

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

Teză de doctorat – Rezumat pentru obținerea titlului științific de doctor la Universitatea Politehnica Timișoara în domeniul de doctorat Inginerie Energetică **autor Luca – Nicolae IACOBICI** conducător științific Prof.univ.dr.ing. Petru Andea luna 03 anul 2022

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
2.3. 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
5.2. 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
5.4. 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
6.5. Prezentarea aplicației software a sistemului OHLM	101
6.6. Proiectul Pilot de monitorizare on-line a LEA 400 kV București Sud-Pelicanu	116
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. Conditiile 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 selectivă	159
Listă lucrări proprii	167

La nivel mondial, companiile energetice sunt preocupate în prezent de creșterea eficienței energetice, accelerarea producței 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], [EPRI 2009], [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 [ENTSO2013a].

Rețeaua electrică inteligentă (Smart Grid) poate moderniza rețeaua actuală de energie electrică, 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.

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

- Eliminarea sau reducerea avariilor la echipamente și/sau instalații de înaltă tensiune;
- Eliminarea cauzelor și a factorilor care conduc la distrugerea echipamentelor și/sau instalațiilor de înaltă tensiune;
- 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;
- Reducerea costurilor de mentenanță;
- Creșterea rapidității și eficienței în utilizarea și managementul informațiilor tehnice;
- Îmbunătățirea eficienței în funcționarea rețelei electrice de transport;
- Asigurarea securității rețelelor, a sistemelor de control al calității în alimentare folosind un număr mai mare de senzori, inclusiv schimburi de date în timp real cu operatorii europeni ai rețelelor de transport (Transmission System Operator - TSO;
- Creșterea capacității rețelei pentru a permite integrarea utilizatorilor cu cerințe noi;
- Implementarea mijloacelor pentru îmbunătățirea monitorizării rețelelor electrice;
- Creșterea utilizării de Tehnologii Informatice și de Telecomunicații pentru securizarea operațiilor și mărirea flexibilității rețelelor;
- Reducerea pierderilor de energie electrică;
- Creșterea eficienței activelor existente și a investițiilor.

În acest context, tematica tezei de doctorat se încadrează în preocupările actuale din domeniul transportului energiei electrice, cu scopul de a aprofunda conceptul de smart-grid și de implementarea sa în sistemul de transport al energiei electrice din România, prin monitorizarea on-line și încărcarea dinamică a liniilor electrice aeriene (LEA).

Teza de doctorat se extinde pe 168 de pagini, fiind structurată pe 8 capitole, prefață și o amplă listă bibliografică (128 titluri). Ea conține un număr de 81 figuri, respectiv 29 tabele.

Capitolul 1 are un caracter introductiv. Prima parte cuprinde încadrarea și justificarea tematicii tezei de doctorat, în contextul preocupărilor existente pe plan mondial și în România. Se evidențiază faptul că sistemele electroenergetice sunt supuse astăzi unor provocări ca urmare a progreselor tehnologice, implementării surselor de energie regenerabilă și evoluției sistemelor de telecomunicație și a electronicii de putere. 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, care solicită o disponibilitate și siguranță crescută în producerea, transportul și distribuția energiei electrice [Gian2016].

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.

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. Așadar, conceptul Rețelelor Electrice Inteligente fost lansat pentru prima dată în SUA în urma avariei extinse din 2003 (Tabelul 2.1.1), iar în Europa, în anul 2005, în cadrul Platformei Tehnologice Europene pentru Rețele Electrice ale Viitorului, a Programului Cadru 7 al Comisiei Europene.

Rețeaua electrică inteligentă Smart Grid este "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".

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

Tabelul 2.1.1 Blackout-uri	ne determinate de	probleme în sistemul	de transport al	energiei electrice
Tabelul 2.1.1. Diackout-ull	pe determinate de	probleme in sistemu	ue transport a	

Rețeaua inteligentă (Smart Grid) se caracterizează prin:

- 1) utilizarea sporită a tehnologiei informației și de control digital pentru a îmbunătăți fiabilitatea, securitatea, precum și eficiența rețelei electrice ;
- 2) optimizarea dinamică a funcționării și a resurselor rețelei electrice, în condițiile unei depline securități cibernetice;
- 3) implementarea și integrarea surselor distribuite și de generare, inclusiv a celor 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, interactive, care optimizează funcționarea fizică a aparatelor și a dispozitivelor consumatorului) de măsurare, comunicații privind funcționarea și starea rețelei, pentru automatizarea distribuției;
- 6) implementarea și integrarea tehnologiilor avansate de stocare a energiei electrice și de aplatizare a curbei de sarcină, inclusiv a vehiculelor electrice, a vehiculelor hibridei;
- 7) furnizarea consumatorilor a opțiunilor de informare și control în timp real;
- 8) identificarea și scăderea obstacolelor nerezonabile sau inutile în calea adoptării tehnologiilor, practicilor și a serviciilor de tip Smart Grid.

În figura 2.1.2 se prezintă conceptul cadru de Smart Grid propus de National Institute of Standards and Technology (NIST) din SUA [NIST2012]).



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

Infrastructura unui sistem Smart Grid cuprinde 3 subsisteme inteligente:

- subsistemul energetic ce include generarea, transportul, distribuția, furnizarea și consumul energiei electrice;
- subsistemul informatic ce cuprinde activitatea de monitorizare, măsurare avansată/inteligentă și conducerea rețelei;
- subsistemul de comunicații care permite comunicarea între rețele (conductoare fizice sau wireless), aparatele și aplicațiile stabilite pentru interoperabilitatea acestora.

