

IMPLEMENTAREA ÎN TIMP REAL A UNUI SISTEM PENTRU MONITORIZAREA SĂGEȚII CABLURILOR LINIILOR ELECTRICE AERIENE

Claudiu-Ionel NICOLA¹, Marcel NICOLA¹, Ion PĂTRU¹, Camelia MARINESCU¹,
Gabriel TĂNĂSESCU², Carmen TĂNĂSESCU²

¹ National Institute for Research, Development and Testing in Electrical Engineering -
ICMET Craiova

² SIMTECH International București

nicolaclaudiu@icmet.ro¹, marcel_nicola@icmet.ro¹, ipatru@icmet.ro¹, micro@icmet.ro¹,
gtanasescu@simtech-international.ro², carmen@simtech-international.ro²

Rezumat. În acest articol este prezentată o metodă de calcul și un sistem de monitorizare în timp real a săgeții cablurilor liniilor aeriene de transmisie a energiei electrice, ca urmare a nevoii crescute din ultimul deceniu de a estima cu precizie valoarea acesteia. Astfel, se prezintă arhitectura hardware/software a unui astfel de sistem, care utilizează pe lângă datele geometrice ale liniei electrice, și informațiile furnizate de un senzor specializat pentru a măsura tensiunea mecanică orizontală din cablu. Pe baza ecuației catenarei se prezintă simulările numerice implementate în mediul Matlab pentru a obține valoarea săgeții cablurilor liniilor aeriene de transmisie a energiei electrice. De asemenea, se prezintă implementarea software în timp real în mediul de programare Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench (LabVIEW) a monitorizării stării liniilor electrice aeriene.

1. INTRODUCERE

Este incontestabil că, în concordanță cu dinamica lumii moderne, nevoia de energie electrică este în creștere atât din punct de vedere cantitativ, cât și calitativ, dar, în comparație cu cunoștințele tradiționale acumulate în secolul trecut, în ultimele două decenii s-a înregistrat o schimbare a așa-numitelor ore de vârf și o variabilitate crescută a energiei electrice cerute de consumatori. Astfel, rețelele de transport și distribuție asigură transmiterea energiei electrice de la centralele electrice la stațiile de transformare și apoi la consumatori [1-4].

Monitorizarea și evaluarea stării unei componente a acestui lanț de distribuție a energiei electrice la un moment dat se poate face la punctul de utilizare a acesteia, fără a opri/deconecta componenta din lanțul său funcțional. Există o nevoie clară de monitorizare globală prin interconectarea sistemelor locale de control și achiziție de date de supraveghere – Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA) și luarea în considerare simultană a informațiilor privind mai mulți factori de diagnosticare [5-8].

Monitorizarea și diagnosticarea pot fi abordate ca un sistem, cu mărimi de intrare, mărimi de proces și mărimi de ieșire. Modelul pe baza căruia se realizează diagnosticul poate fi mai mult sau mai puțin complicat, stabilirea sa fiind rezultatul prelucrării unor cunoștințe și informații vaste acumulate în timp. Astfel, cunoașterea în timp real a stării de sănătate a infrastructurii electrice este un element esențial în elaborarea strategiilor și prognozelor, corelat cu o estimare corectă a costurilor, activităților și resurselor [9-12].

Pornind de la acest context general și de la faptul că un element critic în exploatarea în siguranță a lanțului de distribuție a energiei electrice îl reprezintă cunoașterea valorii săgeții cablurilor, adică având în vedere variabilitatea acesteia în funcție de sarcina liniei electrice aeriene și de condițiile meteorologice, acest articol prezintă o metodă primară de calcul a valorii săgeții cablurilor pentru liniile electrice aeriene de transport [13-15].

Importanța cunoașterii în timp real a valorii săgeții cablurilor liniilor electrice aeriene se datorează faptului că dacă nu se estimează corect și nu se iau măsuri adecvate în timp util, ca urmare a scurtcircuitului dintre linie și sol, fenomen datorat acțiunii de avalanșă a supraîncărcării liniei electrice și a condițiilor meteorologice, se pot produce avalanșe catastrofale. Arhitectura hardware/software propusă în această lucrare și testată în laborator se bazează pe datele geometrice ale liniei electrice aeriene și pe informațiile furnizate de un senzor specializat în măsurarea tensiunii mecanice orizontale din cablu. În plus, deoarece arhitectura propusă este minimă, dar deschisă, prin utilizarea senzorilor de înclinare pentru calculul de înclinare a cablurilor liniilor electrice aeriene de transport, un estimator de defecte poate fi implementat în software.

Articolul este structurat după cum urmează: Secțiunea 2 prezintă arhitectura propusă pentru monitorizarea săgeții cablurilor liniilor aeriene de transport al energiei electrice; în Secțiunea 3 se prezintă implementarea algoritmului pentru determinarea săgeții cablurilor, în timp ce Secțiunea 4 prezintă concluziile generale ale subiectului abordat.

2. ARHITECTURA HARDWARE ȘI SOFTWARE PROPUȘĂ PENTRU DETERMINAREA SĂGEȚII CABLURILOR LINIILOR ELECTRICE AERIENE

În Fig. 1 este prezentată o arhitectură hardware/software minimală propusă pentru calculul în timp real a săgeții cablurilor liniilor aeriene de transmisie a energiei electrice.

