

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI**

Cu titlu de manuscris  
C.Z.U: 621.311.245:620.9(478)(043.2)

**GROPA VICTOR**

**ESTIMAREA IMPACTULUI CENTRALELOR EOLIENE  
ASUPRA SISTEMUL ELECTROENERGETIC  
AL REPUBLICII MOLDOVA**

**221.01 - SISTEME SI TEHNOLOGII ENERGETICE**

Autoreferatul tezei de doctor în științe tehnice

**CHIȘINĂU, 2017**

Teza a fost elaborată la Departamentul „Electroenergetică și Electrotehnică”,  
Universitatea Tehnică a Moldovei (UTM).

**Conducători științifici:**

**STRATAN Ion** – doctor în științe tehnice, profesor universitar, UTM,  
**SOBOR Ion** – doctor în științe tehnice, conferențiar universitar, UTM.

**Referenți oficiali:**

**ARION Valentin** – doctor habilitat în științe tehnice, profesor universitar, Depart. TME al UTM,  
**TÎRȘU Mihai** – doctor în științe tehnice, conferențiar cercetător, Institutul de Energetică al AȘM.

**Componența consiliului științific specializat:**

1. **AMBROS Tudor** - doctor habilitat în științe tehnice, prof. univ., UTM – *președinte al CȘS*,
2. **HLUSOV Viorica** - doctor în științe tehnice, conf. univ., UTM – *secretar științific al CȘS*,
3. **POSTOLATII Vitalii** - doctor habilitat în științe tehnice, academician, IE al AȘM,
4. **BERZAN Vladimir** - doctor habilitat în științe tehnice, profesor cercetător, IE al AȘM,
5. **CHORSAC Mihail** - doctor habilitat în științe tehnice, profesor universitar, UTM,
6. **MOGOREANU Nicolae** - doctor în științe tehnice, conferențiar universitar, UTM,
7. **CHICIUC Andrei** - doctor în științe tehnice, conferențiar universitar, ANACIP.

Susținerea va avea loc la **04 iulie 2017**, orele **14<sup>00</sup>** în ședința **Consiliului științific specializat D31 221.01-01** din cadrul **Universității Tehnice a Moldovei**: MD-2012, Republica Moldova, or. Chișinău, str. 31 August 1989, nr. 78, blocul de studii nr. 2, sala 2-222.

Teza de doctor și autoreferatul pot fi consultate la biblioteca Universității Tehnice a Moldovei și la pagina web a C.N.A.A. ([www.cnaa.md](http://www.cnaa.md)).

Autoreferatul a fost expedit la 03 iunie 2017.

**Secretar științific**

**al Consiliului științific specializat,**

doctor în științe tehnice,  
conferențiar universitar,

\_\_\_\_\_ **HLUSOV Viorica**

**Conducători științifici:**

doctor în științe tehnice,  
profesor universitar,

\_\_\_\_\_ **STRATAN Ion**

doctor în științe tehnice,  
conferențiar universitar,

\_\_\_\_\_ **SOBOR Ion**

**Autor:**

\_\_\_\_\_ **GROPA Victor**

© GROPA VICTOR, 2017

## REPERELE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII

**Actualitatea problemei de cercetare.** Energia electrică, una din cele mai importante forme de energie, se produce prin transformări ale altor forme de energie. În comparație cu alte mărfuri comercializate zi de zi energia electrică are unele caracteristici care o diferențiază de celelalte forme de energie determinând o influență semnificativă asupra producerii, transportului, distribuției și utilizării acestei energii.

Pe plan mondial, la etapa inițială de dezvoltare a energiei eoliene, toate țările europene au mers pe o singură cale – utilizarea maximă a potențialului de transport și de distribuție a rețelelor și a stațiilor de transformare existente. Majoritatea parcurilor eoliene din țările UE au fost conectate la rețelele electrice de distribuție cu tensiunea mai mică de 100 kV. Odată cu creșterea puterii per unitate și numărului de turbine în componența unei centrale electrice eoliene preferință se dă rețelelor electrice de transport.

Expansiunea energiei eoliene, ridică o serie de probleme pentru sistemele electroenergetice și dezvoltarea lor, care se referă la caracteristicile generatoarelor eoliene:

- Energia vântului este fluctuantă, într-o anumită măsură, acest lucru poate să fie controlat și/sau prezis, dar uneori nu este posibil, sau doar pe o perioadă scurtă de timp.
- Deseori energia eoliană se produce la distanțe mari de locul de consum. Ca urmare trebuie să fie produse schimbări în infrastructura rețelelor de transport sau de distribuție și în același timp să fie menținută calitatea aprovizionării cu energie electrică.
- Caracteristicile tehnice ale generatoarelor eoliene nu corespund caracteristicilor tehnice ale celor convenționale în jurul cărora s-au construit și au evoluat rețelele electrice.