Partea a doua a capitolului prezintă 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. 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, eficiența energetică, îmbunătățirea factorilor de mediu și reducerea costurilor de funcționare a rețelei în ansamblu prin utilizarea de tehnologii avansate.

Obiective principale pentru introducerea Smart Grid în sistemul energetic din România:

- 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 echipamentelor și/sau instalațiilor de înaltă tensiune, ce pot afecta clădiri, oameni și mediul înconjurător, pot cauza întreruperea alimentării pe arii mari și pierderi economice importante;
- creșterea duratei de funcționare a tuturor componentelor active din sistemele de transport și distribuție a energiei 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;
- creșterea capacității rețelei ;
- implementarea mijloacelor pentru îmbunătățirea monitorizării și a rețelelor electrice.

Beneficiile realizării rețelelor inteligente Smart Grid:

- alimentare continuă cu energie electrică și siguranța funcționării rețelelor electrice;
- întreruperi mai puține și de durată mult mai reduse, sisteme energetice auto-vindecabile, prin utilizarea informațiilor digitale și a sistemelor de control automate și autonome;
- rețelele Smart Grid sunt mult mai eficiente, asigurând un consum total de energie, un consum de vârf și pierderi de energie mai reduse;
- multe din costurile de funcționare sunt reduse sau evitate;

Capitolul 3 scoate în evidență necesitatea monitorizării on-line a liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune, ca parte a implementării Smart Grid. Sunt prezentate cercetările tehnico-aplicative realizate până în prezent, 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 prezis, congestii care trebuie să fie depășite cu efecte minime, acolo unde dezvoltarea rețelei este dificil de realizat.

Cercetările tehnico-aplicative au avut drept domeniu principal rețelele inteligente de monitorizare și control în timp real al 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.



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

Necesitatea monitorizării on-line a LEA este motivată de următoarele aspecte:

- deficiențele și defectele care apar în funcționarea liniilor electrice din diferite cauze;
- congestiile în sistemele de transport sunt sporadice și dificil de prezis;
- congestiile structurale trebuie să fie depășite cu efecte minime, acolo unde dezvoltarea rețelei este dificil de realizat;
- sistemul de transport existent nu este adecvat pentru a dispeceriza noile surse de generare a energiei, eoliene și fotovoltaice, variabile în timp.

Monitorizarea on-line trebuie să țină seama de particularitățile specifice sectorului electroenergetic [Barth2008], [CIGRE2010], [Cloet2011], [Dai2013], [Doug2014]:

- 1) sistemele de monitorizare on-line trebuie să poată integra atât liniile și echipamentele electrice primare de înaltă tensiune vechi cât și pe cele noi;
- incidentele şi defectelor produse la liniile şi 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;
- 3) defecțiunile se pot produce în cascadă, cauzând întreruperea alimentării cu energie electrică pe arii mari și pierderi economice importante;
- 4) întreruperea alimentării cu energie electrică poate afecta instantaneu un număr mare de sectoare de infrastructură critică.

Pentru operatorii de transport necesitatea și oportunitatea realizării monitorizării on-line a LEA de înaltă tensiune este determinată de următorii factori [Reid2002], [Doug2014]:

- 1) obținerea în timp real a datelor despre parametrii de funcționare și de stare tehnică;
- 2) furnizarea de avertismente, în avans, în cazul unor probleme de funcționare în apropierea sau peste limitele admise ale temperaturii conductorului, săgeții, forței de tracțiune, oscilațiilor conductorului și înclinării stâlpului peste limita de alarmă;
- 3) timp de reacție rapid pentru situații neprevăzute și capacitate crescută de reacție la intemperii;
- corelarea dintre gradul de încărcare reală a liniei electrice, capacitatea de încărcare proiectată și condițiile meteo (pentru aplicarea regimului dinamic de încărcare a liniei electrice – DLR);
- 5) eliminarea intervențiilor inutile și adeseori riscante;
- 6) întreruperi minime ale rețelei în vederea remedierii unor disfuncționalități sesizate din timp;
- instalațiile/echipamentele învechite şi/sau bugete de investiție reduse fac obligatorie creşterea duratei de funcționare a tuturor componentelor active ale LEA din RET până la limita duratei de exploatare şi chiar peste;
- 8) costurile din ce în ce mai mari pentru eliminarea restricțiilor tehnice și a congestiilor interne rețelei electrice (prin implementarea unor sisteme de tip Smart-Grid, care cuprind echipamente de monitorizare a parametrilor LEA, aceste costuri pot fi reduse la jumătate).

Sunt prezentate câteva exemple de avarii la liniile electrice aeriene din Romania, constând în declanșări cauzate de condiții climatice grele, defecțiuni determinate de acțiunea mediului ambiant și îmbătrânirea materialului, defecțiuni ale liniilor supuse unor eforturi mecanice deosebite datorate condițiilor climatice dure (vânt puternic, chiciură, temperaturi foarte scăzute).

Pe perioada exploatării liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune au apărut o serie de defecte datorită diferitelor cauze, de multe ori neidentificate imediat sau greu de identificat:

- declanşări datorită condițiilor climatice grele;
- defecțiuni determinate de acțiunea mediului ambiant și îmbătrânirea materialului (fig. 3.1.2);
- 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, CNE Cernavodă-Pelicanu, Țânțăreni-Sibiu Sud, Bradu-Țânțăreni, Gutinaș-Brașov, LEA 220 kV Porțile de Fier-Reşița, Paroșeni-Târgu Jiu, Lotru-Sibiu Sud și altele, ce alcătuiesc RET (fig. 3.1.3).
- defectări ale componentelor LEA pentru care nu s-au avut stocări şi procesări de informații detaliate despre mediul înconjurător şi despre starea lor, precum: stâlpi, conductoare active, lanțuri de izolatoare etc.;
- reducerea gabaritului față de sol a liniilor electrice aeriene datorită vegetației şi/sau a construcțiilor sub sau în apropierea conductoarelor liniei;
- acțiuni vandalice asupra stâlpilor de înaltă tensiune (prin tăierea ancorelor sau a structurilor metalice ale stâlpului) care au determinat întreruperea funcționării liniilor electrice şi pagube economice importante.