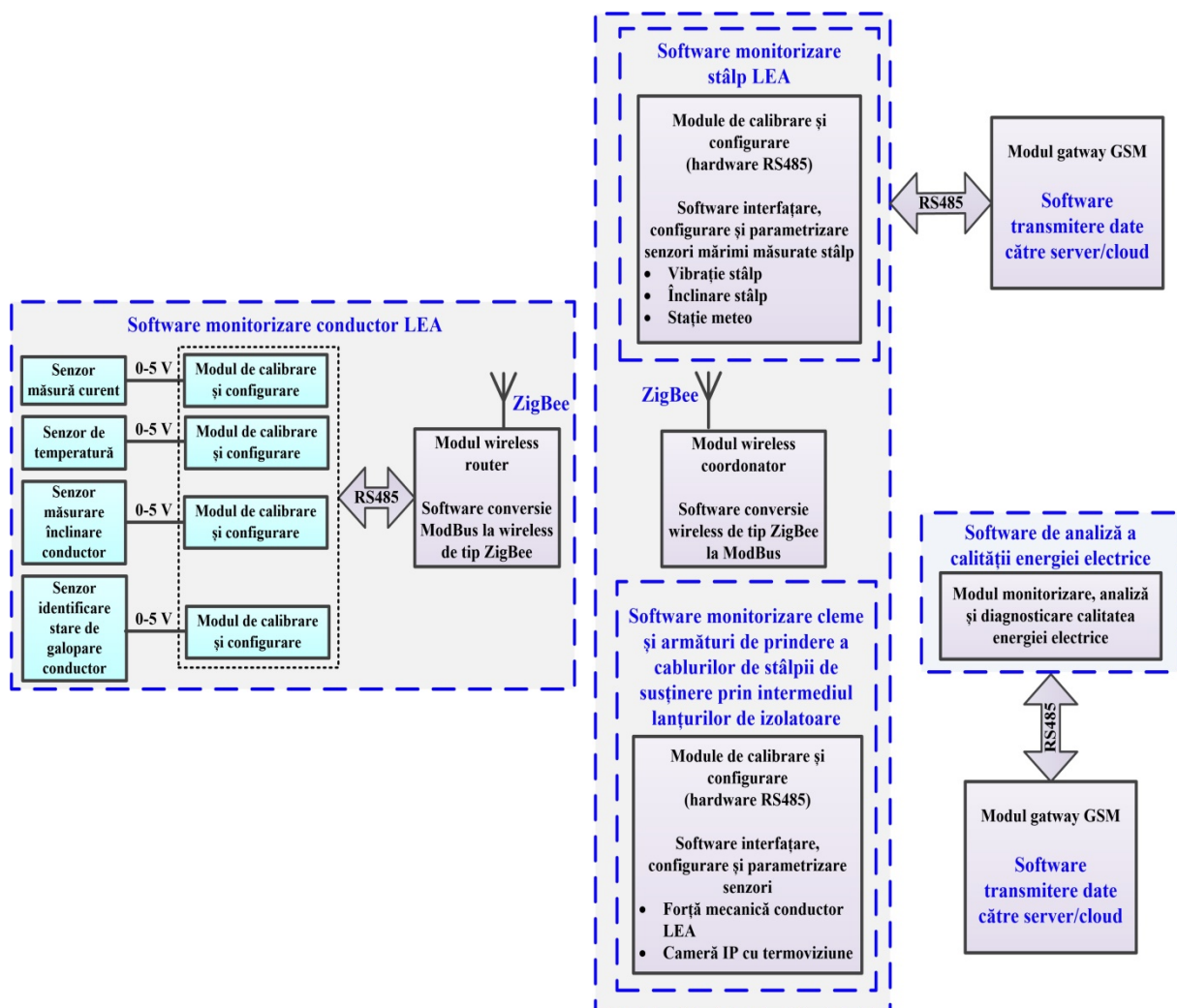


Fig. 1. Arhitectura hardware/software propusă pentru determinarea și monitorizarea săgeții cablurilor.

Trebuie remarcat faptul că această arhitectură prezintă o serie de senzori ale căror informații pot fi transmise și centralizate de către calculatorul server de aplicații situat în cea mai apropiată stație electrică. Aceste informații suplimentare completează o imaginea de ansamblu a stării liniei de transport a energiei electrice, dar o parte din informațiile furnizate de acești senzori pot fi utilizate pentru a rafina algoritmul propus pentru calcularea săgeții cablurilor în funcție de condițiile meteorologice curente (temperatură, depunerea de gheață pe cablu și vânt). Realizarea aplicațiilor software pentru achiziția și transmisia de date pentru modulul de monitorizare on-line și diagnosticarea conductoarelor LEA se bazează pe protocoalele de tip ModBUS și ZigBee. Protocolul ModBUS este un protocol de comunicare bazat pe arhitectura master-slave sau client-server, iar scopul principal al protocolului de tip ModBUS este facilitarea comunicării stabile, rapide între modulul de tip slave din cadrul rețelei wireless de tip ZigBee și senzorii instalați în modulul hardware de monitorizare a conductoarelor LEA. ZigBee, așa cum este descris în cadrul standardului IEEE 802.15.4, este un protocol de transmisie de date cu o rată mică de transmisie pentru WPAN. Acesta a fost conceput pentru o conexiune simplă între dispozitive, păstrând consumul de energie la un minim. Rețeaua cu ZigBee se auto-organizează, fiind necesar un minim de intervenție al utilizatorului sau al administratorului, în momentul configurării inițiale. Intervențiile ulterioare sunt necesare doar în situații cu probleme majore, în care se defectează un număr foarte mare de noduri sau în cazul în care sunt șterse și resetate configurațiile ce rulează. Fiecare senzor are posibilitatea parametrizării prin intermediul unui modul hardware/software, care realizează interfațarea între senzor și aplicația generală software prin intermediul protocolului de comunicație ModBUS, astfel fiecare senzor are asociat un ID, iar prin intermediul funcțiilor de citire/scriere specifice protocolului de comunicație ModBUS, se poate realiza citirea în timp real a datelor oferite de senzori cât și parametrizarea acestora.

