: temperaturii conductorului LEA, a curentului prin conductorul LEA și a înclinării/săgeții conductorului LEA (Figura 5.1.1).

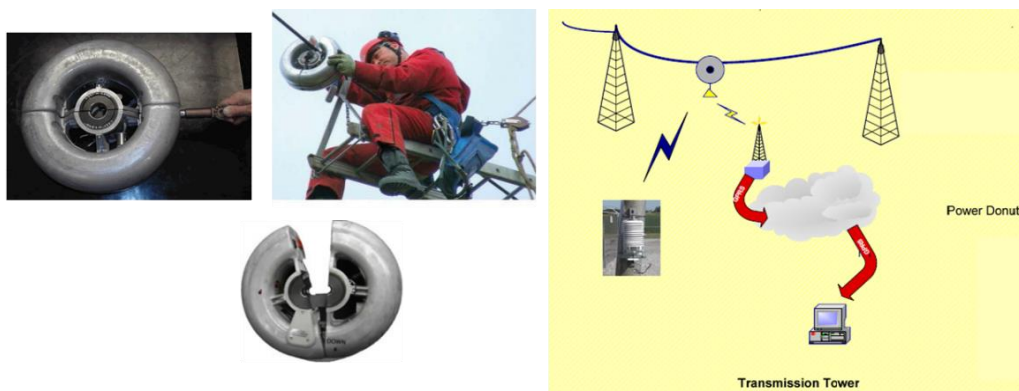


Fig. 5.1.1. Sistemul de monitorizare a liniilor electrice aeriene tip D3 Power Donut

Sistemul este compus din:

- Modulul montat pe conductorul linei (autoalimentat):
 - transformatorul de curent/senzor de curent;
 - senzorul de temperatură (2 buc.);
 - senzorul de unghi;
 - modulul electronic de măsură și prelucrare a datelor;
 - modulul de comunicație GSM;
 - sursa de autoalimentare cu energie electrică;
- Stație meteo:
 - senzor pentru măsurarea temperaturii ambiante;
 - senzor pentru măsurarea radiației solare;
- Software de achiziție, prelucrare, analiză, stocare și transmisie date.

Caracteristici:

- Domeniul de măsură a temperaturii:
 - 40°C – 170°C (LEA cu temperatura standard de funcționare);
 - 40°C – 250°C (LEA cu temperatura mărită de funcționare);
 - Precizia de măsură: $\pm 1\%$;
- Domeniul de măsură a curentului prin conductorul LEA: 50 A – 1500 A; Precizia de măsură: $\pm 0,5\%$;
- Domeniul de măsură a înclinării conductorului LEA: $\pm 11^\circ$; Precizia de măsură: $\pm 0,05^\circ$.
- Alimentare:
 - de la baterie: pentru curent între 0 și 50 A, timp de maxim 4 h;
 - de la transformatorul de curent (autoalimentare): pentru curent între 50 A și 1500 A;

Avantaje:

- Datele despre parametrii principali de funcționare și de stare a LEA sunt obținute pe bază de măsurători directe, simultane, a trei parametri principali (temperatura conductorului LEA, curentul prin conductor, săgeata conductorului), ceea ce asigură siguranță, corectitudine și încredere mult mai mare în datele rezultate la măsurătorile și monitorizarea on-line, comparativ cu datele obținute pe bază de măsurători și monitorizare on-line unui singur parametru de funcționare a LEA (de exemplu prin măsurarea numai a temperaturii, a curentului, a săgeții, a gabariturii) sau modele matematice și calcule (de exemplu prin măsurarea frecvenței de oscilație a conductoarelor LEA, măsurarea forței de tracțiune a conductorului/lanțului de izolatoare, măsurarea parametrilor mediului ambiant de-a lungul LEA etc);

- Redundanța și siguranța completă privind datele/informațiile despre funcționarea LEA, întrucât sunt folosiți senzori de măsurare a parametrilor principali ai LEA (curentul de încărcare a LEA/temperatura conductorului/săgeata conductorului), astfel încât în cazul în care unul sau doi dintre senzori se defectează rămâne cel puțin un senzor de măsură de la care se obțin date despre starea tehnică de funcționare a LEA.

Dezavantaje:

- Nu măsoară și oscilațiile conductorului LEA, ca mijloc de detecție a galopajului conductoarelor LEA;
- Comunicația și transmisia datelor la centrul de achiziție și prelucrare a datelor este doar prin rețeaua GSM/GPRS;
- Bateria asigură alimentarea dispozitivului și măsurarea parametrilor LEA un timp prea scurt (doar maxim 4 h) când linia nu este alimentată sau curentul prin conductorul LEA este prea mic;
- Nu ține seama de viteza și direcția vântului.

5.1.3. Sistemul ASTROSE

Sistemul ASTROSE (The Fraunhofer Institute - ENAS, Germania) [Astr2014] pentru monitorizarea on-line a LEA prin măsurarea: temperaturii conductorului LEA, a curentului prin LEA, a înclinării/săgeții conductorului LEA și a oscilațiilor conductorului (Figura 5.1.2).

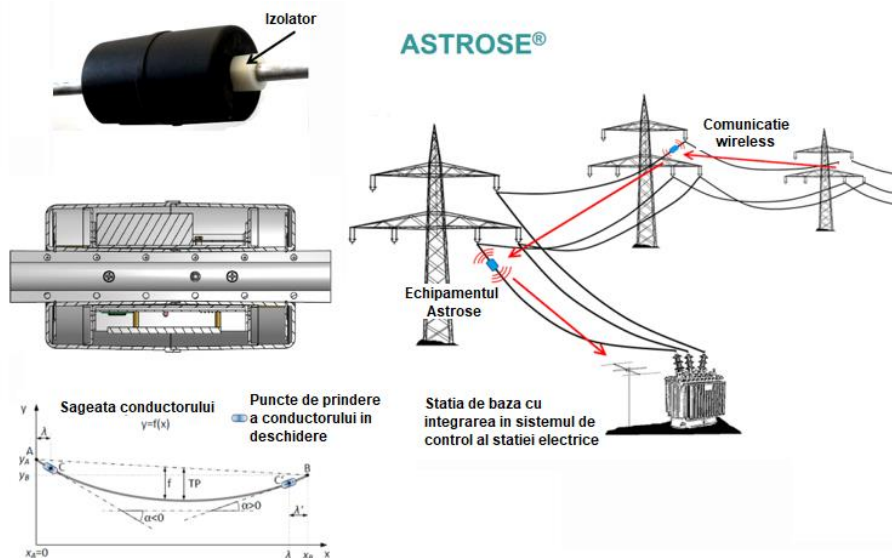


Fig. 5.1.2. Sistemul de monitorizare a liniilor electrice aeriene tip Astrose

Sistemul este compus din:

- Modulul montat pe conductorul LEA (autoalimentat):
 - senzorul de temperatură;
 - senzorul de curent;
 - senzorul de unghi;
 - senzorul de accelerație;
 - modulul electronic de măsură și prelucrare a datelor;
 - modulul de comunicație wireless;
 - sursa de autolimentare cu energie electrică.

- Software de achiziție, prelucrare, analiză, stocare și transmisie date.
 - Caracteristici:*
 - Domeniul de măsură a temperaturii: $-25^{\circ}\text{C} \div 120^{\circ}\text{C}$; Precizia de măsură a temperaturii: $\pm 1^{\circ}\text{C}$;
 - Domeniul de măsură a curentului prin conductorul LEA: 10 A - 4000 A;
 - Domeniul de măsură a înclinării conductorului LEA: $\pm 10^{\circ}$; Precizia de măsură a înclinării: $\pm 0,01^{\circ}$;
 - Domeniul de măsură a oscilațiilor: $\pm 90^{\circ}$.
 - Avantaje:*
 - Datele despre parametrii principali de funcționare și de stare a LEA sunt obținute pe bază de măsurători directe, simultane, a trei parametri principali (temperatura conductorului LEA, curentul prin conductor, săgeata conductorului);
 - Redundanța și siguranța completă privind datele/informațiile despre funcționarea LEA.
 - Dezavantaje:*
 - Domeniul de măsură a temperaturii este mult mai mic decât necesar;
 - Nu se precizează precizia de măsurare a curentului;
 - Nu se măsoară curentul pe linie sub 10 A;
 - Nu are sursă de alimentare pentru monitorizarea on-line a parametrilor liniei când aceasta este în gol sau curentul este sub 10 A;
 - Comunicația și transmisia datelor la centrul de achiziție și prelucrare a datelor este doar wireless (radio).

5.1.4. Sistemul inteligent HiTLMS

Sistemul inteligent HiTLMS (Hyundai, Coreea de Sud) [Hyun2013] asigură monitorizarea on-line a LEA prin măsurarea: curentului pe LEA, gabariturii conductorului LEA prin măsurarea înclinării și temperaturii conductorului LEA (figura 5.1.3).

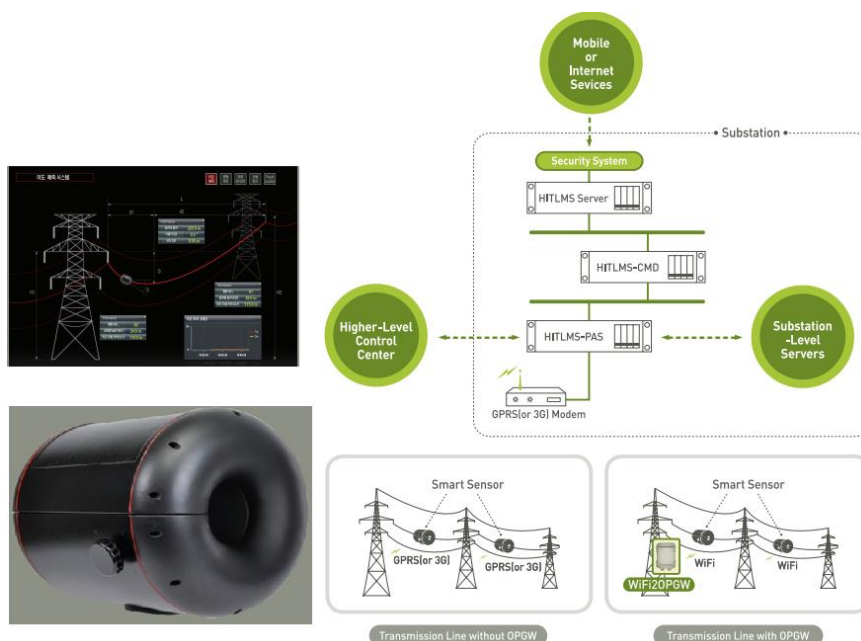


Fig. 5.1.3. Sistemul de monitorizare a liniilor electrice aeriene tip HiTLMS Hyundai

Sistemul este compus din [Prom2012]:

- Modulul montat pe conductorul liniei (autoalimentat):
 - transformatorul/senzor de curent;
 - senzorul de temperatură;
 - senzorii de înclinare a conductorului LEA (2 senzori);
 - modul electronic de măsură și prelucrare a datelor;
 - modul de comunicație: GSM;
 - sursa de autoalimentare cu energie electrică.
 - Camera foto pentru imagini în plan vertical și orizontal în lungul liniei;
- Stația meteo care măsoară:
 - senzor de temperatură a aerului ambiant;
 - senzori de viteză și direcția a vântului;
- Modul GPS;
- Software de achiziție, prelucrare, analiză, stocare și transmisie date.

Caracteristici:

- Domeniul de măsură a temperaturii: $0^{\circ}\text{C} \pm +120^{\circ}\text{C}$;
- Domeniul de măsură a curentului prin conductorul LEA: 0 - 1200 A.
- Domeniul de măsurare a temperaturii aerului: $-40^{\circ}\text{C} \div 80^{\circ}\text{C}$;
- Domeniul de măsurare a vitezei vântului: $3 \text{ m/s} \div 70 \text{ m/s}$;
- Comunicație/transmisie date: mesaje prin GSM/GPRS sau prin fibră optică.

Avantaje:

- Datele despre parametrii principali de funcționare și de stare a LEA sunt obținute pe bază de măsurători directe, simultane, a trei parametri principali (temperatura conductorului LEA, curentul prin conductor, săgeata conductorului);
- Redundanța și siguranța completă privind datele/informațiile despre funcționarea LEA;
- Comunicația și transmisia datelor la centrul de achiziție și prelucrare a datelor se face utilizând rețeaua GPRS sau rețeaua de fibră optică.

Dezavantaje:

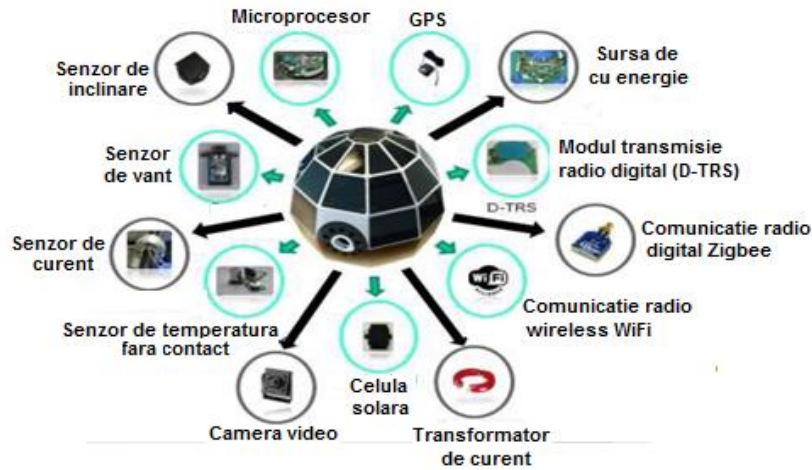
- Domeniul de măsură a temperaturii este mult mai mic decât necesar;
- Nu se precizează precizia de măsurare a curentului, domeniul de măsură a unghiului de înclinare și precizia de măsură a acestuia;
- Nu este precizată precizia de măsurare a curentului prin conductor și a temperaturii conductorului.

5.1.5. Sistemul OLM

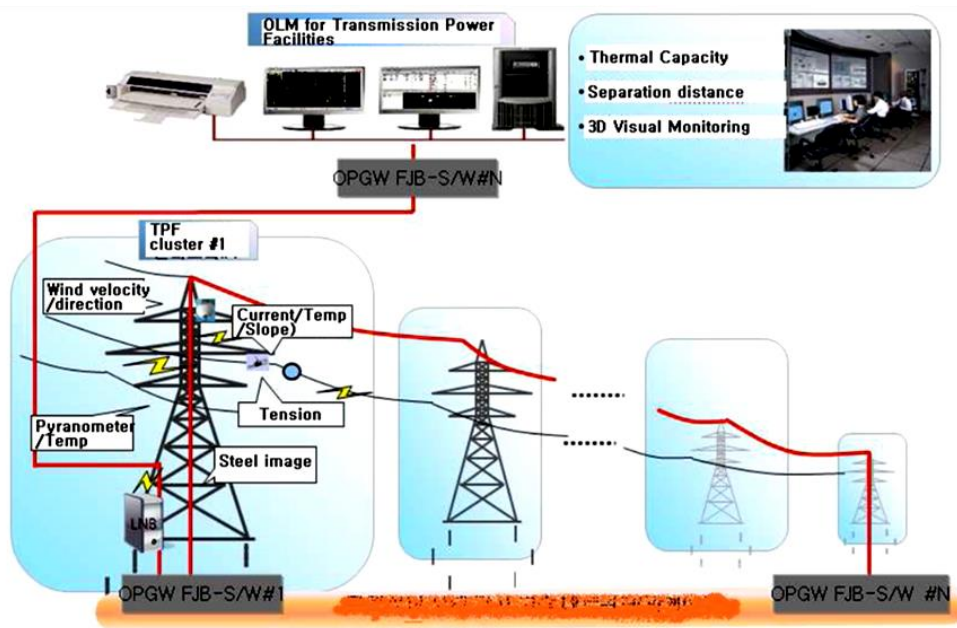
Sistemul OLM (Kepco Research Institut, Coreea de Sud) [KEP2016] pentru un transport inteligent asigură monitorizarea on-line a liniilor electrice aeriene prin măsurarea temperaturii conductorului LEA, măsurarea curentului prin conductor, măsurarea înclinării conductorului LEA, măsurarea forței de tracțiune a conductorului, verificarea stării stâlpului metalic (video), detecția prezenței descărcărilor parțiale la lanțul de izolatoare, detecția incendiului de pădure sub linie sau în apropierea ei.

Sistemul este compus din:

- Modulul pe conductorul LEA (autoalimentat), Figura 5.1.4:
 - senzorul pentru măsurarea curentului;
 - senzorul pentru măsurarea temperaturii conductorului;
 - senzorul pentru măsurarea înclinării conductorului;
 - transformatorul de curent (pentru autoalimentare cu energie electrică a modului);
 - modulul electronic pentru măsură și prelucrare a datelor;
 - modulul de comunicație wireless;
 - sursa de autoalimentare cu energie electrică.



a)



b)

Fig. 5.1.4. Sistemul de monitorizare a liniilor electrice aeriene tip OLM, Kepco

- Modulul pe stâlp:
 - senzorul de forță de tracțiune a conductorului;
 - detectorul de incendiu;
 - camera video pentru supravegherea stării stâlpului metalic;
 - senzor de prezența descărcărilor la izolatori;
 - modulul GPS;
 - modulul de comunicație: WiFi, Zigbee, D-TRS;
 - sursa de autoalimentare cu energie;
 - unitatea centrală (IED).

- Modulul stație meteo:
 - senzori temperatură și umiditate a aerului ambiant;
 - senzori pentru viteza și direcția vântului;
 - senzor pentru radiația solară;
- Sursă independentă fotovoltaică de alimentare cu energie;
- Intelligent Electronic Device.

Avantaje:

- Datele despre parametrii principali de funcționare și de stare a LEA sunt obținute pe bază de măsurători directe, simultane, a trei parametri principali (temperatura conductorului LEA, curentul prin conductor, săgeata conductorului);
- Redundanța și siguranța completă privind datele/informațiile despre funcționarea LEA.

5.1.6. Sistemul TLSM

Sistemul TLSM (Idaho Laboratory Inc., USA) [Svob2011] asigură monitorizarea on-line a liniilor electrice de înaltă tensiune prin măsurarea temperaturii conductorului, măsurarea curentului prin conductor, măsurarea înclinării conductorului, măsurarea oscilațiilor conductorului (Figura 5.1.5).



Fig. 5.1.5. Sistemul de monitorizare a liniilor electrice aeriene tip TLSM, Idaho Laboratory

Sistemul este compus din:

- Modulul pe conductorul LEA:
 - senzor pentru măsurarea temperaturii conductorului;
 - senzor pentru măsurarea înclinării conductorului;
 - transformator de curent pentru măsurarea curentului prin conductorul LEA;
 - modul electronic de achiziții, prelucrare, analiză, stocare și transmisie date;
 - modul de comunicație radio (902 to 928 MHz) și GSM (869 to 894 MHz).
- Modulul stație meteo:
 - senzori de temperatură și umiditate a aerului;
 - senzor de viteză a vântului;
 - senzor de direcție a vântului;
 - senzor de intensitate a radiației solare;
- Modulul de detecție a acțiunilor vandalice asupra stâlpului metalic:
 - măsurarea vibrațiilor produse la tăierea cu flexul sau/și prin lovire cu ciocanul;
 - detecția pătrunderii persoanelor străine în zona stâlpului (prin detecția mișcării la nivelul solului);
 - supravegherea acțiunii distructive a intrușilor asupra stâlpului.

Caracteristici:

- Domeniul de măsurare a temperaturii conductorului: 40°C - 85 C;
- Domeniul de măsurare a curentului prin conductorul LEA: 150 - 1500 A;
- Domeniul de măsurare a oscilațiilor conductorului: $\pm 90^\circ$;
- Domeniul de măsurare a înclinării conductorului: $\pm 10^\circ$.

Avantaje:

- Datele despre parametrii principali de funcționare și de stare a LEA sunt obținute pe bază de măsurători directe, simultane, a trei parametri principali (temperatura conductorului LEA, curentul prin conductor, săgeata conductorului);
- Redundanța și siguranța completă privind datele/informațiile despre funcționarea LEA.

Dezavantaje:

- Domeniul de măsură a temperaturii este mult mai mic decât necesar;
- Nu este garantată precizia de măsurare a curentului;
- Nu măsoară curentul pe linie sub 10 A;
- Nu are sursă de alimentare pentru monitorizarea on-line a parametrilor liniei când aceasta este în gol sau curentul este sub 10 A;
- Comunicația și transmisia datelor la centrul de achiziție și prelucrare a datelor este doar wireless (radio).

5.1.7. Sistemul SMT

Sistemul SMT (Arteche Groupe, Spania) [Arte2015] realizează monitorizarea on-line a LEA prin măsurarea: temperaturii conductorului și a curentului prin LEA (figura 5.1.6).



Fig. 5.1.6. Sistemul de monitorizare a liniilor electrice aeriene tip SMT Arteche

Sistemul este compus din:

- Modulul montat pe conductorul liniei (autoalimentat):
 - transformatorul de curent;
 - senzorul de temperatură a conductorului LEA;
 - modul electronic de măsură și prelucrare a datelor;
 - modul de comunicație: GSM;
 - sursa de autoalimentare cu energie electrică.
- Software de achiziție, prelucrare, analiză, stocare și transmisie date.

Caracteristici:

- Domeniul de măsură a temperaturii: 0°C ... +120°C;
- Domeniul de măsură a curentului prin conductorul LEA: 100 A - 1500 A.
- Comunicație/transmisie date: mesaje prin GSM.

Avantaje:

- Datele despre parametrii principali de funcționare și de stare a LEA sunt obținute pe bază de măsurători directe, simultane, a doi parametri principali (temperatura conductorului LEA, curentul prin conductor);
- Redundanță privind datele/informațiile despre funcționarea LEA.

Dezavantaje:

- Domeniul de măsură a temperaturii este mult mai mic decât necesar;
- Nu măsoară și săgeata conductorului LEA;
- Nu măsoară și oscilațiile conductorului LEA, ca mijloc de detecție a galopajului conductoarelor LEA;
- Nu este garantată precizia de măsurare a curentului și a temperaturii;
- Nu măsoară curentul pe linie sub 100 A;
- Nu are sursă de alimentare pentru monitorizarea on-line a parametrilor liniei când aceasta este în gol sau slab încărcate;
- Comunicația și transmisia datelor la centrul de achiziție și prelucrare a datelor este doar prin rețeaua GSM.

5.1.8. Sistemul Ampacimon

Sistemul Ampacimon (Ampacimon, Belgia) [Cloet2010], [Cloet2011] realizează monitorizarea on-line a liniilor electrice aeriene prin măsurarea: accelerației conductorului LEA, a temperaturii mediului ambiant, a vitezei și direcției vântului și respectiv a radiației solare (Figura 5.1.7).

Sistemul se compune din:

- Modulul montat pe conductorul LEA:
 - transformator de curent;
 - accelerometru;
 - modul electronic de măsură și prelucrare a datelor;
 - modul GPRS comunicație și transmisie date.
- Stație meteo:
 - modul pentru măsurarea temperaturii ambiante;
 - modul pentru măsurarea vitezei și direcției vântului;
 - modul pentru măsurarea radiației solare;
- Software de achiziție, prelucrare, analiză, stocare și transmisie date.

Prin calcul se determină:

- săgeata conductorului LEA;
- temperatura medie a conductorului LEA;
- curentul prin LEA momentan și rezerva de sarcină;

Caracteristici:

- Domeniul de evaluare a temperaturii: -40°C ... 200°C;
- Domeniul de măsură a frecvenței oscilațiilor conductorului: 0 - 100 Hz;
- Precizia de determinare a săgeții: < 20 cm;
- Curentul minim pe LEA (pentru autoalimentare): 80 A.

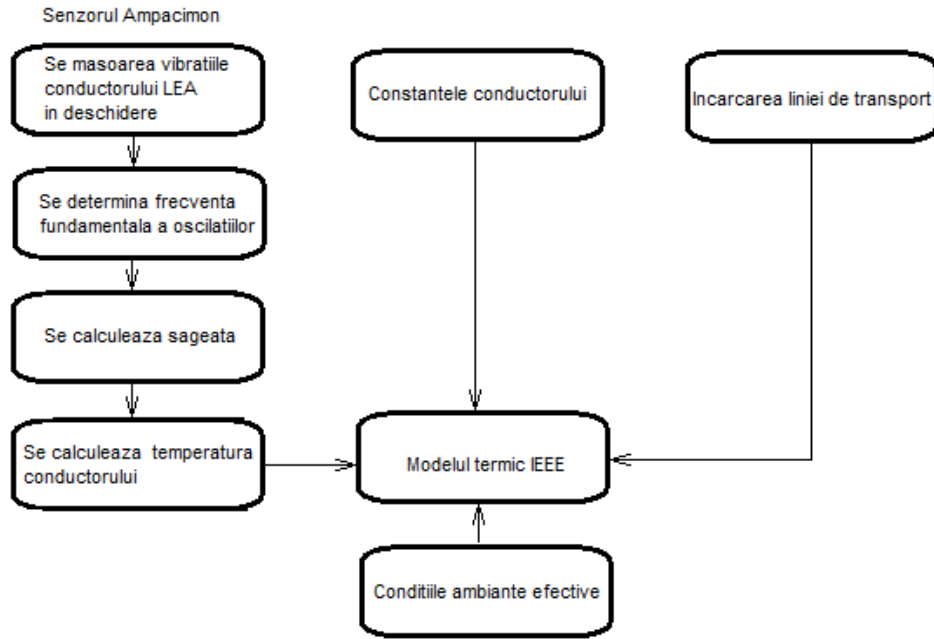
Avantaje:

- Simplist.

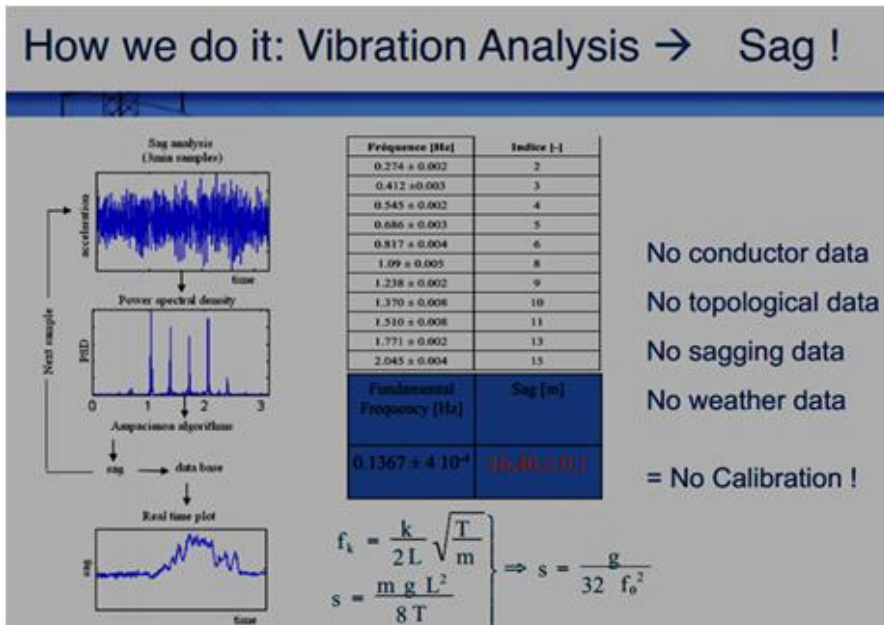
Dezavantaje:

- Datele despre parametrii principali de funcționare și de stare a LEA nu sunt obținute pe bază de măsurători directe, simultane, a niciunui din cei trei parametri principali (temperatura conductorului LEA, curentul prin conductor, săgeata conductorului);
- Nu se asigură redundanța și siguranța completă privind datele/ informațiile despre funcționarea LEA;
- Nu este asigurată precizia de măsurare a săgeții conductorului și deci nici a celorlalte două mărimi rezultate din calcul (cunoscând săgeata) și anume temperatura conductorului și curentul prin conductor;
- Nu măsoară curentul pe linie sub 80 A;

- Nu are sursă de alimentare pentru monitorizarea on-line a parametrilor liniei când aceasta este în gol sau curentul este sub 80 A;
- Comunicația și transmitia datelor la centrul de achiziție și prelucrare a datelor este doar în rețeaua GPRS.



a)



b)



c)

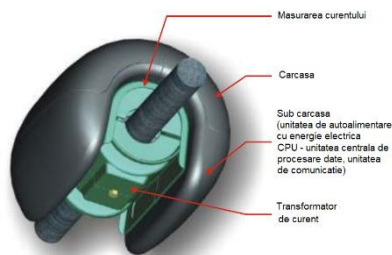
Fig. 5.1.7. Sistemul de monitorizare a liniilor electrice aeriene tip Ampacimon și principiul lui de determinare a săgeții (f_0 frecvența fundamentală a vibrațiilor conductorului, în deschidere; g accelerația gravitațională: $9,81 \text{ m/s}^2$)

5.1.9. Sistemul OTLM

Sistemul OTLM (OTLM, Slovenia) [Lovr2015] permite monitorizarea on-line a LEA prin măsurarea temperaturii conductorului LEA și a curentului prin conductorul LEA (Fig. 5.1.8).

Sistemul este compus din:

- Modulul montat pe conductorul linei (autoalimentat):
 - senzorul de temperatură;
 - transformatorul de curent pentru măsură și autoalimentare cu energie electrică;
 - modulul electronic de măsură și prelucrare a datelor;
 - modulul de comunicație GSM/GPS
 - modulul GPS;
- Stația meteo:
 - modulul pentru măsurarea temperaturii și umidității mediului ambiant;
 - modulul pentru măsurarea vitezei și direcției vântului;
 - modulul pentru măsurarea radiației solare;
- Software de achiziție, prelucrare, analiză, stocare și transmisie date.



a)



b)

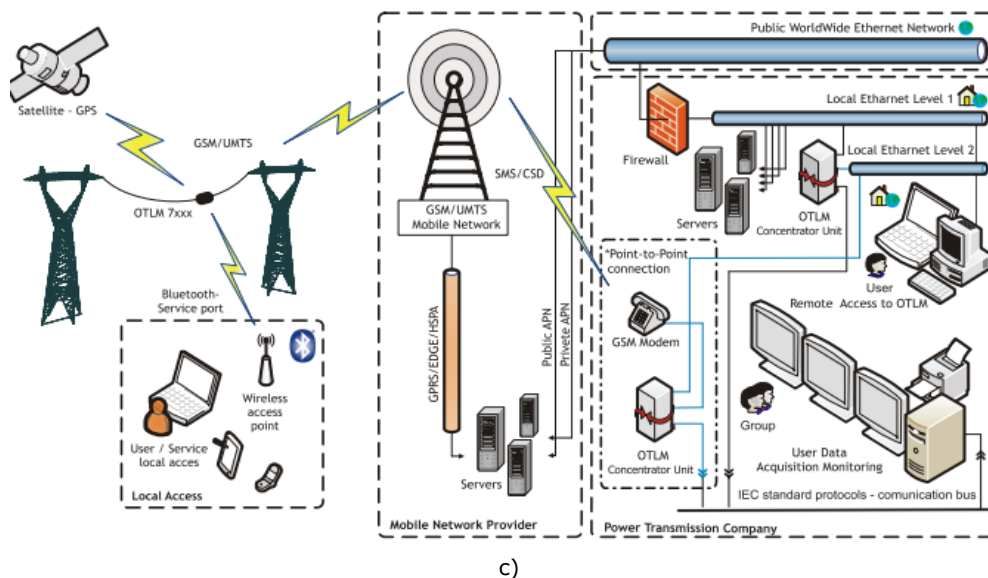


Fig. 5.1.8. Sistemul de monitorizare a liniilor electrice aeriene tip OTLM

Caracteristici:

- Domeniul de măsură a temperaturii: $-40^{\circ}\text{C} \dots +125^{\circ}\text{C}$;
- Domeniul de măsură a curentului prin conductorul LEA: 50 A - 1100 A.

Avantaje:

- Simplist.

Dezavantaje:

- Domeniul de măsură a temperaturii este mult mai mic decât necesar;
- Nu măsoară și săgeata conductorului LEA;
- Nu măsoară și oscilațiile conductorului LEA, ca mijloc de detecție a galopajului conductoarelor LEA;
- Nu este garantată precizia de măsurare a curentului și a temperaturii;
- Nu măsoară curentul pe linie sub 50 A;
- Datele despre parametrii principali de funcționare și de stare a LEA nu sunt obținute pe bază de măsurători directe, simultane, a celor trei parametri principali (temperatura conductorului LEA, curentul prin conductor, săgeata conductorului);
- Nu se asigură redundanța și siguranța completă privind datele/ informațiile despre funcționarea LEA;
- Nu are sursă de alimentare pentru monitorizarea on-line a parametrilor liniei când aceasta este în gol sau curentul este sub 50 A;
- Comunicația și transmisia datelor la centrul de achiziție și prelucrare a datelor este doar în rețeaua GSM.

5.1.10. Sistemul LINEAMPS

Sistemul LINEAMPS (Electrotech, SUA) [Line2020] permite aplicarea regimului dinamic de încărcare a liniilor electrice aeriene (DLR) pe baza: parametrilor mediului ambiant de-a lungul liniei, valorii curentului pe linie (data de intrare în sistemul de monitorizare, asigurată din alte surse decât cele aferente sistemului LINEAMPS), respectiv modelelor istorice de variație a parametrilor mediului ambiant (pentru evaluarea ampacității liniei și prognozarea valorilor viitoare), Figura 5.1.9.

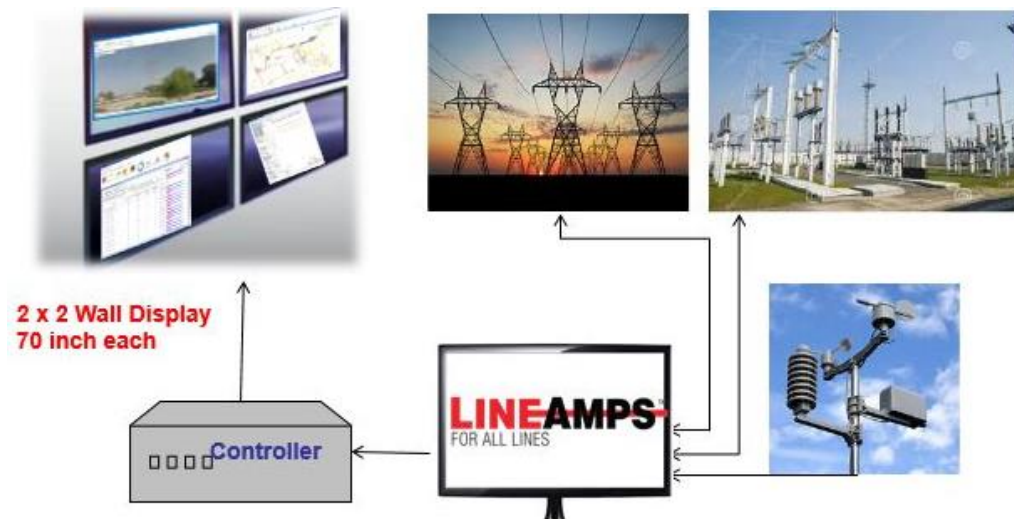


Fig. 5.1.9. Sistemul de funcționare a sistemului de monitorizare a liniilor electrice aeriene tip LINEAMPS (Electrotech)

Sistemul se compune din:

- Stații metode dispuse în diverse locuri, situate pe traseul liniei electrice aeriene;
- Controler;
- Conexiune la centrul de măsură, comandă, control al stației electrice, pentru informații despre încărcarea momentană a liniei electrice;
- Modul GPS.

Estimări sigure ale ampacității liniei electrice sunt posibile numai atunci când condițiile meteorologice și terenul sunt luate în considerare în diferite locuri de-a lungul traseului liniei de transport. Din acest motiv, LINEAMPS folosește mai multe stații meteo virtuale situate de-a lungul traseului liniei de transmisie pentru a calcula cu precizie ampacitatea liniei.

Sistemul LINEAMPS este realizat economic, deoarece nu necesită date meteorologice în timp real, măsurători ale: temperaturii conductorului, săgeții conductorului, forței de tracțiune în conductorul LEA sau orice alte date în timp real de la dispozitive sau sisteme externe, furnizate în mod continuu.