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



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

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

Pentru optimizarea exploatării sistemelor de transport și distribuție a energiei electrice este necesar să se monteze sisteme de monitorizare a parametrilor funcționali și a condițiilor climatice locale. Aceste sisteme cuprind senzori de mare sensibilitate, care pot să transmită informații privind starea în timp real a LEA [CIGRE2016].

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

- intensitatea curentului prin conductorul activ al liniei;
- temperatura conductorului liniei;
- săgeata conductorului liniei;
- tensiunea/forța de tracțiune în conductoarele liniei;
- oscilațiile conductorului liniei.

Parametrii menționați, referitori la funcționarea LEA de înaltă tensiune, sunt influențați puternic de condițiile meteo:

1) temperatura aerului ambiant în apropierea conductorului LEA;

- 2) presiunea și direcția vântului în raport cu direcția LEA;
- 3) radiația solară;
- 4) depunerea chiciurii sau a gheții pe conductorul LEA.

Pentru măsurarea și monitorizarea on-line a parametrilor menționați mai sus există pe plan internațional sisteme de monitorizare on-line a LEA de înaltă tensiune, care se împart în două categorii, în funcție de metodele folosite pentru determinarea parametrilor:

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

Echipamentele de monitorizare directă obțin date despre caracteristicile liniei prin intermediul uneia dintre următoarele variabile: săgeata conductorului, 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. Echipamentele de monitorizare sunt instalate pe LEA, de unde transmit datele direct sau prin intermediul unui Dispozitiv Electric Inteligent (IED) montat local pe unul din stâlpi, către sistemul de management și control.

Metodele indirecte de măsurare se bazează pe măsurarea parametrilor mediului ambiant în lungul linei 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 urmărirea 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.

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

- a) tipul și numărul senzorilor de măsurare directă a parametrilor LEA menționați (tabelele 3.3.1, 3.3.2 și fig. 3.3.1);
- b) caracteristicile tehnice măsurate, domeniul și precizia de măsurare;
- c) modul de alimentare cu energie electrică etc.





Tabelul 3.3.1	. Parametri de	functionare a	u LEA, n	năsurați direc	t 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)	Х	х	х			
2	SMT (Spania)	х	х				
3	OTLM (Slovenia)	х	х				
4	TLM (SUA)	х		Х			х
5	FMC-T6 (SUA)	х	х				
6	Emo (SUA)	х					
7	Ritherm (Germania)	х					
8	Astrose (Germania)	х	х	х	х		х
9	CAT1 (SUA)					х	
10	Ampacimon (Belgia)						х
11	Sagometru (SUA)				х		
12	TLSM (SUA)	х	х				
13	OLM (Coreea de Sud)	×	x	x	x		

				Cost		Precizie				
Nr. crt.	Tipul sistemului de monitorizare (parametrul masurat)	Costul procurării	Costul instalării	Costul mente- nanței	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 (*)	Puntual	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
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

Tabelul 3.3.2. Influența tipului de echipament de monitorizare

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

Din tabelul 3.3.2. rezultă următoarele concluzii importante:

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

Capitolul 4 își propune introducerea și dezvoltarea teoretică a tehnologiei de încărcare dinamică a LEA (DLR) prin utilizarea mai multor tehnici de măsurare / monitorizare on-line și prognoză disponibile.

Pentru început sunt trecute în revistă o serie de considerații privind regimul DLR, scopul 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. Obiectivul final al capitolului constă în prezentarea regimurile de încărcare a LEA (static, respectiv dinamic), menționând parametrii critici care se urmăresc, în special, în cazul regimului de încărcare dinamic, și beneficiile aduse de tehnologiile DLR.

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 DLR a liniei prin utilizarea mai multor tehnici de măsurare / monitorizare on-line și de prognoză disponibile [Puf2012], [Wang2014].

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 [WMO2008], [CIGRE2010].

Implementarea DLR 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]. Necesitatea și scopul introducerii și utilizării DLR este de a utiliza în siguranță capacitatea de transport a LEA de înaltă tensiune existente, pe baza condițiilor reale în care acestea funcționează [Doug2014], [EPRI2013], [Falc2015], [Mold 2016], [Step2012], [USDE2014].

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

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

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

În figura 4.2.1 sunt descriși factorii principali care influențează capacitatea de încărcare a unei LEA, 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.



Fig. 4.2.1. Varietatea factorilor care influențează capacitatea de încărcare a unei LEA de transport

Din această cauză OTS din Europa au ajuns la concluzia că monitorizarea temperaturii în scopul 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 al liniei (ampacității) 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 [Gran2010], [IEEE2012].

Capacitatea termică a unei LEA 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:
 - o temperatura aerului ambiant;
 - o viteza și direcția vântului;
 - o radiația solară;

În practica internațională de exploatare a liniilor electrice aeriene de înaltă tensiune sunt folosite două regimuri de încărcare a liniilor: cel static și cel dinamic (fig. 4.4.1).





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:

- siguranța și securitatea în funcționare a liniei;
- parametrii constructivi ai conductorului liniei (Figura 4.4.2);



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

 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; absortivitatea conductorului: 0,6.

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 $+40^{\circ}$ C și un curent maxim admisibil termic de 787 A.