Cât privește Republica Moldova, pe parcursul anului 2015, operatorul rețelei de transport și de sistem, operatorii rețelelor de distribuție și furnizorii de ultimă opțiune au procurat energie electrică în volum de 4 050,4 mil. kWh, cu 0,4% mai mult decât în anul 2014. Este necesar de luat în considerație că volumul de generare a energiei electrice rămâne a fi cu mult sub nivelul consumului, producerea internă (partea dreaptă a Nistrului, exceptând CTE Moldovenească) acoperind doar 19,1 la sută din necesar, menținându-se la același nivel ca și în anul 2014, în condițiile în care producția internă a sporit doar cu 0,6%, iar consumul a crescut cu 2,0 la sută.

Cantitatea totală de energie electrică produsă de sursele regenerabile s-a majorat de circa 5,5 ori comparativ cu anul 2014, an pe parcursul căruia a fost livrată în rețelele electrice o cantitate totală de energie electrică din surse regenerabile de 3,1 GWh (în conformitate cu informația

prezentată în garanțiile de origine, emise de operatorii de rețea pe parcursul anilor respectivi). Energia electrică produsă din biogaz deține cea mai mare pondere în cantitatea totală de energie electrică, produsă din SRE în anul 2015 (84,6% din cantitatea totală de energie electrică), urmează energia electrică produsă de instalațiile eoliene (9,0%) și, respectiv, energia electrică produsă de instalațiile fotovoltaice (6,4%).

**Scopul tezei:** contribuții privind sporirea securității energetice a Republicii Moldova prin integrarea centralelor electrice eoliene (CEE) în sistemul electroenergetic național (SEN).

**Obiectivele tezei:**

- creșterea ponderii surselor de energii regenerabile în mixtul de producție prin soluționarea problemelor de racordare a CEE la SEN;
- elaborarea unor recomandări pentru toți participanții Pieței de Energie a Republicii Moldova cu privire la utilizarea energiei electrice produse de turbine eoliene, cât și pentru potențialii investitori;
- estimarea puterii maxime a surselor de energii regenerabile ce pot fi tehnic racordate la SEN, fără fortificarea acestora.

**Noutatea și originalitatea științifică a tezei.** Elaborarea unei noi metode și algoritmului de estimare a puterii maxime admisibile printr-o secțiune a sistemului electroenergetic prin excluderea necesității efectuării calculelor dificile ale regimurilor permanente la limita convergenței procesului iterativ.

**Problema științifică importantă soluționată.** Constă în soluționarea problemei de estimare a puterilor maxime admisibile printr-o secțiune a sistemului electroenergetic (SEE) cu considerarea și capacităților eoliene racordate, fapt ce a permis obținerea informației pentru luarea deciziilor privind valorificarea energiei eoliene în diferite zone ale țării.

**Semnificația teoretică.** Teza aduce contribuții științifice la calculul și analiza regimurilor permanente de funcționare ale rețelelor electrice de transport cu considerarea integrării CEE.

**Valoarea aplicativă a lucrării.** S-au elaborat condițiile tehnico-normative de racordare a CEE la SEN, a fost creat programul și algoritmul de calcul pentru studiul regimului de scurtcircuit bifazat al generatorului asincron cu rotorul bobinat, s-a estimat puterea maximă totală ce poate fi injectată tehnic în sistemul electroenergetic național existent excluzând necesitatea fortificării acestuia.

**Rezultatele științifice principale înaintate spre susținere.** A fost elaborată o metodă nouă și un algoritm de estimare a puterii maxime admisibile printr-o secțiune a sistemului electroenergetic prin excluderea necesității efectuării calculelor dificile ale regimurilor permanente la limita convergenței procesului iterativ [4].

În lucrare este prezentat un studiu detaliat al regimurilor de funcționare ale sistemului electroenergetic național pentru 20 amplasamente ale CEE. Amplasamentele au fost identificate astfel, încât CEE să fie distribuite pe întreg teritoriul Republicii Moldova, ținând seama de configurația și parametrii rețelelor electrice de transport (RET). În acest scop au fost efectuate calculele pentru 14 scenarii de racordare individuală ale CEE la SEE, pentru a determina puterile maxime ce pot fi injectate în nodurile respective.

Puterile maxime posibile care pot fi injectate de sursele de energii regenerabile în SEE au fost estimate în baza criteriului convergenței procesului iterativ privind soluționarea ecuațiilor de stare.

**Implementarea rezultatelor științifice.** Rezultatele cercetărilor au fost prezentate operatorului de transport și sistem Î.S. “Moldelectrica”, Direcției generale securitate și eficiență energetică din cadrul Ministerului Economiei al Republicii Moldova și Asociației Române pentru Energia Eoliană (RWEA).

**Aprobarea rezultatelor.** Rezultatele elaborărilor din cadrul tezei de doctor au fost publicate, prezentate și discutate în cadrul mai multor seminare, simpozioane și conferințe de nivel național și internațional, în total 10. Rezultatele obținute sunt publicate în **16 lucrări științifice**.