Senzorii de înclinare utilizați pentru a măsura unghiurile de tangaj și de ruluie ale cablurilor electrice aeriene sunt de tip DAS-90-A, de la Level Developments. Aceștia utilizează un senzor de sisteme microelectromecanice (MEMS) într-o structură robustă, sigilată din aluminiu, cu un cablu de 2 m de poliuretan (PUR) ecranat și un conector M12 cu 4 pini. Senzorul este alimentat în intervalul 7Vc.c. ÷ 32Vc.c., iar unghiul măsurat este cuprins între 0° și 90°. Senzorul PT100 este un senzor de temperatură pentru intervalul -50°C ÷ +400°C cu o precizie de 0,2% și o derivă mai mică de 0,04%. Materialul utilizat pentru fabricarea acestui tip de senzor este firul tetrafluorurat placat cu argint și oțel inoxidabil. Conversia în mărime analogică 0÷5V este asigurată de un modul de tip HIC-PT100. Senzorul Recovib IAC-CM-U-03 de la Micromega Dynamics este utilizat pentru a măsura vibrațiile cablurilor liniilor electrice aeriene. Acesta are o sensibilitate de măsurare de 40mV/g pe o gamă de la -50g la 50g și un decalaj de derivă de ±50 mg/°C. Acest senzor oferă o ieșire analogică de 0V ÷ 5V. Pentru a măsura curentul prin cablurile liniilor electrice aeriene, se utilizează un traductor de curent Hall cu miez divizat de tip THST30A, care oferă un domeniu de măsurare de până la 1200A. Ieșirea analogică a acestui tip de traductor este de 0V ÷ 5V.

Senzorii prezentați anterior sunt conectați la modulul hardware ICP DAS tM-AD8, care convertește intrările analogice în ieșiri digitale pe protocolul ModBUS RTU pe interfața RS-485. Modulul tM-AD8 este un modul de intrare analogică ce include 8 canale de intrare analogică single-ended în gama 0÷5V. Acest modul hardware oferă, de asemenea, protecție la supratensiune ridicată de 120Vc.c. Ca parte a configurației hardware a subsistemului care măsoară starea cablurilor, acesta oferă posibilitatea efectuării operațiunilor de configurare și calibrare și dispune de o memorie EEPROM integrată care poate fi utilizată pentru a stoca date precum adresa modulului, codul de tip, viteza de transmisie etc. Rezoluția de măsurare a modulului hardware tM-AD8 este de 14 biți, rata de eșantionare este de 10 Hz, iar precizia de măsurare este de ±0,1%. Rețeaua de senzori pentru sistemul de monitorizare a cablurilor liniilor electrice aeriene este prezentată în Fig. 2.



Fig. 2. Rețea de senzori pentru sistemul de monitorizare a cablurilor liniilor electrice aeriene: (a) Senzor de înclinare pentru măsurarea unghiurilor cablului; (b) Senzor de temperatură a cablului; (c) Accelerometru pentru măsurarea vibrațiilor cablului; (d) Senzor de tip Hall pentru măsurarea curentului din cablu; (e) Senzor de tensiune mecanică a cablului; (f) Accelerometru pentru măsurarea vibrațiilor stâlpilor; (g) Senzor de înclinare pentru măsurarea unghiurilor stâlpilor; (h) Senzor de umiditate relativă și temperatură, viteza și direcția vântului, radiația solară globală, presiunea barometrică, precipitații; (i) Senzor de grindină; (j) Senzor de detectare a gheții.

Figura 3(a) prezintă vederea panoului frontal al modului hardware tM-AD8, iar Fig. 3(b) prezintă diagrama bloc a acestui tip de modul hardware.

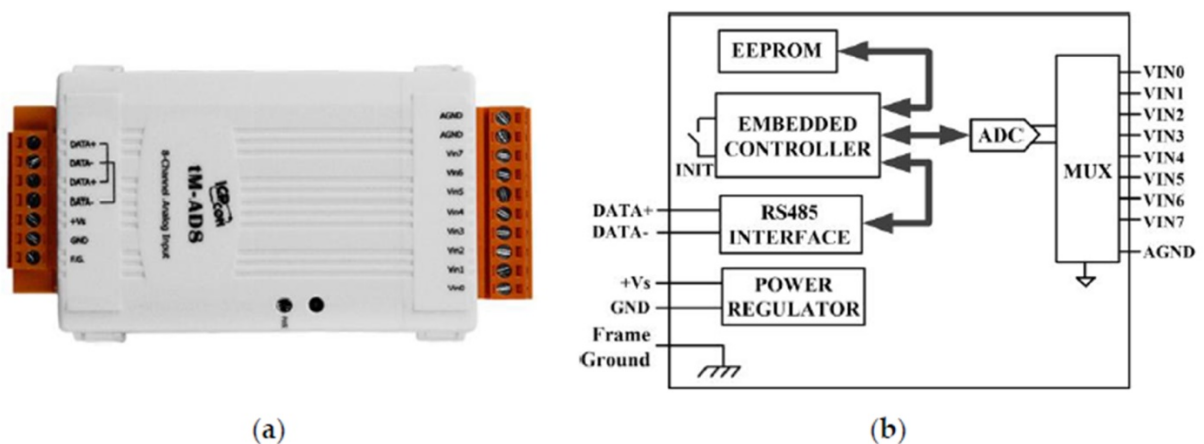


Fig. 3. Modul hardware pentru semnale de tensiune de intrare analogice de la senzori și conversia în ModBUS RTU: (a) vedere de pe panoul frontal; (b) schema bloc a modului hardware.