Ampacitatea liniei este calculată din datele meteo disponibile de la mai multe stații meteo din regiune, astfel ca sistemul dinamic de încărcare a liniei ar putea fi implementat pentru o întreagă rețea de transmisie cuprinzând sute și mii de linii de transport.

LINEAMPS funcționează autonom în modul on-line fără a necesita intervenția umană. În absența datelor meteorologice în timp real, programul își generează propriile date meteo prin utilizarea informațiilor cheie despre vreme din datele generale de prognoză meteo introduse de utilizator.

Nu există date privind precizia de evaluare a parametrilor de funcționare momentană și de prognoză a liniei electrice aeriene.

Avantaje precizate de furnizorul Electrotech

- Transmite capacitățile liniei în avans, ținând seama de datele prognozei meteo și modelele meteo bazate pe date istorice;
- Estimează în timp real valorile orare ale ampacității liniei pentru o săptămână în avans;

- Monitorizează supratemperatura conductoarelor liniei aeriene;
- Ampacitatea liniei este calculată din informațiile meteo și curentul pe linie;
- Achiziționează automat datele meteo folosind internetul;
- Poate implementa mai multe linii din rețeaua electrică a unei regiuni afișate pe harta Google.

Dezavantaje:

- Sistemul se bazează pe date de istoric privind parametrii mediului ambiant, aceasta introducând o mare doză de risc, mai ales în condițiile actuale când parametrii mediului ambiant se modifică semnificativ și brusc;
- Incertitudinea în datele despre mediul ambiant, determină date incerte despre regimul de funcționare și de încărcare a liniilor electrice, putând determina risc crescut de producere a unor avarii grave (ale căror pagube pot să depășească cu mult costul unor sisteme de monitorizare on-line performante);
- Datele despre parametrii principali de funcționare și de stare a LEA nu sunt obținute pe bază de măsurători directe a celor trei parametri principali (temperatura conductorului LEA, curentul prin conductor, săgeata conductorului);
- Nu este asigurată precizia de măsurare necesară pentru cei trei parametri principali, menționați;
- Determinarea ampacității liniei în regim de funcționare DLR se face doar pe baza valorii curentului și a datelor meteorologice obținute de la stații meteo amplasate de-alungul liniei;
- Sistemul nu ține seama de oscilațiile și galoparea conductorului LEA, caz în care orice estimare privind funcționarea sigură în aplicarea regimului dinamic de încărcare, este hazardată;
- Sistemul nu ține seama de influența chiciurei și a gheții depusă pe conductoarele LEA;
- Nu este asigurată precizia de măsurare a săgeții conductorului și a temperaturii conductorului, elemente de bază pentru funcționarea în regim dinamic de încărcare.

5.1.11. Sistemul CAT 1

Sistemul CAT 1 (The Valley Group Inc/ Nexans, SUA) [Wall2008] pentru monitorizarea on-line a LEA prin măsurarea: forței de întindere a conductorului, a temperaturii mediului ambiant și a radiației solare (Figura 5.1.10), produs în prezent scos din fabricație.

Sistemul este compus din:

- Traductorul de sarcină dinamometric;
- Unitatea centrală;
- Modulul pentru măsurarea temperaturii ambiante;
- Modulul pentru măsurarea radiației solare (Net Radiation Temperature);
- Sursa solară de alimentare cu energie;
- Unitatea de comunicație GSM sau radio;
- Software de achiziție, prelucrare, analiză, stocare și transmisie date.



a)



b)



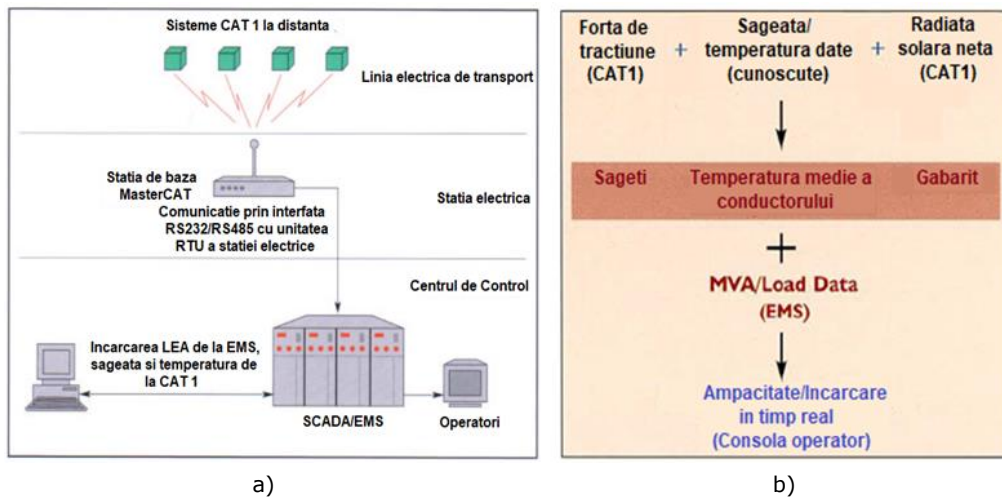
c)



d)

Fig. 5.1.10. Sistemul de monitorizare a liniilor electrice aeriene tip CAT 1

Schema bloc a sistemului CAT 1 și diagrama de determinare a parametrilor a sistemului de monitorizare este prezentat în figurile 5.1.11. a,b.



5.1.11. Schema bloc a sistemului CAT 1 și principiul specific de determinare a parametrilor de funcționare a LEA

Precizia de măsurare a săgeții conductorului este de ± 6 cm.

Avantaje precizate de Furnizor:

- Simplu;
- Rezultatele nu sunt influențate de condițiile meteo.

Dezavantaje:

- Nu măsoară săgeata și temperatura conductorului LEA;
- Nu măsoară și oscilațiile conductorului LEA, ca mijloc de detecție a galopajului conductoarelor LEA;
- Nu este garantată precizia de măsurare a temperaturii conductorului;
- Datele despre parametrii principali de funcționare și de stare a LEA nu sunt obținute pe bază de măsurători directe, simultane, a celor trei parametri principali (temperatura conductorului LEA, curentul prin conductor, săgeata conductorului);
- Nu se asigură redundanța și siguranța completă privind datele/ informațiile despre funcționarea LEA;

- Comunicația și transmitia datelor la centrul de achiziție și prelucrare a datelor este doar în rețeaua GSM;
- Montarea traductoarelor de forță de tracțiune necesită retragerea din funcțiune a liniei pe durată de câteva ore.

5.1.12. Concluziile analizei

Așa cum se observă, utilizarea echipamentelor de monitorizare din import ridică mai multe probleme importante dintre care se menționează:

1. Caracteristicile tehnice limitate;
2. Prețul de achiziție relativ ridicat;
3. Dificultatea de integrare într-un sistem unitar, datorită diversității și particularităților de concepție a lor, hardware și software;
4. Dificultatea de sincronizare cu precizie a datelor măsurate și înregistrate;
5. Dificultate în realizarea mentenanței hardware și software ;
6. Imposibilitatea comunicației bidirecționale la majoritatea sistemelor;
7. Imposibilitatea upgradării acestora în vederea realizării rețelelor inteligente de monitorizare și control;
8. Dificultatea securizării și protecției datelor referitoare la funcționarea în timp real a sistemului de transport al energiei electrice etc.

Analiza efectuată în cadrul prezentei lucrări privind monitorizarea on-line a parametrilor de funcționare și de stare a liniilor electrice aeriene a arătat următoarele:

- a) există o preocupare și o politică la nivel de țară de a se cerceta și realiza propriul/iile sistem/e de monitorizare on-line a liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune cât mai performant/e, specifice politicilor de Smart Grid (este cazul SUA, Germania, Coreea de Sud, Spania, China, Japonia, Belgia, Croatia și altele);
- b) soluțiile adoptate până în prezent nu au la bază standarde sau norme tehnice la nivel național sau internațional;
- c) fiecare din sistemele de monitorizate realizate și existente în prezent pe piața internațională sunt rezultatul activităților desfășurate de institute sau companii cu activități de cercetare (de exemplu Electric Power Research Institute - SUA pentru sistemul videosagometru [EPRI2001], [IEEE2001] și TLSM, Idaho National Laboratory - SUA pentru sistemul TLSM, Kepco Research Institut - Coreea de Sud pentru sistemul OLM, Fraunhofer Institute for Electronic Nano Systems ENAS - Germania pentru sistemul Astrose, Universitatea din Liege - Belgia pentru sistemul Ampacimon, Nexans – SUA pentru sistemul CAT 1, USI - SUA pentru sistemul Donut, OTLM – Croatia pentru sistemul OTLM etc.);
- d) sistemele de monitorizare analizate în lucrare, au fost realizate în scopul declarat de a satisface cerințele imediate ale sectorului energetic din țările de origine în ceea ce privește implementarea rețelelor inteligente, dar și pentru export;
- e) performanțele tehnice ale sistemelor de monitorizare a liniilor electrice aeriene, de pe piața internațională sunt mult diferite, doar câteva dintre ele putând fi considerate a îndeplini toate criteriile tehnice de calitate și siguranță necesare;
- f) considerentele tehnice și economice au determinat decizia și dorința de cercetare în vederea realizării în România, în colaborare cu colectivul de cercetare multidisciplinară de la Nova Industrial SA, a unui sistem românesc de monitorizare on-line a liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune care să satisfacă toate cerințele specifice observate la sistemele existente în prezent pe piața internațională, la cel mai înalt nivel tehnic calitativ și care să fie bază pentru introducerea în Sistemul Energetic Național a rețelelor inteligente.

5.2. Principii care stau la baza specificației tehnice pentru sistemul de monitorizare on-line propus

Datele prezentate în subcapitolul 5.1 arată următoarele:

- a) Sistemele diferă semnificativ între ele din punctul de vedere al soluției tehnico-constructive, performanțelor tehnice și preț la achiziție, preț de mentenanță, etc.
- b) Există o intensă publicitate și incisivitate în ceea ce înseamnă acapararea pieței de către anumiți producători de sisteme de monitorizare simpliste (de exemplu pentru produsele Ampacimon, CAT 1 etc.), produse incomparabile tehnic și economic cu cele de tip complex menționate (de exemplu produsele Donut, Astrose, HiTLMS, OLM, TLSM, etc.). De exemplu tipul CAT 1 deși retras de pe piață de producătorul Nexans, se regăsește încă în mai multe proiecte și Caiete de Sarcini pentru lucrări recente de realizare de linii noi (de exemplu LEA 400 kV Reșița - Pancevo, LEA 220 kV Porțile de Fier – (Anina) – Reșița, LEA 400 kV Gutinas - Smârdan etc.).
- c) Redundanța și siguranța datelor rezultate la măsurarea și monitorizarea on-line a parametrilor de funcționare a liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune, justifică încrederea Companiilor de transport al energiei electrice în aplicarea regimului dinamic de încărcare și exploatare a liniilor electrice existente, cu efecte economice considerabile.

Având în vedere cele menționate, faptul că s-a urmărit ca sistemul românesc să fie de top internațional și să ofere date și informații sigure, redundante, în timp real, despre parametrii de funcționare ai liniilor electrice aeriene monitorizate on-line, la elaborarea specificației tehnice a sistemului NOVA OHLM, specificații la care autorul și-a adus o contribuție semnificativă, s-au avut în vedere următoarele:

- 1) Sistemul trebuie să măsoare direct, în timp real, parametrii principali de funcționare a liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune (curentul prin conductorul LEA și pe linie, temperatura conductorului, săgeata conductorului), similar ca în cazul sistemelor inteligente de monitorizare Power Donut și TLSM (SUA), Astrose (Germania), HiTLMS și OLM (Coreea de Sud) etc.;
- 2) Sistemul trebuie să permită și măsurarea forței de tracțiune în conductorul/conductoarele liniei și în lanțul/rile de izolatoare, similar ca la sistemele de monitorizare CAT1 (SUA) și OLM (Coreea de Sud);

Măsurarea forței de tracțiune în conductorul LEA (metoda CAT 1) implică și avantaje și dezavantaje.

Avantaje:

- se măsoară on-line, în timp real, forța de tracțiune în conductor și în lanțul de izolatoare;
- este o soluție suplimentară de determinare/ verificare prin calcul a parametrilor principali de funcționare ai liniei electrice;

Dezavantaje:

- montajul sistemului de monitorizare necesită proiect de intervenție asupra LEA și aprobarea lui de Utilizator;
 - montajul se poate face numai cu scoaterea liniei electrice din funcțiune, pe o perioadă importantă de timp (timpul de montare pe o fază este de cca. 8 h);
 - senzorii de forță de tracțiune, trebuie aleși cu grijă, întrucât prevederea unor senzori de măsură supradimensionați (de exemplu prevederea unor senzori de 250 kN în loc de cei necesari de 100 kN, cu mult peste forța de rupere a conductorului sau a lanțului de izolatoare de întindere), implică greutatea mari la montajul senzorilor la înălțime.
- 3) Sistemul trebuie să asigure de asemenea măsurarea oscilațiilor conductorului LEA, punând în evidență situațiile de galopare a conductorului, când operarea unei linii electrice aeriene necesită atenție deosebită, similar ca la sistemele de monitorizare TLSM (SUA) și Astrose (Germania);

- 4) Sistemul trebuie să permită măsurarea înclinării stâlpului, similar ca la sistemul de monitorizare OLM (Coreea de Sud);
- 5) Sistemul trebuie să permită, opțional, integrarea modului pentru măsurarea curenilor de scurgere pe lanțurile de izolatoare aferente LEA, pentru punerea în evidență a descărcărilor corona, similar ca la sistemul OLM (Coreea de Sud);
- 6) Pentru aplicarea regimului dinamic de încărcare a LEA, sistemul inteligent de monitorizare a LEA trebuie să aibă în componență și un modul stație meteo pentru măsurarea următorilor parametri ai mediului ambiant:
 - o senzori de temperatură și umiditate a aerului;
 - o senzor de viteză a vântului;
 - o senzor de direcție a vântului;
 - o senzor de intensitate a radiației solare;
- 7) Sistemul trebuie să fie realizat pentru două domenii de măsurare a temperaturii conductorului LEA:
 - a) Varianta standard, când temperatura conductorului este de maxim 150°C (folosită la marea majoritate a liniilor electrice);
 - b) Varianta specială, când temperatura conductorului poate ajunge la maxim 250°C (folosită în cazul liniilor electrice aeriene cu conductoare având temperatura mărită de funcționare de maxim 250°C);
- 8) Sistemul trebuie să permită măsurarea înclinării conductorului LEA pentru două domenii de măsură:
 - a) Varianta standard la care domeniul de măsură este $\pm 10^\circ$ și precizie de măsură foarte mare (similar ca la sistemele Donut (SUA), Astrose (Germania), OLM și HiTLMS (Coreea de Sud), TLMS (SUA);
 - b) Varianta specială la care domeniul de măsură este de $\pm 90^\circ$, la care precizia este cu aproape un ordin de măsură mai mică comparativ cu varianta a).

Prevederea ambelor domenii de măsură, influențează semnificativ puterea sursei independente de autoalimentare cu energie electrică și consumul de energie electrică la modulul montat pe conductorul liniei electrice;

- 9) Curentul prin conductorul LEA nu trebuie confundat cu curentul pe LEA. Întrucât modulul aflat la potențialul conductorului LEA, măsoară doar curentul prin acel conductor pe care este montat (folosind un transformator de curent), atunci curentul pe LEA este egal cu numărul de conductoare ale LEA pe o fază, înmulțit cu curentul măsurat de modul. Pentru liniile electrice ce se realizează în prezent pe plan internațional, curentul maxim prin conductorul LEA de înaltă tensiune nu depășește 1.500 A. La o LEA de 400 kV cu 2/3/4 conductoare/fază, sistemul de monitorizare poate măsura cu precizie curentul pe LEA de până la 2/3/4x1.500 A.
- 10) Sistemul trebuie să poată măsura și monitoriza parametrii principali de funcționare ai liniei electrice și atunci când linia este slab încărcată sau este retrasă din exploatare.

Această ultimă cerință determină necesitatea ca în interiorul modului montat direct pe conductorul liniei și aflat la potențialul conductorului LEA, să existe două surse independente de autoalimentare cu energie electrică:

- o sursă alimentată de la transformatorul de curent (pentru curenți pe linie peste limita minimă la care puterea din secundarul transformatorului este suficientă pentru alimentarea cu energie electrică a tuturor componentelor electrice/ electronice din structura modului respectiv);
- cea de-a doua alimentată de la o baterie (pentru curenți în domeniul 0 – 65 A, curentul limită minimă măsurat folosind ca sursă de alimentare transformatorul de curent). Bateria se autoîncarcă de la prima sursă independentă autoalimentată.

Durata cât trebuie să se asigure măsurarea parametrilor liniei, când linia este slab încărcată sau scoasă din funcțiune, trebuie precizată cât mai realist întrucât determină dimensionarea sursei de autoalimentare a modului aflat la potențialul liniei. Rezonabilă este durata de maxim 12 h.

5.3. Specificație tehnică pentru sistemul de monitorizare on-line propus în teză

5.3.1. Considerații preliminare

Specificația tehnică elaborată cu o semnificativă contribuție a autorului tezei, are drept scop să precizeze condițiile tehnice pentru realizarea în România a sistemului de monitorizare on-line a liniilor electrice aeriene de 110 - 750 kV, astfel încât acesta să poată face parte din sistemul integrat de tip Smart Grid de monitorizare și diagnoză on-line a stării tehnice momentane a liniilor electrice aeriene, în special a celor din Rețeaua Electrică de Transport.

Sistemul de monitorizare este conceput astfel încât să asigure măsurarea parametrilor principali de funcționare a liniilor electrice aeriene (curentul prin conductorul LEA, temperatura conductorului, săgeata conductorului, forța de tracțiune în conductorul linii, oscilațiile conductorului) și a parametrilor mediului ambiant (temperatura ambiantă, viteza și direcția vântului, radiația solară) în culoarul linii electrice aeriene, considerați parametri de bază, necesari, pentru aplicarea în deplină siguranță a regimului dinamic de încărcare a liniilor electrice.

Sistemul românesc de monitorizare a liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune este elaborat astfel încât să fie foarte performant, la nivelul actual al cerințelor și realizărilor pe plan internațional.

5.3.2. Standarde de referință

În conformitate cu Specificația Tehnică, sistemul românesc de monitorizare îndeplinește, în ansamblu, cerințele specifice conform documentelor și standardelor din tabelul 5.3.1 [CIGRE2011], [Step2012], [CIGRE2007b], [CIGRE2010], [CIGRE 2008], [CIGRE2008b], [IEEE2006], [IEC1977], [IEC2006],

Tabelul 5.3.1. Documente și standarde de referință

Nr. crt.	Standarde de referință	Documentul
1	CIGRE, Technical Brochure 465/2011	Modern Techniques for Protecting and Monitoring of Transmission Lines
2	CIGRE, Technical Brochure 515/2012	Mechanical security of overhead lines containing cascading failures and mitigating their effects
3	CIGRE, Technical Brochure 498/2012	Guide for Application of Direct Real-Time Monitoring Systems
4	CIGRE, Technical Brochure 299/2006	Guide for the selection of weather parameters for bare overhead conductor ratings
5	CIGRE, Technical Brochure 324/2007	Sag tension calculation methods for overhead lines
6	CIGRE, Technical Brochure 482/2012	State of the art for testing self-damping characteristics of conductors for overhead lines
7	CIGRE, Technical Brochure 460/2011	The use of ethernet technology in the power utility environment
8	CIGRE, Technical Brochure 438/2010	Systems for prediction and monitoring of ice shedding, anti-icing and de-icing for power line conductors and ground wires
9	CIGRE, Technical Brochure 424/2010	New Trends for Automated Fault and Disturbance Analysis
10	CIGRE, Technical Brochure 355/2008	Fault and disturbance data analysis including intelligent systems
11	CIGRE, Technical Brochure 461/2011	Telecommunication service provisioning and delivery in the electrical power utility
12	CIGRE, Technical Brochure 385/2009	Management of risks due to load-flow increases in transmission OHL

Nr. crt.	Standarde de referință	Documentul
13	CIGRE, Technical Brochure 353/2008	Guidelines for increased utilization of existing overhead transmission lines
14	IEEE Std. 738	IEEE Standard for Calculating the Current-Temperature of Bare Over-head Conductors
15	NTE 003/04/2000	Normativ pentru construcția liniilor aeriene de energie electrică cu tensiuni peste 1000 V
16	IEC 61000-1	Electromagnetic compatibility (EMC) – Partea 1: General
17	SR EN 61000-2	Compatibilitatea electromagnetică (CEM). Partea 2: Mediu ambiant
18	SR EN 61000-3	Compatibilitatea electromagnetică (CEM). Partea 3: Limite
19	SR EN 61000-4	Compatibilitatea electromagnetică (CEM). Partea 4: Tehnici de încercare și măsurare
20	SR EN 61000-5	Compatibilitatea electromagnetică (CEM). Partea 5: Ghiduri de instalare și de reducere a perturbațiilor
21	SR EN 61000-6	Compatibilitatea electromagnetică (CEM). Partea 6: Standarde generice
22	SR EN 61140	Protecție împotriva șocurilor electrice. Aspecte comune în instalații și echipamente electrice
23	SR EN ISO 9001	Sisteme de management al calității. Cerințe
24	SR EN 60068-3-3	Încercări de mediu. Partea 3: Ghid. Metode de încercare seismice ale echipamentelor
25	SR EN 60721-1	Clasificarea condițiilor de mediu. Partea 1: Agenți de mediu și gradele lor de severitate
26	IEC 60721-2-1	Classification of environmental conditions. Part 2: Environmental conditions appearing in nature. Temperature and humidity
27	IEC 60721-2-2	Classification of environmental conditions. Part 2: Environmental conditions appearing in nature. Precipitation and wind
28	IEC 60721-2-3	Classification of environmental conditions – Part 2: Environmental conditions appearing in nature. Air pressure
29	IEC 60721-2-4	Classification of environmental conditions. Part 2: Environmental conditions appearing in nature. Solar radiation and temperature
30	IEC 60721-2-6	Classification of environmental conditions. Part 2: Environmental conditions appearing in nature. Earthquake vibration and shock
31	SR EN ISO 14001	Sisteme de management mediu. Cerințe și ghid de utilizare
32	SR EN ISO 6708	Componente ale rețelei de conducte. Definiția și alegerea DN (diametru nominal)
33	Legea 319/2006	Legea securității și sănătății în muncă
34	IEC 61284	Linii electrice aeriene. Cerințe și încercări pentru armături.
35	IEC 60826	Loading and strength of overhead transmission line
36	OUG nr.98 din 3.11.2010	Ordonanța de urgență privind identificarea, desemnarea și protecția infrastructurilor critice
37	Legea nr. 18 din 11.03.2011	Pentru aprobarea OUG nr.98 din 3.11.2010 privind identificarea, desemnarea și protecția infrastructurilor critice
38	EN 50341- 1:2012	EN 50341 - Overhead electric lines exceeding AC 1 kV

Sistemul de monitorizare trebuie să fie complet, cu toate cele necesare unei bune utilizări.

5.3.3. Condiții de funcționare

Sistemul de monitorizare este destinat să funcționeze în regim continuu și să măsoare, prelucreze, stocheze și să transmită on-line parametrii monitorizați (măsurăți/calculați).

Sistemul românesc de monitorizare va fi compus din subsisteme destinate a fi montate în exterior (pe stâlp sau pe conductoarele liniei) și va corespunde caracteristicilor generale ale mediului ambiant, prezentate în tabelul 5.3.2.

Tabelul 5.3.2. Condiții de mediu pentru sistemul de monitorizare

Nr. crt.	Denumire parametru	Valoare parametru
1	Temperatura maximă ambiantă (°C)	60
2	Temperatura maximă ambiantă medie zilnică (°C)	35
3	Temperatura maximă ambiantă medie anuală (°C)	25
4	Temperatura minimă ambiantă (°C)	-40 ÷ +80
5	Umiditatea relativă maximă (%)	100
6	Viteza vântului la înălțimea de 10 m deasupra solului (m/s)	60
7	Accelerația la cutremur orizontală / vertical (m/s ²)	0,3 g / 0,2 g
8	Expunerea la radiația solară	directă
9	Presiunea aerului (mmHg)	101,32 4 kPa
10	Locul de amplasare	exterior
11	Atmosferă industrială	zona 3/4 de poluare
12	Grosimea maximă a stratului de gheață ($\gamma = 0,75 \text{ daN/dm}^3$) (mm)	24

Caracteristicile tehnice ale sistemului românesc de monitorizare a liniilor electrice aeriene au fost stabilite printr-o reuniune a celor mai bune caracteristici tehnice ale sistemelor similare pe plan internațional.

Subsistemele sistemului românesc de monitorizare a liniilor electrice aeriene sunt prezentate în tabelul 5.3.3.

Tabelul 5.3.3. Subsisteme ale sistemului complex de monitorizare a liniilor electrice aeriene

Nr. crt.	Subsisteme	Parametrii monitorizați	Caracteristici	
1	Subsistemul pentru monitorizarea parametrilor de funcționare a liniei	1.1. Capacitatea de transport a LEA	0 ÷ 1500 [A]	
		1.2. Capacitatea de transport a LEA/faza	$N(*) \times (0 \div 1500)$ [A] (* N este numărul conductoarelor pe fază)	
		1.3. Temperatura conductorului activ al LEA	Varianta standard	-40 ÷ +150 [°C]
			Varianta pentru LEA cu temperatura mărită de funcționare	-40 ÷ +250 [°C]
		1.4. Unghiul de înclinare a conductorului activ/ Săgeata conductorului activ (determinată indirect prin măsurarea unghiului de înclinare)	Varianta standard	± 10 [°]
			Varianta speciala (2 senzori)	± 10 [°] și ± 90 [°]
		1.5. Oscilațiile conductorului:	Accelerația	± 2 [g]
			Domeniul de măsurare a oscilațiilor conductorului	± 90°
		1.6. Tracțiunea în subconductor	Capacitatea	250 [kN]
			Precizia	± 1 [%]
			Suprasarcina admisă	150 [% F.S.]
			Sarcina de rupere	>300 [%FS]
1.7. Camera video montată pe stâlp, pentru imagini în lungul LEA, în zona de montare a sistemului de monitorizare (videoșagometru – opțional)		DA		
1.8. Senzor de înclinare a stâlpului LEA	Domeniul de variație a înclinării	± 90 [°]		

Nr. crt.	Subsisteme	Parametrii monitorizați	Caracteristici
2.	Subsistemul pentru monitorizarea parametrilor mediului de funcționare	3.1. Temperatura aerului	-40°C - +80°C
		3.2. Umiditatea relativă a mediului ambiant	0 ÷ 100 %RH
		3.3. Presiunea atmosferică	60 ÷ 110 kPa
		3.4. Viteza și direcția vântului	0,1 ÷ 60 m/s
		3.5. Precipitațiile lichide:	
		3.5.1. Durata căderii ploii	≥10 s
		3.5.2. Intensitatea ploii	0 - 200 mm/h
		3.6. Radiația solară [W/m ²]	0 - 1.400 W/m ²
3.	Modulul de achiziție, prelucrare, stocare locală a datelor monitorizate (IED-ul)	3.7. Chiciură/Gheață (prezența)	≥0.05 mm gheață
		4.1. Numărul de intrări pentru achiziția datelor	Corepunzător necesităților de monitorizare a LEA
		4.2. Frecvența de achiziție a datelor:	
		4.2.1. În regim normal de funcționare	la intervale determinate de timp
4.	Modul de comunicație/transmisie date	4.2.2. În caz de incident sau de fenomene nedorite	online
		4.3. Capacitatea de stocare locală a tuturor datelor achiziționate pe o perioadă de minimum 30 zile	minimum 30 zile
		GSM	GSM
5.	Module independente de alimentare cu energie electrică	Wireless	Wireless până la cutia de jonctiune a fibrei optice
		Fibră optică	În rețeaua de fibră optică a CNTEE "Transelectrica"- SA
		Alimentare independentă a componentelor electrice și electronice aferente modulului montat pe conductorul LEA	Sursa 1 alimentată din secundarul transformatorului de curent Sursa 2 alimentată de la baterie
6.	Programe software specifice	Alimentare independentă, proprie, pentru componentele sistemului de monitorizare menționate, montate pe stâlp)	Alimentare de la o sursă independentă fotovoltaică cu acumulator de stocare.
		8.1. Software de aplicație	Software-ul sistemului de monitorizare va permite setarea valorilor minime, maxime, precum și diferite praguri, sau valori de stare, pentru toate mărimile monitorizate
		8.2. Software client	Software-ul va prezenta valorile parametrilor monitorizați, atât ca valori instantanee cât și evoluția lor în timp (formă grafică).

5.4. Concluzii

Optimizarea funcționării liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune și funcționarea în siguranță a acestora este absolut necesară, indiferent că este vorba de linii electrice vechi sau noi și indiferent de condițiile meteorologice.

Soluția cea mai modernă pentru controlul și optimizarea funcționării liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune necesită utilizarea rețelelor inteligente bazate pe sisteme de monitorizare on-line a parametrilor de funcționare și de stare. O rețea inteligentă de transport a energiei electrice va trebui să aibă, pe lângă linii electrice

eficiente din punct de vedere energetic și sisteme de control și monitorizare on-line necesare pentru realizarea unei programări eficiente a funcționării și coordonarea necesarului de transport de energie electrică în raport cu starea tehnică a liniilor electrice și a echipamentelor electrice primare din stațiile electrice de înaltă tensiune și respectiv cu condițiile de mediu.

În același timp, calitatea energiei electrice vehiculate prin rețelele electrice de transport este influențată de regimurile de funcționare ale acestora, cu implicații tehnico-economice directe asupra consumului de energie electrică și asupra siguranței în funcționare a SEN.

Adoptarea în România a normelor internaționale privind indicatorii de calitate a energiei electrice și includerea acestora în contractele economice privind serviciile de transport a energiei electrice necesită un management specific, bazat pe utilizarea echipamentelor specifice de monitorizare on-line, a căror calitate trebuie certificată după proceduri și normative unice la nivel național;

Având în vedere cele menționate, faptul că s-a urmărit ca sistemul românesc să fie de top internațional și să ofere date și informații sigure, redundante, în timp real, despre parametrii de funcționare ai liniilor electrice aeriene monitorizate on-line, la elaborarea specificației tehnice a sistemului românesc de monitorizare - NOVA OHLM, s-a avut în vedere faptul că sistemul trebuie să măsoare direct, în timp real, parametrii principali de funcționare ai liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune (curentul prin conductorul LEA și pe linie, temperatura conductorului, săgeata conductorului), că trebuie să permită și măsurarea forței de tracțiune în conductorul/ conductoarele liniei și în lanțul/rile de izolatoare și că sistemul de monitorizare trebuie să fie complet, cu toate cele necesare unei bune utilizări. De aceea, caracteristicile tehnice ale sistemului românesc de monitorizare a liniilor electrice aeriene au fost stabilite printr-o reuniune a celor mai bune caracteristici tehnice ale sistemelor similare pe plan internațional.

Mai mult, sistemul de monitorizare este destinat să funcționeze în regim continuu și să măsoare, prelucreze, stocheze și să transmită on-line parametrii monitorizați (măsurăți/calculați), fiind compus din subsisteme destinate a fi montate în exterior (pe stâlp sau pe conductoarele liniei), care să corespundă caracteristicilor generale ale mediului ambiant.

În ceea ce privește contribuția personală a autorului tezei, aceasta s-a materializat mai întâi, în enunțarea concretă a obiectivelor, indicatorilor și coordonatelor care stau la baza funcționării rețelei electrice de transport din România, iar apoi, pe baza unei documentări profesionale, în analiza critică a sistemelor de monitorizare mai relevante existente la ora actuală, pe plan internațional, cum ar fi: Power Donut (Usi, SUA), ASTROSE (The Fraunhofer Institute - ENAS, Germania), HiTLMS (Hyundai, Coreea de Sud), OLM (Kepco Research Institut, Coreea de Sud), TLMS (Idaho Laboratory Inc., USA), SMT (Artech Groupe, Spania), Ampacimon (Ampacimon, Belgia), OTLM (OTLM, Slovenia), LINEAMPS (Electrotech, SUA) și CAT 1 (The Valley Group Inc/ Nexans, SUA). Eforturile autorului tezei s-au focalizat nu doar pe descrierea componentei fiecărui sistem, ci mai ales pe identificarea și prezentarea avantajelor și dezavantajelor fiecăruia și fixarea concluziilor referitoare la realizarea și eficiența acestora.

O contribuție aparte a autorului a constat în definirea principiilor care stau la baza specificației tehnice pentru sistemul de monitorizare on-line românesc, propus în teză. Așadar, pe baza acestor principii autorul tezei a elaborat specificațiile tehnice pentru sistemul de monitorizare propus, specificații care au fost concepute în așa fel încât acesta să asigure măsurarea parametrilor principali de funcționare ai liniilor electrice aeriene (curentul prin conductorul LEA, temperatura conductorului, săgeata conductorului, forța de tracțiune în conductorul liniei, oscilațiile conductorului) și a parametrilor mediului ambiant (temperatura ambiantă, viteza și direcția vântului, radiația solară).

6. SISTEMUL OHLM DE MONITORIZARE ON-LINE ȘI DE ÎNCĂRCARE DINAMICĂ A LEA

În acest capitol este descris sistemul autohton de monitorizare on-line și de încărcare dinamică a LEA (OHLM). După primul subcapitolul care conține câteva considerații cu caracter general, privitoare la echipamentul OHLM, în subcapitolul 6.2 este prezentată arhitectura acestuia, cu descrierea fiecărei părți componente.

În subcapitolul 6.3 sunt descrise caracteristicile funcționale ale sistemului de monitorizare, ținând cont de: caracteristicile tehnice ale rețelei de transport al energiei electrice, condițiile climatice și de mediu în care va funcționa sistemul de monitorizare, condițiile generale și caracteristicile tehnice principale pe care trebuie să le îndeplinească sistemul de monitorizare OHLM, semnalizările pe care trebuie să le furnizeze în sistemul central de achiziție de date și software-ul acestuia.

Subcapitolul 6.4. prezintă caracteristicile constructive ale sistemului OHLM și descrie fiecare subsistem în parte: subsistemul OHLM pentru monitorizarea parametrilor de funcționare a LEA, subsistemul OHLM M pentru monitorizarea condițiilor de mediu și subsistemul OHLM E (sursă independentă de alimentare cu energie electrică).

Obiectivele subcapitolului 6.5 sunt de a prezenta aplicația software a sistemului OHLM, aplicație ce este de tip client – server și este dezvoltată în mediul de programare Visual Studio.NET.

Capitolul se încheie cu prezentarea proiectului pilot de monitorizare on-line a LEA 400 kV București Sud - Pelicanu (subcapitolul 6.6), descriindu-se arhitectura sistemului de măsurare și măsurătorile efectuate, rezultatele fiind deosebit de relevante în scopul elucidării unor incidente produse intempestiv la izolatoarele compozit de 400 kV pe LEA 400 kV București Sud - Pelicanu și respectiv în stația 400/220/110 kV București Sud.

6.1. Considerații preliminare și domeniul de utilizare

Echipamentul OHLM, realizat prin contribuții ale autorului tezei, este destinat monitorizării on-line a liniilor electrice aeriene de (110-400) kV, asigurând informații despre parametrii de funcționare și starea liniei electrice aeriene de înaltă tensiune monitorizată și anume:

- a) starea de funcționare conectat / deconectat la / de la rețea, corespunde / nu corespunde normativelor de exploatare;
- b) condițiile de funcționare a LEA: curentul de sarcină, temperatura conductorului activ al LEA, săgeata/ gabaritul conductorului, forța de tracțiune a conductorului și a lanțului de izolatoare, oscilațiile conductorului etc.

Sistemul OHLM de monitorizare este astfel realizat încât să poată face parte din sistemul integrat de tip Smart Grid de monitorizare și diagnoză on-line a stării tehnice momentane a liniilor electrice aeriene din Rețeaua Electrică de Transport.