**Structura lucrării.** Lucrarea conține o introducere, patru capitole, concluzii generale și recomandări, bibliografie din 138 titluri și include 4 anexe, 138 pagini, 73 figuri, 39 tabele.

**Cuvinte cheie:** sistem electroenergetic, centrală electrică eoliană, rețele electrice de transport, racordare la rețea, norme tehnice, metode de calcul, circulații de puteri.

**Delimitări și ipoteze acceptate în lucrare.** Este o lucrare științifică ce conține răspunsuri la întrebări legate de particularitățile racordării CEE la SEE al Republicii Moldova. Dat fiind faptul că punctul de racord al CEE se află în gestiunea operatorului de transport și sistem, cercetările efectuate în cadrul tezei sunt orientate către RET.

## CONȚINUTUL TEZEI

Fiecare compartiment vine să ofere răspuns pentru diferite aspecte cu privire la racordarea CEE la SEE, fiind asigurată o continuitate a procesului de racordare propriu-zis.

În **Introducere** sunt prezentate aspectele generale privind necesitatea promovării și implementării energiei eoliene la nivel național, valorificând potențialul local al Surselor Regenerabile de Energii. Tot în acest compartiment sunt descriși pașii semnificativi existenți pe care un potențial investitor ar trebui să-i parcurgă înainte de a lua decizia de investire în construcția unui parc eolian. Acești pași cuprind astfel de activități ca:

1. *Identificarea amplasamentului.*
2. *Obținerea accesului la rețelele electrice publice.*
3. *Obținerea dreptului asupra terenului și căile de acces.*
4. *Acces la capital.*
5. *Identificarea cumpărătorului de energie electrică eoliană.*
6. *Identificarea particularităților amplasamentului.*
7. *Obținerea licenței și expertizelor de la instanțele de reglementare și supraveghere.*
8. *Estimarea cantității de energie electrică eoliană.*
9. *Stabilirea contactelor cu producătorul de turbine eoliene și instituțiile de proiectare.*
10. *Întocmirea și încheierea contractului de livrare a turbinelor.*

Este evident, că pentru a lua o decizie cu privire la realizarea oricărui proiect în orice domeniu, inclusiv și cel ce ține de domeniul energiei eoliene, trebuie de demonstrat fezabilitatea acestuia, bazată în mare măsură pe cantitatea de energie electrică medie anuală care poate fi produsă de o turbină eoliană, amplasată într-un punct dat.

Aspecte de ordin general și de reglementare sunt analizate în **primul capitol**, având la bază experiența altor țări care utilizează energia eoliană. Integrarea centralelor electrice eoliene în SEE, dat fiind ca caracteristicile lor constructive și funcționale sunt total diferite de cele ale surselor clasice, ce impune o reconsiderare a regulamentelor tehnice existente.

Recomandările propuse vor stabili *cerințele tehnice minime* pe care trebuie să le îndeplinească centralele electrice eoliene racordate la rețelele electrice de interes public, astfel încât să poată fi asigurată atât funcționarea în siguranță a sistemului electroenergetic cât și instalarea unei puteri maxime în amplasamentul unei eventuale centrale eoliene. Aceste cerințe sunt necesare deoarece specificul generării eoliene nu este reflectat în normele tehnice existente, aprobate de Agenția Națională pentru Reglementare în Energetică (ANRE).

În acest context, au fost analizate câteva *caracteristici fundamentale* (influența golurilor de tensiune, reglarea puterii active și a frecvenței, variația admisibilă a tensiunii și frecvenței, reglarea puterii reactive și a tensiunii) de care depinde funcționarea normală atât a parcurilor eoliene, cât și a sistemelor energetice la care ele sunt conectate. Aceste recomandări pot constitui completări ale *Normelor tehnice ale rețelei electrice de transport* și *Normelor tehnice ale rețelelor electrice de distribuție* sau pot fi întocmite într-un document separat.

**Capitolele 2 și 3** conțin cercetări cu privire la stabilitatea statică și dinamică a funcționării SEE la racordarea CEE. În instalațiile eoliene de ultimă oră se utilizează generatoare de inducție cu dublă alimentare (Doubly-fed induction generators) DFIG.

Puterea produsă de instalația energetică eoliană este influențată de unghiul de atac dintre viteza vântului și direcția transversală a paletei. Acest unghi se reglează prin rotația paletei. Valoarea unghiului de atac și reglarea lui trebuie să nu depășească anumite limite și viteze care pot deveni periculoase pentru paletă din punct de vedere mecanic. În Figura 1 este prezentată dependența unghiului de atac de viteza vântului.