O celulă de sarcină de tip DCL10 este utilizată pentru a măsura tensiunea mecanică din cablu. Acest senzor placat cu nichel este fabricat din oțel aliat și este clasificat IP67 pentru utilizare în exterior. Neliniaritatea este de 0,03% din valoarea totală a scalei. Un condiționar de semnal furnizează valoarea măsurată atât într-un semnal unificat de 4÷20mA; 0÷10V, cât și ca protocol ModBUS pe interfața RS-485. În mod implicit, în rețeaua locală ModBUS, ID-ul senzorului este 0x04, iar adresa mărimii furnizate este 57H și 58H.

Modulele din seria ZT-2551 sunt convertoare ZigBee fără fir de dimensiuni mici, bazate pe standardul IEEE 802.15.4, care permit convertirea interfețelor RS-232, RS-485 și Ethernet într-o rețea ZigBee de zonă personală. Transmisia tipică a produselor ZigBee din seria ICP DAS ZT este de 700 de metri (LOS, line of sight), cu o gamă de frecvențe de transmisie cuprinsă între 2,405 GHz și 2,48 GHz, separate în sectoare de 5 MHz, oferind 16 canale și 16384 ID-uri din structura unei rețele de tip Personal Area Network (PAN).

3. IMPLEMENTAREA ÎN TIMP REAL A ALGORITMULUI DE CALCUL A SĂGETII CABLURILOR LINIILOR ELECTRICE AERIENE

În această secțiune se prezintă algoritmul de calcul a săgeții cablurilor liniilor electrice aeriene implementat în mediul de programare Matlab pentru simulări numerice, dar și în mediul de programare LabVIEW pentru monitorizarea în timp real a stării liniilor electrice aeriene.

3.1. Algoritm de calcul săgeată cablu și simulări numerice

Pentru a determina valoarea săgeții cablului liniilor aeriene de transport al energiei electrice, se pornește de la ecuația catenarei dată în relația (1) [14, 15].

$$y' = \frac{dy}{dx} = \sinh\left(\frac{w}{H}x + K_1\right). \quad (1)$$

Figura 4 ilustrează reprezentarea geometrică a situației analizate dată de poziționarea cablului între doi stâlpi.

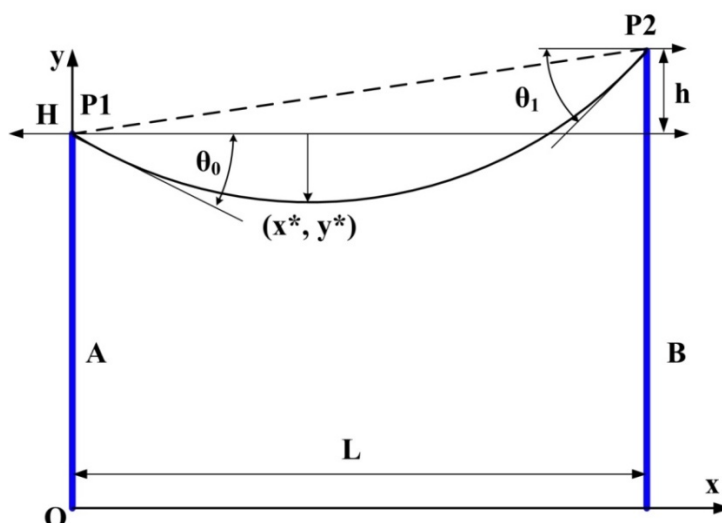


Fig. 4. Reprezentare geometrică.

Astfel, se poate observa din reprezentarea în planul xOy utilizarea următoarelor notații: unghiurile θ_0 și θ_1 măsurate în grade, înălțimea cablului h măsurată în m, greutatea cablului G măsurată în N, greutatea/lungimea cablului w măsurată în N/m, lungimea cablului l măsurată în m; componenta orizontală a efortului mecanic al cablului H măsurată în N, coordonatele punctului minim al cablului (x^* , y^*), unde originea sistemului de coordonate este poziționată în partea superioară a stâlpului mai scurt.

Integrând ecuația (1) se obține următoarea relație:

$$y = \frac{H}{w} = \cosh\left(\frac{w}{H}x + K_2\right), \quad (2)$$

Cele două constante de integrare K_1 și K_2 din ecuațiile de mai sus sunt date sub următoarea formă:

$$\begin{cases} K_1 = \operatorname{asinh}\left(\frac{wh}{2H\sinh\frac{wL}{2h}}\right), \\ K_2 = -\frac{H}{w}\cosh(K_1) \end{cases} \quad (3)$$

De asemenea, lungimea cablului poate fi calculată în mod clasic din expresia dată în ecuația (4).

$$l = \int_0^L \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx, \quad (4)$$

care, după o anumite calcule, devine următoarea relație:

$$l = \frac{H}{w} \left(\sinh\left(\frac{wL}{H} + K_1\right) - \sinh(K_2) \right), \quad (5)$$

Luând în considerare faptul că $w = \frac{G}{l}$, x_{min} și y_{min} care reprezintă coordonate pot fi obținute sub forma următoarelor expresii:

$$x^* = \frac{-HK_1}{w}, \quad (6)$$

$$y^* = \frac{H}{w} \cosh\left(\frac{wx^*}{H} + K_1\right) + K_2, \quad (7)$$

De asemenea, o relație importantă care leagă tensiunea mecanică orizontală din cablu H , greutatea cablului G și cele două unghiuri θ_0 și θ_1 din Fig. 1 este dată de următoarea relație:

$$H = \frac{G}{\tan(\theta_1) + \tan(\theta_2)}, \quad (8)$$

Precizăm că această relație poate fi utilizată ca o relație de "verificare", deoarece în unele aplicații se folosesc senzori, atât pentru tensiunea mecanică orizontală din cablu, cât și pentru măsurarea unuia sau a ambelor unghiuri θ_0 și θ_1 ale înclinării cablurilor liniilor electrice aeriene.