Tabelul 4.4.1. Modificarea ampacității LEA, 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)
	Temperatura ambiantă		
1.	Fluctuație de 2 (°C)	± 2	
	Scăderea temperaturii ambiante cu 10 (°C)	+ 11	874
	Radiația solară		
2.	Cer noros/clar	\pm cateva procente	
	Miezul nopții	+ 18	929
	Creșterea vitezei vântului cu 1 m/s		
3.	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

În regimul dinamic de exploatare a LEA, 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. Parametrii critici care se urmăresc în cazul regimului de încărcare dinamic sunt următorii:

a) temperatura conductorului;

b) săgeata/gabaritul la sol a conductorului liniei;

- c) curenții limită termic de funcționare pentru linia electrica aeriană şi respectiv pentru echipamentele din stațiile electrice cuplate în serie la aceeaşi cale de curent cu linia electrică aeriană: transformatoarele de curent, întreruptoarele, separatoarele, barele colectoare din stație;
 - d) 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 aparatajul din stația la care este conectată linia (întreruptoare, separatoare, transformatoare de curent, bare colectoare), fig. 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 LEA este prezentată în figura 4.4.4.



Fig. 4.4.4. Schema tehnologică de aplicare a regimului dinamic de încărcare a LEA

Beneficii demonstrate la utilizarea tehnologiilor DLR sunt următoarele:

- 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).

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

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

Capitolul 5 are ca obiectiv prezentarea detaliilor privitoare la realizarea sistemelor de monitorizare a parametrilor funcționali și de stare ai LEA. În primul subcapitol, după ce se enunță obiectivele, indicatorii și coordonatele care stau la baza funcționării rețelei electrice de

transport, se face o analiză critică a sistemelor de monitorizare existente la ora actuală, pe plan internațional. 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.

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.).
- 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 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 (NOVA OHLM):

- sistemul trebuie să măsoare direct, în timp real, parametrii principali de funcționare a LEA de înaltă tensiune (curentul prin conductorul LEA şi pe linie, temperatura conductorului, săgeata conductorului), similar ca în cazul sistemelor inteligente de monitorizare Power Donut şi TLSM (SUA), Astrose (Germania), HiTLMS şi OLM (Coreea de Sud) etc.;
- sistemul trebuie să permită şi măsurarea forței de tracțiune în conductorul/ conductoarele liniei şi în lanțul/rile de izolatoare, similar ca la sistemele de monitorizare CAT1 (SUA) şi OLM (Coreea de Sud);
- 3) sistemul trebuie să asigure de asemenea măsurarea oscilațiilor conductorului LEA, punând în evidență situațiile de galopare a conductorului, când operarea LEA necesită atenție deosebită, similar ca la sistemele de monitorizare TLSM (SUA) și Astrose (Germania);
- 4) sistemul trebuie să permită măsurarea înclinării stâlpului, similar cu sistemul de monitorizare OLM (Coreea de Sud);
- 5) sistemul trebuie să permită, opțional, integrarea modulului pentru măsurarea curenților 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 de monitorizare trebuie să aibă în componență și un modul stație meteo;
- 7) sistemul trebuie să permită măsurarea înclinării conductorului LEA pentru două domenii de măsură;
- 8) 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 modulului 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;
- cea de-a doua alimentată de la o baterie (care se autoîncarcă de la prima sursă).

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

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 LEA 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 LEA. Specificațiile tehnice sunt concepute în așa fel încât sistemul de monitorizare să asigure măsurarea parametrilor principali de funcționare a LEA și a parametrilor mediului ambiant în culoarul LEA, considerați parametrii de bază, necesari, pentru aplicarea în deplină siguranță a regimului dinamic de încărcare a liniilor electrice.

Caracteristicile tehnice ale sistemului românesc de monitorizare a LEA au fost stabilite printr-o reunire a celor mai bune caracteristici tehnice ale sistemelor existente la ora actuală în lume. Subsistemele sistemului românesc de monitorizare a LEA sunt prezentate în tabelul 5.3.3.

Nr. crt.	Subsisteme	Parametrii mo	Caracteristici	
1	Subsistemul	Capacitatea de transport a LE	EA	0 ÷ 1500 [A]
	pentru	Capacitatea de transport a LE	EA/faza	N(*) x (0 ÷ 1500) [A]
	monitorizarea			(*) N este numărul
	parametrilor de		conductoarelor pe fază	
	funcționare a	Temperatura conductorului	Varianta standard	-40 ÷ +150 [°C]
	liniei	activ al LEA	Varianta pentru LEA	-40 ÷ +250 [°C]
			cu temperatura	
			mărită de funcționare	
		Unghiul de înclinare / săgeata	Varianta standard	± 10 [°]
		conductorului activ (determi-	Varianta speciala	± 10 [°]
		nata indirect prin masurarea	(2 senzori)	şi
		unghiului de inclinare)		± 90 [°]
		Oscilațiile conductorului:	Accelerația	± 2 [g]
			Domeniul de	$\pm 90^{\circ}$
			masurare a	
			oscilațiilor	
		Tractiunce în conductor	Conquitatos	250 [l-N]
		Tracțiunea în conductor	Procizio	± 1 [%]
			Supreservine	
			admisă	130 [% F.S.]
			Sarcina de rupere	>300 [%FS]
		Camera video montată pe stâ	lp, pentru imagini în	DA
		lungul LEA, în zona de mont	are a sistemului de	
		monitorizare (videoșagometr	u – opțional)	
		Senzor de înclinare a stâlpului LEA	Domeniul de variație a înclinării	± 90 [°]
2.	Subsistemul	Temperatura aerului	•	-40°C - +80°C
	pentru	Umiditatea relativă a mediul	ui ambiant	$0 \div 100 \ \% RH$
	monitorizarea	Presiunea atmosferică		60 ÷ 110 kPa
	parametrilor	Viteza și direcția vântului		0,1 ÷ 60 m/s
	mediului de	Precipitațiile lichide:		
	funcționare	Durata căderii ploii		<u>≥10 s</u>
		Intensitatea ploii		0 - 200 mm/h
		Radiația solară [W/m ²]		0 - 1.400 W/m2
	NC 1 1 1 1	Chiciură/Gheață (prezența)	1 . 1	$\geq 0.05 \text{ mm gheață}$
3.	Modulul de achizitie.	Numărul de intrări pentru acl	niziția datelor	Corespunzător necesităților de monitorizare a LEA
	prelucrare,	Frecventa de achizitie a datel	or:	
	stocare locală a	În regim normal de function	are	la intervale determinate de timp
	datelor	În caz de incident sau de feno	omene nedorite	online
	monitorizate	Capacitatea de stocare locală	a tuturor datelor	minimum 30 zile
	(IED-ul)	achiziționate pe o perioada d	e minimum 30 zile	