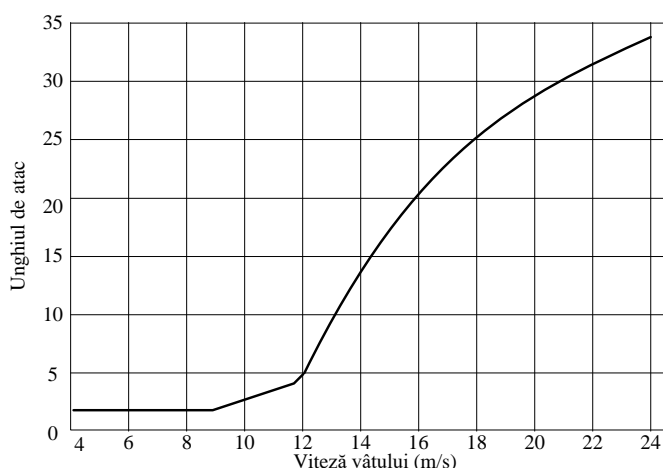


Fig. 1. Dependența unghiului de atac de viteza vântului în instalația cu DFIG

La viteze moderate ale vântului instalațiile eoliene trebuie să producă o putere cât mai mare pe care o pot converti din energia vântului, iar la viteze mari ale vântului trebuie limitată puterea injectată în sistemul energetic atât din punct de vedere a forțelor mecanice, care acționează asupra turbinei, cât și a parametrilor părții electrice a instalației.

Sistemele de reglare și protecție ale instalațiilor eoliene sunt concepute astfel ca la perturbații sau scurtcircuitele produse în sistemul electroenergetic instalația să nu fie deconectată de la sistem, iar după lichidarea scurtcircuitului funcționarea ei normală să fie restabilită cât mai repede.

Impactul centralelor electrice eoliene asupra sistemelor electroenergetice, în primul rând, este determinat de puterile activă și reactivă livrate în sistem. Puterea activă livrată este influențată de viteza vântului și reacția sistemului de reglare; și respectiv puterea reactivă de regimul de funcționare a generatorului eolian, de reacția sistemului de reglare precum și de nesimetria

tensiunilor în rețeaua electrică. Se știe, că o nesimetrie pronunțată a tensiunilor de fază poate apărea în cazul unui scurtcircuit nesimetric.

În regimurile de scurtcircuit inverterul din partea rotorului generatorului asincron se blochează pentru a evita deteriorarea lui de la supracurenți. În acest regim DFIG funcționează ca un generator asincron simplu, consumând putere reactivă din sistem. Așadar, generatoarele eoliene influențează regimul sistemului electroenergetic și poate duce la instabilitatea tensiunii.

Rezultatele calculelor scurtcircuitului bifazat la bornele unui generator DFIG de tip VESTAS-V90-2MW arată că componentele de succesiune directă ating valorile maxime la alunecări mici, iar cele de succesiune inversă – în apropierea alunecării egale cu  $2-s$  [1].

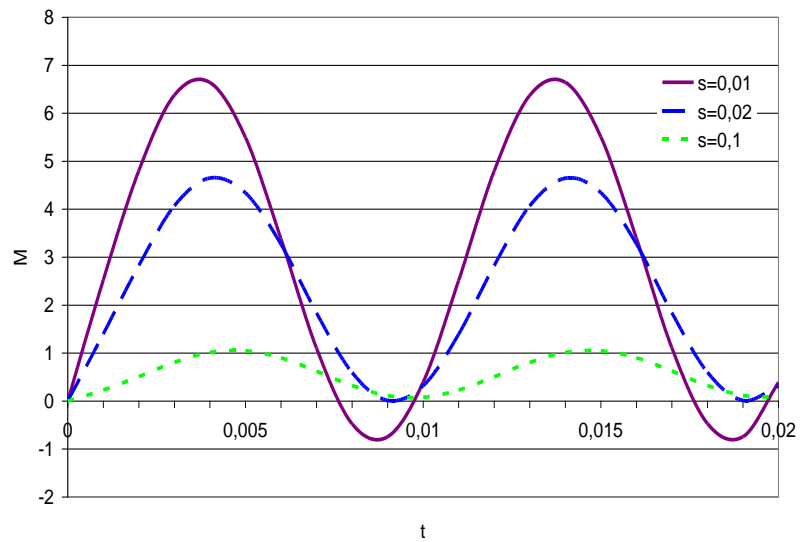


Fig. 2. Dependenta  $M=f(t)$  pentru diferite valori ale alunecării  $s$

În același timp cuplul electromagnetic reprezintă pulsații cu frecvența dublă, amplitudinile cărora cresc împreună cu alunecarea și pot depăși cu mult valoarea medie. În instalația în funcție aceste pulsații produc vibrații mecanice și sunt periculoase din punct de vedere a apariției rezonanței.