Prin urmare, utilitatea relației (8) este evidentă în funcție de structura de măsurare și control aleasă. Prin urmare, se pot face comparații în timp real între valorile date de un senzor sau obținute prin calcul din relația (8). Astfel, relația (8) poate fi asimilată unui estimator de defecte, care, pus în aplicare în timp real, poate semnala eventualele defecte ale senzorilor de înclinare sau ale senzorului de măsurare a tensiunii mecanice orizontale.

Prin implementarea în mediul de programare Matlab [16] și prezentată în Fig. 5 sub forma unui algoritm a ecuațiilor descrise anterior se poate obține valoarea săgeții cablului și poziția acesteia pe axa orizontală între cei doi stâlpi.

```

Sag_Calculus.m
1  h = 0;
2  L = 37;
3  G = 10;
4  H = 50;
5  T=(G*10)/H;
6  y = @(l)(T-sinh(asinh((h*T)/(2*1*sinh((L*T)/(2*1))))+(L*T)/(2*1))+...
7      sinh(asinh((h*T)/(2*1*sinh((L*T)/(2*1))))-(L*T)/(2*1)));
8  a=fsolve(y,L); % Plot the function
9  a
10 w=(G*10)/a;
11 K1 = asinh((w*h)/(2*H*sinh((w*L)/(2*H))))-(w*L)/(2*H);
12 K2 = -(H/w)*cosh(K1);
13 z = @(x)((H/w)*cosh((w/H)*x+K1)+K2);
14 fplot(z,[0 L]); % Plot the function
15 title('Cable Sag');
16 hold on;
17 % Find and plot the minimum
18 minimum = fminbnd(z,0,L); % We can pass the function handle directly
19 % to the minimization routine
20 plot(minimum,z(minimum),'d'); % We can evaluate the function without
21 % using feval
22 grid;
23 hold off;
24 minimum
25 z(minimum)
26 x_s = (-H*K1)/w
27 y_s = (H/w)*cosh((w*x_s)/H+K1)+K2

```

Fig. 5. Programul de aplicație Matlab pentru determinarea săgeții cablului.

Astfel, în Fig. 6 pentru setul de date de intrare – 1, a cărei semnificație a fost dată la începutul acestei secțiuni: $L = 37\text{m}$, $G = 100\text{N}$, $h = 0\text{m}$ și $H = 50\text{N}$. În urma simulării numerice se obține următorul set de date: $l = 41,97\text{m}$, $w = 2,38\text{N/m}$, $x^* = 18,5\text{m}$ și $y^* = -8,69\text{m}$.

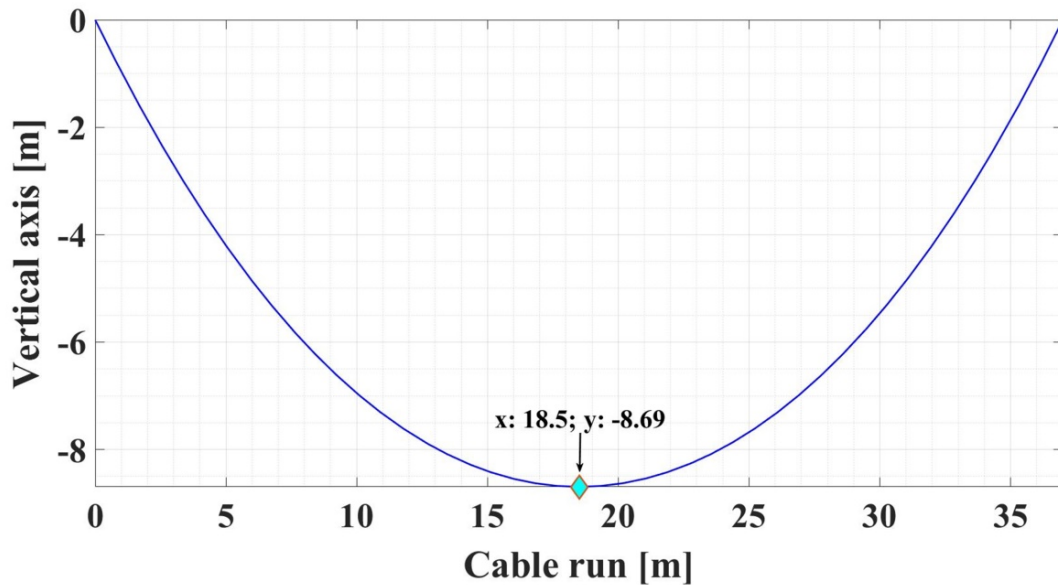


Fig. 6. Simularea numerică Matlab pentru determinarea săgeții cablului – set 1 date.

Figura 7 prezintă rezultatele pentru setul de date de intrare – 2: $L = 50\text{m}$, $G = 120\text{N}$, $h = 5\text{m}$ și $H = 76,08\text{N}$. În urma simulării numerice se obține următorul set de date: $l = 54,67\text{m}$, $w = 2,19\text{N/m}$, $x^* = 21,82\text{m}$ și $y^* = -7,09\text{m}$.