Tabelul 5.3.3. Subsisteme ale sistemului complex de monitorizare a LEA

Nr. crt.	Subsisteme	Parametrii monitorizați	Caracteristici
4.	Modul de	GSM	GSM
	comunicație/	Wireless	Wireless până la cutia de
	transmisie date		joncțiune a fibrei optice
		Fibră optică	În rețeaua de fibră optică a
			CNTEE "Transelectrica"- SA
5.	Module	Alimentare independentă a componentelor	Sursa 1 alimentată din secunda-
	independente de	electrice și electronice aferente modulului montat	rul transforma-torului de curent
	alimentare cu	pe conductorul LEA	Sursa 2 alimentată de la baterie
energie electrică		Alimentare independentă, proprie, pentru	Alimentare de la o sursă
		componentele sistemului de monitorizare	independentă fotovoltaică cu
		menționate, montate pe stâlp)	acumulator de stocare.
6.	Programe	Software de aplicație	Software-ul sistemului de
	software		monitorizare va permite setarea
	specifice		valorilor minime, maxime,
			precum și diferite praguri, sau
			valori de stare, pentru toate
			mărimile monitorizate
		Software client	Software-ul va prezenta valorile
			parametrilor monitorizați, atât
			ca valori instantanee cât și
			evoluția lor în timp

Capitolul 6 conține descrierea sistemului 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, iar subcapitolul 6.2 prezintă arhitectura acestuia, cu descrierea fiecărei părți componente (fig. 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 LEA, 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, sursele independente (2 buc.), autoalimentate, pentru alimentarea componentelor electrice/electronice și IT;
- OHLM-T (2): modulul pentru măsurarea forței de tracțiune în 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: stația meteo (6), pentru măsurarea parametrilor mediului ambiant; piranometrul (7), pentru măsurarea radiației solare în apropiere de conductorul LEA, aparatul (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 panourile fotovoltaice (9), controlerul de încărcare (10), acumulatorul (11), sistemul de monitorizare a gradului de încărcare a acumulatorului (12);
- Concentratorul de date (instalat în cutia RTU).

Subsistemul 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.

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, 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).

Subsistemul OHLM este format din:

Modulul OHLM - HV (fig. 6.4.1) care este rezultatul cercetărilor efectuate de autor împreună cu colectivul de cercetare de la Nova Industrial SA. Este dispus direct pe unul din conductoa-rele active, de pe o fază a LEA, asigurând monitorizarea on-line a următorilor parametrii de funcționare a LEA: temperatura conductorului LEA, prin măsurare directă; curentul electric prin conductorul LEA, prin măsurare directă; săgeata conductorului LEA, prin măsurare directă a unghiului de înclinare a conductorului; oscilațiile conductorului, prin măsurare directă.



Fig. 6.4.1. Modulul Nova OHLM - HV la sol

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 lanțurile de izolatoare și în conductoarele LEA (fig. 6.4.4). Modulul trebuie să aibă în compunere traductoare de forță cu capacitatea nominală de măsură peste forța de rupere a izolatoarelor de întindere și a conductorului liniei.



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

Modulul OHLM-V cuprinde o cameră foto digitală şi un iluminator în infraroşu, pentru vizualizare şi obținerea unor imagini foto în lungul liniei electrice aeriene (fig. 6.4.5). Carcasa camerei foto este de tipul cu parasolar (pentru imagini clare în condiții de soare puternic) şi 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 şi 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 (fig. 6.4.5).



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

Modulul OHLM-H (fig. 6.4.6) este realizat de Nova Industrial și asigură măsurarea înclinării stâlpului, în domeniul de măsură ± 90°.



Fig. 6.4.6. Modulul OHLM-H

Modulul OHLM-IED/RTU (fig. 6.4.7) are rolul 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. Modulul OHLM-IED/RTU montat pe stâlpul LEA 400 kV București Sud - Pelicanu

Subsistemul OHLM M pentru monitorizarea condițiilor de mediu 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.



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), fig. 6.4.9.
- c) **Modulul pentru măsurarea chiciurei/gheții** depuse pe conductor. Pentru măsurarea chiciurei/ gheții depuse pe conductorul LEA sistemul Nova OHLM este pregătit sa integreze traductorul Ice Detector (UK), fig. 6.4.10.



No. 1000

Fig. 6.4.10. Modulul Ice Detector

Subsistemul OHLM E (sursă independentă de alimentare cu energie electrică) 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 și dulap/cofret în care sunt incluse (fig. 6.4.11).