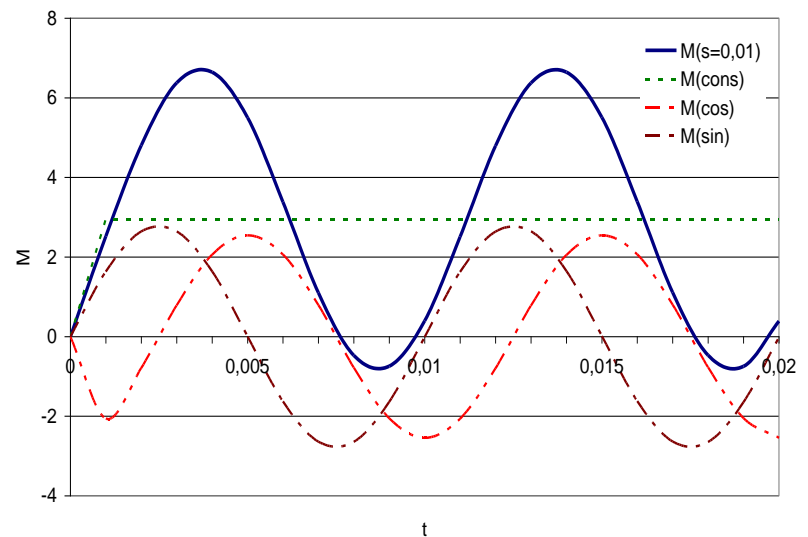


Fig. 3. Componentele cuplului  $M=f(t)$  pentru  $s=0,01$

În Figura 2 și Figura 3 este prezentată amplitudinea pulsațiilor cuplului electromagnetic care depășește 6 unități relative.



S-a analizat stabilitatea statică a sistemului electroenergetic la integrarea unei CEE formată din 7 turbine eoliene V90-3.0MW (produse de firma Vestas Wind Systems) conectată la SEE al RM prin intermediul a două transformatoare de putere (16 MVA fiecare) și două linii aeriene ce asigură legătura cu sistemul electroenergetic, conform schemei din Figura 4.

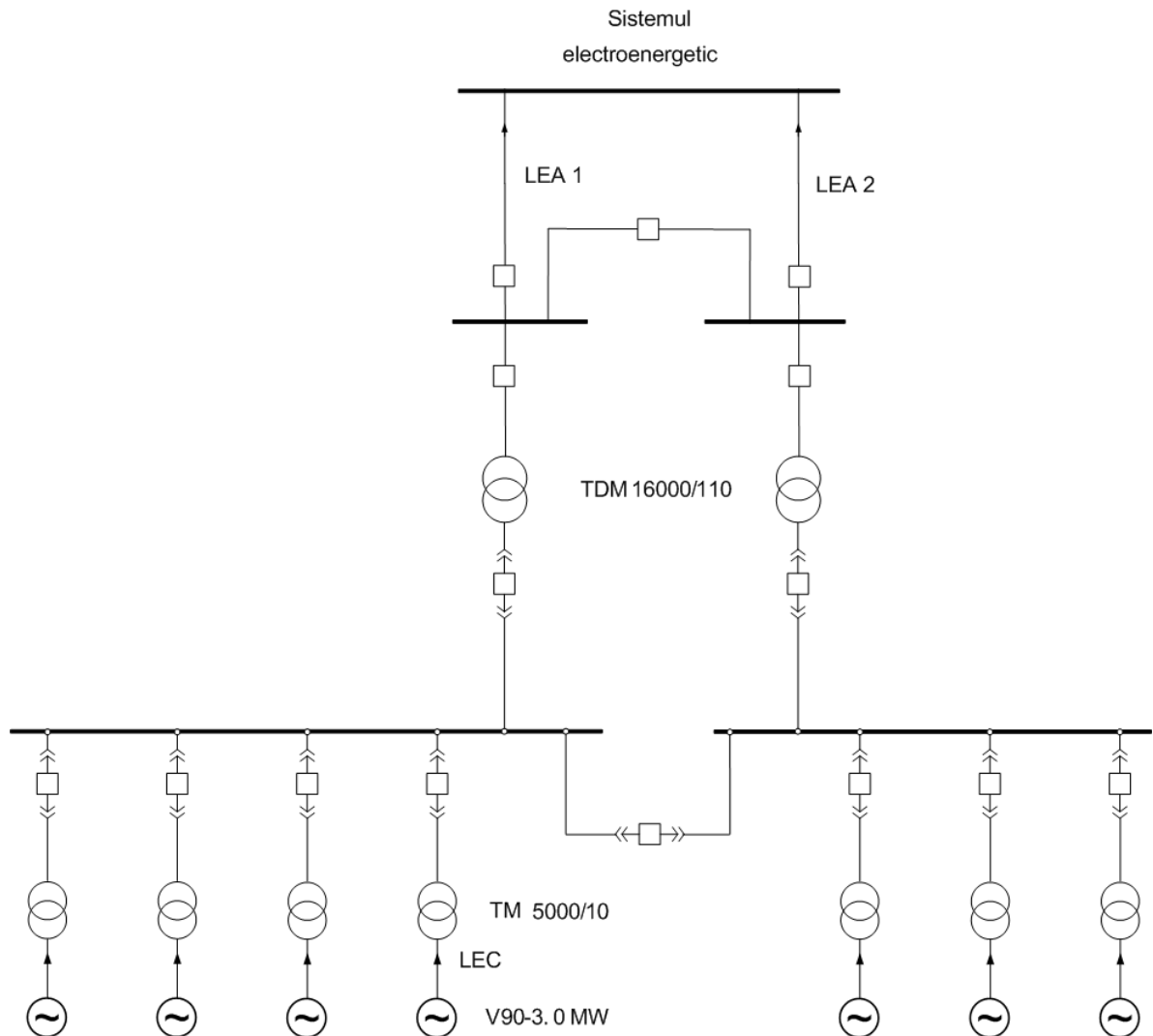


Fig. 4. CEE cu puterea instalată  $P = 21$  MW, conectată la SEN.