Configurația și parametrizarea sistemului de monitorizare se va face individual în funcție de cerințele Utilizatorului.

Sistemul OHLM de monitorizare este destinat să funcționeze în regim continuu și trebuie să poată măsura, înregistra și transmite on-line parametrii monitorizați (măsurători și calculați). În timpul exploatarei, sistemul de monitorizare nu trebuie să aibă acțiuni dăunătoare asupra mediului înconjurător sau asupra instalațiilor pe care le monitorizează.

Utilizarea echipamentului OHLM, singular sau în cadrul unui sistem integrat de monitorizare on-line a liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune, asigură condițiile necesare pentru:

- creșterea eficienței lucrărilor de mentenanță: se reduc costurile necesare pentru inspecții și revizii tehnice; costurile pentru reparații sau înlocuire a componentelor defecte; costul lucrărilor de montaj, costurilor datorită congestiilor etc;
- creșterea rapidității în intervenție și a calității serviciilor furnizate de echipele de mentenanță, în caz de incidente/ avarii;
- îmbunătățirea suportului informațional destinat managementului activelor și a riscurilor, pentru luarea deciziilor în timp real;
- trecerea de la regimul de încărcare static la regimul de încărcare dinamic al liniilor electrice;
- realizarea detecției defectelor în faza lor incipientă și astfel prevenirea defectării grave a echipamentelor și pierderilor materiale aferente;
- realizarea achiziției datelor pe termen lung, îmbunătățind astfel informațiile despre caracteristicile și condițiile de funcționare a liniilor electrice;
- creșterea fiabilității și disponibilității sistemului, reducându-se astfel numărul și durata întreruperilor accidentale, deci a pierderilor datorate energiei nelivrate;
- creșterea siguranței personalului de exploatare;
- asigurarea unei mai bune protecții a mediului ambiant;
- creșterea eficiență a practicilor de mentenanță.

6.2. Arhitectura sistemului OHLM

Arhitectura sistemului inteligent Nova OHLM pentru monitorizarea on-line a liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune este prezentată în figura 6.2.1.

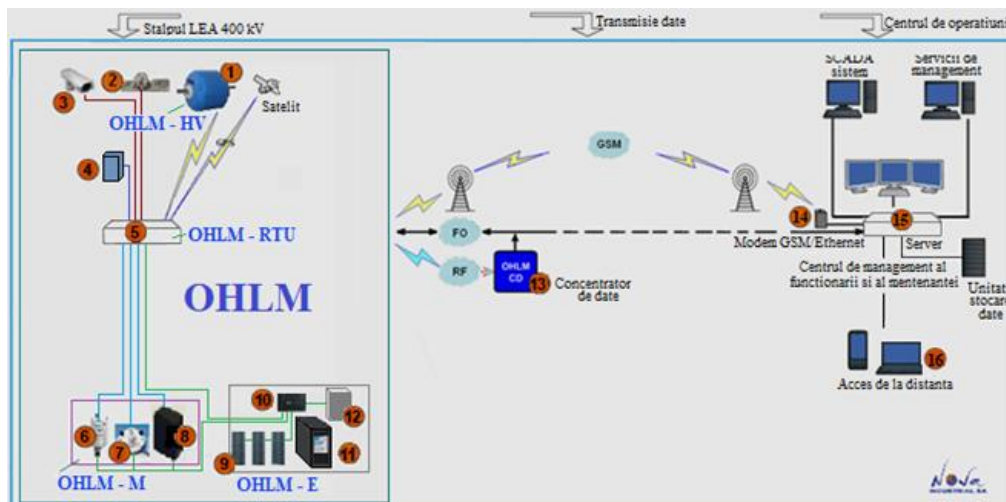


Fig. 6.2.1. Arhitectura sistemului Nova OHLM

Semnificațiile notațiilor din figura 6.2.1:

- OHLM-HV (1), este modulul aflat la potențialul conductorului LEA, pentru măsurarea parametrilor de funcționare a liniei electrice aeriene, care cuprinde următoarele elemente principale:
 - transformatorul de măsură de curent;
 - traductoarele de temperatură (2 buc.);
 - traductoarele de unghi de înclinare (2 buc.);
 - senzorul de oscilații ale conductorului;
 - surse independente (2 buc.), autoalimentate, pentru alimentarea cu energie electrică a componentelor electrice/electronice și IT la curenți prin conductorul LEA între 0 și 65 A și respectiv ≥ 65 A;
- OHLM-T (2): modulul pentru măsurarea forței de tracțiune în conductorul / conductoarele LEA
- OHLM-V (3): pentru vizualizare și imagini foto în lungul LEA;
- OHLM-H (4): modulul pentru măsurarea unghiului de înclinare a stâlpului;
- OHLM-RTU/IED (5): modulul pentru achiziția, prelucrarea stocarea locală, comunicația bidirecțională la distanță și transmisia datelor;
- OHLM-M: modulul pentru măsurarea parametrilor mediului ambiant, compus din următoarele componente principale:
 - Stație meteo (6), pentru măsurarea parametrilor mediului ambiant;
 - Piranometru (7), pentru măsurarea radiației solare în apropiere de conductorul LEA;
 - Aparat (8) pentru măsurarea depunerii de gheață/chiciură;
- OHLM-E: sursă independentă (fotovoltaică), pentru alimentarea cu energie electrică a componentelor sistemului OHLM montate pe stâlp, compusă din
 - Panouri fotovoltaice (9);
 - Controler de încărcare (10);
 - Acumulator (11);
 - Sistem de monitorizare a gradului de încărcare a acumulatorului (12);
- Concentratorul de date (instalat în cutia RTU).

6.3. Caracteristici funcționale ale sistemului OHLM

Sistemul inteligent Nova OHLM, este primul și singurul sistem de monitorizare on-line a liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune realizat în România, este la nivel de top internațional în domeniu și îndeplinește toate cerințele tehnice specifice precizate la cap. 5, așa cum rezultă și din tabelul 6.3.1.

Tabelul 6.3.1. Caracteristicile tehnice principale ale sistemului Nova OHLM

Nr. crt.	Subsistemul	Modulul	Parametri măsurati/garantați		
1.	Denumirea sistemului de monitorizare		Sistemul Nova OHLM pentru monitorizare on-line a liniilor electrice aeriene		
2.	Producător / Țară		Nova Industrial SA / România		
3.	Caracteristici tehnice ale rețelei de transport al energiei electrice				
3.1.	Tensiunea nominală		110 kV	220 kV	400 kV
3.2.	Tensiune maximă de funcționare		123 kV	245 V	420 kV
3.3.	Frecvența nominală		50 Hz	50 Hz	50 Hz
3.4.	Tensiunea de ținere față de pământ				

Nr. crt.	Subsistemul	Modulul	Parametri măsuțați/garantați		
3.5.	a. la impuls de tensiune de trăsnet		550 kVmax	1050 kVmax	1550 kVmax
3.6.	b. la impuls de tensiune de comutație				1050 kVmax
3.7.	c. la frecvența industrială, 50 Hz, 1 minut, în stare umedă		230 kV	460 kV	680 kV
4. Condiții climatice și de mediu de funcționare a sistemului de monitorizare					
4.1.	Locul de montaj		exterior		
4.2.	Temperatura mediului ambiant [°C] - maximă - minimă - medie (în toată țara) - medie (altitudini peste 800 m)		+80 -40 +15 +10		
4.3.	Umiditatea relativă a aerului la 40°C (%)		100		
4.4.	Presiunea maximă a vântului [Pa]		700		
4.5.	Accelația la cutremur orizontală/verticală [m/s ²]		3 / 2		
4.6.	Expunerea la radiația solară		directă		
4.7.	Presiunea aerului [mmHg]		760±30		
4.8.	Atmosfera industrială zona de poluare		3		
4.9.	Grosimea maximă a stratului de gheață (y = 0,75 daN/dm ³) [mm]		24		
5. Caracteristici tehnice principale ale sistemului de monitorizare OHLM					
5.1.	Alimentare independentă proprie	Alimentare senzori, module și subsisteme montate pe stâlp	Sursa fotovoltaică independentă cu acumulator de stocare		
		Alimentarea modulului montat pe conductorul LEA	Sursa independentă nr. 1, autoalimentată, pentru alimentare când curentul prin conductorul LEA este ≥ 65 A Sursa independentă nr. 2, autoalimentată, pentru asigurarea funcționării sistemului de monitorizare maxim 72 ore, când curentul prin conductorul LEA este între 0 și 65 A		
5.2.	Autonomie de funcționare sursă	Sursa pentru alimentarea senzorilor, modulelor și subsistemelor montate pe stâlp	≥ 5 ani		
		Sursa nr. 1 pentru alimentarea modulului OHLM HV montat pe conductorul LEA	≥ 5 ani		
		Sursa nr. 2 pentru alimentarea modulului OHLM HV montat pe conductorul LEA	≥ 72 h		
5.3.	Racordarea la pământ a echipamentelor	DA, cu excepția modulului OHLM HV montat pe conductorul LEA, care este la potențialul conductorului			
5.4.	Gradul de protecție	IP66 și IP 67			
5.5.	Protecție contra oxidării	Minim 10 ani			
6. Caracteristici tehnice principale ale sistemului de monitorizare OHLM					
6.1.	Subsistemul OHLM pentru monitorizarea parametrilor de funcționare a LEA	Modulul OHLM HV	Senzor pentru curent	Curentul electric prin conductor	0 ÷ 1500 A
				Curentul electric prin LEA/fază LEA	n* x (0 ÷ 1500 A) (* n= numărul de conductoare/fază
				Precizia de măsură	± 0,5 %

Nr. crt.	Subsistemul	Modulul	Parametri măsurați/garantați	
		Doi senzori pentru temperatura conductorului LEA	Temperatura conductorului LEA în doua puncte de măsură	Varianta 1: - 40 ÷ +150°C; Varianta 2: - 40 ÷ +250°C;
			Precizia	± 0,5°
		Traductor 1 a pentru măsurarea înclinării conductorului	Domeniul de măsură	± 10° (corespunzator unei săgeți maxime de: - 30,85 m pentru deschidere 350 m; - 26,44 m pentru deschidere 310 m; - 17,63 m pentru deschidere 200 m)
			Axele de măsură	X,Y
			Precizia de măsură a unghiului de înclinare	± 0,003°
			Precizia de determinare a săgeții	>>± 5 cm (±5,236x10 ⁻⁵ x săgeata) (pentru o săgeată s= 20 m: precizia de măsură este ±0,01 cm)
		Traductor 2 a pentru măsurarea înclinării conductorului	Domeniu de măsură	± 90°
			Axele de măsură	X,Y
			Precizia de măsură a unghiului de înclinare	± 0,03°
			Precizia de determinare a săgeții	± 5 cm (±5,236x10 ⁻⁴ x săgeata) (pentru o sageată s=20 m precizia ±0,1 cm)
Senzor pentru oscilații (măsoară accelerația oscilațiilor)	Domeniul de măsură:		± 2 g	
	Precizia de măsură:		± 2 % FS*	
	Domeniul de viteză a vântului:		> 0,1 ÷ 20 m/s	
	Amplitudine maximă:		≤ săgeata conductorului	
	Domeniul de frecvențe	0,1 ÷ 1,2 Hz		
Numărul de cicluri pe o deschidere	1 - 6			

Nr. crt.	Subsistemul	Modulul		Parametri măsurati/garantați	
			Surse de auto-alimentare cu energie electrică	Sursa independentă de autoalimentare cu energie electrică a componentelor electrice/electronice/ IT aferente modulului OHLM HV, când curentul prin conductorul LEA este ≥ 65 A	
				Sursa independentă de autoalimentare cu energie electrică a modulului OHLM HV, când curentul prin conductorul LEA este între 0 și 65 A	
			Semnalizare funcționare	Leduri pentru vizualizarea de la sol a funcționării modulului OHLM HV	
		Modulul OHLM-T	Senzori pentru măsurarea forței de tracțiune în conductoarele / lanțurile de izolatoare	Domeniu de măsură:	$1 \div 300$ kN* (*) Capacitatea necesară a traductorului se stabilește în funcție de LEA
				Precizia de măsură	± 1 % FS** (**) FS - Full Scale
				Suprasarcina maximă admisă	150 %FS;
				Sarcina de rupere	>300 % FS;
		Modulul OHLM V (montat pe stâlp)	Camera foto + iluminator IR + opțional markerul, în varianta de videoșagometru	Modulul asigură vizualizarea de la distanță, prin fotografii, starea conductorului LEA în lungul liniei și <i>opțional</i> poate fi folosit la măsurarea sagetii prin metoda „videoșagometru”	OHLM V (montat pe stâlp)
		Modulul OHLM H (montat pe stâlp)	Traductor de înclinare a stâlpului	Domeniu de măsură a înclinării	$\pm 90^\circ$ pe axele OX, OY
				Rezoluția de măsură	0.1°e
6.2	Subsistemul OHLM M pentru monitorizarea parametrilor de mediu	Modulul Stația meteo (montată pe stâlp)	Senzorul de măsură a temperaturii aerului ambiant	Domeniul de măsura	-50 \div +60°C
				Rezoluția	0,5°C
				Precizia	$\pm 0,5^\circ\text{C}$

6.3 - Caracteristicile funcționale ale sistemului OHLM 91

Nr. crt.	Subsistemul	Modulul	Parametri măsurați/garantați				
		Senzorul de umiditate	Domeniul de măsură	0 ÷ 100 %RH* (*) RH - Relative Humidity			
			Rezoluția	0,1 %RH*			
			Precizia	±3 % RH în domeniul 0 ÷ 90 % RH*; ±5 %RH în domeniul 90 ÷ 100 %RH*			
			Senzorul de vânt	Viteza vântului	Domeniul de măsură	0,1 ÷ 60 m/s	
		Rezoluția			0,1 m/s		
		Precizia		± 3% în domeniul 0 ÷ 35 m/s ±5 % în domeniul 35 ÷ 60 m/s			
					Direcția vântului	Domeniul de măsură	0 ÷ 360°
						Rezoluția	1°
						Precizia	±3°
					Presiunea atmosferică/ barometrică	Domeniul de măsură	60÷110 kPa
Rezoluția	0,1 kPa						
Precizia	±0.5 kPa în domeniul 0 ÷ +30°C; ±1 kPa în domeniul 50÷+60°C						
Senzor de precipitații lichide	Durata căderii - rezoluția			≥ 10 s			
				Intensitatea ploii: domeniul de măsură:	0 ÷ 200 mm/h		
				Rezoluția	0,1 mm/h		
				Precizia	± 0,5 %		
Senzor de grindină	Cantitatea	0,1 căderi - lovituri/cm ²					
		Durata căderii	≥10 s				
		Intensitatea	0,1 căderi- lovituri / cm ² /h				
Modulul piranometru	Senzor de radiație solara	Domeniul de măsură	400 ÷ 1100 nm				
		Rezoluția	0 ÷ 1.400 W/m ²				
Modulul detector chiciură/gheață		Domeniul de măsură	> 0.05 mm gheață				

Nr. crt.	Subsistemul	Modulul	Parametri măsurați/garantați	
6.3.	Subsistemul OHLM E	Modulul sursa independenta, fotovoltaica pentru alimentarea locală cu energie electrică a modulelor sistemului OHLM montate pe stâlp	Puterea minimă generată	200 VA
			Autonomie de alimentare	72 h
			Regulator de sarcină	DA
			Acumulator de energie:	DA
			Monitor al gradului de încărcare a acumulatorului	DA
			Grad minim de protecție	IP 67
			Racordare la pământ a echipamentului	DA
			Protecție contra coroziunii	Minim 10 ani
6.4.	Subsistemul OHLM IED	Modul GPS pentru	Eticheta de timp (Zi/Lună/An Ora: Minute: Secunde)	
			Coordonate geografice (latitudine, longitudine, altitudine)	
		Module de comunicație fir/radio/ethernet	Comunicația cu OHLMvRPHV	
			Comunicația cu CTSI	
		Modul de achiziție date (de la modulele OHLM, GPS, etc.)	Date de la : OHLM HV; OHLM T; OHLM H, OHLM M; OHLM E	
			Ceas intern sincronizat de la semnal extern (GPS)	
			Număr de intrări, corespunzător necesarului sistemului de monitorizare	
			Frecvența de achiziție a datelor în regim normal de funcționare: la intervale determinate de timp presetate	
			Frecvența de achiziție a datelor în caz de incident sau fenomene nedorite: on-line	
			Capacitate de stocare locală a datelor achiziționate: pe o perioadă de minim 30 zile	
		Modul pentru comunicație/transmisie date	Wireless de la modulul OHLM-HV (montat pe conductorul LEA) la IED-ul montat pe stâlp	
			Prin fir : de la toate celelalte module și subsisteme ale OHLM montate pe stâlp - la IED-u;/RTU-ul OHLM	

Nr. crt.	Subsistemul	Modulul	Parametri măsurați/garantați
			Prin fibră optică / radio/sau GSM de la IED la Centrul de comandă/monitorizare; Interfețe : RS 232, RS 485, ethernet, etc. Protocoale: MODBUS RTU/ ASCII, DNP3, IEC 61850
7.	Semnalizări		
7.1.	Software de aplicație OHLM va asigura următoarele semnalizări minime:		Semnalizare (alarmare) gabarite minime
7.2.			Semnalizare (alarmare) privind inclinarea stâlpului
7.3.			Semnalizare (alarmare) privind tracțiunea conductorului
7.4.			Semnalizare (alarmare) privind convergența de funcționare / încărcare LEA în situația în care încărcarea liniei se apropie de capacitatea ei reală de transport.
7.5.			Alarmă defecțiune internă subsistem
7.6.			Semnalizare (alarmare) la întrunirea condițiilor pentru depunerea chiciurei p conductoarele LEA
7.7.			Semnalizare (alarmare) la depunerea efectivă a chiciurei/ghetii pe conductor
7.8.			Alarmă defecțiune internă subsistem
8.	Software sistemului de monitorizare OHLM		
8.1.1	Software de aplicație OHLM asigură		Setarea valorilor minime, maxime, precum și diferite praguri, sau valori de stare, pentru toate mărimile monitorizate
8.1.2			Achiziția mărimilor de intrare și prelucrare a datelor;
8.1.3			Evidențierea efectului chiciurei asupra conductorului LEA, prin măsurarea săgeții și/sau a tracțiunii în conductor
8.1.4			Stocarea într-o bază de date a istoricului tuturor parametrilor monitorizați (măsurați/calculați), atât on-line cât și off-line, precum și a alarmelor / declanșărilor;
8.1.5			Afișarea on-line la distanță a parametrilor monitorizați, printr-o interfață web securizată, utilizând un browser de internet
8.2.1	Software client OHLM asigură		Accesarea de către fiecare utilizator a datelor pe baza unui nume de utilizator și a unei parole cu ajutorul PC/laptop/tableta/telefon mobil;
8.2.2			Posibilitatea prezentării valorilor parametrilor monitorizați, atât ca valori instantanee cât și evoluția lor în timp (sub formă grafică). Utilizatorul va avea o opțiune care să permită alegerea perioadei de reprezentare.

Nr. crt.	Subsistemul	Modulul	Parametri măsurați/garantați
8.2.3			Posibilitatea alegerii de către utilizator a mărimilor ce vor fi reprezentate simultan;
8.2.4			Posibilitatea setării parametrilor sistemului de monitorizare (inclusiv a pragurilor de alarmare/ declanșare și a mărimilor ce pot genera alarme/ declanșări);
8.2.5			Presetarea implicită a pragurilor de semnalizare;
8.2.6			Autotestarea subsistemului de monitorizare, inclusiv semnalizare stare de funcționare / stare de nefuncționare;
8.2.7			Posibilitatea introducerii de valori măsurate off-line;
8.2.8			Generarea de alarme în cazul depășirii valorilor limită;
8.2.9			Posibilitatea exportării datelor stocate în baza de date în formate acceptate stilizate de majoritatea aplicațiilor de editare și procesare documente, minim CSV și XML;
8.2.10			Compatibilitatea /interoperabilitate Smart Grid cu sistemele de operare ale beneficiarului.
8.2.11			Generarea de rapoarte cu privire la evaluarea parametrilor monitorizați. Structura rapoartelor trebuie să poată fi configurată de utilizator iar raportul trebuie să poată fi exportat în format editabil (documente formate Microsoft Office).
8.2.12			Afișarea sub formă grafică și tabelară a variației parametrilor monitorizați pentru un interval de timp setat de utilizator;
8.2.13.			Afișarea on-line a parametrilor monitorizați în ecrane personalizate: ecran pentru personalul operațional, ecran pentru experți TEL; ecran pentru administrator sistem, etc.).
8.2.14			Posibilitatea personalizării de către administrator subsistem a ecranelor, rapoartelor automate sau excepționale, alarme și clasificarea evenimentelor etc.;
8.2.15			Posibilitatea subsistemului de a reveni la setările implicite
8.2.16			Disponibilitatea sistemului IT: minim 98% din timpul de funcționare anual
8.2.17			Generarea de alarme în cazul depășirii de către parametrii monitorizați a valorilor limită

Nr. crt.	Subsistemul	Modulul	Parametri măsurati/garantați
8.2.18			Generarea de rapoarte, configurabile de utilizator, cu privire la evoluția parametrilor monitorizați, precum și cu privire la rezultatele diagnosticărilor
8.2.19			Posibilitatea exportării rapoartelor în format editabil (Microsoft Word, Excel)
8.2.20			Interfețe import / export : bază de date, sau selecții ale acesteia, rapoarte periodice sau excepționale (structura și formatul datelor /rapoartelor se va stabili la etapa de inginerie)
8.2.21			Comunicația securizată on-line cu unitatea centrală de procesare a datelor și clienții subsistemului (calculatorul din camera de comandă / calculatorul de la Centrul de supraveghere și mentenanță instalații/ / administratorul subsistem)
8.2.22			Modulul valori măsurate off-line, inclusiv posibilitatea introducerii datelor de la distanță din interfața web securizată (date rezultate în urma măsurătorilor / expertizelor)
8.2.23			Implementare cerințe IEC 61850
8.2.24			Implementare soluție alarmare personal operațional / managerial la apariția unor neconformități / abateri de la starea normală de funcționare (alarmare pe SMS și e-mail)
8.2.25			Implementare interfață securizată pentru fiecare tip de client subsistem (personal operațional, experți, mentenanță, administrator)
8.2.26			Implementare concept Dynamic Line Rating (DLR). Modul de implementare descris în prezenta Ofertă Tehnică

6.4. Caracteristicile constructive ale sistemului OHLM

6.4.1. Subsistemul OHLM pentru monitorizarea parametrilor de funcționare a LEA

Modulul OHLM - HV (figurile 6.4.1. a, b) este rezultat al cercetărilor efectuate de autor împreună cu colectivul de cercetare de la Nova Industrial SA.

Modulul este dispus direct pe unul din conductoarele active, de pe o fază a LEA, asigurând monitorizarea on-line a următorilor parametri de funcționare a LEA:

- temperatura conductorului LEA, prin măsurare directă;
- curentul electric prin conductorul LEA/curentul pe faza LEA, prin măsurare directă;
- săgeata/gabaritul conductorului LEA, prin măsurare directă a unghiului de înclinare a conductorului;
- oscilațiile/galoparea conductorului, prin măsurare directă.

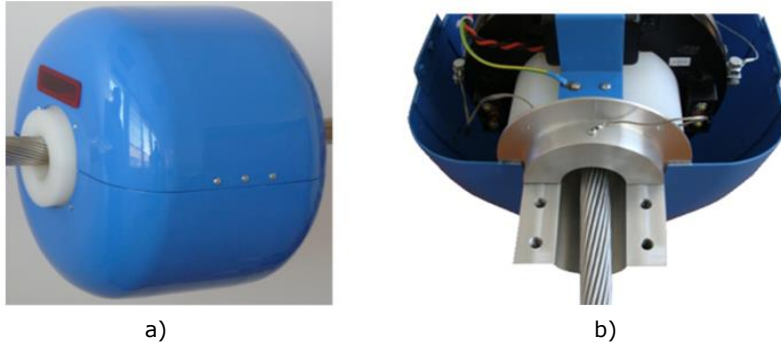


Fig. 6.4.1. Modulul Nova OHLM - HV la sol

Transformatorul de curent și unitatea proprie de alimentare cu energie asigură autoalimentarea cu energie electrică necesară pentru funcționarea modului OHLM - HV fără orice altă sursă din afară. Sursa proprie de alimentare asigură funcționarea sistemului de monitorizare și în cazul în care LEA nu funcționează o anumită perioadă de timp.

Modulul are trei LED-uri folosite pentru controlul vizual, de la sol, a stării lui de funcționare.

Modulul OHLM - HV a fost testat cu succes în laboratoarele de înaltă tensiune (figura 6.4.2) și respectiv în laboratorul de curenți tari (figura 6.4.3).

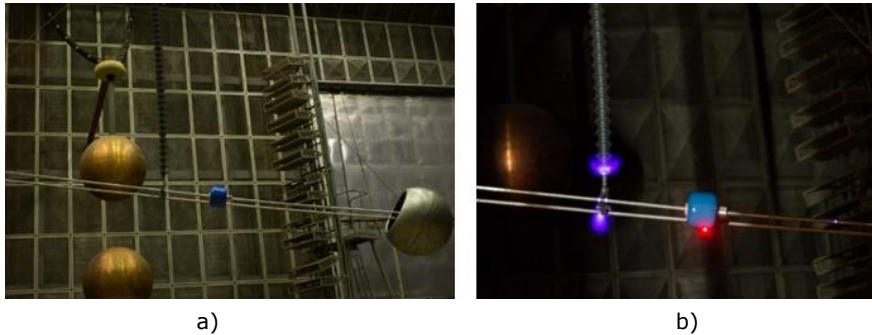


Fig. 6.4.2. Imagini din timpul încercării modului OHLM - HV în laboratorul de înaltă tensiune

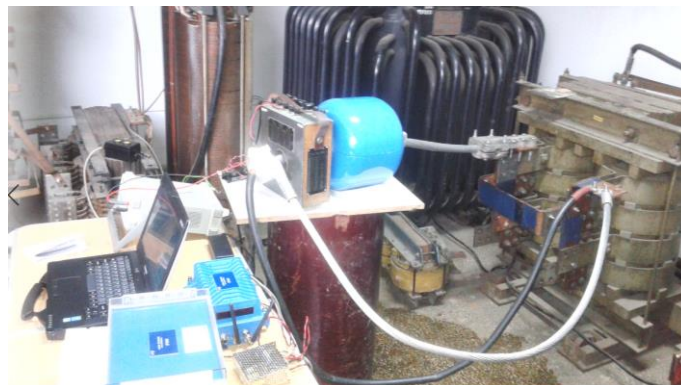


Fig. 6.4.3. Imagini din timpul încercărilor în laboratorul de curenți tari a modului OHLM-HV

La testele efectuate în laboratorul de încercări înaltă tensiune, modulul OHLM-HV s-a comportat excelent. La tensiunea de încercare de 500 kV, curent alternativ 50 Hz, timp de 10 minute, nu s-au produs descărcări corona. Aceasta corespunde la o capacitate de utilizare a sistemului NOVA OHLM în rețele electrice de transport a energiei electrice, unei tensiuni nominale a liniei de 750 kV.

La testele efectuate în laboratorul de încercări curenți tari de la ICPE București, modulul OHLM a fost declarat corespunzător în ceea ce privește domeniul și precizia de măsură a curentului prin conductorul LEA și respectiv a temperaturii conductorului.

Modulul OHLM-T cuprinde traductoarele de forță, montate pe legătura la pământ a lanțurilor de izolatoare, pentru măsurarea directă și monitorizarea on-line a forței de tracțiune în lanțul/rile de izolatoare și în conductorul/oarele LEA (Figura 6.4.4).

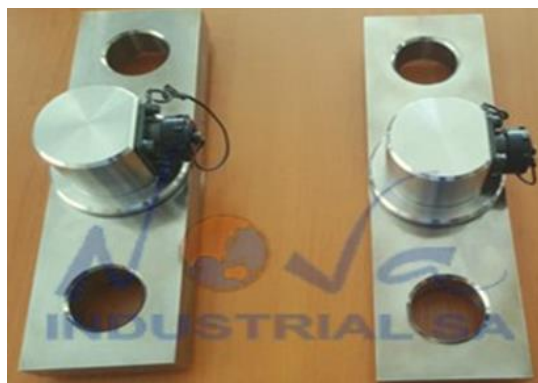


Fig. 6.4.4. Modul OHLM-T, traductoare folosite la Proiectul Pilot pe LEA 400 kV București Sud - Pelicanu

Modulul OHLM-T trebuie să aibă în componere traductoare de forță cu capacitatea nominală de măsură peste forța de rupere a izolatoarelor de întindere și a conductorului liniei.

Numărul și caracteristicile traductoarelor de forță depind de tipul lanțului de izolatoare și de soluția tehnică cea mai bună avizată odată cu proiectul tehnic de instalare, dat fiind faptul că sunt mai multe variante posibile de montare și măsurare a forței de tracțiune, ca de exemplu: un traductor pe fiecare lanț de izolatoare, un singur traductor pe fascicolul de două sau trei lanțuri de izolatoare de pe o fază a LEA etc.

Măsurarea forței de tracțiune pe fiecare lanț de izolatoare este mai corectă din punct de vedere tehnic, mai sigură și mai utilă pentru Utilizator decât determinarea forței prin calcul.

Modulul OHLM-V cuprinde o cameră foto digitală și un iluminator în infrarosu, pentru vizualizare și obținerea unor magini foto în lungul liniei electrice aeriene (Figura 6.6).

Carcasa camerei foto este de tipul cu parasolar (pentru imagini clare în condiții de soare puternic) și respectiv cu încălzire proprie (pentru o funcționare corespunzătoare a camerei la temperaturi atmosferice negative de până la -35°C).

La proiectul pilot menționat, a fost testată și metoda „Videosagometru” [EPRI2001], varianta Nova Industrial, de determinare a săgeții conductorului LEA (metodă brevetată de Electric Power Research Institute, Inc. – EPRI, din SUA).

Pentru aplicarea acestei metode s-a folosit ansamblul camera foto+ iluminator + marker (Figurile 6.4.5.a,b)

Modulul OHLM-H (Figura 6.4.6) este realizat de Nova Industrial și asigură măsurarea înclinării stâlpului, în domeniul de măsură $\pm 90^{\circ}$.



Fig. 6.4.5. Modulu OHLM-V Camera foto, iluminatorul și markerul videosagometrului



Fig. 6.4.6. Modulu OHLM-H

Numărul modulelor folosite la un stâlp, depinde de tipul constructiv al stâlpului LEA, la care se dorește monitorizarea on-line a înclinării.

Modulu se poate folosi și pentru monitorizarea on-line a stării ancorelor unui stâlp de înaltă tensiune (slăbirea sau tăierea lor).

Modulu OHLM-IED/RTU (Figura 6.4.7) este realizat de Nova Industrial SA și are rol de achiziție, prelucrare, stocare locală și transmisie a datelor prin fibră optică. Asigură comunicația bidirecțională cu serverul de la centrul de monitorizare, comandă operativă și/sau management mentenanță.



Fig. 6.4.7. Modulu OHLM-IED/RTU montat pe stâlpul LEA 400 kV București Sud - Pelicanu

6.4.2. Subsistemul OHLM M pentru monitorizarea condițiilor de mediu

Subsistemul OHLM-M este compus din:

- a) **Modulul stație meteo**, figura 6.4.8, pentru monitorizarea on-line a următorilor parametri meteorologici și predicția variației lor pe o perioadă de timp limitată.
- temperatura și umiditatea mediului ambiant;
 - viteza și direcția vântului;
 - presiunea barometrică;
 - precipitațiile lichide;



Fig. 6.4.8. Subsistemul OHLM M - stația meteo

- b) **Modulul piranometru**

Pentru măsurarea radiației solare sistemul Nova OHLM folosește piranometrul produs de Masa (Japonia), figura 6.4.9.



Fig. 6.4.9. Piranometrul Masa

c) **Modulul pentru măsurarea chiciurei/gheții** depuse pe conductor

Pentru măsurarea chiciurei/gheții depuse pe conductorul LEA sistemul Nova OHLM este pregătit să integreze traductorul Ice Detector (UK), figura 6.4.10.

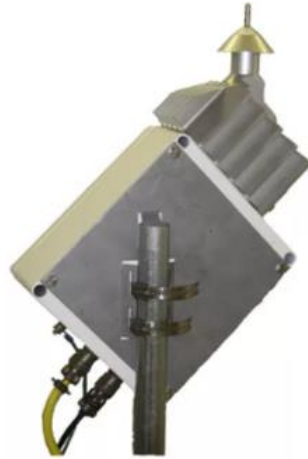


Fig. 6.4.10. Modulul Ice Detector pentru măsurarea chiciurei/gheții

6.4.3. Subsistemul OHLM E (sursă independentă de alimentare cu energie electrică)

Subsistemul OHLM E este sursă independentă, fotovoltaică, de energie electrică, pentru alimentarea întregului sistem OHLM de monitorizare amplasat pe stâlp/stâlpii LEA (în varianta de montaj grupat sau distribuit în lungul liniei).

Subsistemul NOVA OHLM E este compus din:

- panouri fotovoltaice (Figura 6.4.11.a);
- dulap/cofret (Figura 6.4.11.b) în care sunt incluse:
 - controlerul/regulatorul de curent de încărcare;
 - acumulatorul;
 - monitorul on-line pentru starea de funcționare a sursei independente.



a)



b)

Fig. 6.4.11. Modulul Nova OHLM - E este sursa independenta de alimentare cu energie electrica a întregului sistem de monitorizare

6.5. Prezentarea aplicației software a sistemului OHLM

6.5.1. Considerații preliminare

Aplicația software NOVA OHLM a fost dezvoltată pentru achiziția informațiilor privind parametri monitorizați ai LEA cu ajutorul echipamentului hardware de monitorizare on-line Nova OHLM.

Aplicația software este de tip client - server și este dezvoltată în mediul de programare Visual Studio.NET.

- **NOVA OHLM Server** este o aplicație ce rulează sub sistemul de operare Microsoft Windows și se conectează la un server de baze de date MySQL sau Oracle;
- **NOVA OHLM Client** este o aplicație web, independentă de sistemul de operare folosit, dezvoltată utilizând serverul de aplicații web Microsoft IIS.

6.5.2. Aplicația soft NOVA OHLM Server

Fiecare RTU integrează datele primite de la modulul fixat pe LEA și de la alți senzori (ex: de la stația meteo). Informațiile achiziționate de la aceste submodule sunt incluse în pachetul de date transmis spre server. Aplicația NOVA OHLM Server se conectează la modulul hardware NOVA OHLM CD (concentratorul de date) care achiziționează date de la unul sau mai multe IED-uri/RTU-uri (remote terminal unit).

Serverul de la centrul de management preia informații privind parametri LEA monitorizați de la unul sau mai multe concentratoare NOVA OHLM CD-uri, în timp ce fiecare concentrator NOVA OHLM CD poate achiziționa date de la unul sau mai multe RTU-uri (Figura 6.5.1).