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

Subcapitolul 6.5 prezintă aplicația software a sistemului OHLM, aplicație ce 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.

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.;
- achiziție și prelucrare 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.

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 parametrii 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 (fig. 6.5.1).



Fig. 6.5.1. Arhitectura software NOVA OHLM

Software-ul client NOVA OHLM permite utilizatorilor să acceseze și să vizualizeze:

• date de monitorizare online pentru stâlpi și linii aeriene monitorizate (selectarea liniei și a stâlpului se face din două liste derulante, iar informațiile sunt actualizate corespunzător în module distincte vizual);

- raportul datelor de moment raport cu informații instantanee despre valorile monitorizate;
- date istorice informații ale parametrilor monitorizați, tabelar și grafic;
- date și calcule de autotestare;
- baza de date etc.
 - Datele de monitorizare LEA sunt împărțite în următoarele categorii principale:
- date LEA și stâlp (nume LEA, tipul liniei, tipul conductorului, numele stâlpului, numărul de conductoare pe fază, latitudine, longitudine etc.);
- date meteo (temperatura mediului ambiant, viteza și direcția vântului, radiația solară etc.);
- parametrii și condițiile de funcționare a LEA (datele obținute din echipamente de monitorizare – curentul prin conductor, temperatura conductorului, întinderea conductorului, săgeata, datele de îngheț, date despre oscilații etc.; datele obținute prin calcularea parametrilor de funcționare LEA folosind 4 module care au ca intrare curentul prin conductor, temperatura conductorului, întinderea conductorului sau săgeata);
- alarme ;
- stare tehnică LEA.

Capitolul se încheie cu prezentarea proiectului pilot de monitorizare on-line a LEA 400 kV București Sud - Pelicanu, 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, respectiv în stația 400/220/110 kV București Sud.

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;
- pe suprafața carcasei 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.

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

- 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 înalta tensiune aferente LEA 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.

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.

În urma măsurătorilor efectuate s-au putut sintetiza următoarele concluzii:

 Proiectul pilot, 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 LEA (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 al LEA de înaltă tensiune.



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

- 2) Referitor la sistemul NOVA OHLM s-au constatat următoarele:
 - a) 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;
 - 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;
- 3) 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.
- 4) Dintre metodele testate în cadrul proiectului pilot pentru măsurarea săgeții cea mai precisă și sigură este cea bazată pe măsurarea unghiului de înclinare a conductorului LEA (sub 5 cm);
- 5) Pentru determinarea curentului prin conductorului LEA sistemul NOVA OHLM a permis folosirea a 4 metode, cea mai precisă și sigură dovedindu-se cea bazată pe măsurarea directă.
- 6) Pentru determinarea temperaturii conductorului LEA sistemul NOVA OHLM a permis folosirea a minimum 4 metode, cea mai precisă și sigură metodă dovedindu-se a fi cea bazată pe măsurarea directă.
- 7) Experiența acumulată a confirmat opinia specialiştilor 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 LEA 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 de exploatare a LEA.
- 8) Rezultatele obținute în cadrul proiectului pilot au confirmat faptul că sistemul inovativ NOVA OHLM este un sistem performant, cel puțin la nivelul cerințelor tehnice şi al performanțelor asigurate în prezent de cele mai evoluate sisteme similare pe plan internațional fabricate în SUA, Germania, Coreea de Sud, Spania ş.a.

- 9) Măsurătorile on-line efectuate în stația 400/220/110 kV Bucureşti Sud şi pe LEA 400 kV Bucureşti Sud - Pelicanu au demonstrat că sistemele de monitorizare NOVA OHLM şi NOVA IZOMON pot fi folosite în scopuri multiple în rețelele electrice de transport:
 - pentru monitorizarea on-line a parametrilor de funcționare a LEA de 110-400 kV;
 - pentru aplicarea conceptului DLR în exploatarea eficientă a liniilor electrice existente;
 - pentru monitorizarea on-line a stării tehnice a izolatoarelor electrice, pentru obținerea unor informații utile despre solicitările combinate la care sunt supuse izolatoarele compozit etc.

Capitolul 7 este în întregime original și are 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 LEA:

- obținerea informațiilor și a datelor preliminare pentru analiza posibilității și a condițiilor aplicării regimului dinamic de încărcare (DLR);
- controlul veridicității valorilor parametrilor de funcționare ai LEA măsurați on-line;
- stabilirea tipului de DLR a LEA și limitele admisibile de funcționare a acesteia;
- validarea regimului DLR.

Ultimul subcapitol detaliază condițiile pentru introducerea regimului DLR. Așa cum s-a menționat în capitolul 4, curentul maxim admisibil termic și capacitatea termică a unei LEA 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 (fig. 7.1.1).

Cond ACSF	Conductoare din otel-aluminiu, conform SF 35/1999 ACSR, Aluminium Conductors Steel reinforced, according to SF 35/1999											
Тір	Sectiune		Otel		Alı	ıminiu	Conductor		Forta de	Rezistenta	Capacitatea	
conductor	Aluminiu	Otel	Totala	Numar sarme	Diametru	Numar sarme	Diametru	Diametru	Masa	rupere nominala	electrica la 20 °C	de transport a curentului
Code	Cross sectional area		s	Steel Alun		ninium ACSF		SR	Breaking	Resistance	Current	
	AL.	ST.	ACSR	No. of wires	Diameter	No. of wires	Diameter	Diameter	Weight	Load	at 20 °C	carrying capacity
	mm²	mm²	mm²		mm		mm	mm	kg	N	Ohm/km	Α
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

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: 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}; absorbtivitatea conductorului: 0,6.