Pentru a afla dacă este stabil sistemul electroenergetic la funcționarea sa în paralel cu o turbină eoliană sau un grup de turbine eoliene este necesar de efectuat următorii pași:

- ✍ formarea determinantului caracteristic;
- ✍ desfășurarea determinantului caracteristic în ecuația caracteristică;
- ✍ identificarea soluțiilor ecuației caracteristice, prezentate grafic;
- ✍ alcătuirea determinantului Hurvitz;
- ✍ calculul determinantului Hurvitz și multiplii acestuia;
- ✍ prezentarea grafică a amortizării ecuației caracteristice în timp.

Determinantul caracteristic se formează în baza unui șir de ecuații caracteristice și are forma

$$D(p) = \begin{vmatrix} \Delta\partial & \Delta p & \Delta E_q & \Delta E'_q \\ T_j \cdot p & -1 & 0 & 0 \\ C_1 & -1 & b_1 & 0 \\ C_2 & -1 & 0 & b_2 \\ 0 & 0 & 1 & T_r \cdot p \end{vmatrix}$$

Ecuția caracteristică a determinantului analizat este:

$$T_j \cdot T_r \cdot b_1 \cdot p^3 + T_j \cdot b_2 \cdot p^2 + C_2 \cdot p + C_1 = 0$$

Înlocuind valorile constantelor obținute în determinantul caracteristic se obține:

$$D(p) = 17.45p^3 + 12.2p^2 + 1.138p + 0.252$$

Rezolvând ecuația caracteristică obținem toate rădăcinile negative (Figura 5), deci conectarea unei CEE cu puterea instalată de 21 MW nu va conduce la apariția unei avarii în SEN:

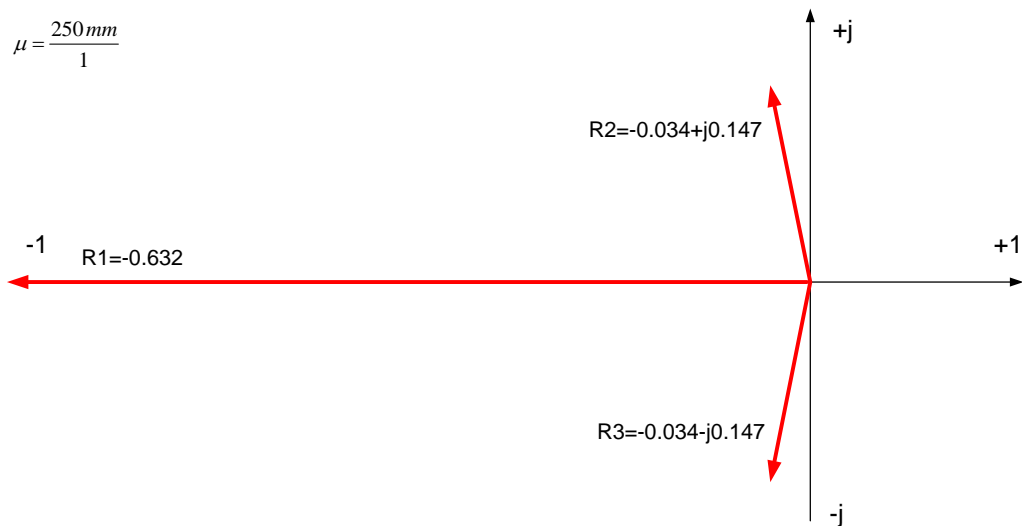


Fig. 5. Prezentare grafică a rădăcinilor în axa imaginară.

Calculul a mai arătat că determinantul Hurwitz este pozitiv, deci se poate afirma că sistemul analizat este static stabil, fără provocarea oricăror avarii considerabile.

Determinantul Hurwitz utilizând valorile din ecuația caracteristică este:

$$\Delta H_z = \begin{vmatrix} 12.2 & 0.252 & 0 \\ 17.45 & 1.138 & 0 \\ 0 & 12.2 & 0.252 \end{vmatrix} \quad \begin{aligned} |H_z| &= 2.391 \\ |H_z| &> 0 \end{aligned}$$

De menționat că un sistem electroenergetic care în condiții de exploatare este supus unor perturbații va funcționa în regim stabil din punct de vedere al tensiunii atunci când valorile tensiunilor în nodurile zonelor de consum se vor menține în limitele admisibile.