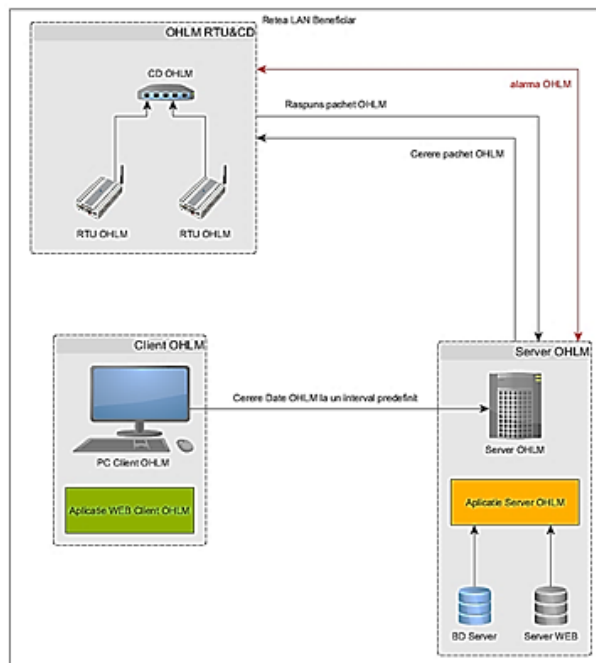


Fig. 6.5.1. Arhitectura software NOVA OHLM

Comunicația dintre serverul OHLM și RTU-urile aferente sistemelor OHLM de monitorizare a unei sau mai multor linii electrice aeriene ține seama de următoarele situații posibile:

- Toate sistemele OHLM de monitorizare a liniei electrice aeriene (LEA) sunt montate în zona unui singur stâlp al liniei electrice aeriene (pe fazele liniei și respectiv pe stâlp), iar RTU-urile OHLM se conectează direct la cutia de joncțiune (aflată pe acel stâlp) a rețelei de fibră optică LAN-ul Companiei de Transport a Energiei Electrice. Modulul OHLM - RTU/IED comunică și transmite direct datele în rețeaua de fibră optică menționată, prin intermediul unui media convertor ethernet-fibră optică.
- Sistemele OHLM de monitorizare a unei LEA sunt montate pe mai mulți stâlpi distribuiți în zone diferite parcurse de linia electrică aeriană, fiecare OHLM-RTU se conectează direct la fiecare cutie de joncțiune a rețelei de fibră optică a Companiei, montată și ea pe stâlpii cu OHLM.
- Sistemele OHLM de monitorizare a unei LEA sunt montate pe mai mulți stâlpi distribuiți în zone diferite parcurse de linia electrică aeriană și în mod excepțional, pe cel puțin unul din stâlpii cu OHLM nu există cutie de joncțiune la rețeaua de fibră optică. În astfel de cazuri modulul OHLM - IED, montat pe stâlpul fără joncțiune la fibră optică, comunică și transmite prin radio (la frecvența 869 MHz) datele la un concentrator de date montat pe cel mai apropiat stâlp al LEA la care este cutie de joncțiune la fibră optică, iar din concentrator semnalul este transmis în rețeaua de fibră optică a Transelectrica prin intermediul unui media convertor ethernet-fibră optică (Figura 6.5.2).

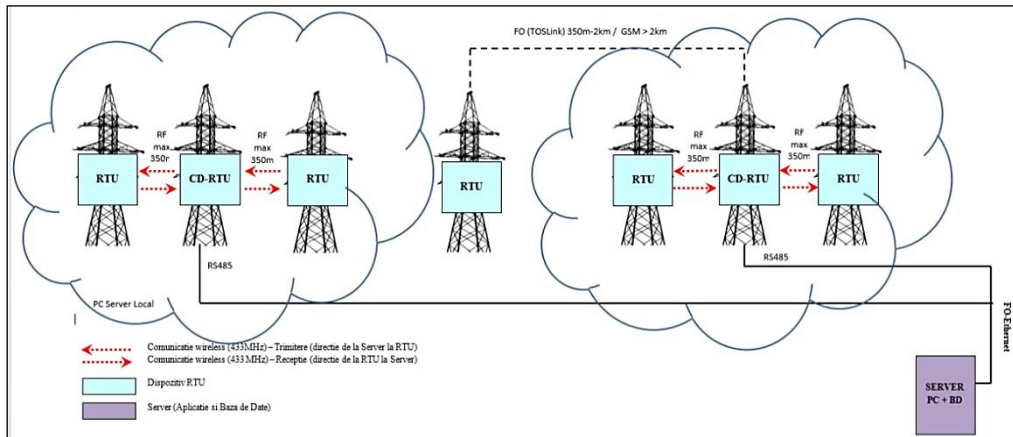


Fig. 6.5.2. Comunicația “înlănțuită” între modulele hardware NOVA OHLM IED (una din variantele posibile de comunicație)

Aplicația NOVA Server OHLM achiziționează datele și alarmele de la echipamentul OHLM-RTU, le prelucrează și le stochează în baza de date.

Administratorul sistemului poate face teste de funcționare manuale cu ajutorul acestei aplicații și poate urmări în timp real transmisia datelor.

Fereastra principală a aplicației **NOVA OHLM Server** conține în partea de sus, timpul de la ultima conectare la un echipament hardware **NOVA OHLM RTU** și informații privind conectarea la acesta:

- Stare monitor actual;
- Stare eroare actual.

Aplicația **NOVA OHLM Server** se conectează la intervale fixe de timp la câte un echipament **NOVA OHLM RTU**, utilizând un set de adrese prestabilite pentru toate RTU-urile. După ce a terminat de interogare toate RTU-urile (toate echipamentele hardware de monitorizare **NOVA OHLM**), în cazul în care vreunul din echipamente nu a emis o alarmă, se reia secvența de interogare a aparatelor, de la început.

Fereastra principală conține panoul de comenzi, panoul destinat comunicației GSM (dacă este cazul), panoul destinat VideoSagometrului și panourile de afișare, unde pot fi urmărite datele recepționate în timp real (Figura 6.5.3).

După secțiunea principală privind starea echipamentului hardware de monitorizare, urmează secțiunea privind informațiile achiziționate:

- Secțiunea "Status achiziție" afișează al câtelea echipament este interogare momentan și numărul total al echipamentelor;
- Secțiunea "Denumire stâlp actual" afișează denumirea/numărul stâlpului LEA la care este instalat sistemul de monitorizare;
- Secțiunea "Warning" avertizează utilizatorul dacă a fost emisă o alarmă pentru stâlpul LEA de la care a fost achiziționat ultimul pachet de date;
- Secțiunea "Număr erori comunicație" afișează numărul erorilor de comunicație cu echipamentele de monitorizare **NOVA OHLM RTU**;
- Informațiile privind parametrii monitorizați sunt afișați sub formă tabelară, în partea de jos a ferestrei principale.

The screenshot shows the main interface of the NOVA OHLM Server. At the top, it displays the logo for NOVA INDUSTRIAL SA and the title 'OHLM Echipament pentru monitorizarea on-line a liniilor electrice aeriene'. Below the title, there is a 'Start VideoSAG' button and a hexagonal data packet. The interface is divided into several sections:

- OHLM Section:** Contains controls for the sampling rate (set to 10s), a 'Test lesin' button with a value of 1, a 'Reset' button, and 'Start timer (AUTO)' and 'Stop timer (AUTO)' buttons. There is also a 'Salvare BD' checkbox.
- GSM Section:** Includes a 'Conectare COM' dropdown menu set to '1' and a 'Neconectat' status. Below it is a text field for the RTU number, '+40721843224', and a 'Trimite cerere GSM' button.
- Log Section:** A list of received packets with their timestamps and IP addresses, all showing 'RTU: 0x00FF'.
- Data Table:** A detailed table of sensor data including:

df 90 12 11 ac 44 3c d8 ad 1f 58 de 95
d8 c4 1c d4 b7 8d 94 6c 5f 97 67 7c 51
38 da 7f 23 96 59 ec 22 3c 39 52 14 7f
ca ea af 1d b0 07 71 a0 53 8e ca ab 07
9e 0f 6e e0 86 16 45 8e dc ad f9 f4 64
32 55 79 de 54 2b 8d d0 46 b5 4f 1f 89
- Bottom Section:** A table of various sensor readings such as 'Longit: 26.13773 E', 'Alt: 73 m', 'TL_LEA: 25.4 °C', 'T2_LEA: 25.4 °C', 'i_RMS: 215.723 A', 'Incl_OX: 10.089 °', 'Incl_OY: -10.015 °', 'Acc_OX: 0.033 g', 'Acc_OY: -0.019 g', 'Acc_OZ: 1.016 g', 'Fortal: 54.045 kN', 'Forta2: 54.133 kN', 'T_aer: 20.6 °C', 'Umid: 72 %RH', 'Pres_atm: 1006.5 hPa', 'v_vant: 0.9 m/s', 'Dir_vant: 76 °', 'T_ploaie: 0 s', 'i_ploaie: 0.0 mm/h', 'Grindina: 0 lovituri/cm2', 'Rad_solara: 654.00 W/m2', 'Chicitura: 0 mm', 'pp_totale: 0.0 mm/m2', 'A_osc_US: 0.000 cm', 'F_osc_US: 0.000 Hz', 'A_osc_UL: 0.004 cm', 'F_osc_UL: 0.070 Hz', 'F_max_X: 0.01', 'F_max_Y: 0.01', 'F_max_Z: 0.07', 'Stare_baterie: 81 %', 'Frecv_com: 869 MHz', 'Autotest: 0x00', 'CRC: 818A', and a status table for 'Integritate', 'Detectie ancore', 'Detectie lovituri', 'Detectie taiere intruziune', 'Detectie Inclinare', 'Detectie Stalp', 'Detectie incendiu', and 'Reserva'.

Fig. 6.5.3. Fereastra principală a aplicației OHLM server

Din „Meniu” sunt accesibile fereastra de configurare a conexiunii la baza de date și fereastra cu parametrii calculați

Panoul de comenzi OHLM: Panoul de comenzi destinat modulului OHLM-RTU este prezentat în figura 6.5.4.

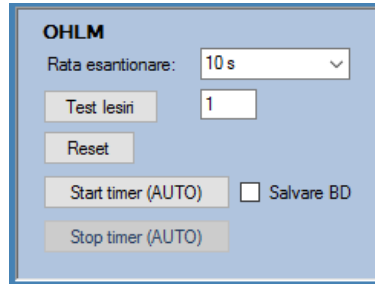


Fig. 6.5.4. Panoul de comenzi destinat modulului OHLM-RTU

Rata de eșantionare: Perioada la care sistemul OHLM transmite un set complet de date. Se poate selecta de Utilizator de la minim 10 secunde la maxim 10 minute.

Test Ieșiri: Se pot testa manual cele 4 ieșiri (relee) ale sistemului OHLM.

Reset: Comandă manuală de resetare a modulului RTU.

Start timer (AUTO): Comandă funcționarea automată a sistemului OHLM.

Stop timer (AUTO): Comandă oprirea modului automat de funcționare a sistemului.

Salvare BD: Permite ca datele achiziționate să fie sau nu salvate în baza de date.

Panoul de comenzi GSM: Panoul de comenzi destinat modulului GSM este prezentat în figura 6.5.5.

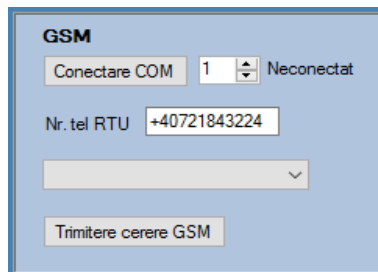


Fig. 6.5.5. Panoul de comenzi destinat modulului GSM

Comenzile din acest panou se efectuează pentru testarea manuală a funcțiilor de GSM (în cazul în care sistemul OHLM conține modulul GSM).

Conectare COM: Comandă conectarea la modulul de achiziție GSM prin comunicație serială RS232.

Nr. Tel RTU: Numărul cartelei de telefon aferent modulului RTU care este testat.

Trimitere cerere GSM: Comandă aleasă din lista următoare:

- **Test comunicație locală:** se testează comunicația între calculator și modulul de achiziție GSM.
- **Comandă autentificare:** modulul de achiziție GSM se autentifică în rețea ca Master, față de modulele GSM de transmisie date din interiorul modulelor RTU, care sunt Slave.

- **Test comunicație remote:** se testează comunicația la distanță cu modulul GSM al cărui număr este specificat în câmpul **Nr. Tel RTU**.
- **Comandă cerere pachet:** se solicită manual un pachet de date de la modulul GSM al cărui număr este specificat în câmpul **Nr. Tel RTU**.

Panoul cu cele mai recente date recepționate. În acest panou (Figura 6.5.6) este afișat un pachet de date recepționat de la RTU-ul cu adresa afișată. Intrările digitale sunt afișate sub formă: „1”- inactiv, „0”- activ.

```

Ultimul pachet
recepționat:
Adresa:      0x00FF
Timp:        23/05/2017
15:58:45
Latit:       44.40724 N
Longit:      26.13773 E
Alt:         73 m
T1_LEA:     25.4 °C
T2_LEA:     25.4 °C
i_RMS:      215.723 A
Incl_OX:    10.089 °
Incl_OY:    -10.015 °
Acc_OX:     0.033 g
Acc_OY:     -0.019 g
Acc_OZ:     1.016 g
Forta1:     54.045 kN
Forta2:     54.133 kN
T_aer:      20.6 °C
Umid:       72 %RH
Pres_atm:   1006.5 hPa
v_vant:     0.9 m/s
Dir_vant:   76 °
t_ploaie:   0 s
i_ploaie:   0.0 mm/h
Grindina:   0
Iovituri/cm2
Rad_solara: 654.00 W/m2
Chiciura:   0 mm
pp_totale:  0.0 mm/m2
A_osc_US:   0.000 cm

```

Fig. 6.5.6. Panoul cu pachetul curent de date

Panoul cu istoricul pachetelor de date și alarme. În acest panou este afișat istoricul pachetelor de date și alarme, de formă „Pachet recepționat de la” adresa echipamentului „la ora:”ora la care s-a recepționat. Sau „Alarmă de la” adresa echipamentului „la ora:”ora la care s-a recepționat (Figura 6.5.7).

```

de la IP: 192.168.0.226 RTU: 0x00FF
Pachet recepționat la: 12/06/2017 16:25:18
de la IP: 192.168.0.226 RTU: 0x00FF
Pachet recepționat la: 12/06/2017 16:25:28
de la IP: 192.168.0.226 RTU: 0x00FF
Pachet recepționat la: 12/06/2017 16:25:38
de la IP: 192.168.0.226 RTU: 0x00FF
Pachet recepționat la: 12/06/2017 16:25:48
de la IP: 192.168.0.226 RTU: 0x00FF
Pachet recepționat la: 12/06/2017 16:25:58
de la IP: 192.168.0.226 RTU: 0x00FF
Pachet recepționat la: 12/06/2017 16:26:08
de la IP: 192.168.0.226 RTU: 0x00FF
Pachet recepționat la: 12/06/2017 16:26:18
de la IP: 192.168.0.226 RTU: 0x00FF

```

Fig. 6.5.7. Panoul cu istoricul pachetelor

Fereastră Setări BD. Accesând Meniul „Setări BD” se deschide fereastra ce conține setările pentru baza de date în care se stochează datele (Figura 6.5.8). Apăsând butonul „Salvează”, aceste date sunt reținute și vor fi utilizate la fiecare conectare.

The screenshot shows a window titled "Setari BD" with a blue background. It contains the following fields and values:

Provider:	oraOLEDB.ORACLE
Server:	serverbd
Data source:	orcl_serverbd
UserID:	ohlm
Password:	ohlm
Port:	

At the bottom of the window is a button labeled "Salveaza".

Fig. 6.5.8. Fereastra cu setările bazei de date

Fereastră cu parametri calculați. În această fereastră sunt afișate cele 4 module de autotestare:

- meteo și temperatura conductorului LEA;
- meteo și curentul prin conductorul LEA;
- meteo și tensiune/forță de tracțiune în conductorul LEA;
- meteo și săgeata conductorului LEA .

La fiecare pachet de date sunt stocate în baza de date și valorile calculate conform acestor module de autotestare (figura 6.5.9).

Aplicația **OHLM-Server** salvează atât în baza de date, cât și local, pentru mai multă siguranță. Pachetele curente de date sunt înregistrate în fișierul output.txt localizat în folderul /Debug aferent aplicației .exe. De asemenea este creat și un fișier de tip log de erori, în care sunt înregistrate pachetele ratate care apar pe parcursul funcționării.

Aplicația **NOVA OHLM Server** este instalată pe calculatorul server al sistemului de monitorizare linii electrice aeriene. Aceasta nu funcționează fără configurarea unei conexiuni active la un server de baze de date (MySQL) și unul de aplicații web (Microsoft IIS), aplicații care pot fi instalate în funcție de configurația hardware, pe același calculator.

În etapa de "set-up" inițial al aplicației server NOVA OHLM, sunt definite conexiunile existente între concentratoarele CD și RTU-uri astfel încât un CD să nu primească o comandă de achiziție de date pentru un RTU la care nu se poate conecta.

Aplicația **NOVA OHLM Server** se conectează la intervale fixe de timp la câte un echipament **NOVA OHLM RTU**, utilizând un set de adrese prestabilit pentru toate RTU-urile. După ce a terminat de interogare toate RTU-urile (toate echipamentele hardware de monitorizare **NOVA OHLM**), în cazul în care vreunul din echipamente nu a emis o alarmă, se reia secvența de interogare a aparatelor, de la început.

Fereastră principală a aplicației server este una simplă (Figura 6.5.10) și conține următoarele informații:

- Adresa server TCP (adresa IP a CD);
- Secțiunea de informații achiziționate de la CD ce conține:
 - data conectării la CD;
 - starea conectării la CD;
 - comandă transmisă către CD ce include și adresa hardware a RTU-ului de la care se dorește achiziționarea de informații;
 - informațiile brute achiziționate de la RTU prin intermediul CD;
- Detalii privind conexiunea la serverul de baze de date;
- Secțiunea de interogare individuală a unui RTU;
- Secțiunea de transmis alarme către un server web în Internet.

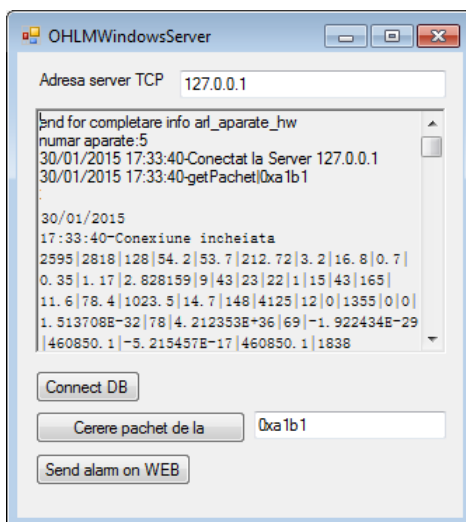


Fig. 6.5.10. Fereastra principală a aplicației **NOVA OHLM Server**

Baza de date are o structură modulară, flexibilă astfel încât să răspundă la diversele arhitecturi posibile ale sistemului.

Structura bazei de date include mai multe tabele cu informații privind echipamentele de monitorizare, mărimile monitorizate (parametri de funcționare, date meteo și securitate), istoricul mărimilor monitorizate și alarme.

Aplicația **NOVA OHLM Server** nu are funcționalitatea unei aplicații client, este configurată la punerea în funcțiune a sistemului și va achiziționa date de la RTU-uri, le va prelucra și le va salva într-o bază de date.

După secțiunea principală privind starea echipamentului hardware de monitorizare, urmează secțiunea privind informațiile achiziționate.

Secțiunea "Status achiziție" afișează al câtelea echipament este interogat momentan și numărul total al echipamentelor.

Secțiunea "Denumire stâlp actual" afișează denumirea stâlpilor LEA monitorizați.

Secțiunea "Warning" avertizează utilizatorul dacă a fost emisă o alarmă pentru stâlpul LEA de la care a fost achiziționat ultimul pachet de date.

Secțiunea "Număr erori comunicație" afișează numărul erorilor de comunicație cu echipamentele de monitorizare **NOVA OHLM RTU**.

6.5.3. Aplicația soft NOVA OHLM Client

Software OHLM Client este realizat în două variante:

- 1) **NOVA OHLM Web Client** aplicație care rulează într-o arhitectură client-server folosind tehnologiile deschise World Wide Web.

Aplicația **NOVA OHLM Web Client** se conectează la serverul de baze de date și afișează informațiile achiziționate de aplicația server de la RTU-uri. Pot fi accesate și date din istoric și se pot afișa grafice pentru parametri monitorizați.

Calculatorul pe care este instalată aplicația **NOVA OHLM Server** (Server PC) trebuie să fie în aceeași rețea LAN cu calculatoarele ce accesează aplicația client NOVA.

- 2) **NOVA OHLM Client for Android** aplicație dezvoltată independent de serverul și clientul web și este destinată smartphone-urilor Android.

NOVA OHLM Client for Android poate accesa cele mai recente evenimente (ultimele alarme) pentru fiecare RTU, via internet, fiind în acest mod un instrument util în etapele de configurare / mentenanță.

Aplicația **NOVA OHLM Client** accesează informațiile achiziționate, prelucrate și salvate într-o bază de date de către aplicația **NOVA OHLM Server**.

Fereastra principală a aplicației are două secțiuni:

- informațiile primite de la echipamentele hardware de monitorizare **NOVA OHLM RTU**;
- poziționarea pe hartă tip GPS a echipamentelor.

Există posibilitatea de afișare a informațiilor sub formă: Grafică/Tabelară (Figura 6.5.11).

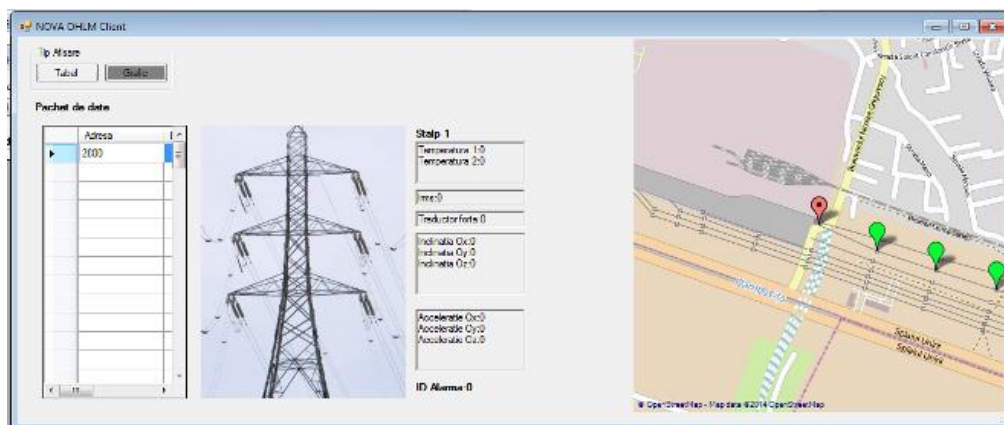


Fig. 6.5.11. Fereastra principală a aplicației NOVA OHLM Client - Varianta grafică

Varianta grafică include informații privind pachetele de date achiziționate de la echipamentele NOVA OHLM RTU.

În partea din stânga a ferestrei sunt afișate informații sumare sub formă tabelară privind pachetele de date:

- adresa hardware NOVA OHLM;
- denumire/nr. stâlp LEA cu sistem de monitorizare de la care s-a achiziționat pachetul de date;
- data achiziției pachetului;

- temperatura conductorului electric, senzor 1;
- temperatura conductorului electric, senzor 2;
- curentul pe linie, Irms; etc.

Fiecare înregistrare din tabel poate fi selectată, urmând ca informațiile achiziționate să fie prezentate detaliat în partea centrală a ferestrei, în dreptul imaginii LEA.

În partea centrală a ferestrei, este afișată o imagine sugestivă privind un stâlp LEA și informațiile conținute în pachetul de date corespunzător selecției anterioare (Figura 6.5.12).

Prin efectuarea unui click pe o linie ce conține informații achiziționate de la echipamentul hardware NOVA OHLM RTU, harta din partea dreaptă afișează stâlpul LEA unde a fost instalat echipamentul de monitorizare.

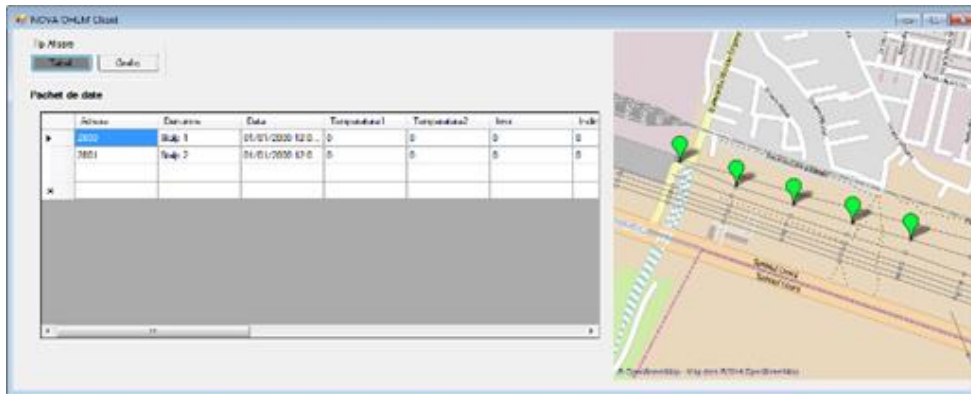


Fig. 6.5.12. Fereastra principală a aplicației NOVA OHLM Client - Varianta tabelară

Similar, dacă se face click pe un stâlp (colorat inițial în culoarea verde), acesta se va selecta (culoarea se va schimba din verde în roșu) și va fi evidențiată linia din tabelul din partea stângă aferentă informațiilor achiziționate de la echipamentul hardware NOVA OHLM RTU montat pe stâlpul LEA selectat (figura 6.5.13).

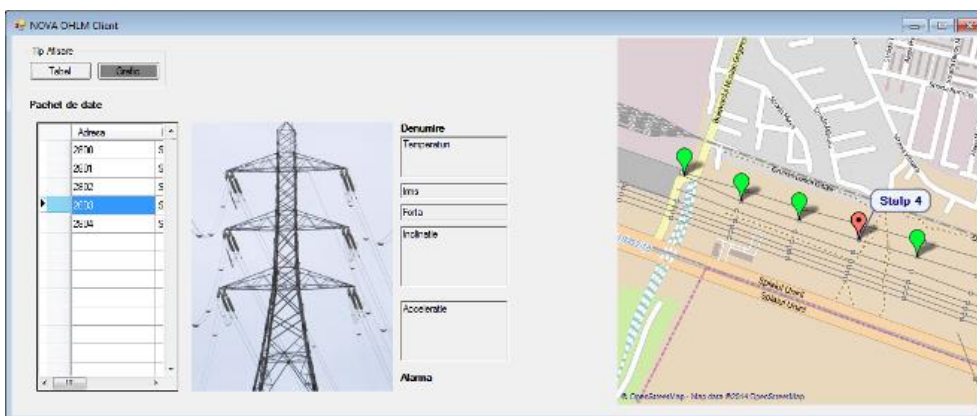


Fig. 6.5.13. Selectarea unui stâlp al LEA (partea din dreapta)/înregistrare NOVA OHLM RTU (partea din stânga)

Se poate naviga direct pe harta aflată în dreapta ferestrei principale, ținând apăsat click dreapta și deplasând mouse-ul în direcția dorită.

Dacă se dorește navigarea pe hartă și evidențierea stâlpilor LEA monitorizați, se selectează înregistrările aflate în partea stângă a ferestrei, în dreptul secțiunii "Pachet de date".

Pentru încărcarea hărții integrate în aplicația NOVA OHLM Client, este necesară o conexiune la internet, aplicația software folosind harta on-line gratuită OpenStreetMap.

Fereastra principală a aplicației conține următoarele secțiuni (Figura 6.5.14):

- Meniul aplicației;
- Alarmer în timp real;
- Poziționarea pe hartă tip GPS a echipamentelor hardware de monitorizare NOVA OHLM RTU montate pe stâlpii LEA;
- Informații LEA / poziționare RTU;
- Parametri de funcționare;
- Date Meteo;
- Securitate.

Pachetul de date este salvat în baza de date împreună cu avertizarea de eveniment.

Fig. 6.5.14. Fereastra principală a aplicației **NOVA OHLM Web Client**

Sistemul NOVA OHLM achiziționează pachetul de date despre LEA conținând următoarele informații:

- Adresa hardware NOVA OHLM;
- Denumire stâlp LEA;
- Data achiziției pachetului;
- Temperatura conductorului LEA ,senzor 1;

- e) Temperatura conductorului LEA, senzor 2;
- f) Curentul prin conductorul LEA, Irms;
- g) Înclinația conductorului LEA, pe axa Ox;
- h) Înclinația conductorului LEA, pe axa Oy;
- i) Accelerația conductorului LEA pe axa Ox;
- j) Accelerația conductorului LEA pe axa Oy;
- k) Accelerația pe axa Oz;
- l) Forța de tracțiune în conductor: traductor forță nr. 1;
- m) Forța de tracțiune în conductor: traductor forță nr. 2 ÷ i;
- n) Înclinare stâlp traductor nr. 1;
- o) Înclinare stâlp traductor nr. 2 ÷ k;
- p) Intrările digitale (traductor rupere ancoră, etc.);
- q) Amplitudinea oscilațiilor de undă scurtă (max);
- r) Frecvența oscilațiilor de undă scurtă;
- s) Amplitudinea oscilațiilor de undă lungă (max);
- t) Frecvența oscilațiilor de undă lungă.

Pachetul de date meteo. Pachetul de date OHLM mai include și informațiile achiziționate de la subsistemul meteo:

- Temperatura aerului ambiant;
- Umiditatea relativă;
- Presiunea barometrică;
- Viteza vântului;
- Direcția vântului;
- Durata căderii ploii;
- Intensitatea ploii;
- Grindină;
- Radiația solară/piranometru;
- Detecția chiciurii;
- Precipitații lichide totale.

Pachetul de date de la receptorul GPS. Pentru fiecare NOVA OHLM IED/RTU de la receptor GPS încorporat sunt achiziționate următoarele informații:

- Ora, minutul, secunda, ziua, luna, anul pentru fiecare pachet de date achiziționat;
- Coordonate stâlp: Latitudine;
- Coordonate stâlp: Emisferă latitudine (N sau S);
- Coordonate stâlp: Longitudine;
- Coordonate stâlp: Emisfera longitudine (E sau V).

Meniul aplicației. În cadrul meniului aplicației utilizatorul poate să navigheze pentru a vizualiza ultimele informații de la NOVA OHLM RTU-urile montate pe stâlpii LEA (butonul "Monitorizare") sau pentru a accesa istoricul de date (butonul "Istoric").

Fereastra implicită include informații privind pachetele de date achiziționate de la echipamentul NOVA OHLM RTU selectat.

Secțiunea Alarmer în timp real. Sub meniul principal al aplicației este afișată o secțiune ce conține ultimele alarme de la RTU-uri (Figura 6.5.15).



Fig. 6.5.15. Secțiune de afișare pentru ultimele alarme de la RTU-uri

Secțiunea Poziționarea pe harta tip GPS. În partea din stânga a ferestrei este afișată poziționarea RTU-urilor/stâlpilor LEA pe o hartă de satelit OpenStreet Map, utilizând coordonate GPS (Figura 6.5.16).

Selecția unui anume RTU se face prin click pe hartă.

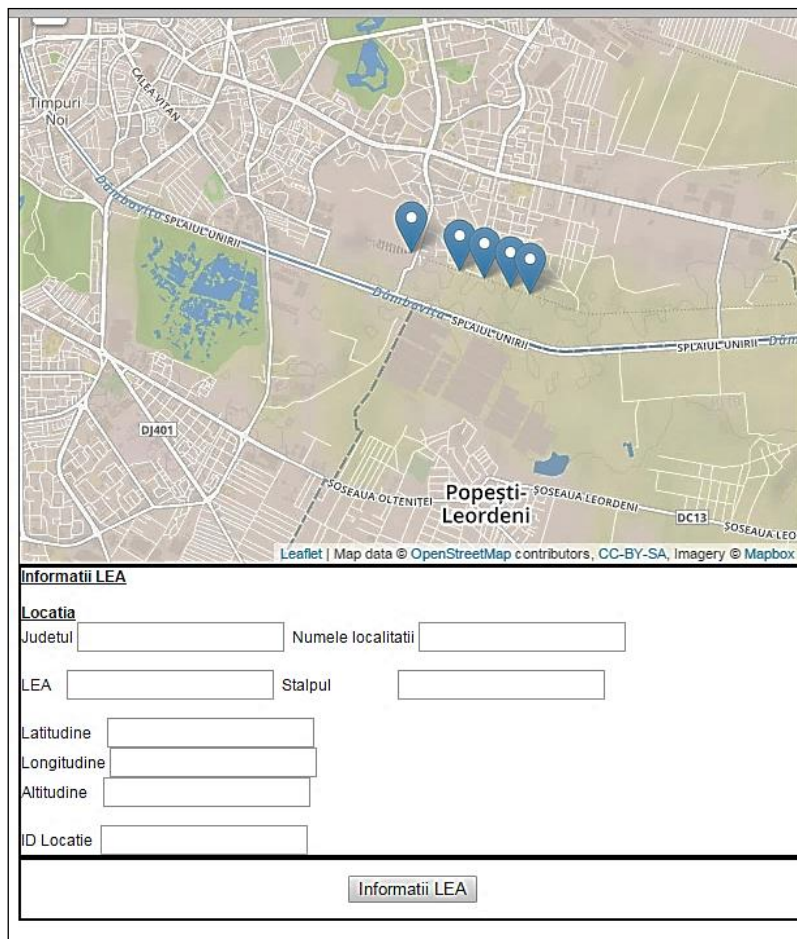


Fig. 6.5.16. Poziționarea LEA pe hartă și informații despre aceasta

Pentru încărcarea hărții integrate în aplicația NOVA OHLM Web Client, este necesară o conexiune la internet întrucât aplicația software folosește harta on-line gratuită OpenStreetMap.

Secțiunea Informații LEA / poziționare RTU. Sub hartă, sunt afișate informații privind stâlpul selectat (cu sistem NOVA OHLM) aparținând LEA:

- Locație: județ și numele localității;
- Denumirea LEA;
- Identificatorul stâlpului (numărul acestuia);
- Coordonate GPS: latitudine, longitudine și altitudine;
- ID locație.

Fiecare înregistrare (pinpoint) de pe hartă poate fi selectată, urmând ca informațiile LEA să fie afișate în secțiunea de sub hartă (Figura 6.5.17).

Fig. 6.5.17. Informatii LEA

Secțiunea Parametri de funcționare. Prin apăsarea butonului “Informații LEA” sunt afișate valorile pentru ultimul pachet de date achiziționat de la RTU-ul corespunzător stâlpului LEA selectat de pe hartă și anume (Figura 6.5.18):

- Curentul prin subconductorul LEA;
- Temperatura subconductorului LEA;
- Săgeata conductorului S, calculată prin minim trei metode de măsură;
- Amplitudinea *vârf-vârf* și frecvența pentru oscilațiile de undă scurtă (vibrații) și pentru cele de undă lungă (galopare);
- Forța de tracțiune a conductorului LEA;
- Depunerea de chiciură pe conductorul activ.



Fig. 6.5.18. Fereastra principală a aplicației NOVA OHLM Web Client – Parametri funcționare LEA

Secțiunea Date Meteo. În zona corespunzătoare datelor meteo se regăesc următoarele informații, preluate de la stația meteo (Figura 6.5.19):

- Temperatura aerului;
- Umiditatea relativă;
- Presiunea atmosferică;
- Viteza vântului;
- Direcția vântului;
- Precipitații lichide totale;
- Durata căderii ploii;
- Intensitatea ploii;
- Radiația solară;
- Chiciură (condiții de producere);
- Chiciura (prezentă).

The screenshot displays the main interface of the NOVA OHLM Web Client. It is divided into two main sections. The left section, titled 'Informații LEA', contains a map of the area around Popăști-Leordeni and a form for entering location details. The right section, titled 'Date meteo', displays various weather parameters for a specific date and time.

Informații LEA

Locația
 Județul Numele localității
 LEA Stâlpii
 Latitudine
 Longitudine
 Altitudine
 ID Locație

Date meteo Data înregistrării: 6/1/2015 14:59:32 pentru stâlp 4 locație NOV_1_4

Temperatura aerului [gradC]
 Umiditatea relativă [%]
 Presiunea atmosferică [mbar]
 Viteza vântului [m/s]
 Direcția vântului [grad]
 Precipitații lichide totale [mm/h]
 Durata caderii ploii [h]
 Intensitatea ploii [ovitură/m2]
 Radiația solară [W/m2]
 Chiciura (condiții de producere)
 Chiciura (prezență) [Detalii](#)

Fig. 6.5.19. Fereastra principală a aplicației NOVA OHLM Web Client – Date Meteo

Secțiunea Securitate (la OHLM dotate hardware în acest scop). În porțiunea de ecran de sub cea corespunzătoare datelor meteo, se regăsește zona corespunzătoare alarmelor și conține următoarele informații referitoare la securitate (figura 6.5.20):

- Detecție, alarmare și supravegherea persoanelor aflate în zona de protecție a stâlpului;
- Detecție și alarmare în cazul actelor de vandalism, etc.