Etapele 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: date generale despre LEA; date despre parametrii de proiectare ai LEA; date despre parametrii de funcționare și de stare ai LEA, măsurați și monitorizați on-line; date despre aparatajul din stațiile de capăt ale liniei electrice, conectat direct la linie
- Etapa 2. Controlul veridicității valorilor parametrilor de funcționare ai liniei electrice aeriene măsurați on-line.
- Etapa 3. Stabilirea tipului de regim dinamic de încărcare (DLR) și limitele admisibile de funcționare a LEA.
- Etapa 4. Validarea regimului DLR

În cadrul acestei etape se determină faptul că un regim DLR de încărcare a unei linii electrice aeriene este validat dacă sunt îndeplinite simultan următoarele condiții:

- a) curentul de încărcare a LEA în regim DLR (I_{DLR}) este mai mic decât curentul maxim admis pe LEA din punct de vedere termic și de aparatajul din stație înseriat cu LEA $I_{DLR} < I_{lim}$;
- b) temperatura de funcționare LEA (T_{fDLR}) \leq (T_{ncLEA});
- c) gabaritul de funcționare LEA (G_{fDLR}) < (G_{limita});

Sunt prezentate șase exemple de aplicare a regimului dinamic de încărcare a unei LEA în funcție de parametrii previzionați ai mediului ambiant, pentru condiții inițiale prestabilite:

- 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):* 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 7.2.4. Exemplul 1: aplicarea regimului DLR în funcție de parametrii previzionați ai mediului ambiant

Nr. crt.	Parametrul de funcționare	Valori								
1	Curentul prin LEA [A]		760 A							
2	Temperatura ambiantă [°C]	0	5	10	15	20	25	30	35	40
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 rămân de asemenea constanți (tabelul 7.2.5): temperatura ambiantă: 40°C; viteza vântului: variabilă; direcția vântului: 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 (tabelul 7.2.6): temperatura ambiantă: 40°C; viteza vântului: 0,6 m/s; directia vântului: variabilă; coeficientul de emisivitate: 0.5; coeficientul de absorbtie: 0.5; radiatia solară: 1120 W/m.

Nr. crt.	Parametrul de funcționare	Valori

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			
1	Sâgeata conductorului [m]	7 3 3 9	7 35	7 389	7 461	7 57	7 735	7 909			

28.157

Forța de tracțiune a conductorului [kN]

5

Tabelul 7.2.6. Exemplul 3: aplicarea regimului DLR în funcție de parametrii previzionați ai mediului ambiant

Temperatura conductorului este mai mare decât temperatura limită admisă (70°C la LEA vechi).

28.126

27.968

27,703

27.305

Alarmă conductor

26.729

26.15

Tabelul 7.2.7. Exemplul 4: aplicarea regimului DLR în funcție de parametrii previzionați ai mediului ambiant

Nr. crt.	Parametrul de funcționare	Valori								
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							j	

În acest exemplu s-a stabilit un curent limită termic de 1000 A determinat de caracteristicile limită termice ale aparatajului din stație înseriat cu LEA.

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; c. directia vântului: 45°; d. coeficientul de emisivitate: 0.5; e. coeficientul de absorbtie: 0.5; f: radiatia solară: 1120 W/m.

Nr. crt.	Parametrul de funcționare	Valori									
1	Temperatura mediului ambiant [°]	40	35	30	25	20	15	10	5	0	
2	Direcția vântului [º]	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 tem						
					ratură conduc						

Tabelul 7.2.8. Exemplul 5: aplicarea regimului DLR în funcție de parametrii previzionați ai mediului ambiant

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): temperatura ambianta: variabilă; viteza vântului: 0,6 m/s; directia vântului: 45°; coeficientul emisivitate: 0.5; coeficient absorbție: 0.5; radiația solară: 1120 W/m.

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 absorbtie: 0.5; radiatia 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									
1	Temperatura mediului ambiant [°]	40	35	30	25	20	10	10	0		
2	Direcția vântului [º]	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			Alarma		
						aparataj			conductor		

Experiența internațională recomandă îndeplinirea următoarelor condiții pentru aplicarea în mod curent a regimului dinamic de încărcare a LEA 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 (Tp) la care este posibil regimul DLR;
 - se cunoaște curentul corespunzător încărcării nominale a LEA (InLEA);
 - se cunoaște curentul limită maxim (Ilmax); 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 depăşeşte capacitatea maximă de încărcare precizată de producătorul conductorului (în caz contrar temperatura conductorului ar depăşi limitele la care săgeata/gabaritul la sol nu se încadrează în limitele admisibile şi/sau lubrifiantul şi-ar modifica starea (s-ar topi, şi prin aceasta ar creşte frecarea între firele de conductoare şi firul de oţel, 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. forță 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.

Capitolul 8 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.

Dintre contribuțiile principale ale autorului în cadrul tezei se menționează:

1. Cercetarea bibliografică, analiza critică şi sistematizarea materialului informativ existent în literatura de specialitate privind măsurarea şi monitorizarea on-line a parametrilor de funcționare şi de stare a LEA 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 şi distribuție a energiei electrice de la producător la consumatorii locali, scoţând în evidență perturbațiile care pot afecta grav funcționarea liniilor electrice, sintetizând condițiile pentru achiziția şi prelucrarea datelor care definesc parametrii de funcționare și de stare a liniilor electrice de înaltă 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 LEA de înalta tensiune, din sistemul de transport al energiei electrice.
- 4. Pe baza cercetărilor efectuate autorul, în colaborare cu o echipă de specialişti în domenii specifice: electronică industrială, automatică, informatică, telecomunicații, a realizat, testat, experimentat şi folosit în instalațiile CNTEE Transelectrica SA sistemul Nova OHLM destinat măsurării şi monitorizării on-line parametrilor de funcționare şi de stare a liniilor electrice aeriene. Sistemul NOVA OHLM este un sistem original, ultraperformant şi sigur întrucât măsoară simultan (comparativ cu alte sisteme dezvoltate pe plan internațional) toți parametrii care definesc funcționarea unei LEA şi verifică prin calcul veridicitatea datelor achiziționate.
- 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 LEA 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 lanțuri 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.