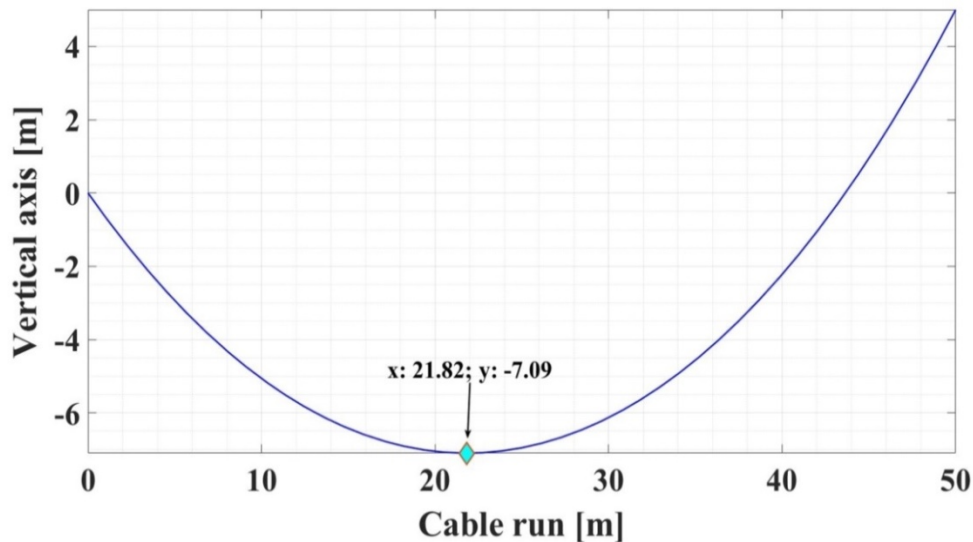


Fig. 7. Simularea numerică Matlab pentru determinarea săgeții cablului – set 2 date.

3.2. Implementare în timp real

Aplicațiile software dezvoltate pentru subsistemul de monitorizare online a cablurilor liniilor electrice aeriene sunt implementate cu ajutorul protocolului ModBUS și implică scrierea de funcții software pentru fiecare senzor pentru a seta valori minime și maxime, diverse praguri și valori de stare:

- interfațarea și configurarea canalului pentru achiziția de date de la senzorul de măsurare a înclinării cablului;
- interfațarea și configurarea canalului pentru achiziția de date de la senzorul de măsurare a temperaturii cablului;
- interfațarea și configurarea canalului pentru achiziția de date de la senzorul de măsurare a vibrațiilor cablului;
- interfațarea și configurarea canalului pentru achiziția de date de la traductorul pentru măsurarea curentului prin cablu;
- interfațarea și configurarea canalului pentru achiziția de date de la senzorul de măsurare a tensiunii mecanice a cablului;
- interfațarea și configurarea canalului pentru achiziția de date de la senzorul de măsurare a vibrațiilor stâlpului;
- interfațarea și configurarea canalului pentru achiziția de date de la senzorul de măsurare a înclinării stâlpului;

Testarea aplicațiilor software este realizată prin conectarea hardware pe interfața de tip RS-485 a modului de configurare și calibrare de tip tM AD8 la dispozitivul hardware de tip router ZT 2551. Pe baza informațiilor primite de la senzori, poate fi implementată o aplicație de calcul în timp real a săgeții cablurilor, urmând pașii descriși în secțiunea 3.1. Pentru implementarea și experimentele de laborator, implementarea a fost realizată în mediul de dezvoltare și programare LabVIEW [17]. Figura 8 prezintă schema bloc a etapei principale a implementării software-ului în mediul de programare LabVIEW. Datele de intrare sunt furnizate offline de elementele care constituie geometria liniei electrice aeriene (lungimea

dintre stâlpi, diferența dintre stâlpi și greutatea cablului), dar și online de la senzorul care furnizează componenta orizontală a tensiunii mecanice a cablului. Figurile 9 și 10 prezintă rezultatele obținute experimental pentru cazurile prezentate în secțiunea 2. Se poate afirma că în aplicația în timp real se obțin rezultate similare față de simularea numerică, cazul offline pentru determinarea săgeții cablurilor liniilor electrice aeriene.

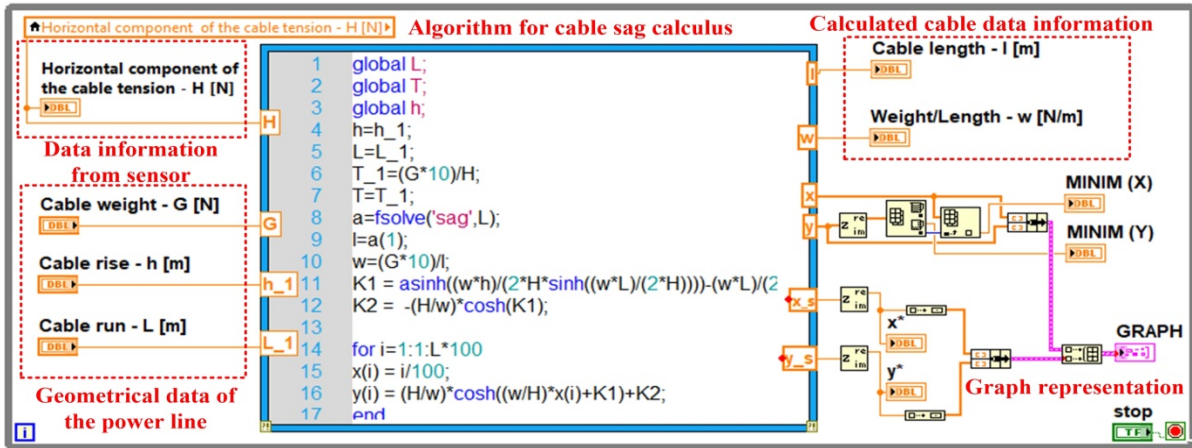


Fig. 8. Diagrama bloc software LabVIEW pentru determinarea și monitorizarea săgeții cablurilor.