The screenshot shows the 'Securitate' section of the application. It features a list of alarm events, each with a status indicator (green for OK, red for alarm) and a timestamp. Below the list, there is a section for 'Acțiunile' (Actions) and a 'Detalii' (Details) button.

Securitate

Acțiunile

Detalii

Fig. 6.5.20. Fereastra principală a aplicației NOVA OHLM Web Client - secțiunea "Securitate"

Istoricul datelor (parametrii de funcționare) se poate vizualiza apăsând butonul "Istoric" din cadrul meniului aplicației. Va fi afișată secțiunea corespunzătoare istoricului datelor (Figura 6.5.21):

Sunt posibile următoarele operațiuni:

- Vizualizare istoric date;
- Grafic parametru;
- Export date.

The screenshot displays the 'Istoric' section of the application. It features a navigation bar with 'Monitorizare' and 'Istoric' tabs. Below the navigation bar, there is a dropdown menu for 'Grafic Parametru' and a table showing the historical data for a specific LEA.

Istoric parametri funcționare LEA

ID	TIMP	MARIM_ID	VALOARE	ADRESA_HW
1	6/1/2015 14:59:32(1)		212.72	0xa1b4
2	6/1/2015 14:59:32(2)		53.95	0xa1b4
3	6/1/2015 14:59:32(3)		3.2	0xa1b4
4	6/1/2015 14:59:32(4)		0	0xa1b4
5	6/1/2015 14:59:32(5)		0	0xa1b4
6	6/1/2015 14:59:32(6)		0	0xa1b4
7	6/1/2015 14:59:32(7)		0.03	0xa1b4
8	6/1/2015 14:59:32(8)		33.72	0xa1b4
9	6/1/2015 14:59:32(9)		4.17	0xa1b4
10	6/1/2015 14:59:32(10)		0.425	0xa1b4

1 2
Export

Fig. 6.5.21. Aplicația NOVA OHLM Web Client – istoric

Pentru a realiza un grafic, trebuie selectată mărimea corespunzătoare din meniul derulant din partea stângă a ferestrei și apoi bifată opțiunea "Grafic parametru" (Figura 6.5.22):

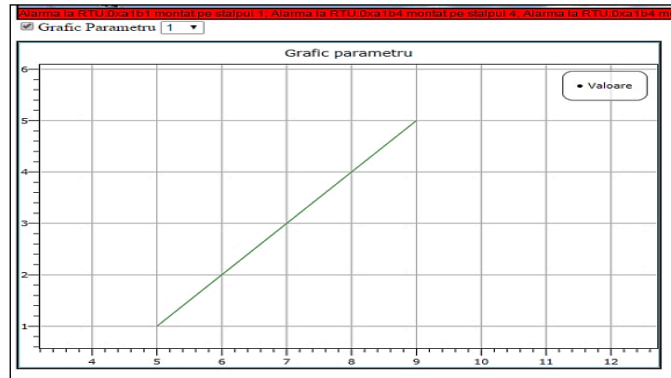


Fig. 6.5.22. Exemplu de grafic parametru

Graficele sunt dinamice și pot fi tipărite sau salvate ca poze. Istoricul poate fi exportat în format Excel (Figura 6.5.23).

	A1		f _x	ID
	A	B	C	D
1	ID	TIMP	MARIMI_ID	VALOARE
2	1	06/01/2015 14:59	1	212.72
3	2	06/01/2015 14:59	2	53.95
4	3	06/01/2015 14:59	3	3.2
5	4	06/01/2015 14:59	4	0
6	5	06/01/2015 14:59	5	0
7	6	06/01/2015 14:59	6	0
8	7	06/01/2015 14:59	7	0.03
9	8	06/01/2015 14:59	8	33.72
10	9	06/01/2015 14:59	9	4.17
11	10	06/01/2015 14:59	10	0.425
12	11	06/01/2015 14:59	11	82
13				

Fig. 6.5.23. Export istoric parametri funcționare LEA în format Excel

6.6. Proiectul pilot de monitorizare on-line a LEA 400 kV București Sud-Pelicanu

6.6.1. Necesitatea implementării Proiectului Pilot

Proiectul pilot de monitorizare on-line a LEA București Sud- Pelicanu a fost realizat în scopul aplicării unor soluții inovatoare pe plan național și internațional pentru elucidarea unor incidente manifestate în anul 2017, prin ruperea intempestivă a unor izolatoare compozit de 400 kV, pe LEA 400 kV București Sud - Pelicanu și respectiv în stația 400/220/110 kV București Sud fără a fi putut să fie anticipate prin mijloacele tehnice cunoscute.

La analiza izolatoarelor defecte s-au constatat următoarele:

- defecțiunile s-au produs la capătul izolatorului aflat la potențialul de înaltă tensiune;
- defectele s-au manifestat prin ruperea a două izolatoare la 2, respectiv 3 rile/ fuste de capătul metalic (Figurile 6.6.1. a,b,c,d);
- pe suprafața carcasi izolatorului, între capătul metalic și zona de rupere se observă urme de descărcări electrice de mare energie;
- pe distanța a cca 14 rile de la capătul aflat la potențial, rilele și carcasa sunt înnegrite de descărcările corona.

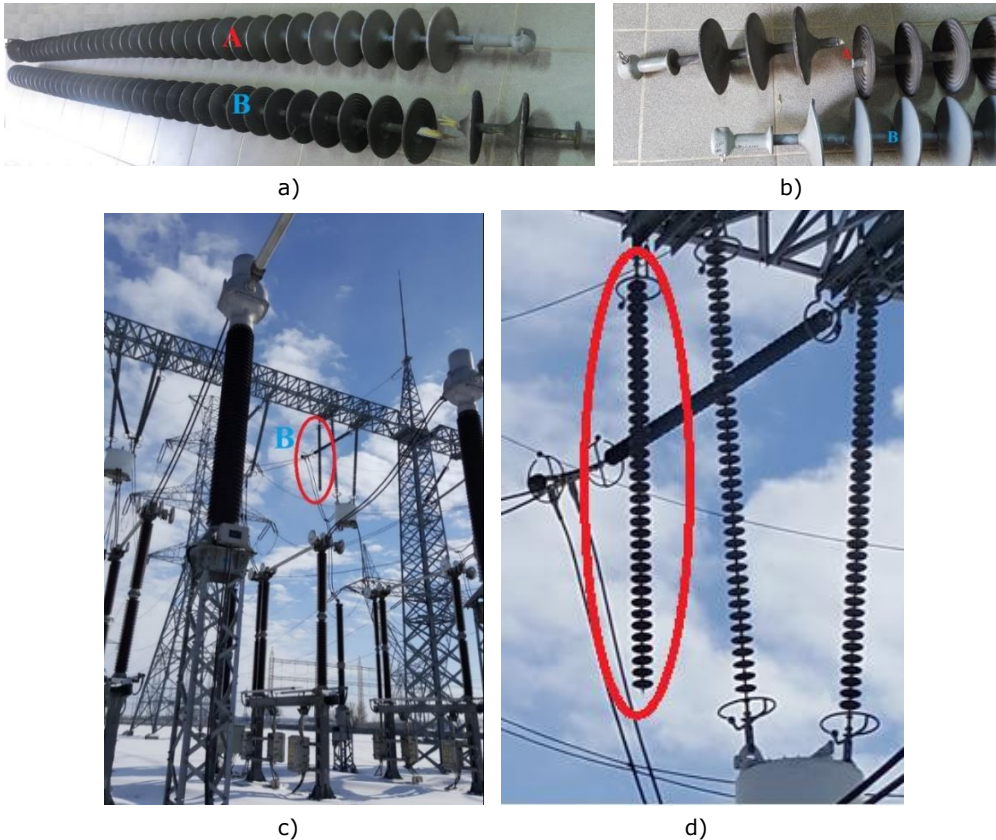


Fig. 6.6.1. Izolatoare compozit de 400 kV rupte, intempestiv, pe LEA 400 kV București Sud - Pelicanu și în stația 400/220/110 kV București Sud

Urgența depistării cauzelor deteriorării intempestive a izolatoarelor compozit de 400 kV, menționate, a fost determinată de următoarele constatări:

- incidentele s-au manifestat la izolatoare compozit, de același tip constructiv, fabricate în anul 2002 , după numai 15 ani de funcționare;
- izolatoarele compozit deteriorate, erau furnizate de același producător european;
- majoritatea izolatoarelor de 400 kV pe LEA 400 kV București Sud - Pelicanu sunt de tip compozit, iar în stația 400/220/110 kV București Sud toate izolatoarele de 400 kV sunt de tip compozit, de același tip cu cel al izolatoarelor deteriorate, existând riscul de a se produce defecțiuni similare oricând;
- defecțiunile s-au produs în timpul funcționării normale, fără operații de comutație sau descărcări electrice în stație sau pe linie;

- sarcina mecanică pe un izolator compozit, montat fie pe linie fie în stație, se asigurase încă din faza de proiectare să fie cu mult sub cea la care este supus același izolator montat pe LEA și cu mult sub sarcina nominală de rupere garantată de producător;
- în anul 2016 se efectuase un studiu pentru CNTEE Transelectrica SA care a arătat că la testele de izolație efectuate în laboratorul de înaltă tensiune pe izolatoare compozit, fabricate în 2001 și prelevate din exploatare, rezultatele au fost corespunzătoare cerințelor normativelor de exploatare.

Pentru depistarea urgentă a cauzelor producerii defectelor menționate și stabilirea măsurilor urgente care trebuie luate pentru ca astfel de incidente să nu se mai producă, CNTEE "Transelectrica" SA - operatorul român al sistemului de transport al energiei electrice - a solicitat de urgență efectuarea unei cercetări prin măsurători inovative pentru a se analiza modul în care solicitările combinate din exploatare (electrice, mecanice, termice, meteorologice, poluare etc.) influențează starea tehnică a izolatoarelor compozit din exploatare.

De remarcat este faptul că pe plan național și internațional nu există standarde sau ghiduri de încercare / evaluare a izolatoarelor compozit la solicitări combinate.

La cercetările menționate, efectuate de autor în colaborare cu Nova Industrial SA, am folosit în premieră națională și internațională datele și informațiile obținute simultan de la două sisteme de monitorizare on-line, în timp real, și anume:

- a) sistemul Nova OHLM de monitorizare on-line a parametrilor de funcționare și de stare tehnică a liniilor electrice aeriene;
- b) sistemul Nova Izomon de monitorizare on-line a curenților de scurgere pe lanțurile de izolatoare de înaltă tensiune aferente liniilor electrice aeriene și stațiilor electrice de înaltă tensiune.

S-a avut în vedere măsurarea on-line, în timp real, a următorilor parametri:

- parametri de funcționare a liniei electrice de 400 kV:
 - curentul prin conductorul liniei;
 - temperatura conductorului liniei;
 - săgeata/gabaritul conductorului liniei;
 - accelerația conductorului liniei ;
- solicitările mecanice și izolația la izolatoarele compozit de 400 kV:
 - forța de tracțiune în conductoarele liniei și în izolatoare;
 - curentul de scurgere pe izolatoare;
- parametrii mediului ambiant:
 - temperatura și umiditatea aerului ambiant;
 - viteza și direcția vântului;
 - presiunea atmosferică;
 - radiația solară.

Trebuie menționat caracterul inovativ al acestor măsurători, atât din punct de vedere tehnologic, cât și din punct de vedere al performanțelor sistemelor de măsură și monitorizare on-line folosite, măsurători efectuate pentru prima dată în România și pe plan internațional, pentru elucidarea cauzelor producerii unor incidente grave de exploatare în sistemul de transport al energiei electrice din România.

6.6.2. Arhitectura sistemului de măsurare din Proiectului Pilot

Elementele sistemului folosit pentru măsurarea parametrilor electrici și mecanici de funcționare a liniei electrice aeriene de 400 kV București Sud - Pelicanu și a izolatoarelor compozit de 400 kV se prezintă în figura 6.6.2.

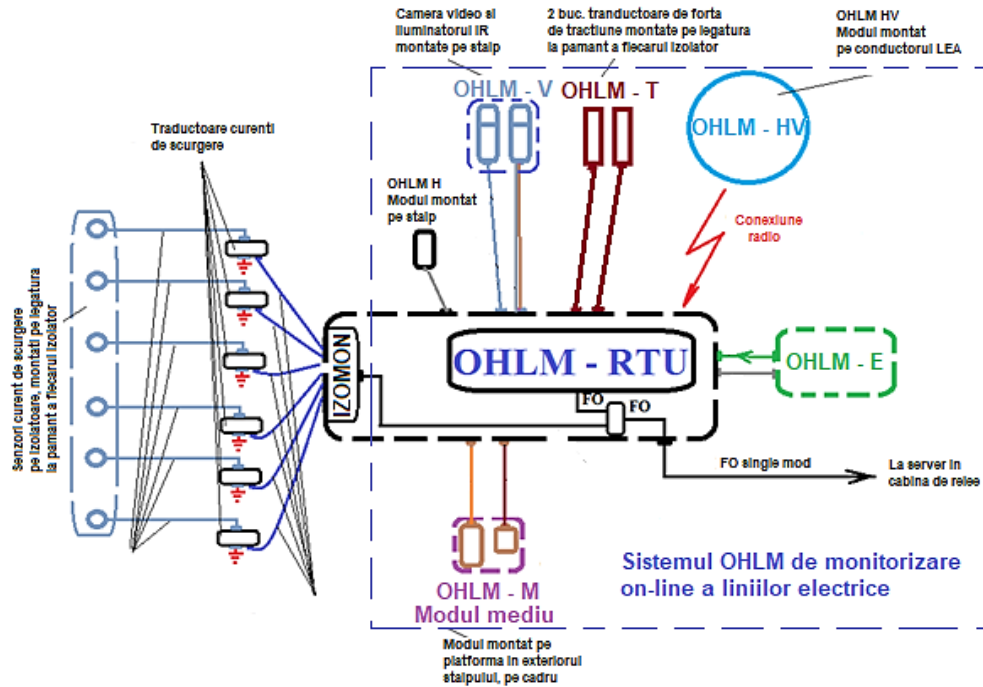


Fig. 6.6.2. Arhitectura sistemului de măsurare folosit în cadrul proiectului pilot de monitorizare on-line a LEA 400 kV București Sud – Pelicanu

În figurile 6.6.3.a-e și 6.6.4 se prezintă imagini ale echipamentelor folosite în cadrul Proiectului Pilot de măsurare și monitorizare on-line, simultană, a parametrilor de funcționare a liniei electrice aeriene de 400 kV București Sud - Pelicanu, a curenților de scurgere la lanțurile de izolatoare compozit de 400 kV de la stâlpul terminal al liniei electrice menționate, respectiv a parametrilor mediului ambiant.

În figurile 6.6.5.a,b se prezintă imagini în timpul execuției operațiilor de montaj a componentelor sistemului NOVA OHLM pe LEA 400 kV București Sud – Pelicanu, iar în figura 6.41 se prezintă serverul de achiziție, prelucrare și stocare a datelor rezultate la măsurătorile efectuate on-line, server montat în cabina de rele aferentă „LEA 400 kV București Sud - Pelicanu” din stația București Sud.



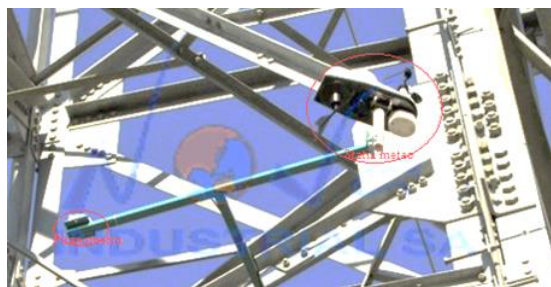
a) Modulele OHLM - HV si OHLM - T



b) Modulul OHLM - V



c) Markerul videosagometrului



d) Modulul OHLM - M



e) Modulele OHLM RTU/IED și OHLM - E

Fig. 6.6.3. Echipamentele componente sistemului NOVA OHLM în timpul monitorizării on-line a parametrilor de funcționare a LEA 400 kV București Sud - Pelicanu

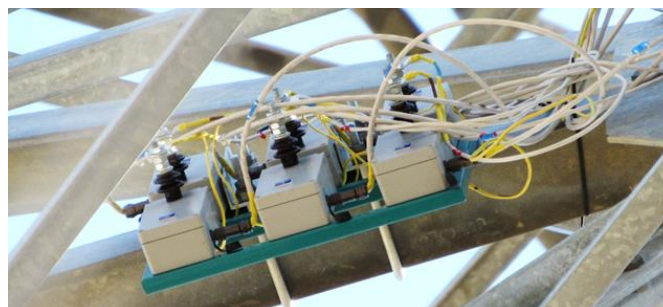


Fig. 6.6.4. Sistemul NOVA IZOMON pentru monitorizarea on-line a curenților de scurgere pe lanțurile de izolatoare de la LEA 400 kV București Sud - Pelicanu

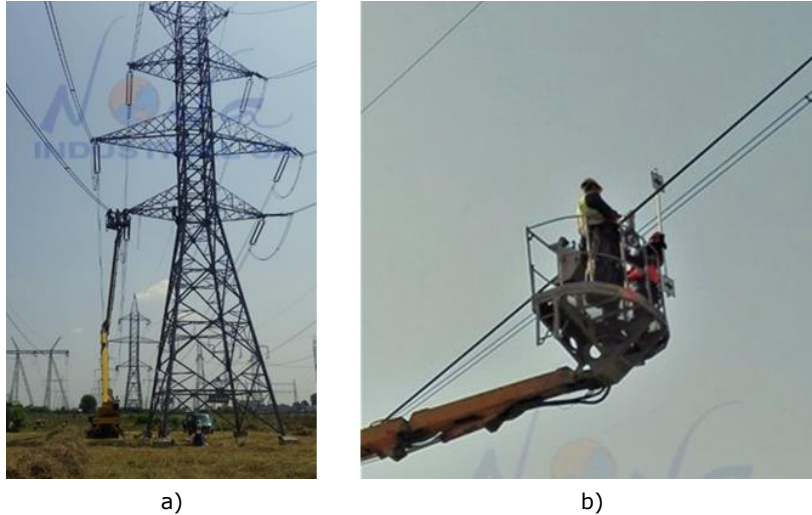


Fig. 6.6.5. Imagini din timpul montării componentelor sistemului NOVA OHLM pe LEA400 kV București Sud – Pelicanu



Fig. 6.6.6. PC Serverul de achiziție, prelucrare și stocare a datelor furnizate de sistemele de măsurare și monitorizare on-line NOVA OHLM și NOVA IZOMON

Montarea modulului OHLM-HV pe conductorul LEA 400 kV se face relativ ușor și într-un timp scurt (de maxim 30 minute de lucru la înălțime).

6.6.3. Măsurători în cadrul Proiectului Pilot

6.6.3.1. Considerații preliminare

Măsurarea tuturor parametrilor de funcționare ai liniei electrice menționată și respectiv a curentului de scurgere pe izolatoare, s-a efectuat cu sistemele **NOVA OHLM și NOVA IZOMON** fabricate și puse la dispoziție de Nova Industrial SA, calibrate în laboratoarele din țară și/sau străinătate.

6.6.3.2. Măsurarea on-line a parametrilor de funcționare ai LEA 400 kV București Sud – Pelicanu

Cu o periodicitate presetată la 15 secunde sistemul NOVA OHLM a măsurat parametri de funcționare a liniei electrice iar pe ecranul PC-serverului s-au putut vizualiza datele privind:

1) *Linia electrică aeriană monitorizată on-line:*

- denumire LEA;
- tensiunea nominală a LEA [kV];
- tipul constructiv;
- lungimea LEA [km];
- numărul stâlpilor LEA;
- tipul și secțiunea conductorului LEA;
- numărul stâlpului la care este montat sistemul OHLM de la care se achiziționează datele măsurate și calculate;
- coordonatele GPS ale stâlpului cu sistem de monitorizare NOVA OHLM:
 - latitudine (ex. 44.402°);
 - longitudine (ex. 26.159°);
- denumirea deschiderii pentru care se face măsurarea on-line a parametrilor de funcționare a LEA;
- harta cu traseul liniei electrice și indicarea poziției stâlpului la care se află montat sistemul NOVA OHLM de la care se afișează rezultatele măsurărilor și a calculelor privind parametri de funcționare a LEA și parametri mediului ambiant;

2) *Parametrii de funcționare a LEA măsurați on-line de sistemul NOVA OHLM:*

- curentul prin subconductorul LEA [A];
- temperatura conductorului LEA:
 - senzorul 1;
 - senzorul 2;
- forța de tracțiune în conductorul LEA și în izolator [kN];
 - traductorul de forță 1;
 - traductorul de forță 2;
- înclinarea conductorului LEA [°]
- accelerația oscilațiilor conductorului LEA [g];
- frecvența fundamentală a oscilațiilor/vibrațiilor conductorului LEA [Hz];
- informația despre utilizarea sau nu a videosagometrului ca metodă suplimentară de determinare a înclinării/săgeții conductorului LEA;

3) *Parametrii mediului ambiant:*

- temperatura mediului ambiant [°C];
- viteza vântului [m/s];
- direcția vântului față de secțiunea LEA [°];
- radiația solară globală [W/m²];
- umiditatea relativă a mediului ambiant [%];

4) *Parametrii de funcționare a LEA (date măsurate și/sau calculate):*

- ✓ curentul prin conductorul LEA [A];
- ✓ temperatura conductorului LEA [°C];
- ✓ forța de tracțiune în conductorul LEA și în izolator [kN];
- ✓ săgeata conductorului LEA bazată pe:
 - măsurarea înclinării conductorului
 - metoda directă folosind înclinometru;
 - metoda videosagometru;

- măsurarea curentului prin conductorul LEA și a parametrilor de mediu;
 - măsurarea temperaturii conductorului LEA și a parametrilor de mediu;
 - măsurarea forței de tracțiune în conductorul LEA și a parametrilor de mediu;
 - ✓ săgeata conductorului LEA, valoarea medie rezultată din măsurători directe;
 - ✓ oscilațiile undă scurtă:
 - amplitudine [cm];
 - frecvență [Hz];
 - ✓ oscilațiile undă lungă (galoparea):
 - amplitudine [cm];
 - frecvență [Hz];
 - ✓ chiciură (condiții de producere);
- 5) *Starea acumulatorului sursei independente de alimentare cu energie electrică din structura modului OHLM E:*
- gradul de încărcare a acumulatorului;
 - tensiunea la acumulator [V];
 - curentul furnizat de acumulator [A];
- 6) *Alarmer funcționale pentru LEA:*
- alarmă gabarit conductor LEA sub limita admisă;
 - alarmă curent prin conductorul LEA peste limita admisă;
 - alarmă forța de tracțiune în conductorul LEA și/sau în izolator peste limita admisă;
 - alarmă înclinare stâlp peste limita admisă;
 - alarmă incendiu (dacă sistemul NOVA OHLM este solicitat să conțină și senzorul de incendiu vegetație);
- 7) *Alarmer meteo:*
- alarmă vijelie;
 - alarmă furtună;
 - alarmă furtună violentă;
 - alarmă uragan;
 - alarmă temperatură ambiantă;
 - alarmă chiciură;
 - alarmă galopare;
- 8) *Alarmă vandalism (opțional, dacă sistemul NOVA OHLM este solicitat să fie dotat și cu sistemul antifurt sau antitero):*
- alarmă tăiere/ruptură ancoră;
 - alarmă lovire cu ciocanul;
 - alarmă tăiere cu flexul;
 - alarmă intruziune în perimetrul stâlpului;
 - alarmă intruziune video;
- 9) *Starea LEA*
- starea din punct de vedere tehnic;
 - starea funcțională.

În tabelul 6.6.1. și figurile 6.6.7. a-d și 6.6.8. a-b se prezintă câteva dintre rezultatele măsurării și monitorizarea on-line a parametrilor de funcționare a LEA 400 kV București Sud - Pelicanu.

Măsurătorile efectuate on-line privind parametrii de funcționare a LEA 400 kV București Sud - Pelicanu au indicat următoarele:

- a) Forța de tracțiune măsurată pe fiecare izolator de întindere, în deschiderea nr. 1 a LEA menționată, este între 6,84 și 6,94 kN cu mult sub forța de testare în fabrică

124 Sistemul OHLM de monitorizare on-line și de încărcare dinamică a LEA - 6

a izolatorului (ca proba de rutină) de 60 kN și cu mult sub forța maximă de rezistență la tracțiune de 120 kN garantată de producătorul izolatorului.
 b) Valoarea curentului prin conductorul liniei electrice a fost cu mult sub curentul nominal de măsură asigurat de sistemul OHLM.

Tabelul 6.6.1. Măsurarea parametrilor de funcționare a LEA 400 kV București Sud – Pelicanu

Nr. crt.	Parametrul măsurat Data	Curentul [A]		Temperatura conductorului [°C]		Forța de tracțiune [kN]			Oscilațiile conductorului	Inclinarea conductorului [°]	Săgeata conductorului [m]					Parametrii meteorologici			
		Cond.	LEA	Senzor 1	Senzor 2	Senzor 1	Senzor 2	Total faza	Acc. [g]		M1 ⁽¹⁾	M2 ⁽²⁾	M3 ⁽³⁾	M4 ⁽⁴⁾	M5 ⁽⁵⁾	Temp. [°C]	Umid. [%]	Vant	
																		Viteza [m/s]	Directia [°]
1	25/07/2017 16:31:40	383.9	767.8	28.14	28.19	6.94	6.84	13.78	1	11.37	5.61	5.48	5.61	5.56	5.585	23.22	62.06	3.2	68.7
2	26/07/2017 15:59:51	34	68	33.8	33.6	6.63	6.77	13.4	0.99	11.52	5.68	5.52	5.63	5.58	5.653	28	51	0.9	65.3
3	27/07/2017 15:54:03	105.1	210.2	31.1	31.3	6.69	6.6	13.3	1	11.44	5.6	5.52	5.58	5.51	5.58	25.7	57	1.3	39.3
4	28/07/2017 05:58:57	198.1	396.2	22.6	22.7	6.76	6.74	13.5	1	11.47	5.6	5.52	5.57	5.59	5.578	20.46	61	1.2	75.7
5	01/08/2017 11:06:52	122.56	245.12	35.63	35.34	6.66	6.53	13.19	1	11.57	5.57	5.64	5.62	5.51	5.589	32.65	36	3.6	23.3

Notă: Metode de determinare a săgeții conductorului LEA:

- (1) – M1: Metoda bazată pe măsurarea înclinării conductorului LEA de înclinometru;
- (2) – M2: Metoda bazată pe măsurarea forței de tracțiune;
- (3) – M3: Metoda bazată pe măsurarea temperaturii conductorului și a parametrilor meteo;
- (4) - M4: Metoda bazată pe măsurarea curentului prin conductorul LEA și a parametrilor meteo;
- (5) – M5: Metoda bazată pe măsurarea înclinării conductorului prin videosagometru.



a)

6.6 - Proiectul pilot de monitorizare on-line a LEA 400 kV București Sud - Pelicanu 125



b)



c)



d)

Fig. 6.6.7. Rezultate ale măsurării on-line a parametrilor de funcționare a LEA 400 kV București Sud - Pelicanu folosind sistemul NOVA OHLM



a)



b)

Fig. 6.6.8. Markerul videosagometrului pe conductorul LEA 400 Bucuresti Sud-Pelicanu, folosit la măsurarea înclinării/săgeții conductorului LEA

- c) Temperatura conductorului LEA este redusă, cu puțin peste temperatura mediului ambiant exterior.
- d) Parametrii mediului ambiant, în perioada de testare, au fost specifici perioadei de vară (temperatura relativ ridicată, umiditate redusă, viteză redusă a vântului). S-a observat o diferență relativ importantă între temperatura la nivelul solului și temperatura măsurată de stația meteo la înălțime, probabil datorită circulației aerului (diferită față de nivelul solului). Este un parametru important la stabilirea regimului real de încărcare a LEA.
- e) Măsurarea descărcărilor corona la modul NOVA OHLM HV, montat la potențialul conductorului LEA 400 kV, a confirmat rezultatele probelor în laboratorul de înaltă tensiune conform cărora modulul OHLM HV nu produce descărcări corona la tensiunea de funcționare a liniei de 400 kV (Figura 6.6.9).
- f) Ambele sisteme de măsurare și monitorizare on-line NOVA OHLM și NOVA IZOMON au permis obținerea unor informații foarte utile despre solicitările combinate la care sunt supuse izolatoarele compozit de 400 kV, curentul de scurgere pe izolatoare și respectiv parametrii de funcționare a LEA de 400 kV București Sud – Pelicanu.



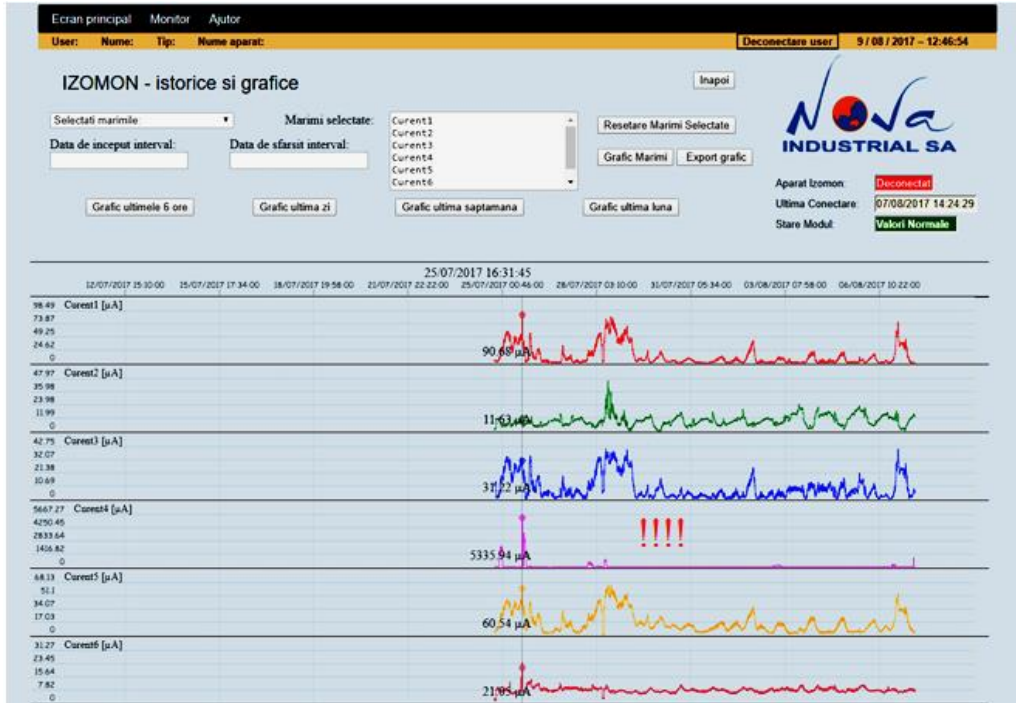
Fig. 6.6.9. Modulul NOVA OHLM - HV fără descărcări corona la tensiunea de funcționare a LEA 400 kV București Sud - Pelicanu

6.6.3.3. Măsurarea on-line a curenților de scurgere pe izolatorii compozit ai LEA 400 kV București Sud – Pelicanu

- a) Curentul de scurgere la 5 din 6 izolatoare compozit de 400 kV este în limite admisibile (sub $100 \mu\text{A}$) în schimb la izolatorul de pe faza S, senzor nr. 4, nivelul maxim al curentului de scurgere depășește de peste 50 ori curentul maxim pe celelalte două faze și aceasta în condiții de stare uscată a izolatorului și de umiditate redusă a mediului ambiant (tabelul 6.6.2 și figurile 6.6.10 a,b,c și 6.6.11 a-d).
- b) Curentul de scurgere nu este constant, variind în limite largi, datorită caracterului instabil al descărcărilor corona (una din cauzele posibile ale curentului de scurgere) așa cum se observă în figurile 6.6.11.

Tabelul 6.6.2. Măsurarea curentului de scurgere la izolatoare compozit pe LEA 400 kV București Sud – Pelicanu

Nr. crt.	Parametrul Data	Curentul de scurgere [μA]					
		Faza R		Faza S		Faza T	
		Izolator 1	Izolator 2	Izolator 3	Izolator 4	Izolator 5	Izolator 6
1	25/07/2017 16:31:24	90.68	11.63	31.22	5335.94	60.54	21.05
2	26/07/2017 16:00:33	1.94	9.39	3.48	1.27	3.63	7.01
3	27/07/2017 16:00:21	3.77	11.32	2.23	1.45	10.96	6.98
4	28/07/2017 05:34:05	50.6	8.3	31.03	43.34	43.46	9.04
5	28/07/2017 10:30:08	75.28	21.15	38.15	771.17	53.5	8.84
6	01/08/2017 11:07:57	0.54	6.64	0.34	1.03	7.26	6.61
7	06/08/2017 10:00:26	1.07	10.65	0.69	0.39	6.9	7.29
8	07/08/2017 01:07:50	70.28	10.8	39.82	3.7	50.97	5.95

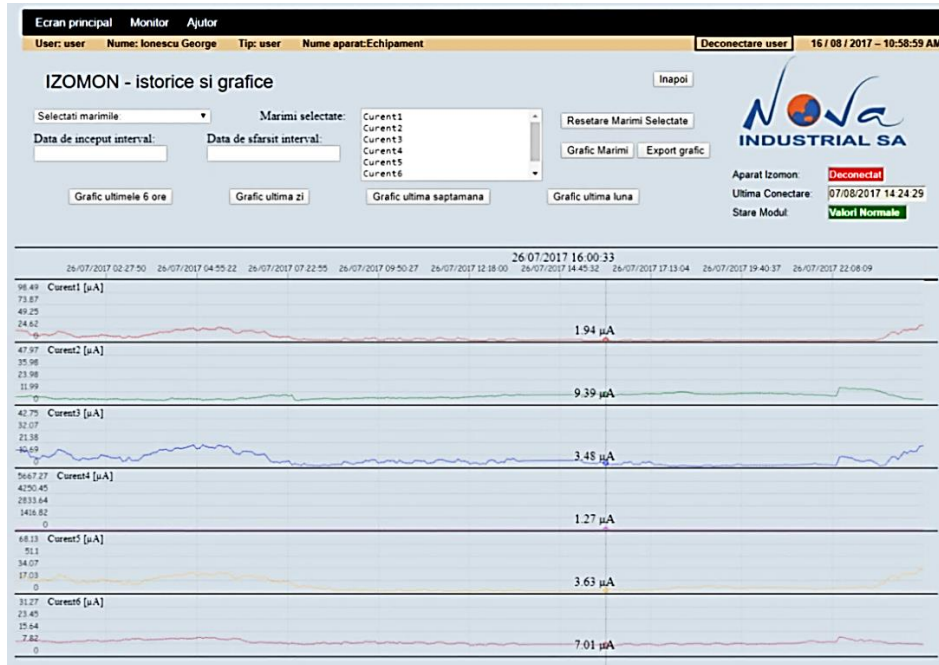


a)



b)

130 Sistemul OHLM de monitorizare on-line și de încărcare dinamică a LEA - 6



c)

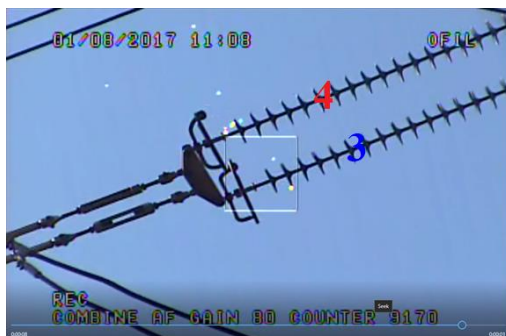
Fig. 6.6.10. Curenții de scurgere la 6 izolatoare compozit de 400 kV măsurati on-line



a)



b)



c)



d)

Fig. 6.6.11. Izolatorul compozit de 400 kV nr. 4 de pe faza S stâlp nr. 1
LEA 400 kV București Sud - Pelicanu

- c) Prin măsurarea curentului de scurgere s-a putut face diferența privind starea tehnică mult diferită (mai proastă) a izolatorului nr. 4 de pe faza S, față de cel de același tip nr. 6 de pe faza T.
- d) Din cele 6 (șase) izolatoare compozit de 400 kV de pe LEA 400 kV București Sud - Pelicanu la care s-a efectuat măsurarea on-line a curentului de scurgere, unul dintre acestea (cel nr. 4 faza S) are descărcări corona manifestate la capătul izolatorului aflat la potențialul LEA, într-o formă care indică afectarea materialului izolatorului compozit în zona capătului aflat la potențialul liniei.
- e) Există două surse evidente de descărcări corona care se manifestă individual sau simultan și pot să afecteze starea izolatorului compozit și anume:
- eclatorul armăturii de uniformizare a câmpului electric și de îndepărtare a arcului electric de pe suprafața izolatorului (care produce corona de intensitate mai ridicată);
 - tija metalică de capăt a izolatorului (care produce descărcări corona de intensitate mai mică).
- f) Sistemul NOVA IZOMON a permis ierarhizarea stării tehnice a izolatoarelor liniilor electrice aeriene de înalta tensiune în funcție de mărimea curentului de scurgere măsurat on-line, indicând în mod clar la care din izolatoarele monitorizate există risc de deteriorare.
- g) Tipul de defect: Pentru ambele izolatoare compozit tipul defectului definit pe plan internațional este „Defecțiune mecanică/Brittle fracture” produsă în special de acțiunea descărcărilor corona de mare intensitate produse de ecranele corona, care au afectat și carcasa izolatorului (în ambele cazuri).