Un studiu de integrare a CEE la SEE este prezentat în **capitolul 4**, precum și în **Anexe**, cu utilizarea unor elemente de calcul inovative ale regimurilor permanente. În acest context a fost elaborat un *algorithm de calcul ce permite determinarea rapidă a inversei matricei Jacobi* [3], utilizată pe larg la calculele regimurilor permanente de funcționare ale SEE.

Programele software comerciale destinate calculului regimului permanent de funcționare al sistemelor electroenergetice utilizează, în marea lor majoritate, o variantă a metodei Newton-Raphson – ce poartă denumirea de metodă rapidă. Această metodă se deosebește de metoda Newton-Raphson tradițională prin aceea că nu se recalculează valoarea derivatei în fiecare ciclu iterativ, însă conduce la creșterea numărului de iterații necesare pentru obținerea soluției. Deși mai puțin evident în cazul unidimensional, câștigul global se constată foarte clar în cazul multidimensional, unde se economisește un mare volum și timp de calcul prin evitarea recalculării numeroaselor elemente ale Jacobianului (care reprezintă cea mai mare parte din calculele corespunzătoare fiecărei iterații).

Pornind de la sistemul de ecuații algebrice liniare, ce descrie regimul permanent de funcționare la un pas oarecare a procesului iterativ:

$$\| [J_i] + [\Delta J] \| \left[ \begin{array}{c} \Delta \delta \\ \Delta U \end{array} \right] = - \left[ \begin{array}{c} W_p \\ W_Q \end{array} \right], \quad \text{sau} \quad [J_f] \left[ \begin{array}{c} \Delta \delta \\ \Delta U \end{array} \right] = - \left[ \begin{array}{c} W_p \\ W_Q \end{array} \right],$$

unde  $[J_i]$  este matricea Jacobi aferentă regimului inițial, cu dimensiunile  $2n-m \times 2n-m$  ( $n$  – numărul nodurilor independente, iar  $m$  – numărul nodurilor unde se impune P și  $|U|$ );

$[J_f] = [J_i] + [\Delta J]$  – matricea Jacobi aferentă regimului modificat;

$[\Delta \delta]$ ,  $[\Delta U]$  – sunt respectiv subvectorii valorilor corecțiilor, unghiurilor de defazaj ale tensiunilor în nodurile independente față de nodul de echilibru și a modulelor tensiunilor;

$[W_p]$ ,  $[W_Q]$  – sunt subvectorii valorilor corecțiilor puterilor la noduri la același pas al procesului iterativ.

După efectuarea unei serii de transformări matematice necesare obținem:

$$[J_f^{-1}] = \sum_{k=0}^{\infty} (-[J_i^{-1}] [\Delta J])^k [J_i^{-1}].$$

În cazurile uzuale de calcul relația de mai sus se scrie sub formele:

- pentru  $k=2$ :  $[J_f^{-1}] = (-[J_i^{-1}] [\Delta J])^{(0)} [J_i^{-1}] + (-[J_i^{-1}] [\Delta J])^{(1)} [J_i^{-1}] = [J_i^{-1}] - [J_i^{-1}] [\Delta J] [J_i^{-1}]$ ,

- pentru  $k=3$ :  $[J_f^{-1}] = [J_i^{-1}] - [J_i^{-1}] [\Delta J] [J_i^{-1}] + ([J_i^{-1}] [\Delta J])^2 [J_i^{-1}]$ .

Se observă că exactitatea și validitatea rezultatelor obținute sunt influențate de numărul de elemente ale seriei de puteri.

Pentru a demonstra utilitatea aplicării metodei propuse, la efectuarea calculului operativ al regimului permanent de funcționare al SEE, în continuare se prezintă două studii de caz bazate pe compararea valorilor elementelor a două inverse matrice Jacobi. Prima se obține prin inversarea matricei Jacobi și respectiv a doua utilizând metoda rapidă propusă. Pentru exemplificare se consideră o schemă electrică de 330 kV cu șapte noduri (Figura 6).