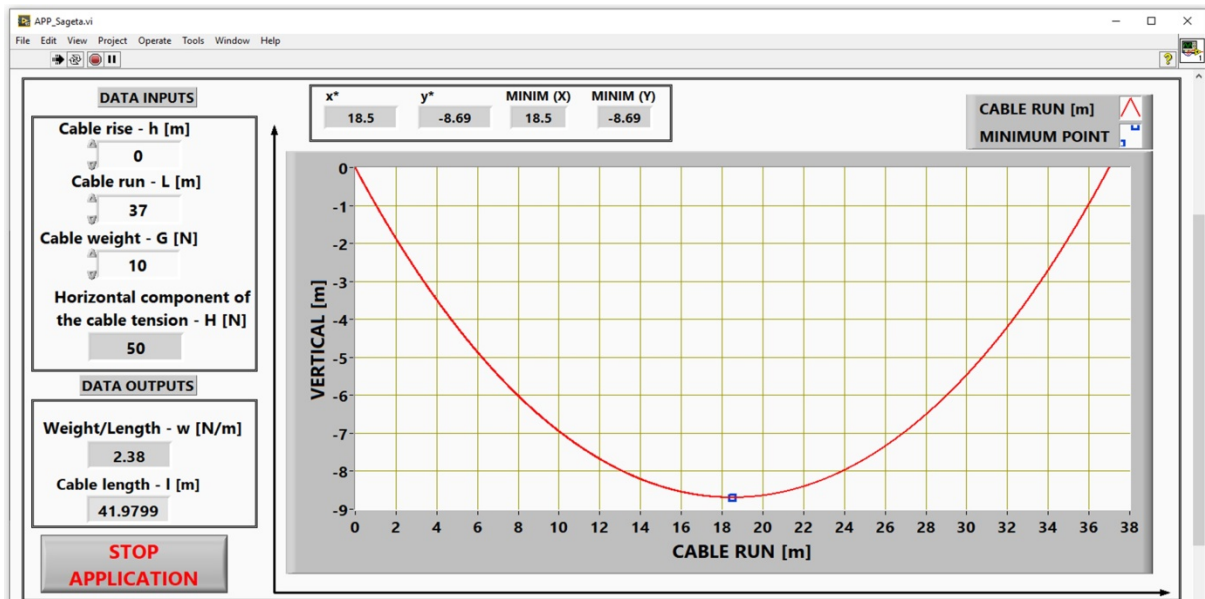


Fig. 9. Determinarea și monitorizarea săgeții cablurilor în timp real – set 1 date.

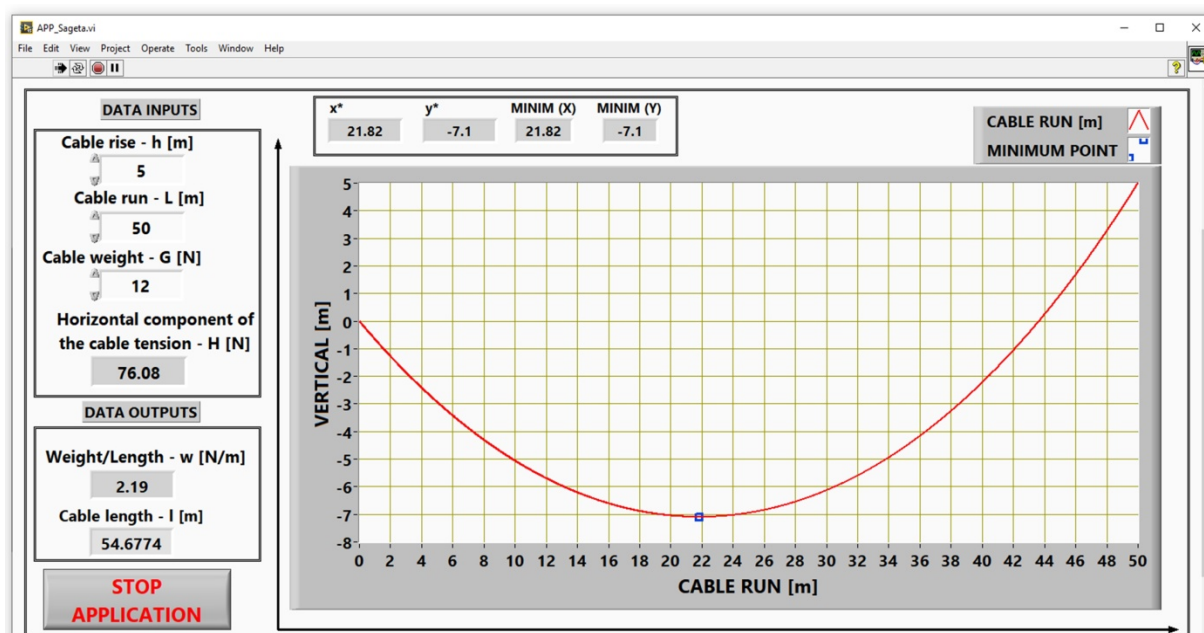


Fig. 10. Determinarea și monitorizarea săgeții cablurilor în timp real – set 2 date.