- h) Condiții de funcționare: Izolatoarele compozit pe LEA 400 kV București-Sud Pelicanu și în stația 400/220/110 kV București Sud au funcționat în condiții normale, solicitările mecanice și electrice fiind sub cele la care izolatoarele au fost testate și garantate de producător.
- i) Durata de funcționare: Izolatoarele compozit defecte au făcut parte dintr-un lot comandat în anul 2001, livrate de producător în luna decembrie 2002. Durata de funcționare este de cca 15 ani, sub durata normală de viață a izolatoarelor compozite de minim 30 ani.
- j) Standardul de calitate: Izolatoarele au fost fabricate și testate la producător conform standardului IEC 61109 „Insulators for overhead lines - Composite suspension and tension insulators for a.c. systems with a nominal voltage greater than 1000 V - Definitions, test methods and acceptance criteria”.
- k) Prevenția defecțiunilor conform normativelor de exploatare/mentenanță: ca și în alte cazuri similare produse pe plan internațional, astfel de defecțiuni nu pot fi prevenite prin măsuri de mentenanță clasice.
- l) Analiza istoricului armăturilor de uniformizare a câmpului electric și de îndepărtare a arcului electric de pe suprafața izolatoarelor compozit pe LEA 400 kV București-Sud Pelicanu și în stația 400/220/110 kV București Sud, a arătat următoarele:
 - loturile de izolatoare compozit la care s-au produs defectele menționate, au fost testate în fabrică fără armături de protecție, care nu au făcut obiectul furniturii;
 - nu au fost procurate și ecranele de protecție recomandate de producătorul izolatoarelor compozit;
 - la toate izolatoarele compozit de tipul celor la care s-au produs defecțiunile, montate pe LEA și în stație, au fost instalate ecranele de protecție aferente izolatoarelor de 400 kV anterioare (din sticlă), demontate, fără să se fi făcut în prealabil testul de compatibilitate izolator compozit-armătură, în laboratoarele de încercări la înaltă tensiune;
- m) Cea mai probabilă cauză de defectare intempestivă a celor două izolatoare compozit de 400 kV de pe LEA 400 kV București Sud – Pelicanu și de la barele de 400 kV din stația 400/220/110 kV București Sud constă în utilizarea ecranelor corona „corona ring” necorespunzătoare tehnic pentru acest tip de izolatoare. Aceste ecrane nu se așază întotdeauna corect pe izolator (se modifică planeitatea față de axul izolatorului) devenind sursă de descărcări corona care afectează starea izolatorului compozit în zona tijei de capătul aflat la potențialul liniei.
- n) Există posibilitatea repetării unor astfel de defecțiuni la izolatoarele compozit din loturile livrate și montate pe LEA 400 kV București Sud-Pelicanu și în stația București Sud, dacă ecranele corona existente nu se înlocuiesc cu unele corespunzătoare tehnic.

6.6.4. Concluziile Proiectului Pilot

- 1) Proiectul pilot de monitorizare on-line a LEA București Sud – Pelicanu studiat în cuprinsul tezei, a fost realizat de CNTEE Transelectrica SA în colaborare cu Nova Industrial SA în scopul elucidării unor incidente produse intempestiv la izolatoarele compozit de 400 kV pe LEA 400 kV București Sud - Pelicanu și respectiv în stația 400/220/110 kV București Sud.
- 2) Proiectul pilot menționat, la realizarea căruia autorul tezei a contribuit semnificativ, reprezintă o premieră națională și internațională, întrucât a folosit sisteme de

monitorizare on-line a parametrilor de funcționare a liniilor electrice aeriene (în cazul concret sistemul românesc NOVA OHLM) și respectiv sistemul de monitorizare on-line a curenților de scurgere pe lanțurile de izolatoare de 400 kV (sistemul NOVA IZOMON) ca soluție tehnică SMART GRID aplicată concret pentru rezolvarea unor probleme operative de management a liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune.

- 3) Referitor la sistemul NOVA OHLM folosit, s-au constatat următoarele:
- a) sistemul corespunde în totalitate cerințelor tehnice menționate în specificația tehnică și în Norma Tehnică Internă a CNTEE Transelectrica SA în ceea ce privește parametrul măsurat și precizia de măsură;
 - b) montarea modulului OHLM-HV pe conductorul LEA 400 kV se face relativ ușor și într-un timp scurt (maxim 30 minute de lucru la înălțime).
 - c) Pentru determinarea săgeții conductorului LEA sistemul NOVA OHLM permite folosirea a minimum cinci metode, și anume:
 - c1. *metoda directă bazată pe măsurarea înclinării conductorului*, cu ajutorul:
 - înclinometrului (metodă folosită și la sistemele Power Donut - SUA, TLM - SUA, Astrose - Germania, OLM - Coreea de Sud);
 - videosagometrului (metodă EPRI - SUA);
 - c2. *metode indirecte* bazate pe:
 - măsurarea curentului prin conductorul LEA și a parametrilor meteo (metodă folosită și la sistemele Power Donut - SUA, SMT - Spania, Astrose - Germania, OLM - Coreea de Sud, OTLM - Slovenia, FMC-T6 - SUA, TLSM - SUA);
 - măsurarea temperaturii conductorului LEA și a parametrilor meteo (metodă folosită și la sistemele Power Donut - SUA, SMT - Spania, TLM - SUA, Astrose - Germania, OLM - Coreea de Sud, OTLM - Slovenia, FMC-T6 - SUA, TLSM - SUA);
 - măsurarea forței de tracțiune în conductorul LEA și a parametrilor meteo (metodă folosită și la sistemul CAT1 - SUA).
- 4) S-a testat soluția Ampacimon, bazată pe metoda indirectă constând în măsurarea accelerației, determinarea frecvenței fundamentale și calculul săgeții. Erorile de metodă au determinat valori ale săgeții mai mari decât la celelalte metode și peste limita impusă în norma tehnică internă a CNTEE Transelectrica SA (± 5 cm). Rezultatele au confirmat informațiile din literatura tehnică de specialitate conform cărora la metoda Ampacimon sunt de așteptat erori de determinare a săgeții de ± 20 cm.
- 5) Dintre toate metodele testate în cadrul proiectului pilot pentru măsurarea săgeții cea mai precisă și sigură este metoda bazată pe măsurarea unghiului de înclinare a conductorului LEA (sub 5 cm) determinată de următoarele argumente:
- sistemul Nova OHLM folosește traductori de măsurare a unghiului de înclinare cu precizie foarte mare (sub $\pm 0,01^\circ$);
 - relațiile matematice sunt cunoscute în literatura tehnică și pot fi adaptate în funcție de situația reală de pe teren (distanța între stâlpi în secțiune, parametrii constructivi ai liniei etc.).
- 6) Pentru determinarea curentului prin conductorul LEA sistemul NOVA OHLM a permis folosirea a patru metode și anume:
- a) *metoda bazată pe măsurarea directă intensității curentului* prin conductorul LEA (în domeniul de măsură $0 \div 1500$ A/conductor sau $0 \div n \times 1500$ A/linie, unde n este numărul de conductoare/faza LEA);

b) *metode indirecte* bazate pe:

- măsurarea săgeții conductorului LEA și a parametrilor meteo (metodă folosită și la sistemele menționate la pct. c1);
- măsurarea temperaturii conductorului LEA și a parametrilor meteo (metodă folosită și la sistemele menționate la pct. c2);
- măsurarea forței de tracțiune în conductorul LEA și a parametrilor meteo (metodă folosită și la sistemul precizat la pct. c2).

Cea mai precisă și sigură metodă de determinare a temperaturii conductorului este cea bazată pe măsurarea directă.

7) Pentru determinarea temperaturii conductorului LEA sistemul NOVA OHLM a permis folosirea a minimum patru metode și anume:

a) *metoda bazată pe măsurarea directă a temperaturii* conductorului LEA, folosind 2 senzori de temperatură;

b) *metode indirecte* bazate pe:

- măsurarea săgeții conductorului LEA și a parametrilor meteo (metodă folosită și la sistemele menționate la pct. c1);
- măsurarea curentului prin conductorul LEA și a parametrilor meteo (metodă folosită și la sistemele menționate la pct. c2);
- măsurarea forței de tracțiune în conductorul LEA și a parametrilor meteo (metodă folosită și la sistemul CAT1 - SUA, precizată la pct. c2).

Cea mai precisă și sigură metodă de determinare a temperaturii conductorului este cea bazată pe măsurarea directă.

8) Experiența acumulată a confirmat opinia specialiștilor pe plan internațional, preluată în specificația tehnică a sistemului Nova OHLM și în norma tehnică a CNTEE Transelectrica SA, conform căreia monitorizarea on-line a parametrilor de funcționare a liniilor electrice trebuie să se bazeze pe măsurarea simultană a celor trei parametri principali (curentul prin conductorul LEA, temperatura conductorului LEA și respectiv înclinarea conductorului LEA) completată de măsurarea on-line a parametrilor mediului ambiant.

În acest fel se reduce la minim posibilele erori de evaluare mai ales în situațiile aplicării regimului DLR (Dynamic Line Rating) de exploatare a LEA.

9) Rezultatele obținute în cadrul proiectului pilot au confirmat faptul că sistemul inovativ NOVA OHLM de monitorizare on-line a liniilor electrice aeriene este un sistem performant, cel puțin la nivelul cerințelor tehnice și al performanțelor asigurate în prezent de cele mai evaluate sisteme similare pe plan internațional fabricate în SUA, Germania, Coreea de Sud, Spania s.a..

10) Măsurătorile on-line efectuate în stația 400/220/110 kV București Sud , pe LEA 400 kV București Sud - Pelicanu au demonstrat că sistemele de monitorizare NOVA OHLM și NOVA IZOMON pot fi folosite în scopuri multiple în rețelele electrice de transport, ca de exemplu:

- pentru monitorizarea on-line a parametrilor de funcționare a liniilor electrice aeriene de 110- 400 kV;
- pentru aplicarea conceptului Dynamic Line Rating în exploatarea eficientă a liniilor electrice existente;
- pentru monitorizarea on-line a stării tehnice a izolatoarelor electrice, pentru obținerea unor informații foarte utile despre solicitările combinate la care sunt supuse izolatoarele compozit etc.

6.7. Concluzii

Contribuția autorului tezei s-a materializat în realizarea sistemului OHLM destinat monitorizării on-line a liniilor electrice aeriene de 110 - 400 kV. Mai concret, având în vedere incidentele înregistrate pe unele LEA din rețeaua electrică de transport al energiei electrice, autorul tezei a fost parte a echipei de cercetare - CNTEE Transelectrica SA – Nova Industrial – Universitatea Politehnica Timișoara – Universitatea Politehnica București – ce a avut ca rol efectuarea unor măsurători inovative referitoare la identificarea modului în care solicitările combinate din exploatare (electrice, mecanice, termice, meteorologice, poluare etc.) influențează starea tehnică a izolatoarelor compozit din exploatare conducând la ruperea intempestivă a acestora. Cu această ocazie au putut fi identificate cu precizie nevoile monitorizării on-line a liniilor electrice aeriene și au putut fi finalizate cercetările în ceea ce privește arhitectura sistemului românesc de monitorizare, submodulele componente și rolul funcțional al fiecăruia.

De asemenea, autorul tezei a avut o contribuție semnificativă și în realizarea aplicației software, prin stabilirea parametrilor monitorizați și a pragurilor de alarmă pentru aceștia, prin stabilirea interfeței grafice de lucru cu operatorul și modul de afișare a parametrilor măsurați on-line.

Nu în ultimul rând, autorul tezei și-a adus aportul și la configurarea și parametrizarea sistemului de monitorizare.

Prin realizarea și montarea unui astfel de echipament se asigură informații despre parametrii de funcționare și stare tehnică ai liniei electrice aeriene monitorizate: starea de funcționare conectat / deconectat la / de la rețea, corespunde / nu corespunde normativelor de exploatare; condițiile de funcționare a LEA (curentul de sarcină, temperatura conductorului activ al LEA, săgeata/ gabaritul conductorului, forța de tracțiune a conductorului și a lanțului de izolatoare, oscilațiile conductorului etc.).

Sistemul OHLM de monitorizare este astfel realizat încât să poată face parte din sistemul integrat de tip Smart Grid de monitorizare și diagnoză on-line a stării tehnice momentane a liniilor electrice aeriene din Rețeaua Electrică de Transport.

Configurația și parametrizarea sistemului de monitorizare se va face individual în funcție de cerințele Utilizatorului.

Sistemul OHLM pentru monitorizarea on-line a parametrilor de funcționare și de stare tehnică ai LEA este compus din:

- Modulul montat pe conductorul LEA care conține;
 - senzorul de temperatură (2 buc.);
 - senzorul de înclinare;
 - senzorul de accelerație;
 - transformatorul de curent pentru măsură și autoalimentare cu energie electrică;
 - modulul electronic de măsură și prelucrare a datelor;
 - Senzorul de forță de tracțiune dinamometrică;
 - Videosagometrul pentru determinarea săgeții/gabaritului conductorului LEA;
 - Unitatea de achiziție, prelucrare și transmisie date la distanță (RTU);
 - Modulul GPS;
 - Modulul de comunicație: fibră optică, radio, GSM/GPRS;
- Aplicația software NOVA OHLM permite:
- stabilirea valorilor limită de prag sau/și condițiilor pentru parametrii monitorizați online: curent electric nominal prin conductorul de linie; temperatura nominală a conductorului de linie, săgeata maximă a conductorului, întinderea maximă a conductorului etc.;

- achiziția și prelucrarea online a datelor;
- generarea de avertismente/alarme în timp real, atunci când sunt depășite limitele admisibile ale parametrilor;
- stocarea datelor într-o bază de date locală (pentru o perioadă limitată de timp) și într-o bază de date server PC din centrul de management/monitorizare active (parametri de monitorizare, alarme/deplasări, valori limită sau/și condiții etc.);
- afișarea parametrilor măsurați online (monitorizați de la distanță), printr-o interfață web, folosind un browser de internet.

Pe plan național și internațional nu există standarde sau ghiduri de încercare / evaluare a izolatoarelor compozit la solicitări combinate. Așadar, pentru măsurarea și monitorizarea on-line a parametrilor de funcționare a liniei electrice 400 kV București Sud - Pelicanu și respectiv a curenților de scurgere pe lanțurile de izolatoare compozit de 400 kV s-au folosit:

- Sistemul Nova OHLM pentru monitorizarea on-line a liniilor electrice aeriene;
- Sistemul Nova Izomon pentru măsurarea și monitorizarea on-line a curenților de scurgere pe lanțurile de izolatoare de 400 kV.

Proiectul pilot, la realizarea căruia o contribuție importantă a avut-o elaboratorul tezei, reprezintă o premieră națională și internațională, întrucât s-au folosit sisteme de monitorizare on-line a parametrilor de funcționare a liniilor electrice aeriene (în cazul concret sistemul românesc NOVA OHLM) și respectiv sistemul de monitorizare on-line a curenților de scurgere pe lanțurile de izolatoare de 400 kV (sistemul NOVA IZOMON), ca soluție tehnică SMART GRID aplicată concret pentru rezolvarea unor probleme operative de diagnoza și management a liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune.

Sistemul NOVA OHLM folosit corespunde în totalitate cerințelor tehnice menționate în specificația tehnică și în Norma Tehnică Internă a CNTEE Transelectrica SA în ceea ce privește parametrii măsurați și precizia de măsură.

7. UTILIZAREA SISTEMULUI OHLM PENTRU APLICAREA TEHNOLOGIEI DE ÎNCĂRCARE DINAMICĂ A LEA

Capitolul de față are ca scop prezentarea datelor tehnice necesare aplicării regimului de încărcare dinamică a LEA (DLR) și a metodelor de stabilire a acestuia. În acest cadru sunt detaliate programele de calcul și etapele necesare aplicării regimului dinamic de încărcare a liniilor electrice aeriene, și anume:

- Obținerea informațiilor și a datelor preliminare pentru analiza posibilității și a condițiilor aplicării regimului dinamic de încărcare;
- Controlul veridicității valorilor parametrilor de funcționare ai liniei electrice aeriene măsurați on-line;
- Stabilirea tipului de regim dinamic de încărcare (DLR) a liniei electrice aeriene și limitele admisibile de funcționare a acesteia;
- Validarea regimului DLR.

Ultimul subcapitol detaliază condițiile pentru introducerea regimului DLR.

7.1. Date tehnice necesare aplicării regimului DLR

Așa cum s-a menționat în capitolul 4 al prezentei lucrări, curentul maxim admisibil termic și capacitatea termică a unei linii electrice aeriene de înaltă tensiune depind de mai mulți factori, așa cum se poate observa analizând caracteristicile specifice LEA 400 kV București Sud – Pelicanu:

- 1) producătorul conductorului liniei;
- 2) tipul constructiv al conductorului: ALOLN 450/75 mm²;
- 3) parametrii constructivi ai conductorului liniei (Figura 7.1.1):
 - a) greutatea conductorului: 1823,4/km;
 - b) sarcina la rupere: 164 kN;
 - c) capacitatea de transport a curentului calculată pentru următoarele condiții de mediu:
 - temperatura aerului ambiant: 20°C;
 - viteza vântului: 1 m/s;
 - radiația solară: 900 W/m²;
 - emisivitatea în raport cu un corp negru: 0,6;
 - coeficientul de absorbție solară: 0,5.

Se observă o diferență importantă între condițiile în care producătorul garantează parametrii de funcționare ai conductorului liniei și condițiile în care dispecerul aplică regimul static de încărcare a liniei electrice și anume:

- temperatura ambiantă: 35°C sau 40°C;
- viteza vântului: 0,6 m/s;

- direcția vântului: 90° față de conductor;
- radiația solară: 1.000 W/m^{NOVA};
- absorbivitatea conductorului: 0,6.

Conductoare din otel-aluminiu, conform SF 35/1999 ACSR, Aluminium Conductors Steel reinforced, according to SF 35/1999												
Tip conductor	Secțiune			Otel		Aluminiu		Conductor		Forța de rupere nominală	Rezistența electrică la 20 °C	Capacitatea de transport a curentului
	Aluminiu	Otel	Totală	Numar sarne	Diametru	Numar sarne	Diametru	Diametru	Masa			
Code	Cross sectional area			Steel		Aluminium		ACSR		Breaking Load	Resistance at 20 °C	Current carrying capacity
	AL.	ST.	ACSR	No. of Diameter wires	Diameter	No. of Diameter wires	Diameter	Weight				
	mm ²	mm ²	mm ²		mm		mm	mm	kg	N	Ohm/km	A
16/2.5	15.27	2.54	17.8	1	1.80	6	1.80	5.40	61.7	5800	1.8793	145
25/4	23.86	3.98	27.8	1	2.25	6	2.25	6.75	96.4	8950	1.2028	192
35/6	34.35	5.73	40.1	1	2.70	6	2.70	8.10	138.8	12370	0.8353	243
50/8	48.25	8.04	56.3	1	3.20	6	3.20	9.60	195.0	16810	0.5946	302
70/11	68.05	11.34	79.4	1	3.80	6	3.80	11.40	275.0	23360	0.4217	376
300/69	305.3	68.98	374.3	19	2.15	30	3.60	25.15	1384.7	129560	0.0947	1000
450/75	445.3	75.55	520.9	19	2.25	63	3.00	29.25	1823.4	164090	0.0649	1264
450/97	449.1	97.03	546.2	19	2.55	68	2.90	30.15	2002.5	186970	0.0644	1281
680/85	678.6	85.95	764.5	19	2.40	54	4.00	36.00	2550.8	206560	0.0426	1662

Capacitatea de transport a curentului, calculata pe baza urmatoarelor valori pentru conditiile de mediu (conform Publicatiei Comisiei Electrotehnice Internationale IEC 1597):

- 20 °C temperatura mediului ambiant;
- 900 W/m² intensitatea radiatiei solare;
- 1 m/s viteza vantului;
- 80 °C temperatura aluminiului;
- 0.6 emisivitatea in raport cu un corp negru;
- 0.5 coeficient de absorbtie solara;

Fig. 7.1.1. Parametrii constructivi ai conductorului LEA tip IPROEB ALOLN 450/75 mm²

7.2. Metode de stabilire a regimului DLR. Programe de calcul și studii de caz

Etapele necesare aplicării regimului dinamic de încărcare a liniilor electrice sunt următoarele:

Etapa 1. Obținerea informațiilor și a datelor preliminare pentru analiza posibilității și a condițiilor aplicării regimului dinamic de încărcare

a. Date generale despre linia electrica aeriană

- Denumire LEA;
- Lungimea liniei [km];
- Tip constructiv linie: linie simplu/dublu circuit;
- Numărul conductoare pe fază: 1/2/3/4;
- Tip constructiv conductor LEA;
- Tip constructiv de stâlp;
- Număr total stâlpi;
- Numărul sistemelor de monitorizare montate pe LEA;
- Numărul stâlpilor pe care se montează sistemul/ele de monitorizare;
- Stâlpul și faza sau fazele pe care se dispune sistemul de monitorizare.

b. Date despre parametrii de proiectare ai LEA

Tabelul 7.2.1. Parametrii de proiectare ai LEA

Nr. crt.	Parametrul	Unitate de măsură	Valoare inițială presetată
1	Înălțimea orizontală a conductorului		
2	Gabaritul minim admis		
3	Săgeata maxim admisă		
4	Forța de tracțiune în conductoare, care acționează și asupra izolatoarelor de întindere	Nominală	
		Maxim admisă	
6	Temperatura nominală de proiectare a LEA [°C], la funcționarea continuă și condițiile de mediu luate în considerare	Temperatura ambiantă	40
		Viteza vântului	≤0,6
		Direcția vântului	90
		Intensitatea radiației solare	1000
		Gabaritul LEA gabaritul minim admis	
7	Încărcarea nominală a LEA, pentru funcționarea de durată la temperatura nominală de proiectare a LEA		
8	Condiții de formare a chiciurii pe conductor	Condițiile meteo	
		Temperatura ambiantă	[°C] ≤ - 5
		Viteza vântului	[m/s] ≤0,6
		Umiditatea relativă a aerului ambiant	[°] 90
	Temperatura conductorului LEA		≤ 0
9	Oscilații eoliene de undă scurtă	Viteza vântului	
		Amplitudinea maximă vârf-vârf	≤ Dconductor
		Frecvența	4 - 120
		Numărul de bucle pe o deschidere	maxim 400
10	Oscilații de undă lungă (Galoparea conductorului)	Viteza vântului	[m/s] >15
		Amplitudinea maximă vârf-vârf	[m] 2 x săgeata
		Frecvența	[Hz] 0,1 - 0,75 Hz
		Numărul de bucle pe o deschidere	maxim 2

c. Date despre parametrii de funcționare și de stare ai LEA, măsurați și monitorizați on-line

În capitolul 5 s-a menționat faptul că sistemul de monitorizare on-line a liniilor electrice aeriene de înalta tensiune trebuie să asigure informații în timp real privind parametrii principali de funcționare a liniei electrice și a parametrilor de mediu absoluți necesari pentru aplicarea regimului dinamic de încărcare a liniilor electrice și anume:

- 1) parametrii de funcționare ai liniei electrice aeriene stabiliți pe bază de măsurători directe, on-line::
 - 1.1) curentul prin conductorul LEA;
 - 1.2) temperatura conductorului LEA;
 - 1.3) săgeata/gabaritul conductorului LEA;
 - 1.4) forță de tracțiune în conductorul LEA și în izolatoare;
 - 1.5) oscilațiile conductorului LEA;
 - 1.6) informații despre existența condițiilor de producere a chiciurii sau a depunerilor de chiciură/gheață pe conductoarele liniei.
- 2) parametrii mediului ambiant, stabiliți pe bază de măsurători on-line:
 - 2.1) temperatura mediului ambiant;
 - 2.2) viteza vântului;

- 2.3) direcția vântului în raport cu direcția conductorului LEA;
- 2.4) radiația solară.

d. Date despre aparatajul din stațiile de capăt ale liniei electrice, conectat direct la linie

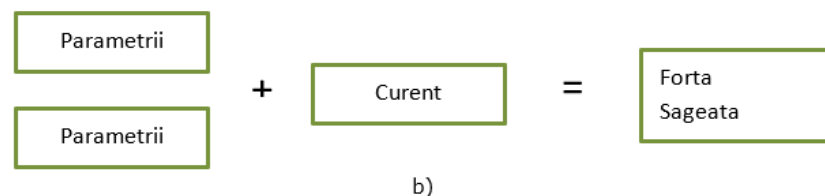
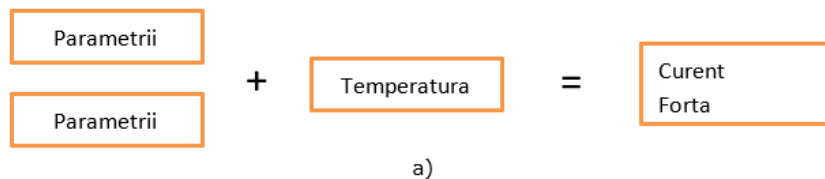
- 1) Transformatoarele de curent
 - 1.1) curentul primar nominal;
 - 1.2) curentul de încălzire sau curentul termic permanent nominal;
- 2) Întreruptoare
 - 2.1) curentul nominal în funcționarea continuă;
 - 2.2) curentul nominal de scurtă durată admisibil;
 - 2.3) curentul nominal de vârf admisibil;
- 3. Separatoare
 - 3.1) curentul nominal în funcționare continuă;
 - 3.2) curentul nominal de scurtă durată admisibil
- 4. Bare colectoare
 - 4.1) Curentul maxim de durată admisibil.

Etapa 2. Controlul veridicității valorilor parametrilor de funcționare ai liniei electrice aeriene măsurate on-line

În mod normal sistemul de monitorizare on-line trebuie să aibă un modul destinat special verificării prin calcul a veridicității parametrilor de funcționare ai liniei determinați pe bază de măsurători.

Există proceduri matematice cunoscute în literatura tehnică de specialitate care permit ca pe baza datelor rezultate la măsurarea unuia din parametri menționați la pct. c1 și respectiv a parametrilor mediului ambiant, să se calculeze valorile celorlalți doi parametri, astfel :

- a) cunoscând temperatura conductorului LEA și parametrii mediului ambiant se pot determina: intensitatea curentului prin conductor (tabelul 7.2.4) , săgeata conductorului și forța de tracțiune în conductor (Figura 7.2.1.a);
- b) cunoscând intensitatea curentului prin conductorul LEA și parametrii mediului ambiant se pot determina: temperatura și săgeata conductorului, respectiv forța de tracțiune în conductorul LEA (Figura 7.2.1.b);
- c) cunoscându-se forța de tracțiune în conductorul LEA și parametrii mediului ambiant se pot determina: intensitatea curentului prin conductor, temperatura și săgeata conductorului (Figura 7.2.1.c);
- d) cunoscând săgeata conductorului LEA și parametrii mediului ambiant se poate determina: intensitatea curentului prin conductor, temperatura conductorului și forța de tracțiune în conductor (Figura 7.2.1.d).



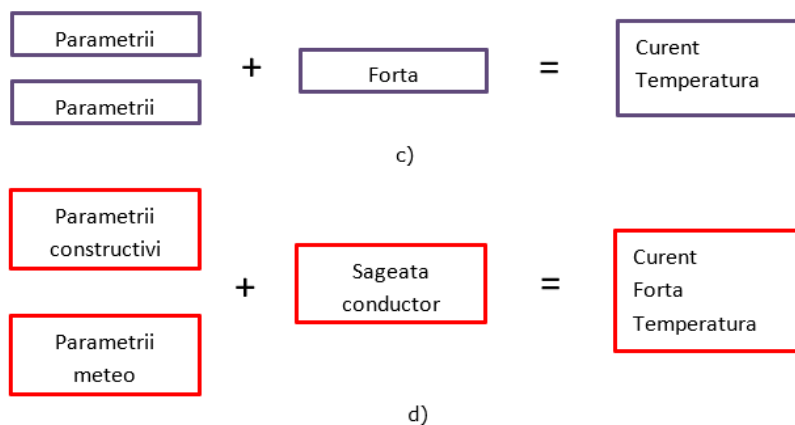


Fig. 7.2.1. Modalitatea de calcul pentru modulele de autotestare

1. Evaluarea stării termice în regim staționar pentru LEA

Ecuția echilibrului termic (aport de căldură = pierderi de căldură):

$$P_J + P_M + P_S + P_i = P_C + P_r + P_W \quad (7.2.1)$$

unde: P_J – aport unitar de căldură Joule; P_M – aport unitar suplimentar de căldură în C.A.; P_S – aport unitar de căldură solară; P_i – aport unitar de căldură corona.

$$P_{JM} + P_S = P_C + P_r \quad (7.2.2)$$

$$P_{JM} = k_{sk} \cdot I^2 R_{dc} \quad (7.2.3)$$

$$P_i = P_W \approx 0 \quad (7.2.4)$$

2. Evaluarea curentului maxim admisibil termic al unui conductor LEA tip Drake 26/7 ACAR, pentru temperatura de 100°C

Metoda de calcul este conform CIGRE Guide 324 și 601 [CIGRE2012], [CIGRE2014a].

□ Caracteristicile conductorului și condițiile mediului ambiant

	Proiecția ariei conductorului pe unitatea de lungime:	0,0281;
D	Diametrul exterior al conductorului [mm]:	28,1;
d	Diametrul firelor în stratul exterior [mm]:	4,44;
T	Temperatura maximă a conductorului liniei [°C]:	100;
ε	Emisivitatea:	0.50;
α_s	Absorbțivitatea solară:	0.50;
$R_{ac}(T_1)$	Rezistența conductorului la 25°C $\Omega \cdot m^{-1}$:	7.283×10^{-5} ;
$R_{ac}(T_2)$	Rezistența conductorului la 75°C $\Omega \cdot m^{-1}$:	8.688×10^{-5} ;
T_a	Temperatura aerului ambiant [°C]:	40;
T_s	Temperatura pe suprafața conductorului [°C];	
V	Viteza vântului [m/s]:	0.61;
δ	Unghiul de acțiune a vântului asupra conductorului [°]:	90;
β	Înclinația față de orizontală [°]:	0;
γ	Înălțimea față de nivelul mării [m]:	0;
γ_c	Azimutul liniei [°]:	90 E – W;
φ	Latitudinea [°]:	30 N +

Claritatea atmosferei:	Clară (Ns=1)
Data:	11 a.m., 10 Iunie
Reflectarea terenului (albedo)	Pădure (F = 0.1)

□ *Încălzirea LEA datorită radiației solare*

$$\text{Data: } 10.06. \text{ ora } 11 \quad (7.2.5)$$

$$N^* = 161 - \text{nr. zilei din an} \quad (7.2.6)$$

$$\begin{aligned} \delta_s &= 23.4 \cdot \sin\left[2 \cdot \pi \cdot (284 + N^*) / 365\right] = \\ &= 23.4 \cdot \sin\left[2 \cdot \pi \cdot (284 + 161) / 365\right] = 22.96^\circ \end{aligned} \quad \text{– declinația solară} \quad (7.2.7)$$

Declinația solară (d): unghiul pe care îl face direcția razei solare în locul considerat cu planul ecuatorial al bolții cerești.

$$\varphi = 30^\circ - \text{latitudine} \quad (7.2.8)$$

$$Z = 15 \times (12 - \text{ora}) = 15 \times (12 - 11) = -15 \quad \text{– unghiul solar al orei} \quad (7.2.9)$$

Unghi solar: este unghiul dintre direcția soarelui și planul determinat de axa pământului și direcția zenitului (verticala locului)

$$\begin{aligned} H_s &= \arcsin(\sin \varphi \cdot \sin \delta_s + \cos \varphi \cdot \cos \delta_s \cdot \cos Z) = \quad \text{– altitudine solară} \\ &= \arcsin(\sin 30^\circ \cdot \sin 23^\circ + \cos 30^\circ \cdot \cos 23^\circ \cdot \cos(-15^\circ)) = 74.8^\circ \end{aligned} \quad (7.2.10)$$

Altitudine solară: Unghiul dintre dreapta care unește centrul discului solar cu punctul de observație și planul orizontal care trece prin punctul de observație

$$\begin{aligned} \gamma_s &= \arcsin\left(\frac{\cos \delta_s \cdot \sin Z}{\cos H_s}\right) = \quad \text{– azimutul soarelui} \quad (7.2.11) \\ &= \arcsin\left(\frac{\cos 23^\circ \cdot \sin(-15^\circ)}{\cos 74.8^\circ}\right) = 65.6^\circ \end{aligned}$$

Azimut: Azimutul este unghiul în plan orizontal format de planul meridianului unui loc cu planul vertical care trece prin locul respectiv și printr-un punct de referință

$$\gamma_c = 90^\circ \quad \text{– azimutul conductorului} \quad (7.2.12)$$

$$\begin{aligned} \eta &= \arccos[\cos H_s \cdot \cos(\gamma_s - \gamma_c)] \quad \text{– unghi incidentă raze solare – conductor} \quad (7.2.13) \\ &= \arccos[\cos 74.8^\circ \cdot \cos(65.6^\circ - 90^\circ)] = 76.2^\circ \end{aligned}$$

□ *Intensitatea radiației solare directe I_B*

$$\begin{aligned} I_{B(0)} &= \frac{N_s \cdot 1280 \cdot \sin H_s}{\sin H_s + 0.314} = \quad \text{– intensitatea radiației solare directe } \gamma = 0 \quad (7.2.14) \\ &= \frac{1 \times 1280 \cdot \sin 74.8^\circ}{\sin 74.8^\circ + 0.314} = 965.75 \text{ W / m}^2 \end{aligned}$$

$$I_{B(y)} = I_{B(0)} \cdot \left[1 + 1.4 \times 10^{-4} \cdot y \cdot (1367 / I_{B(0)} - 1) \right] = \text{ - intensitatea radiației solare directe } \quad (7.2.15)$$

$$= 965.75 \cdot [1 + 0] = 965.75 \text{ W / m}^2$$

- Intensitatea radiației solare difuze I_d

$$I_d = (430.5 - 0.3288 \cdot I_{B(y)}) \cdot \sin H_s = \text{ - intensitatea radiației solare difuze}$$

$$= (430.5 - 0.3288 \times 965.75) \cdot \sin 74.8^\circ = 109 \text{ W / m}^2 \quad (7.2.16)$$

- Intensitatea radiației solare globale I_T

$$I_T = I_{B(y)} \cdot \left(\sin \eta + \frac{\pi}{2} \cdot F \cdot \sin H_s \right) + I_d \cdot \left(1 + \frac{\pi}{2} \cdot F \right) = \text{ - radiația solară globală (F = 0.1 - Albedo)}$$

$$= 965.75 \times \left(\sin 76.2^\circ + \frac{\pi}{2} \times 0.1 \times \sin 74.8^\circ \right) + 109 \times \left(1 + \frac{\pi}{2} \times 0.1 \right) = 1210 \text{ W / m}^2 \quad (7.2.17)$$

- Aportul unitar de căldură solară P_S

$$P_S = \alpha_S \cdot I_T \cdot D = 0.5 \times 1210 \times 0.0281 = 17 \text{ W / m} \quad \text{ - aport unitar căldură solară} \quad (7.2.18)$$

- Temperatura stratului de aer în contact cu suprafața conductorului atinsă după multe constante de timp de creștere - T_f

$$T_f = \frac{T_s + T_a}{2} = \frac{100 + 40}{2} = 70^\circ \text{C} \quad \text{ - aport unitar căldură solară} \quad (7.2.19)$$

- Conductivitatea termică radial efectivă, conductivitate termică a aerului la temperatura T_f - λ

$$\lambda_f = 2.368 \cdot 10^{-2} + 7.23 \cdot 10^{-5} \cdot T_f - 2.763 \cdot 10^{-8} \cdot T_f^2 = \quad (7.2.20)$$

$$= 2.368 \cdot 10^{-2} + 7.23 \cdot 10^{-5} \times 70 - 2.763 \cdot 10^{-8} \times 70^2 = 0.0286 \text{ W / K} \cdot \text{m}$$

$y = 0$ - înălțimea față de nivelul mării

- Densitatea aerului la o temperatură dată a suprafeței conductorului - γ

$$\gamma = \frac{1.293 - 1.525 \cdot 10^{-4} \cdot y + 6.379 \cdot 10^{-9} \cdot y^2}{1 + 0.00367 \cdot T_f} = 1.0287 \text{ kg / m}^3 \quad (7.2.21)$$

- Vâscozitatea dinamică a aerului la temperatura suprafeței conductorului T_f - μ_f

$$\mu_f = (17.239 + 4.635 \times 10^{-2} \times T_f - 2.03 \times 10^{-5} \times T_f^2) \times 10^{-6} = \quad (7.2.22)$$

$$= (17.239 + 4.635 \times 10^{-2} \times 70 - 2.03 \times 10^{-5} \times 70^2) \times 10^{-6} = 20.384 \times 10^{-6}$$

- *Vâscozitatea cinematică a aerului la temperatura suprafeței conductorului $T_f - \gamma_f$*

$$\nu_f = \mu_f / \gamma = 20.384 \times 10^{-6} / 1.0287 = 19.815 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2 \quad (7.2.23)$$

- *Rugozitatea suprafeței conductorului - R_s*

$$R_s = d / [2 / (D - d)] = 4.44 / [2 / (28.1 - 4.44)] = 0.0938 \quad (7.2.24)$$

unde:

D – diametrul total al conductorului;
 d – diametrul firului în stratul exterior.