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.

Bibliografie selectivă

- [1] [Barth2008] Barthold L.O., Maximizing the capability of existing ac transmission lines, CIGRE Session 2008, paper B2.109
- [2] [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
- [3] [CIGRE2016] CIGRE, Meteorological data for assessing climatic loads on over-head lines, Technical Brochure 601, 2016
- [4] [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
- [5] [Dai2013] Dai L., ş.a., Mechanics analysis of overhead transmission lines based on-line monitoring, Open Journal of Applied Sciences, nr.2b, 2013, pp.1-4
- [6] [DOE2009] DOE U.S. Department of Energy, Smart Grid system report, 2009
- [7] [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
- [8] [ENISA2012] ENISA (The European Union Per Regulation), Smart Grid Security. Recommendations for Europe and Member States, 2010
- [9] [ENTSO2012a] ENTSO-E, Guideline for cost benefit analysis of grid development proiects, 2012
- [10] [ENTSO2012c] ENTSO-E, 10-Year Network Development Plan 2012, 2012
- [11] [ENTSO2013a] ENTSO-E, European Electricity Grid Initiative (EEGI) Roadmap for Research & Innovations, 2013
- [12] [ENTSO2013b] ENTSO-E, Dynamic line rating for overhead lines V6. CE TSOs current practice, 2015
- [13] [EPRI2001] EPRI, Video sagometer application guide, Technical report, 2001
- [14] [EPRI2009] EPRI, The communication networks guidebook for intelligent transmission systems, Technical report, 2009
- [15] [EPRI2013] EPRI, Evaluation of instrumentation and dynamic thermal ratings for overhead lines, Technical report, 2013
- [16] [EURO2009] Eurocode 1 Actions on structures. Part 1-4: General actions, 2009
- [17] [Falc2015] Falcon, Dynamic asset rating overhead lines, Project Falcon 2015
- [18] [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
- [19] [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
- [20] [Gian2016] Gianinoni I. ş.a., Supporting the Development of the European Electricity Grids Initiative (EEGI), GRID+, Project no. 282794, 2016
- [21] [Gran2010] Grand Ph., The life extension policy of overhead lines, CIGRE Session 2010, Paper B2.306
- [22] [Guv2017] Guvernul României, Planul național de acțiune în domeniul eficienței energetice 2017-2020, 2017
- [23] [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 (SAMI), Herlany, Slovakia, 2015, pp.289-294
- [24] [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

- [25] [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
- [26] [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
- [27] [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
- [28] [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
- [29] [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
- [30] [Iaco2018b] N.L. Iacobici, F.M. Frigura-Iliasa, P. Andea, D. Vatau, F. Alexa, Assessment of RF transceivers placed in remote control devices, 18th Inter-national Multidisciplinary Scientific Geoconference (SGEM), Albena, Bulgaria, 2018, pp.165-172
- [31] [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
- [32] [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
- [33] [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
- [34] [IEEE2012] IEEE Guidelines for determining conductor temperatures during measurement of sag along overhead transmission lines, Technical report, 2012
- [35] [IEEE2012b] IEEE Guidelines for implementing Dynamic Thermal Circuit Rating (DTCR) in systems and market operation, Electrical Power Research Institute, 2012
- [36] [Marc2017] M. Marcolţ, L.N. Iacobici, I.D. Haţegan, Electric Energy Storage Systems from theory to applied projects, 4th CIGRE Romania Conference on Condition Monitoring, Diagnosis and Maintenance (CMDM), 2017, pp.337-348
- [37] [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
- [38] [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
- [39] [Mold2017] C. Moldoveanu, I. Hategan, L.N. Iacobici, V. Brezoianu, A. Vasile, M. Plopeanu, V. Florea, E. Munteanu, C. Baciu, 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
- [40] [Mold2021] C. Moldoveanu, I. Ionita, S. Zaharescu, V. Florea, N.L. Iacobici, I. Hategan, A Romanian Solution for Real-time Monitoring of Overhead Trans-mission Lines, 9th IEEE International Conference on Modern Power Systems (MPS), Cluj-Napoca, Romania, 2021, pp.1-5
- [41] [NIST2012] NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability, Standards, Release 2.0, NIST Special Publication 1108R2, 2012
- [42] [Pohl2000] Pohlman, J. C. ş.a., Practical steps for increasing availability of existing Overhead Transmission Lines, CIGRE Paper 22-105, Paris, 2000
- [43] [Puf2012] Puffer R ş.a., Area-wide dynamic line ratings based on weather measurements, CIGRE Session 2012, paper B2.106
- [44] [Reid2002] Reid J., Bryan U., Measurement of life and life extension, CIGRE Session, 2002, Paper 13

- [45] [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
- [46] [Step2012] Stephen R., Guide for Application of Direct Real-Time Monitoring Systems 498 Broshure, CIGRE WG B2.36, 2012
- [47] [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
- [48] [USDE2014] US Department of Energy, Dynamic line rating systems for trans-mission lines Topical report. Smart Grid Demonstration Program, 2014
- [49] [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
- [50] [WMO2008] Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, World Meteorological Organization Publications, Geneva, 2008