4. CONCLUZII

În acest articol este prezentată o metodă primară de calcul a valorii săgeții cablurilor liniile electrice aeriene. Sunt prezentate ecuațiile de bază și implementarea unui algoritm offline în mediul Matlab pentru obținerea valorii săgeții cablurilor.

De asemenea, această metodă prezintă o arhitectură hardware/software, care utilizează, pe lângă datele geometrice ale liniei, informațiile furnizate de un senzor specializat pentru măsurarea tensiunii mecanice orizontale din cablu. Se prezintă și o arhitectură complexă care permite achiziționarea de informații suplimentare privind starea liniei aeriene de transport a energiei electrice.

CONFIRMARE

Lucrarea a fost prezentată la Simpozionul de Mașini Electrice SME'XIX, ediția 2023.

BIBLIOGRAFIE

1. L. Yi et al., *Distributionally Robust Resilience Enhancement Model for the Power Distribution System Considering the Uncertainty of Natural Disasters*, IEEE International Conference on Power Science and Technology (ICPST), pp. 289-293, Kunming, China, 2023.
2. H. Farzin, M. Fotuhi-Firuzabad, M. Moeini-Aghtaie, *Role of Outage Management Strategy in Reliability Performance of Multi-Microgrid Distribution Systems*, IEEE Trans. Power Syst., **33**, 3, pp. 2359–2369, May 2018.
3. Q. Gao, L. Wang, Z. Liu, X. Zhang, *Comprehensive Evaluation Method of Distribution Network Planning Schemes Based on Spatial Information*, IEEE International Conference on Power Science and Technology (ICPST), pp. 264-270, Kunming, China, 2023.
4. S. Thakar, V. Vittal, R. Ayyanar, C. Rojas, *The Impact of Detailed Distribution System Representation in Dynamic Sub-Transmission-Distribution Co-Simulation*, IEEE Open Access Journal of Power and Energy, **10**, pp. 490-502, June 2023.
5. M. Yaqoob et al., *Supervisor Control of Power System for Stability Problems and Improvements Using Computer Control Technology*, International Conference on Emerging Power Technologies (ICEPT), pp. 1-6, Topi, Pakistan, 2023.
6. A. Gupta and A.K. Srivastava, *Artificial Intelligence - Smart Energy Distribution and Management System for small autonomous Photo-voltaic Systems*, 1st International Conference on Intelligent Computing and Research Trends (ICRT), pp. 1-7, Roorkee, India, 2023.
7. M.I. Fyodorova, I.I. Zhuravlev, D.S. Kuzenev, A.E. Bannov, D.P. Khmelyuk, *The SCADA System Digital Infrastructure Implementation in Distribution Networks*, 5th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), pp. 1-6, Moscow, Russian Federation, 2023.

8. S. Sivakumar, R. Raffik, K. Kiran Kumar, B. Hazela, *SCADA energy management system under the distributed decimal of service attack using verification techniques by IIoT*, International Conference on Artificial Intelligence and Knowledge Discovery in Concurrent Engineering (ICECONF), pp. 1-4 Chennai, India, 2023.
9. L. Shang, K. Chen, G. Wang, Y. Liu, R. Hu, Y. Shang, *Short-term Distribution Network Peak Load Forecasting Based on Generalized Linear Model*, 4th International Conference on Power and Energy Technology (ICPET), pp. 584-589, Beijing, China, 2022..
10. C. Xie, D. Jia, J. Liu, X. Sun, J. Zhou, *Research on Operation Risk Prevention and Control Technology of Intelligent Distribution Network Based on Ultra Short Term Load Forecasting*, IEEE 1st China International Youth Conference on Electrical Engineering (CIYCEE), Wuhan, China, 2020, pp. 1-6.
11. C. Biyun, Q. Hong, D. Jin, *A Reliability Forecasting Method for Distribution Network Based on Data Mining*, China International Conference on Electricity Distribution (CICED), pp. 2503-2506, Tianjin, China, 2018.
12. C.Z. Huan, F. Yu, L. Hao, W.P. Pan, *Research on short term load forecasting method of distribution network based on wavelet clustering analysis*, China International Conference on Electricity Distribution (CICED), pp. 1086-1090, Shanghai, China, 2021.
13. A.T. Zengin, G. Erdemir, T.C. Akinci, S. Seker, *Measurement of Power Line Sagging Using Sensor Data of a Power Line Inspection Robot*, IEEE Access, **8**, pp. 99198-99204, 2020.
14. D. Sacerdotianu, M. Nicola, C.-I. Nicola, F. Lăzărescu, *Research on the Continuous Monitoring of the Sag of Overhead Electricity Transmission Cables Based on the Measurement of their Slope*, International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE), pp. 1-5, Craiova, Romania, 2018.
15. Y. Cheng and X. Ding, *A survey of sag monitoring methods for power grid transmission lines*, IET Generation, Transmission & Distribution, **17**, 7, pp. 1-23, February 2023.
16. A.V. Kupova, E.V. Lanovenko, E.B. Solovyeva, *Modeling of Three-Phase Circuits by Means of MatLab in Electrical Engineering Course*, International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies" (IT&QM&IS), pp. 526-530, Sochi, Russia, 2019.
17. W. Hao, H. Liu, Y. Wang, Y. Gou, *The design and simulation of a teaching virtual platform by combining LabVIEW and Simulink for undergraduates of electrical engineering*, 20th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), pp. 1-4, Sydney, NSW, Australia, 2017.