- *Numărul Reynold - Re*

$$Re = V \cdot D / \nu_f = \frac{0.61 \times 28.1 \times 10^{-3}}{19.815 \times 10^{-6}} = 865 \quad (7.2.25)$$

unde V – viteza vântului [m/s].

Tabelul 7.2.2. Numărul lui Reynold pentru tipuri de conductoare

Conductoare drepte (bare)			Conductoare torsadate $R_s \leq 0.05$			Conductoare torsadate $R_s > 0.05$		
Re	B	n	Re	B	n	Re	B	n
35 - 50.000	0.583	0.471	100-2650	0.641	0.471	100-2650	0.641	0.471
5.000 - 50.000	0.148	0.633	2650-50.000	0.178	0.633	2650-50.000	0.048	0.800
50.000 - 200.000	0.0208	0.814						

Întrucât:

$$R_s > 0.05; \quad R_e < 2650 \Rightarrow B = 0.641; \quad n = 0.471 \quad (7.2.26)$$

- *Numărul Nusselt la unghi δ între direcția vântului și direcția conductorului liniei - Nu_δ*

- pentru conductoare elicoidale, $\delta \leq 24^\circ$

$$Nu_\delta = Nu_{90} \times [0.42 + 0.68 \times (\sin \delta)^{0.90}] \quad (7.2.27)$$

- pentru conductoare elicoidale, $\delta > 24^\circ$

$$Nu_\delta = Nu_{90} \times [0.42 + 0.58 \times (\sin \delta)^{0.90}] \quad (7.2.28)$$

- *Numărul Nusselt la unghi 90° de acțiune a vântului față de conductorului liniei - Nu_{90}*

$$Nu_{90} = B \cdot Re^n = 0.641 \times 865^{0.471} = 15.495 \quad (7.2.29)$$

- *Numărul Nusselt la unghi 90° de acțiune a vântului față de conductorului liniei - Nu_{90}*

$$\begin{aligned} Nu_\delta &= Nu_{90} \times [0.42 + 0.58 \times (\sin \delta)^{0.90}] = \\ &= 15.945 \times [0.42 + 0.58 \times (\sin 90)^{0.90}] = 15.945 \end{aligned} \quad (7.2.30)$$

- Pierderile unitare de căldură prin convecție sub acțiunea vântului – $P_{C,fortat}$

$$P_{C,fortat} = \pi \cdot \lambda_f \cdot (T_s - T_a) \cdot Nu_\delta = \pi \times 0.0286 \times (100 - 40) \times 15.495 = 83.53 \text{ W/m}$$

- Numărul Grashof – Gr

$$Gr = \frac{D^3 \cdot (T_s - T_a) \cdot g}{(T_f + 273) \cdot \nu_f^2} = \frac{28.1^3 \times (100 - 40) \times 9.807 \times 10^{-9}}{(70 + 273) \times (19.815 \times 10^{-6})^2} = 96.95 \times 10^3 \quad (7.2.31)$$

unde g – accelerația gravitațională (9.807 m/s^2).

- Numărul Prandtl – Pr

$$Pr = c_f \cdot \mu_f / \lambda_f = \frac{1005 \times 20.384 \times 10^{-6}}{0.0286} = 0.716 \quad (7.2.32)$$

- Produsul $Gr \cdot Pr$

Tabelul 7.2.3. Domeniul de mărime al produsului $Gr \cdot Pr$

Gr*Pr		A	m
Minim	Maxim		
10^{-1}	10^2	1.02	0.148
10^2	10^4	0.850	0.188
10^4	10^7	0.480	0.250
10^7	10^{12}	0.125	0.333

$$Gr \cdot Pr = 96.95 \times 10^3 \times 0.716 = 69.416 \times 10^3 \Rightarrow A = 0.480 ; m = 0.250 \quad (7.2.33)$$

- Numărul Nusselt la viteza 0 a vântului și poziție orizontală a conductorului – Nu_{nat}

$$Nu_{nat} = A \cdot (Gr \cdot Pr)^m = 0.480 \times 69.416^{0.250} = 7.79 \quad (7.2.34)$$

- Numărul Nusselt la unghi β de înclinare a conductorului față de orizontală – Nu_β

$$Nu_\beta = Nu_0 \cdot (1 - 1.76 \times 10^{-6} \cdot \beta^{2.5}) \quad (7.2.35)$$

pentru $\beta < 80^\circ$ și respectiv pentru conductoare elicoidale:

$$\begin{aligned} Nu_\beta &= Nu_{nat} \cdot (1 - 1.76 \times 10^{-6} \cdot \beta^{2.5}) = \\ &= 7.79 \times (1 - 1.76 \times 10^{-6} \cdot 80^{2.5}) = 7.79 \end{aligned} \quad (7.2.36)$$

unde Nu_0 – numărul Nusselt la unghi 0° de înclinare a conductorului față de orizontală.

- Pierderi unitare de căldură prin convecție la viteza zero a vântului – $P_{C,nat}$

$$\begin{aligned} P_{C,nat} &= \pi \cdot \lambda_f \cdot (T_s - T_a) \cdot Nu_\beta = \\ &= \pi \times 0.0286 \times (100 - 40) \times 7.79 = 49 \text{ W/m} \end{aligned} \quad (7.2.37)$$

□ Pierderile prin convecție la viteza 0 a vântului și poziție orizontală a conductorului

$$\begin{aligned} P_{C,nat} &= \pi \cdot \lambda_f \cdot (T_s - T_a) \cdot Nu_{nat} = \\ &= \pi \times 0.0286 \times (100 - 40) \times 7.79 = 49 \text{ W/m} \end{aligned} \quad (7.2.38)$$

$$P_c = \max(P_{c,fortata}; P_{c,nat}) = \max(83.53; 49.00) = 83.53 \text{ W/m} \quad (7.2.39)$$

□ Răcirea LEA datorită radiației termice (P_r – pierderi unitare de căldură prin radiație)

$$P_r = \pi \cdot D \cdot \sigma_B \cdot \varepsilon_s \cdot [(T_s + 273)^4 - (T_a + 273)^4] \quad (7.2.40)$$

unde: $\sigma_B = 5.6697 \times 10^{-8}$ – constanta Bolzman; $\varepsilon_s = 0.5$ – emisivitatea solară;
D – diametrul conductorului

$$\begin{aligned} P_r &= \pi \cdot D \cdot \sigma_B \cdot \varepsilon_s \cdot [(T_s + 273)^4 - (T_a + 273)^4] = \\ &= \pi \times 28.1 \times 10^{-3} \times 5.6697 \times 10^{-8} \times 0.5 \times [373^4 - 313^4] = 24.42 \text{ W/m} \end{aligned} \quad (7.2.41)$$

□ Calculul rezistenței electrice (rezistența în curent alternativ, specifică pe unitatea de lungime a conductorului LEA la temperatura T – $R_{ac}(T)$)

$$R_{ac}(T) = R_{ac}(T_1) + (T - T_1) \cdot \frac{R_{ac}(T_2) - R_{ac}(T_1)}{T_2 - T_1} \quad \Omega/\text{m} \quad (7.2.42)$$

$$\begin{aligned} R_{ac}(T) &= R_{ac}(T_1) + (T - T_1) \cdot \frac{R_{ac}(T_2) - R_{ac}(T_1)}{T_2 - T_1} = \\ &= 7.283 \times 10^{-5} + (100 - 25) \cdot \frac{8.688 \times 10^{-5} - 7.283 \times 10^{-5}}{75 - 25} = \\ &= 9.3905 \times 10^{-5} \quad \Omega/\text{m} \end{aligned} \quad (7.2.43)$$

□ Calculul curentului prin conductorul liniei

$$I = \sqrt{\frac{P_r + P_c - P_S}{R_{ac}}} = \sqrt{\frac{24.42 + 83.53 - 17}{9.3905 \times 10^{-5}}} = 984.140 \text{ A} \quad (7.2.44)$$

Etapa 3. Stabilirea tipului de regim dinamic de încărcare (DLR) și limitele admisibile de funcționare a liniei electrice aeriene

Scopul DLR: creșterea controlată a capacității de încărcare a liniei electrice aeriene în anumite condiții prestabilite și monitorizate on-line și anume:

a) Tipul DLR-ului :

- *scurt/de urgență* (Short Term Emergency – STE): 15 minute;
- *mediu* (Medium Term Emergency – MTE): 4 h;
- *lung* (Long Term Emergency – LTE): 24 h

Stabilind tipul DLR de fapt se stabilește durata de previzionare cu precizie crescută, responsabilă, a parametrilor mediului ambiant (perioada în care aceștia se mențin în anumite limite).

- b) Limitele parametrilor de funcționare a LEA în deplină siguranță
- 1) temperatura conductorului trebuie să fie sub temperatura nominală de proiectare a LEA (T_{npLEA}) [°C];
 - 2) gabaritul conductorului LEA trebuie să fie peste gabaritul limită minim al conductorului LEA stabilit de norme ($G_{limită}$): /săgeata conductorului liniei trebuie să fie mai mică față de săgeata maximă admisă;
 - 3) condițiile meteo pe perioada regimului DLR să fie mai bune sau egale față de cele previzionate.
- c) Limitele parametrilor de funcționare a aparatajului din stație (cerințe conform etapa nr. 1 pct. d).

Etapa nr. 4 Validarea regimului DLR

Un regim DLR de încărcare a unei linii electrice aeriene este validat dacă sunt îndeplinite simultan următoarele condiții:

- 1) Curentul de încărcare a LEA în regim DLR (IDLR) este mai mic decât curentul maxim admis pe LEA din punct de vedere termic și de aparatajul din stație înseriat cu LEA $I_{DLR} < I_{lim}$;
- 2) Temperatura de funcționare LEA (T_{fDLR}) $\leq (T_{ncLEA})$;
- 3) Gabaritul de funcționare LEA (G_{fDLR}) $< (G_{limita})$;

În tabelele nr. 7.2.4 – 7.2.9 sunt prezentate 6 (șase) exemple de aplicare a regimului dinamic de încărcare a unei linii electrice aeriene în funcție de parametrii previzionați ai mediului ambiant, pentru condiții inițiale prestabilite și anume:

- Curentul de încărcare maxim admis al conductorului liniei este de 1264 A;
- Curentul limită termic admis de aparatajul din stație, înseriat cu LEA, este de maxim 1000 A;
- Temperatura maximă a conductorului: 70°C (LEA neretehnologizată, cu conductor vechi);
- Săgeata conductorului maxim admisă: 8 m;
- Forța maximă de tracțiune a conductorului: 35 kN.

Caz 1: Se modifică temperatura ambiantă, curentul prin conductor rămâne constant $I = 760$ A iar ceilalți parametri de mediu rămân de asemenea constanți (tabelul 7.2.4):

- a. temperatura ambiantă: variabilă;
- b. viteza vântului: 0,6 m/s;
- c. direcția vântului: 90°;
- d. coeficientul de emisivitate: 0.5;
- e. coeficientul de absorbție: 0.5;
- d: radiația solară: 1120 W/m.

Tabelul 7.2.4. Exemplul 1 – aplicarea regimului DLR în funcție de parametrii previzionați ai mediului ambiant

Nr. crt.	Parametrul de funcționare	Valori									
1	Curentul prin conductorul LEA [A]	760 A									
2	Temperatura ambiantă [°C]	0	5	10	15	20	25	30	35	40	

Nr. crt.	Parametrul de funcționare	Valori									
3	Temperatura conductorului [°C]	31,7	36,1	40,5	45	49,4	53,8	58,3	62,7	67,2	
4	Săgeata conductorului [m]	6,017	6,186	6,353	6,523	6,688	6,851	7,017	7,177	7,339	
5	Forța de tracțiune a conductorului [kN]	34,287	33,36	32,487	31,647	30,873	30,143	29,438	28,737	28,157	

Caz 2: Se modifică viteza vântului, curentul prin conductor rămâne constant $I = 760$ A iar ceilalți parametri de mediu se mențin de asemenea constanți (tabel 7.2.5):

- temperatura ambiantă: 40 °C;
- viteza vântului: variabilă;
- direcția vântului față de conductorul LEA în secțiune: 90 °;
- coeficientul de emisivitate: 0.5;
- coeficientul de absorbție: 0.5;
- radiația solară: 1120 W/m.

Tabelul 7.2.5. Exemplul 2 – aplicarea regimului DLR în funcție de parametrii previzionați ai mediului ambiant

Nr. crt.	Parametrul de funcționare	Valori						
1	Curentul prin conductorul LEA [A]	760 A						
2	Viteza vântului [m/s]	0,6	1	5	10	15	20	
3	Temperatura conductorului [°C]	67,2	62,7	48,5	45,1	43,7	42,9	
4	Săgeata conductorului [m]	7,339	7,177	6,654	6,525	6,469	6,432	
5	Forța de tracțiune a conductorului [kN]	28,157	28,787	31,028	31,636	31,909	32,09	

Caz 3: Se modifică direcția vântului, curentul prin conductor rămâne constant $I = 760$ A iar ceilalți parametri de mediu rămân de asemenea constanți (tabel 7.2.6):

- temperatura ambiantă: 40 °C;
- viteza vântului: 0,6 m/s;
- direcția vântului: variabilă;
- coeficientul de emisivitate: 0.5;
- coeficientul de absorbție: 0.5;
- radiația solară: 1120 W/m.

Tabelul 7.2.6. Exemplul 3 – aplicarea regimului DLR în funcție de parametrii previzionați ai mediului ambiant

Nr. crt.	Parametrul de funcționare	Valori							
1	Curentul prin conductorul LEA [A]	760 A							
2	Direcția vântului [°]	90	75	60	45	30	15	0	
3	Temperatura conductorului [°C]	67,2	67,5	68,6	70,6	73,7	78,399	83,399	
4	Săgeata conductorului [m]	7,339	7,35	7,389	7,461	7,57	7,735	7,909	
5	Forța de tracțiune a conductorului [kN]	28,157	28,126	27,968	27,703	27,305	26,729	26,15	
								Alarmă conductor	

Temperatura conductorului este mai mare decât temperatura limită admisă (70°C la LEA vechi).

Caz 4: Regim DLR: se modifică curentul prin conductor și temperatura mediului ambiant, direcția vântului 90° iar ceilalți parametri de mediu rămân constanți (tabel 7.2.7):

- temperatura ambiantă: variabilă;
- viteza vântului: 0,6 m/s;
- direcția vântului: 90°;
- coeficientul de emisivitate: 0.5;
- coeficientul de absorbție: 0.5;
- radiația solară: 1120 W/m.

Tabelul 7.2.7. Exemplul 4 – aplicarea regimului DLR în funcție de parametrii previzionați ai mediului ambiant

Nr. crt.	Parametrul de funcționare	Valori									
		40	35	30	25	20	15	10	5	0	
1	Temperatura mediului ambiant [°]	40	35	30	25	20	15	10	5	0	
2	Curentul prin conductorul LEA [A]	760	810	870	925	970	1020	1062	1100	1150	
3	Temperatura conductorului [°C]	67,2	65	63,5	62	60,3	58,9	57,3	55,6	54,8	
4	Săgeata conductorului [m]	7,339	7,26	7,206	7,152	7,09	7,039	6,98	6,918	6,888	
5	Forța de tracțiune a conductorului [kN]	28,157	28,461	28,672	28,888	29,138	29,347	29,591	29,856	29,983	
							Alarma aparataj				

În acest exemplu s-a stabilit un curent limită termic de 1000 A determinat de caracteristicile limită termice ale aparatajului din stație inserat cu LEA (transformatorul de curent, întreruptorul, separatorul, barele colectoare).

Caz 5: Regim DLR: se modifică curentul prin conductor și temperatura mediului ambiant, direcția vântului 45° și ceilalți parametri de mediu constanți (tabel 7.2.8):

- temperatura ambiantă: variabilă;
- viteza vântului: 0,6 m/s;
- direcția vântului: 45°;
- coeficientul de emisivitate: 0.5;
- coeficientul de absorbție: 0.5;
- radiația solară: 1120 W/m.

Tabelul 7.2.8. Exemplul 5 – aplicarea regimului DLR în funcție de parametrii previzionați ai mediului ambiant

Nr. crt.	Parametrul de funcționare	Valori									
		40	35	30	25	20	15	10	5	0	
1	Temperatura mediului ambiant [°]	40	35	30	25	20	15	10	5	0	
2	Direcția vântului [°]	90									
3	Curentul prin conductorul LEA [A]	760	855	940	1020	1090	1160	1220	1280	1337	
4	Temperatura conductorului [°C]	67,2	67,1	67,1	67,2	67,1	67,2	67,1	67,1	67,2	
5	Săgeata conductorului [m]	7,339	7,336	7,336	7,339	7,336	7,339	7,336	7,336	7,339	
6	Forța de tracțiune a conductorului [kN]	28,157	28,17	28,17	28,157	28,17	28,157	28,17	28,17	28,157	
					Alarma temperatură aparataj				Alarma temperatură conductor		

Caz 6: DLR: se modifică curentul prin conductorul LEA și temperatura mediului ambiant, direcția vântului 45° și ceilalți parametri de mediu constanți (tabel 7.2.9):

- a. temperatura ambianța: variabilă;
- b. viteza vântului: 0,6 m/s;
- c. direcția vântului: 45°;
- d. coeficientul emisivitate: 0.5;
- e. coeficient absorbție: 0.5;
- d. radiația solară: 1120 W/m.

Tabelul 7.2.9. Exemplul 6 – aplicarea regimului DLR în funcție de parametrii previzionați ai mediului ambiant

Nr. crt.	Parametrul de funcționare	Valori							
		40	35	30	25	20	10	10	0
1	Temperatura mediului ambiant [°]	40	35	30	25	20	10	10	0
2	Direcția vântului [°]	45							
3	Curentul prin conductorul LEA [A]	685	778	861	935	1003	1020	1125	1234
4	Temperatura conductorului [°C]	67,2	67,2	67,2	67,2	67,2	67,2	67,2	67,2
5	Săgeata conductorului [m]	7,339	7,339	7,339	7,339	7,339	7,339	7,339	7,339
6	Forța de tracțiune a conductorului [kN]	28,157	28,157	28,157	28,157	28,157	28,157	28,157	28,157
						Alarma aparataj			Alarma conductor

7.3. Condițiile pentru introducerea regimului DLR

Experiența internațională recomandă îndeplinirea următoarelor condiții pentru aplicarea în mod curent a regimului dinamic de încărcare a liniilor electrice aeriene din sistemul de transport a energiei electrice:

1. Parametrii de funcționare ai liniei sunt măsurați și monitorizați on-line;
2. Aplicarea regimului DLR este avizată tehnic de factorii implicați în operarea sistemului de transport al energiei electrice, condițiile pentru emiterea avizului favorabil fiind următoarele:
 - Se cunoaște temperatura de proiectare a LEA (T_p) la care este posibil regimul DLR;
 - Se cunoaște curentul corespunzător încărcării nominale a LEA (I_{nLEA});
 - Se cunoaște curentul limită maxim (I_{limax}); admisibil corespunzător funcționării de durată a aparatajului primar (din stațiile electrice conectat la LEA) și a LEA, în deplină siguranță;
 - Caracteristicile tehnice și starea tehnică a aparatajului primar (întreruptoare, separatoare, transformatoare de curent, bare de racord) din stațiile electrice racordate la LEA, permit regimul DLR:
 - funcționarea în regim DLR nu afectează starea tehnică și de funcționare a aparatajului primar pe toată durata DLR;
 - starea tehnică corespunzătoare pentru aparatajul primar;

- Starea tehnică a componentelor LEA, care pot afecta funcționarea în regim DLR, este corespunzătoare:
 - conductoare;
 - mufe/conexiuni;
 - lanțuri de izolatoare;
 - Protecțiile - reglajul protecțiilor permite funcționarea în regim DLR .
3. Curentul prin conductorul liniei nu depășește capacitatea maximă de încărcare precizată de producătorul conductorului (în caz contrar temperatura conductorului ar depăși limitele la care săgeata/gabaritul la sol nu se încadrează în limitele admisibile și/sau lubrifianțul și-ar modifica starea (s-ar topi, și prin aceasta ar crește frecarea între firele de conductoare și firul de oțel, ducând în final la ruperea lor);
 4. Gabaritul conductorului LEA față de sol /săgeata conductorului se menține în limitele admisibile pentru funcționarea în deplină siguranță față de oameni, utilaje, construcții sau instalații;
 5. Forța de tracțiune în conductor și izolatoarele de întindere este sub forța de rupere (a conductorului sau a izolatorului).
 6. Pentru echipamentele primare înseriate cu linia electrică (din stațiile de capăt, de racord a unei linii electrice aeriene) transformatoare de curent, întreruptoare, separatoare, bare colectoare curentul nominal sau curentul limita termic trebuie să fie sub curentul de încărcare a liniei.

7.4. Concluzii

Curentul maxim admisibil termic și capacitatea termică a unei linii electrice aeriene de înaltă tensiune depind de caracteristicile tehnice specifice ale unei LEA: producătorul conductorului liniei, tipul conductorului și parametrii constructivi ai acestuia.

Se observă o diferență importantă între condițiile în care producătorul garantează parametrii de funcționare ai conductorului liniei și condițiile în care dispecerul aplică regimul static de încărcare al liniei electrice respective: temperatura ambiantă, viteza vântului, direcția vântului, radiația solară și absorbivitatea conductorului.

Etapele necesare aplicării regimului dinamic de încărcare a liniilor electrice aeriene sunt următoarele:

- Obținerea informațiilor și a datelor preliminare pentru analiza posibilității și a condițiilor aplicării regimului dinamic de încărcare;
- Controlul veridicității valorilor parametrilor de funcționare ai liniei electrice aeriene măsurați on-line;
- Stabilirea tipului de regim dinamic de încărcare (DLR) a liniei electrice aeriene și limitele admisibile de funcționare a acesteia;
- Validarea regimului DLR.

În ceea ce privește contribuția autorului tezei, aceasta a constat în setarea metodelor de stabilire a regimului DLR și realizarea studiilor de caz. În acest sens, într-un prim pas au fost concatenate datele generale despre linia electrică aeriană și despre parametrii de proiectare ai acesteia, datele despre parametrii de funcționare și de stare ai LEA, măsurați și monitorizați on-line, precum și datele despre aparatajul din stațiile de capăt ale liniei electrice, conectat direct la linie.

În al doilea rând, prin utilizarea procedurilor matematice cunoscute în literatura de specialitate, autorul tezei împreună cu echipa de cercetare, au determinat modalitatea de calcul pentru modulele de autotestare care sunt parte componentă a sistemului de monitorizare on-line. De asemenea, au fost făcute evaluări ale curentului maxim admisibil termic al unui conductor LEA, la o anumită temperatură, în funcție de caracteristicile constructive ale LEA, de intensitatea radiației solare, conductivitatea termică radial efectivă, densitatea și vâscozitatea aerului și rugozitatea suprafeței conductorului

Nu în ultimul rând, aportul autorului tezei a fost concretizat în realizarea unor studii de caz care să valideze regimul DLR, pornind de la următoarele condiții: curentul de încărcare a LEA în regim DLR să fie mai mic decât curentul maxim admis din punct de vedere termic pe LEA și de aparatajul din stație; temperatura de funcționare a LEA în regim DLR să fie mai mică decât temperatura nominală a conductorului LEA; gabaritul de funcționare al LEA în regim DLR să fie mai mic decât gabaritul limită admis pentru LEA.

8. CONCLUZII GENERALE ȘI CONTRIBUȚII

Ultimul capitol sintetizează o serie de concluzii cu caracter mai general rezultate în urma elaborării tezei de doctorat, contribuțiile originale prezentate în cadrul tezei, modul de valorificare a rezultatelor teoretice și practice obținute și direcțiile posibile de continuare și aprofundare a cercetărilor în domeniul abordat.

8.1. Concluzii generale

Elementele teoretice și aspectele practice discutate în cadrul tezei de doctorat permit evidențierea unor concluzii cu caracter mai general:

1. Pe perioada exploatării liniilor electrice aeriene (LEA) de înaltă tensiune apar o multitudine de defecte datorită diferitelor cauze, dintre care se menționează:
 - declanșări datorită condițiilor climatice grele;
 - defectări ale componentelor LEA pentru care nu s-au avut stocări și procesări de informații detaliate despre mediul înconjurător și despre starea lor (precum stâlpi, conductoare active, lanțuri de izolatoare etc.);
 - defectiuni ale liniilor supuse în anumite perioade ale anului unor eforturi mecanice deosebite datorate condițiilor climatice extrem de dure (vânt puternic, chiciură, temperaturi foarte scăzute).

Multe din defectele din cauzele menționate de multe ori nu sunt identificate imediat, ele fiind depistate și diagnosticate în urma unor investigații aprofundate și de durată
2. Monitorizarea on-line a parametrilor de funcționare a LEA este determinată de necesitatea rezolvării unor probleme importante pentru sistemul energetic național (SEN), ca de exemplu :
 - cunoașterea cât mai repede posibil unde și când a apărut o problemă;
 - optimizarea activității de mentenanță sub aspect tehnic și economic;
 - optimizarea costurilor de exploatare cu LEA;
 - prevenirea evenimentelor accidentale grave cu repercusiuni deosebite de natură tehnico-economică și umană;
 - crearea unei baze de date în vederea aprecierii stării tehnice, precum și a duratei tehnice de viață a LEA;
 - optimizarea capacității de transport.
3. Realizarea rețelelor inteligente/ Smart Grid este considerată o acțiune de importanță deosebită pentru securitatea și siguranța energetică a unei țări, pentru dezvoltarea economică durabilă, pentru creșterea numărului locurilor de muncă, pentru reducerea impactului schimbărilor climatice. Din această cauză planurile strategice Smart Grid și investițiile aferente sunt coordonate de Guvernele fiecăreia din țări (de ex. SUA, Canada, Japonia, China, Franța etc.).

4. Dintre direcțiile de acțiune, general aplicate în țările care acționează de mai mulți ani pentru implementarea rețelelor inteligente, se menționează ca fiind cele mai răspândite acelea care au în vedere implementarea:
 - sistemelor de monitorizare și diagnoză a echipamentelor și a liniilor electrice de înaltă tensiune din rețelele de transport (pentru controlul stării tehnice în timp real a rețelelor);
 - sistemelor de măsurare pe arie largă bazate pe tehnologia sincrofazorilor;
 - sistemelor inteligente de control a calității și consumului de energie electrică.
5. Echipamentele inteligente de monitorizare on-line a liniilor electrice de înaltă tensiune au scopul de a face accesibil controlul individual al parametrilor de funcționare și de stare a liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune, în timp real și pe durate nelimitate; de asemenea, ele trebuie să cuprindă proceduri standard pentru prelucrarea datelor pe intervale mari de timp și să ofere posibilitatea conectării într-un sistem ierarhic superior care asigură managementul activelor și al riscurilor.

Trebuie să permită oricând, cu ușurință, verificarea încadrării parametrilor de funcționare a liniilor electrice de înalta tensiune în valorile admisibile.
6. Una din cele mai dificile probleme ale managementului activelor este determinată de complexitatea corelării între costuri și calitate - în special separarea efectelor economice de cele tehnice.
7. Analiza costurilor operatorilor rețelelor electrice de transport al energiei electrice scoate în evidență faptul că cel mai mare potențial pentru creșterea eficienței este optimizarea aspectelor legate de starea tehnică a componentelor sistemului (principala contribuție la costul de capital) și respectiv menținerea echipamentelor și a liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune în stare tehnică corespunzătoare pe o durată de timp cât mai mare, peste durata lor de viață standard (principala contribuție la costurile de operare).
8. Optimizarea capacității de transport implică trecerea de la tehnologia de încărcare statică la tehnologia de încărcare dinamică (DLR) și nu se poate face decât folosind sisteme de monitorizare on-line, în timp real, a parametrilor de funcționare a liniilor electrice și respectiv a parametrilor mediului ambiant în care LEA funcționează.
9. Folosirea echipamentelor și sistemelor inteligente de monitorizare on-line a liniilor electrice aeriene de înalta tensiune deschide calea rețelelor inteligente, aduce un model complet nou și complex de interrelaționare, care reprezintă o provocare pentru punerea în aplicare a legislației privind protecția datelor. În statele membre ale UE există păreri foarte diferite pe această temă, atât în ceea ce privește evoluția implementării, precum și modalitățile de aprovizionare cu energie, care complică și mai mult situația.
10. Pentru reducerea costurilor de exploatare, ușurarea evaluării opțiunilor de mentenanță și respectiv pentru reducerea la minimum posibil a riscului nelivrării energiei la consumatori sau a livrării energiei electrice la nivel calitativ sub standarde sau sub prevederile contractuale, sistemul de management conceput în cadrul lucrării se bazează pe folosirea echipamente inteligente și a unor programe software dedicate și performanțe pentru:
 - evaluarea prin măsurători on-line a parametrilor de funcționare a liniilor electrice aeriene de înalta tensiune;
 - creșterea capacității de transport a liniilor electrice aeriene existente folosind regimul dinamic de încărcare, în locul regimului de încărcare static;

- identificarea riscului în furnizarea continuă și la parametrii impuși a energiei electrice la consumatorii finali;
- determinarea necesității și a urgenței lucrărilor de mentenanță sau reparații a liniilor electrice aeriene, monitorizate on-line;
- stabilirea ordinii de prioritate a lucrărilor de mentenanță;
- realizarea bazei de date informatizate.

8.2. Contribuțiile principale ale autorului

Dintre contribuțiile principale ale autorului în cadrul tezei se menționează:

1. Cercetarea bibliografică, analiza critică și sistematizarea materialului informativ existent în literatura de specialitate privind măsurarea și monitorizarea on-line a parametrilor de funcționare și de stare a liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune, evidențiind actualitatea temei, domeniile noi de cercetare în conformitate cu directivele Comisiei Europene privind introducerea rețelelor inteligente bazate pe monitorizarea on-line a rețelelor electrice de transport și distribuție a energiei electrice de la producător la consumatorii locali, scoțând în evidență perturbațiile care pot afecta grav funcționarea liniilor electrice, sintetizând condițiile pentru achiziția și prelucrarea datelor care definesc parametrii de funcționare și de stare a liniilor electrice de înalta tensiune, studiu bazat pe informațiile conținute în peste 140 de referințe bibliografice.
2. Pe baza cercetărilor bibliografice și a experienței îndelungate în domeniu, autorul a elaborat specificația tehnică care stă la baza realizării, în premieră în România, a sistemului de măsurare și monitorizare on-line a liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune, în conformitate cu cerințele și realizările actuale pe plan internațional.
3. În cadrul lucrării a fost realizată o concepție proprie privind managementul funcționării și al încărcării liniilor electrice aeriene de înalta tensiune, din sistemul de transport al energiei electrice, care asigură:
 - adaptarea la schimbările instituționale determinate de politica națională și a CNTEE Transelectrica SĂ în domeniul Smart Grid ;
 - maximizarea disponibilității rețelei de transport a energiei electrice prin trecerea la regimul dinamic de încărcare în locul regimului static actual;
 - fundamentarea deciziilor de exploatare, mentenanță și/sau rețehnologizare;
 - creșterea fiabilității liniilor electrice aeriene și a siguranței în funcționare;
 - crearea unei strategii coerente de identificare, evaluare, tratare și administrare a riscurilor prin introducerea sistemelor de monitorizare a liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune din rețeaua electrică de transport;
 - asigurarea datelor și informațiilor specifice, necesare implementării în viitorul apropiat a managementului riscului în exploatarea liniilor electrice aeriene;
 - crearea și optimizarea fluxurilor informaționale necesare activităților și asigurarea unui feedback corespunzător;
 - asigurarea interfețelor între entități diferite;
 - identificarea, controlul și optimizarea costurilor;
 - stabilirea măsurilor eficiente de îmbunătățire a performanțelor.

4. Pe baza cercetărilor efectuate autorul, în colaborare cu o echipă de specialiști în domenii specifice: electronică industrială, automată, informatică, telecomunicații, a realizat, testat, experimentat și folosit în instalațiile CNTEE Transelectrica SA sistemul Nova OHLM destinat măsurării și monitorizării on-line parametrilor de funcționare și de stare a liniilor electrice aeriene. Sistemul NOVA OHLM este un sistem original, ultraperformant și sigur întrucât măsoară simultan (comparativ cu alte sisteme dezvoltate pe plan internațional) toți parametrii care definesc funcționarea unei linii electrice aeriene și verifică prin calcul veridicitatea datelor achiziționate:
- curentul prin conductorul liniei și pe linie;
 - temperatura conductorului liniei;
 - înclinarea (săgeata/gabaritul) conductorului liniei;
 - forță de tracțiune a conductorului liniei/forță în lanțurile izolatoarelor de întindere;
 - oscilațiile conductorului liniei;
 - parametrii mediului ambiant etc.
5. Sistemul inovativ NOVA OHLM conceput cu aportul personal al autorului tezei, s-a dovedit a fi corespunzător cerințelor standardelor internaționale, fiabil și util beneficiarilor, el fiind deja testat cu rezultate foarte bune la Proiectul Pilot al CNTEE Transelectrica SA privind monitorizarea on-line a liniei electrice aeriene de 400 kV București Sud – Pelicanu și respectiv monitorizarea on-line a curenților de scurgere pe lanțuri de izolatoare compozit de 400 kV de pe linia menționată. Monitorizarea on-line a curenților de scurgere pe lanțurile de izolatoare de 400 kV s-a făcut folosind sistemul performant NOVA IZOMON.
6. Este o premieră națională și internațională, folosirea simultană a sistemului de monitorizare on-line a liniei electrice aeriene și a sistemului de monitorizare on-line a curenților de scurgere pe lanțurile de izolatoare de înaltă tensiune aferente unei linii, pentru diagnoza și stabilirea cauzelor ruperii intempestive a mai multor lanțuri de izolatoare de pe linia respectivă.

Rezultatele obținute au fost și vor fi valorificate în cadrul Operatorului de Transport și de Sistem din România – CNTEE Transelectrica SA – principalul beneficiar al unor astfel de sisteme de monitorizare on-line. Proiectele noi de investiții, constând în realizarea de linii electrice aeriene noi, inițiate mai ales în zona Banat, cuprind în caietele de sarcini și echiparea liniilor cu sisteme de monitorizare on-line. De asemenea, liniile existente de interconexiune și cele care asigură evacuarea energiei electrice produsă în zona Dobrogei, urmează a fi echipate cu astfel de sisteme de monitorizare a parametrilor LEA.

Așa cum rezultă din lista lucrărilor proprii de la finele tezei, activitatea de pregătire prealabilă a doctorandului și rezultatele obținute în perioada de elaborare a lucrării au fost valorificate prin 9 lucrări indexate ISI [Iaco2015a], [Iaco2015b], [Iaco2017b], [Iaco2017c], [Iaco2017d], [Iaco2018a], [Iaco2019a], [Iaco2019b], [Iaco2020], 3 lucrări indexate în alte baze de date internaționale (BDI) [Iaco2018b], [Iaco2020], [Mold2021], 8 lucrări publicate în volumele unor manifestări științifice internaționale [Ghit2016a], [Ghit2016b], [Iaco2017a], [Mate2017], [Marc2017], [Mold2016], [Roma2017], [Talp2017] și 2 rapoarte științifice realizate în procesul elaborării tezei de doctorat.

8.3. Perspectivele dezvoltării și aplicării rezultatelor cercetării

Teza de doctorat, împreună cu alte concepte analizate în acest context, oferă perspectiva inițierii și dezvoltării unei noi Platforme de Management Energetic al SEN (EMP – Energy Management Platform), cu scopul de a asigura o platformă informatică modernă, unitară și integrată pentru managementul operațional al SEN la un nivel de performanță și fiabilitate în acord cu standardele contemporane pe plan mondial, cu următoarele obiective majore:

- Înlocuirea sistemului EMS/SCADA existent cu un sistem integrat într-o soluție complexă de tip EMP;
- Îmbunătățirea achiziției de date aferente EMS/SCADA, pentru a extinde gradul de vizibilitate al rețelei și al echipamentelor din SEN. Acest lucru se realizează prin:
 - Finalizarea instalării de conductoare OPGW/OPUG în rețeaua de transport a CNTEE Transelectrica SA și către toate obiectivele cu rol semnificativ din SEN;
 - Extinderea gamei de *dispozitive de monitorizare* dezvoltate în teza de față și înregistrare în nodurile (stațiile) rețelei, dispozitive aferente noului modul EMS/SCADA din cadrul EMP. *Acest obiectiv ar putea necesita noi cercetări și privind montarea unor dispozitive și echipamente inteligente suplimentare, un nivel sporit de integrare sau interfațare a echipamentelor de automatizare și/sau modernizarea dispozitivelor și echipamentelor de măsurare existente în prezent în stații.* De asemenea, achiziția de date de la operatorii de distribuție va necesita studii privind îmbunătățirea performanțelor sistemului SCADA/EMS precum și cele ale activității operaționale.
 - Îmbunătățirea conținutului de informații în cadrul achiziției de date, creșterea vitezei schimbului de date și a ștampilei de timp a datelor (înregistrării) și ridicarea nivelului securității schimbului de date. În mod previzibil acest lucru se va realiza prin conceperea unor protocoale noi aferente achiziției de date, care funcțional să fie mai performante decât cele folosite în prezent. Este posibil ca acest proces de înlocuire să necesite furnizarea unor echipamente de telecomunicații noi și totodată să implice și modernizarea interfețelor digitale la nivelul dispozitivelor inteligente din stații (IED).
- Îmbunătățirea comunicațiilor cu sistemele și O.T.S. vecini și cu participanții la piață, cu centrele europene de coordonare din interconexiunea ENTSO-E, atât din punct de vedere al volumului de date cât și al vitezei schimbului de date, pe principiul unei arhitecturi software de tip "service oriented" (componente soft și aplicații interoperabile, cu funcționalități multiple, care permit dezvoltarea și integrarea sistemului/sistemelor).
- Platforma informatică integrată va trebui să asigure:
 - dezvoltarea unui modul independent EMS/SCADA;
 - dezvoltarea unui modul independent aferent pieței de echilibrare și al serviciilor de sistem;
 - dezvoltarea unui modul independent aferent Sistemului de telecontrol al pieții angro de energie electrică (STPA), cu modernizarea, dezvoltarea sau adaptarea sistemului existent;

- dezvoltarea unui modul independent aferent sistemului PMU;
- dezvoltarea unui modul independent de interfațare a EMP cu Sistemul de monitorizare a calității energiei electrice (SMCENEL), cu modernizarea acestuia;
- integrarea sau interfațarea modulelor componente ale EMP;
- implementarea celor mai performante și mature standarde, tehnologii, echipamente și sisteme;
- implementarea unor interfețe moderne pentru schimbul de date între module și de acces la date și informații pentru clienții acestei platforme (atât clienți interni cât și externi);
- modernizarea, după caz, a spațiilor tehnologice și a camerelor operatorilor centrelor de dispecer, centrului de management al datelor OMEPA, inclusiv asigurarea soluțiilor care îmbunătățesc condițiile de muncă ale personalului UNO-DEN, OMEPA;
- implementarea conceptelor de redundanță hardware și software, de back-up și Disaster - Recovery pentru fiecare modul component.

În concluzie, teza de față constituie un serios punct de plecare pentru dezvoltarea cercetărilor privind realizarea noii platforme de management energetic, dezvoltarea SMART Grid în România și implementarea conceptului de digitalizare a sistemului energetic național.

Bibliografie

- [1] [Aiva2010] Aivaliotis S., Dynamic line ratings for optimal and reliable power flow. Enhanced power flow for the Smart Grid, FERC Technical Conference, 2010
- [2] [Albi2005] Albizu I. ş.a., Methods for increasing the rating of overhead lines, IEEE Power Tech Russia, 2005, pp.1-6
- [3] [Ange2002] Angell D., Asset management applied at Utilities. Document Con Edison, Weidmann ACTI Conference, Las Vegas, Nevada, November 8, 2002
- [4] [Arte2015] Artech, Temperature measurement sensor for H.V lines SMT, 2015, www.artech.com
- [5] [Astr2014] Astroze, Autonomous sensor network for condition monitoring of power lines, <https://www.enas.fraunhofer.de> > exponate
- [6] [Bamb2006] Bamberger Y. ş.a., Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future: European Technology Platform Smart Grids, Office for Official Publications of the European Communities, Research, Energy nr. EUR 22040
- [7] [Barth2008] Barthold L.O., Maximizing the capability of existing ac transmission lines, CIGRE Session 2008, paper B2.109
- [8] [Barto2008] Bartolomeo E., Increasing capacity of two italian lines by the adoption of devices for monitoring environmental conditions and conductors temperature or by using high-temperature conductors, CIGRE Session 2008, paper B2.202.
- [9] [Bodr2004] Bodrogi F. ş.a., Evaluation methods and key performance indicators for transmission maintenance, CIGRE Session 2004, Raport C 2-201
- [10] [Bond2008] Bondarenko A. ş.a., OHL condition monitoring and engineering solutions of capacity increase to admissible maximum, International Conference on Monitoring and Diagnosis, 2008, pp.696-700
- [11] [Brow2021] Brown G., Asset management plan Top Energy New Zealand, Top Energy, 2021
- [12] [Chan2014] Chandrpal S., s.a., Power Donuts in overhead lines for dynamic thermal rating measurement, prediction and electric power line monitoring, International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, nr.5, 2014, pp.9394-9400
- [13] [Chay2006] Chay M.T., s.a., Wind loads on transmission line structures in simulated downbursts, 1st World Congress on Asset Management, Australia, 2006, pp.1-6
- [14] [Chis1989] Chisholm W.A., Barrett J.S., Ampacity studies on 49°C – rated transmission line, IEEE Transactions on Power Delivery, nr.2, 1989, pp.1476-1485
- [15] [CIGRE2000] CIGRE, Management of existing overhead transmission lines, Technical Brochure 175, 2000

- [16] [CIGRE2004] CIGRE, Report on current practices regarding frequencies and magnitude of high intensity winds, Technical Brochure 256, 2004
- [17] [CIGRE2007a] CIGRE, Wide area monitoring and control for transmission capability Enhancement, Technical Brochure 330, 2007
- [18] [CIGRE2007b] CIGRE, Sag-tension calculation methods for overhead lines, Technical Brochure 324, 2007
- [19] [CIGRE2008] CIGRE, Fault and disturbance data analysis including intelligent systems, Technical Brochure 355, 2008
- [20] [CIGRE2008a] CIGRE, How OHL respond to localized high intensity winds – Basic understanding, Technical Brochure 350, 2008
- [21] [CIGRE2008b] CIGRE, Guidelines for increased utilization of existing overhead transmission lines, Technical Brochure 353, 2008
- [22] [CIGRE2010] CIGRE, Local wind speed-up on overhead lines for specific terrain features, Technical Brochure 410, 2010
- [23] [CIGRE2010] CIGRE, Systems for prediction and monitoring of ice shedding, anti-icing and de-icing for overhead power line conductors and ground wires, Technical Brochure 438, 2010
- [24] [CIGRE2011] CIGRE, Modern Techniques for Protecting and Monitoring of Transmission Lines, Technical Brochure 465, 2011
- [25] [CIGRE2012] CIGRE, Overhead line design guidelines for mitigation of severe wind storm damage, Technical Brochure 485, 2012
- [26] [CIGRE2014a] CIGRE, Guide for thermal rating calculations of overhead lines, Technical Brochure 601, 2014
- [27] [CIGRE2014b] CIGRE, Guidelines for the management of risk associated with severe climatic events and climate change on overhead lines, Technical Brochure 598, 2014
- [28] [CIGRE2016] CIGRE, Meteorological data for assessing climatic loads on overhead lines, Technical Brochure 601, 2016
- [29] [Cloet2010] Cloet, E., ș.a., Experiences of the Belgian and French TSOs using the Ampacimon real-time rating system, CIGRE Session 2010, paper C2.106_2010
- [30] [Cloet2011] Cloet E., Lilien J.L., Uprating transmission lines through the use of an innovative real-time monitoring system, 12th IEEE PES International Conference on Transmission and Distribution Construction, Operation and Live-Line Maintenance (ESMO), 2011, pp.1-6
- [31] [Dai2013] Dai L., ș.a., Mechanics analysis of overhead transmission lines based on-line monitoring, Open Journal of Applied Sciences, nr.2b, 2013, pp.1-4
- [32] [Diac2008a] Diaconu C. ș.a., Asset Management in the Romanian Electricity Transmission Grid – Determining Factor for Operational Safety/ Security of Supply, Asset Management Forum, Baden, 2008
- [33] [Diac2008b] Diaconu C. ș.a., Asset Management and the decision-making process – current aspects within Romania's electricity transmission grid, International World Energy System Conference (WESC), 2008, pp.1-6
- [34] [Dino2009] Dino A. ș.a., Dynamic transmission line rating. Technology review, Hydro Tasmania Consulting, 2009, 208478-CR-001

-
- [35] [DOE2009] DOE – U.S. Department of Energy, Smart Grid system report, 2009
 - [36] [Doug2000a] Douglass D.A. ş.a., Dynamic thermal ratings realize circuit load limits, IEEE Computer Applications in Power, nr.1, pp.38-44
 - [37] [Doug2000a] Douglass D.A. ş.a., IEEE's approach for increasing line ratings in North America, CIGRE Session 2000, Paper 22-302
 - [38] [Doug2014] Douglass D.A. ş.a., Real-time overhead transmission-line monitoring for dynamic rating, IEEE Transactions on Power Delivery, nr.1, 2014, pp.921-927
 - [39] [Drag2008] Drager H.J. ş.a., Development and implementation of a monitoring system to increase the capacity of overhead lines, CIGRE Session 2008, paper B2.201
 - [40] [ECSG2008] European Commission Smart Grids Technology Platform, Smart Grids, Strategic Deployment Document for Europe's Electricity Networks of the Future, 2008
 - [41] [EISA2007] EISA USA (Energy Independence Security Agency), Title XIII of the Energy Independence Security Act, 2007
 - [42] [ENISA2012] ENISA (The European Union Per Regulation), Smart Grid Security. Recommendations for Europe and Member States, 2010
 - [43] [ENSG2014] Electricity Networks Strategy Group, Department of Energy & Climate Change, A Smart Grid vision Routemap, 2014
 - [44] [ENTSO2006a] ENTSO-E, European Smart Grid technology platform. Vision and strategy for Europe's electricity networks of the future, 2006.
 - [45] [ENTSO2006b] ENTSO-E, European Technology Platform SmartGrids: Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future, 2006
 - [46] [ENTSO2012a] ENTSO-E, Guideline for cost benefit analysis of grid development projects, 2012
 - [47] [ENTSO2012b] ENTSO-E, Guideline for Cost Benefit Analysis of Grid Development Projects, 2012
 - [48] [ENTSO2012c] ENTSO-E, 10-Year Network Development Plan 2012, 2012
 - [49] [ENTSO2013a] ENTSO-E, European Electricity Grid Initiative (EEGI) Roadmap for Research & Innovations, 2013
 - [50] [ENTSO2013b] ENTSO-E, Dynamic line rating for overhead lines - V6. CE TSOs current practice, 2015
 - [51] [EPRI2001] EPRI, Video sagometer application guide, Technical report, 2001
 - [52] [EPRI2009] EPRI, The communication networks guidebook for intelligent transmission systems, Technical report, 2009
 - [53] [EPRI2011] Estimating the Costs and Benefits of the Smart Grid. A Preliminary Estimate of the Investment Requirements and the Resultant Benefits of a Fully Functioning Smart Grid, EPRI Technical Report, 2011
 - [54] [EPRI2013] EPRI, Evaluation of instrumentation and dynamic thermal ratings for overhead lines, Technical report, 2013
 - [55] [ETP2007] European Technology Platform SmartGrids. European technology platform smartgrids strategic research agenda for europe's electricity networks of the future, 2007

- [56] [EUREL2013] EURELECTRIC, DSOs outline standardisation priorities to ensure Smart Grid deployment in Europe, 2013
- [57] [EURO2009] Eurocode 1 - Actions on structures. Part 1-4: General actions, 2009
- [58] [Falc2015] Falcon, Dynamic asset rating overhead lines, Project Falcon 2015
- [59] [Fikk2006] Fikke S. ș.a., Atmospheric icing on structures measurements and data collection on icing: State of the art, Publication of MeteoSwiss, 2006
- [60] [Fikk2013] Fikke S. ș.a., Potential effects from global climatic change on overhead electric power transmission networks, Cigre SCB2 International Symposium Auckland, 2013, Paper 125
- [61] [Fish2012] Fish L., Power Donut™ systems for overhead electric power line monitoring, operator overview, 2012
- [62] [Ghit2016a] O. Ghita, C. Banica, **N.L. Iacobici**, I.D. Hategan, Advanced Techniques for inspecting Power Energy Equipment using Augmented Reality, 3rd CIGRE Regional South-East European Conference (RSEEC), 2016, pp.116-122
- [63] [Ghit2016b] O. Ghita, C. Banica, **N.L. Iacobici**, I.D. Hategan, Intelligent System for Monitoring Energy Installations using self-piloted Drones, 3rd CIGRE Regional South-East European Conference (RSEEC), 2016, pp.122-125
- [64] [Gian2016] Gianinoni I. ș.a., Supporting the Development of the European Electricity Grids Initiative (EEGI), GRID+, Project no. 282794, 2016
- [65] [Gonz2010] Gonzalez F., Nizovoy J.A., Modern OHL thermal overload protection system based on an ampacity system and automatic actions in generation and load, CIGRE Session 2010, paper B2.109
- [66] [Gran2010] Grand Ph., The life extension policy of overhead lines, CIGRE Session 2010, Paper B2.306
- [67] [Guv2010] Guvernul României, Planul de Acțiuni privind implementarea în Sistemul Energetic Național a conceptului de Rețele Inteligente, 2010
- [68] [Guv2015] Guvernul României, Strategia Energetică - România în perioada 2015-2035, 2015
- [69] [Guv2017] Guvernul României, Planul național de acțiune în domeniul eficienței energetice 2017-2020, 2017
- [70] [Huff2011] Southwest power outage: Blackout a reminder of grid vulnerability, Huff Post, Los Angeles, 2011
- [71] [Hyun2013] Hyundai intelligent Transmission Line Monitoring System, 2013
- [72] [Iaco2015a] **N.L. Iacobici**, P. Andea, F.M. Frigura-Iliasa, D. Vatau, Software and hardware equipment power quality monitoring inside a Transelectrica high voltage power station, 13th IEEE International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMII), Herlany, Slovakia, 2015, pp.289-294
- [73] [Iaco2015b] **N.L. Iacobici**, D. Vatau, F.M. Frigura-Iliasa, P. Andea, Monitoring system dedicated for the assessment of the electromagnetic field parameters on a Transelectrica-Romania power station, IEEE International Conference on Information and Digital Technologies (IDT), Zilina, Slovakia, 2015, pp.114-119
- [74] [Iaco2017a] **L.N. Iacobici**, A. Romanescu, V. Zaharescu, S. Gheorghe, M. Marcolt, Bridging the gap between analog, smart grid and digital substation, 4th CIGRE Romania Conference on Condition Monitoring, Diagnosis and Maintenance (CMDM), 2017, pp.322-328

- [75] [Iaco2017b] **N.L. Iacobici**, F.M. Frigura-Iliasa, D. Vatau, P. Andea, Power quality assessment system for a 220 kV/ 110 kV high voltage power station, IEEE 10th International Conference on Electric Power Quality and Supply Reliability (PQ), Tallinn, Estonia, 2016, pp.267-272
- [76] [Iaco2017c] **N.L. Iacobici**, F.M. Frigura-Iliasa, P. Andea, M. Frigura-Iliasa, A new computer based design for a 145 kV SF6 switch, 15th IEEE International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMi), Herlany, Slovakia, 2017, pp.207-212
- [77] [Iaco2017d] **N.L. Iacobici**, F.M. Frigura-Iliasa, D. Vatau, P. Andea, Command and control interface for a navigation lock at a Hydro Power Dam, IEEE International Conference on Information and Digital Technologies (IDT), Zilina, Slovakia, 2017, pp.142-145
- [78] [Iaco2018a] **N.L. Iacobici**, E. Cazacu, M. Frigura-Iliasa, F. M. Frigura-Iliasa, Feedback type computer simulated control model for a permanent magnet measuring system, 16th IEEE World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMi), Kosice, Slovakia, 2018, pp.33-36
- [79] [Iaco2018b] **N.L. Iacobici**, F.M. Frigura-Iliasa, P. Andea, D. Vatau, F. Alexa, Assessment of RF transceivers placed in remote control devices, 18th International Multidisciplinary Scientific Geoconference (SGEM), Albena, Bulgaria, 2018, pp.165-172
- [80] [Iaco2019a] **N.L. Iacobici**, F. Demeter, F.M. Frigura-Iliasa, L. Dolga, H. Filipescu, M. Iorga, Supervisory Control of Discrete Event Systems in Manufacturing Industry, 2nd IEEE International Conference of Intelligent Robotic and Control Engineering (IRCE), Singapore, 2019, pp.42-45
- [81] [Iaco2019b] **N.L. Iacobici**, E. Cazacu, M. Frigura-Iliasa, F.M. Frigura-Iliasa, Computer Based Analysis for the Parameters of a Distribution Transformer in a Non-Sinusoidal Regime, 17th IEEE World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMi), Herlany, Slovakia, 2019, pp.371-374
- [82] [Iaco2020] **N.L. Iacobici**, M. Frigura-Iliasa, H.E. Filipescu, M. Nen, F.M. Frigura-Iliasa, M. Iorga, Digital Imaging Processing and Reconstruction for General Applications, 18th IEEE World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMi), Herlany, Slovakia, 2020, pp.231-234
- [83] [IEC1977] IEC 61774 : 1.0, Standard Overhead lines - Meteorological data for assessing climatic Loads, 1997
- [84] [IEC2006] IEC 60826 79, Design criteria of overhead transmission lines, 2006
- [85] [IEEE2001] Video Sagometer Application Guide, Technical Report, 2001
- [86] [IEEE2006] IEEE standard for calculating the current-temperature of bare overhead conductors, IEEE Std. 738, 2006.
- [87] [IEEE2012] IEEE Guidelines for determining conductor temperatures during measurement of sag along overhead transmission lines, Technical report, 2012
- [88] [IEEE2012b] IEEE Guidelines for implementing Dynamic Thermal Circuit Rating (DTCR) in systems and market operation, Electrical Power Research Institute, 2012
- [89] [Kari2019] A Review of Dynamic Thermal Line Rating Methods with Forecasting, IEEE Transactions on Power Delivery, nr.6, 2019, pp.2100-2109

- [90] [KEP2016] KEPCO SPC Power Corporation, Conceptual system design of smart power grid in Korea, 2016
- [91] [Kezu2008] Kezunovic M. ș.a., Impact of extreme weather on power system blackouts and forced outages: New challenges, 7th Balkan Power Conference, 2008, pp.1-5
- [92] [Krei2010] Kreikebaum F. ș.a., Smart wires - A distributed, low-cost solution for controlling power flows and monitoring transmission lines, IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe), 2010, pp.1-8
- [93] [Lacr2008] Lacroix M. ș.a., Hydro Quebec's de-icing system: Automated overhead line monitoring and de-icing system, CIGRE Session 2008, paper B2.211
- [94] [Liji2008] Lijia R. ș.a., Design and calculation method for dynamic increasing transmission line capacity, Wseas Transactions on Circuits and Systems, nr.2, 2008, pp.348-357
- [95] [Line2020] Lineamps Rating System, Lineamps, 2020
- [96] [Lovr2015] Lovrencici V. s.a., The contribution of conductor temperature and sag monitoring to increased ampacities of overhead lines, Periodica Zagreb Polytechnica Electrical Engineering and Computer Science, nr.3, 2015, pp.70-77
- [97] [Marc2017] M. Marcolț, **L.N. Iacobici**, I.D. Hațegan, Electric Energy Storage Systems from theory to applied projects, 4th CIGRE Romania Conference on Condition Monitoring, Diagnosis and Maintenance (CMDM), 2017, pp.337-348
- [98] [Mate2017] E. Mateescu, G. Gheorghita, S. Wechsler, D. Marginean, I. Hategan, **N.L. Iacobici**, M. Vaju, Strategies for increasing the mechanical safety of Romanian overhead lines network. Overview of developments in design standards and their implications on future performance, 4th CIGRE Romania Conference on Condition Monitoring, Diagnosis and Maintenance (CMDM), 2017, pp.156-166
- [99] [Maya2010] Mayadas-Dering J. ș.a., NY utility examines integrating dynamic line ratings, NYPA, Penn Energy, 2010
- [100] [MECM2011] Ministerul Economiei, Comerțului și Mediului de Afaceri, Ordinul nr. 2081/11/11/2011 (Planul de acțiune pentru implementarea în Sistemul Energetic Național a conceptului de „rețea inteligentă - smart grid”)
- [101] [Mold2016] C. Moldoveanu, A. Rusu, M. Florea, M. Vaju, I. Hategan, **N.L. Iacobici**, N. Balta, S. Zaharescu, OHLM — Integrated solution for real-time monitoring of overhead transmission lines, 13th IEEE PES International Conference on Transmission & Distribution Construction, Operation & Live-Line Maintenance (ESMO), Columbus, OH, USA, 2016, pp.1-5
- [102] [Mold2017] C. Moldoveanu, I. Hategan, **L.N. Iacobici**, V. Brezoianu, A. Vasile, M. Plopeanu, V. Florea, E. Munteanu, C. Baci, Evaluating the safety condition of high voltage composite insulators using the on-line leakage current monitoring and diagnostic systems, a Romanian experience, 4th CIGRE Romania Conference on Condition Monitoring, Diagnosis and Maintenance (CMDM), 2017, pp.175-185
- [103] [Mold2021] C. Moldoveanu, I. Ionita, S. Zaharescu, V. Florea, **N.L. Iacobici**, I. Hategan, A Romanian Solution for Real-time Monitoring of Overhead Transmission Lines, 9th IEEE International Conference on Modern Power Systems (MPS), Cluj-Napoca, Romania, 2021, pp.1-5
- [104] [Muhr2008] Muhr, M. ș.a., Experiences with the weather parameter method for the use in overhead line monitoring systems, CIGRE Session 2008, paper B2.105

- [105] [NETL2010] National Energy Technology Laboratory (NETL), US Department of Energy (US DOE), Understanding the Benefits of Smart Grids. Smart Grid Implementation Strategy, DOE/NETL 2010/1413
- [106] [Nguy2010] Nguyen V.H., Tran A.T., Online monitoring and computation solution to optimizing transmission line capacity, *Electricity Magazine*, nr.7, 2010, pp.1-6
- [107] [NIST2012] NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability, Standards, Release 2.0, NIST Special Publication 1108R2, 2012
- [108] [Pand2003] Pandey K.A., Development of a real-time monitoring/dynamic rating system for overhead lines, EDM International, Technical Report no.500-04-003, 2003
- [109] [PE2007] Parlamentul European, Strategia de la Lisabona (Consiliul European din 8-9 martie 2007)
- [110] [Phil2014] Phillips T.B., Dynamic rating of transmission lines for improved wind energy integration in complex terrain, PhD Thesis, Boise State University, 2014
- [111] [Pohl2000] Pohlman, J. C. ș.a., Practical steps for increasing availability of existing Overhead Transmission Lines, CIGRE Paper 22-105, Paris, 2000
- [112] [Pram2008] Pramayon P. ș.a., Increasing capacities of overhead lines needs and solutions, CIGRE Session 2008, Paper B2-108
- [113] [Prom2012] Promethean devices, RT-TLMS, Real time – transmission line monitoring System, Alcan cable, 2012
- [114] [Puf2012] Puffer R ș.a., Area-wide dynamic line ratings based on weather measurements, CIGRE Session 2012, paper B2.106
- [115] [Reid2002] Reid J., Bryan U., Measurement of life and life extension, CIGRE Session, 2002, Paper 13
- [116] [Roma2017] A. Romanescu, S. Gheorghe, C.P. Lisman, V. Zaharescu, S. Kovacs, L.N. Iacobici, M. Marcolt, Substation automation system data base, 4th CIGRE Romania Conference on Condition Monitoring, Diagnosis and Maintenance (CMDM), 2017, pp.175-185
- [117] [Step2012] Stephen R., Guide for Application of Direct Real-Time Monitoring Systems 498 Brochure, CIGRE WG B2.36, 2012
- [118] [Svob2011] Svoboda J., Transmission line security monitor; Final report, US Department of Energy, Idaho National Laboratory, 2011
- [119] [Talp2017] A. Talpos, A. Constantin, L.N. Iacobici, Electric field modelling of high voltage composite insulators with the purpose of identifying fault causes, 4th CIGRE Romania Conference on Condition Monitoring, Diagnosis and Maintenance (CMDM), 2017, pp.397-404
- [120] [TF2004] Final report on the august 14, 2003 blackout in the United States and Canada: Causes and Recommendations, US & Canada power system outage Task Force, 2004
- [121] [Trans2021a] Studiu privind soluții în curent continuu de evacuare a puterii din zona de sud-est a României, CNTEE Transelectrica SA, SCN1085670, 2021
- [122] [Trans2021b] Studiu privind creșterea capacității de transport pentru LEA 400 kV din zona de sud-est a României prin soluții de reconductorare, CNTEE Transelectrica SA, SCN1085671, 2021

- [123] [Trans2021c] Optimizarea funcționării LEA 400 kV existente în SEN, folosite în interconexiune și pentru evacuarea puterii din centrala nucleară Cernavodă și din centralele de energie regenerabile din Dobrogea prin montare de sisteme de monitorizare on-line (tip Smart Grid), CNTEE Transelectrica SA, MC1013846, 2021
- [124] [USDE2014] US Department of Energy, Dynamic line rating systems for transmission lines Topical report. Smart Grid Demonstration Program, 2014
- [125] [Uski2012] Uski-Joutsenvuo S., Pasonen R., Maximizing power line transmission capability by employing Dynamic line ratings - technical survey and applicability in Finland, Research report, VTT Technical Research Centre of Finland, 2012
- [126] [Wall2008] Valley Grup, CAT 1 Transmission line monitoring system
- [127] [Wang2014] Wang W., Pinter S., Dynamic line rating systems for transmission lines. Topical Report. Smart Grid Demonstration Program, Energy Sector Planning and Analysis (ESPA), 2014
- [128] [WMO2008] Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, World Meteorological Organization Publications, Geneva, 2008

SINTEZĂ PRIVIND LUCRĂRILE PROPRII

1. **L.N. Iacobici**, P. Andea, F.M. Frigura-Iliasa, D. Vatau, Software and hardware equipment power quality monitoring inside a Transelectrica high voltage power station, 13th IEEE International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI), Herlany, Slovakia, 2015, pp.289-294 **(ISI)**
2. **L.N. Iacobici**, D. Vatau, F.M. Frigura-Iliasa, P. Andea, Monitoring system dedicated for the assessment of the electromagnetic field parameters on a Transelectrica-Romania power station, IEEE International Conference on Information and Digital Technologies (IDT), Zilina, Slovakia, 2015, pp.114-119 **(ISI)**
3. **L.N. Iacobici**, F.M. Frigura-Iliasa, D. Vatau, P. Andea, Power quality assessment system for a 220 kV/ 110 kV high voltage power station, IEEE 10th International Conference on Electric Power Quality and Supply Reliability (PQ), Tallinn, Estonia, 2016, pp. 267-272 **(ISI)**
4. C. Moldoveanu, A. Rusu, M. Florea, M. Vaju, I. Hategan, **L.N. Iacobici**, N. Balta, S. Zaharescu, OHLM — Integrated solution for real-time monitoring of overhead transmission lines, 13th IEEE PES International Conference on Transmission & Distribution Construction, Operation & Live-Line Maintenance (ESMO), Columbus, OH, USA, 2016, pp. 1-5 **(BDI)**
5. O. Ghita, C. Banica, **L.N. Iacobici**, I.D. Hategan, Advanced Techniques for inspecting Power Energy Equipment using Augmented Reality, 3rd CIGRE Regional South-East European Conference (RSEEC), București, 2016, pp.116-122
6. O. Ghita, C. Banica, **L.N. Iacobici**, I.D. Hategan, Intelligent System for Monitoring Energy Installations using self-piloted Drones, 3rd CIGRE Regional South-East European Conference (RSEEC), București, 2016, pp.122-125
7. **L.N. Iacobici**, Raport științific nr.1 cu rezultate intermediare ale cercetării, Universitatea Politehnică Timișoara, Facultatea de Electrotehnică și Electroenergetică, Departamentul de Electroenergetică, Timișoara, 2016
8. **L.N. Iacobici**, F.M. Frigura-Iliasa, P. Andea, M. Frigura-Iliasa, A new computer based design for a 145 kV SF6 switch, 15th IEEE International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI), Herlany, Slovakia, 2017, pp.207-212 **(ISI)**
9. **L.N. Iacobici**, F.M. Frigura-Iliasa, D. Vatau, P. Andea, Command and control interface for a navigation lock at a Hydro Power Dam, IEEE International Conference on Information and Digital Technologies (IDT), Zilina, Slovakia, 2017, pp.142-145 **(ISI)**
10. **L.N. Iacobici**, A. Romanescu, V. Zaharescu, S. Gheorghe, M. Marcolt, Bridging the gap between analog, smart grid and digital substation, 4th CIGRE Romania Conference on Condition Monitoring, Diagnosis and Maintenance (CMDM), București, 2017, pp.322-328
11. E. Mateescu, G. Gheorghita, S. Wechsler, D. Marginean, I. Hategan, **L.N. Iacobici**, M. Vaju, Strategies for increasing the mechanical safety of Romanian overhead lines network. Overview of developments in design standards and their implications on future performance, 4th CIGRE Romania Conference on Condition Monitoring, Diagnosis and Maintenance (CMDM), București, 2017, pp.156-166

12. M. Marcolț, **L.N. Iacobici**, I.D. Hațegan, Electric Energy Storage Systems from theory to applied projects, 4th CIGRE Romania Conference on Condition Monitoring, Diagnosis and Maintenance (CMDM), București, 2017, pp.337-348
13. A. Talpos, A. Constantin, **L.N. Iacobici**, Electric field modelling of high voltage composite insulators with the purpose of identifying fault causes, 4th CIGRE Romania Conference on Condition Monitoring, Diagnosis and Maintenance (CMDM), București, 2017, pp.397-404
14. C. Moldoveanu, I. Hategan, **L.N. Iacobici**, V. Brezoianu, A. Vasile, M. Plopeanu, V. Florea, E. Munteanu, C. Baci, Evaluating the safety condition of high voltage composite insulators using the on-line leakage current monitoring and diagnostic systems, a Romanian experience, 4th CIGRE Romania Conference on Condition Monitoring, Diagnosis and Maintenance (CMDM), București, 2017, pp.175-185
15. A. Romanescu, S. Gheorghe, C.P. Lisman, V. Zaharescu, S. Kovacs, **L.N. Iacobici**, M. Marcolț, Substation automation system data base, 4th CIGRE Romania Conference on Condition Monitoring, Diagnosis and Maintenance (CMDM), București, 2017, pp.175-185
16. **L.N. Iacobici**, Raport științific nr.2 cu rezultate intermediare ale cercetării, Universitatea Politehnica Timișoara, Facultatea de Electrotehnică și Electroenergetică, Departamentul de Electroenergetică, Timișoara, 2017
17. **L.N. Iacobici**, E. Cazacu, M. Frigura-Iliasa, F. M. Frigura-Iliasa, Feedback type computer simulated control model for a permanent magnet measuring system, 16th IEEE World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI), Kosice, Slovakia, 2018, pp.33-36 (**ISI**)
18. **L.N. Iacobici**, F.M. Frigura-Iliasa, P. Andea, D. Vatau, F. Alexa, Assessment of RF transceivers placed in remote control devices, 18th International Multidisciplinary Scientific Geoconference (SGEM), Albena, Bulgaria, 2018, pp.165-172 (**BDI**)
19. **L.N. Iacobici**, F. Demeter, F.M. Frigura-Iliasa, L. Dolga, H. Filipescu, M. Iorga, Supervisory Control of Discrete Event Systems in Manufacturing Industry, 2nd IEEE International Conference of Intelligent Robotic and Control Engineering (IRCE), Singapore, 2019, pp.42-45 (**ISI**)
20. **L.N. Iacobici**, E. Cazacu, M. Frigura-Iliasa, F.M. Frigura-Iliasa, Computer Based Analysis for the Parameters of a Distribution Transformer in a Non-Sinusoidal Regime, 17th IEEE World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI), Herlany, Slovakia, 2019, pp.371-374 (**ISI**)
21. **L.N. Iacobici**, M. Frigura-Iliasa, H.E. Filipescu, M. Nen, F.M. Frigura-Iliasa, M. Iorga, Digital Imaging Processing and Reconstruction for General Applications, 18th IEEE World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI), Herlany, Slovakia, 2020, pp.231-234 (**ISI**)
22. C. Moldoveanu, I. Ionita, S. Zaharescu, V. Florea, **L.N. Iacobici**, I. Hategan, A Romanian Solution for Real-time Monitoring of Overhead Transmission Lines, 9th IEEE International Conference on Modern Power Systems (MPS), Cluj-Napoca, Romania, 2021, pp.1-5 (**BDI**)