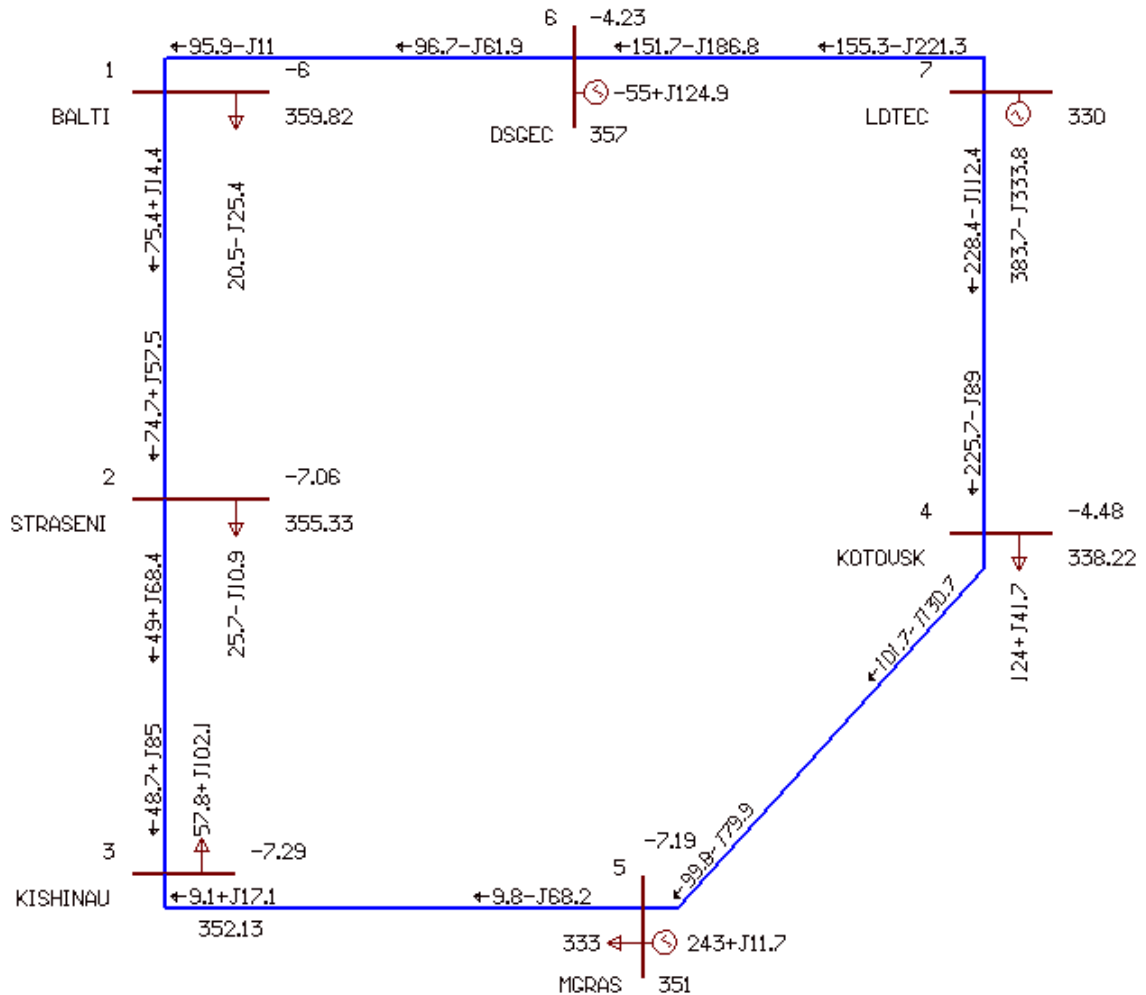


Fig. 6. Schema de principiu a RE.

Matricea Jacobi  $[J_i]$  la ultimul pas al procesului iterativ capătă forma:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	6916	-3711.4	0	0	0	-3204.6	911.4	-484.8	0	0
2	-3691	12797.6	-9106.6	0	0	0	-621	1892.7	-1323.1	0
3	0	-9095.7	16625.4	0	-7529.7	0	0	-1396.1	2158.1	0
4	0	0	0	5404.9	-2422.7	0	0	0	0	577.5
5	0	0	-7532.5	-2388.6	9921.2	0	0	0	-853	-473.5
6	-3227.4	0	0	0	0	5569.4	-269.2	0	0	0
7	-952.4	484.8	0	0	0	467.6	6966.8	-3711.4	0	0
8	621	-1944.1	1323.1	0	0	0	-3691	12819.4	-9106.6	0
9	0	1396.1	-2273.7	0	877.5	0	0	-9095.7	16421.2	0
10	0	0	0	-825.5	245.3	0	0	0	0	5321.5

Trebuie de menționat că s-au analizat mai multe scenarii privind modificarea regimului inițial, însă sunt prezentate numai matricele Jacobi inversate, în ipoteza că sarcinile în toate nodurile rețelei electrice analizate s-au modificat cu 50%:

$$[Jf] =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	6894.2	-3699.1	0	0	0	-3195.2	899.9	-446.2	0	0
2	-3667.9	12692.4	-9024.5	0	0	0	-654.4	1864.9	-1287.6	0
3	0	-9006.8	16495.1	0	-7488.3	0	0	-1406.1	2104.9	0
4	0	0	0	5345	-2409.3	0	0	0	0	505
5	0	0	-7491	-2359.5	9850.5	0	0	0	-848.8	-522.7
6	-3228.9	0	0	0	0	5555.2	-220.6	0	0	0
7	-961.4	446.2	0	0	0	515.3	6970.4	-3699.1	0	0
8	654.4	-1942	1287.6	0	0	0	-3667.9	12725.1	-9024.5	0
9	0	1406.1	-2278.3	0	872.2	0	0	-9006.8	16188.8	0
10	0	0	0	-877	189.7	0	0	0	0	5219.9

$$[Jf]^{-1} =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.0005	0.0004	0.0003	0.0001	0.0003	0.0003	-0	-0	-0	0
2	0.0004	0.0005	0.0005	0.0002	0.0004	0.0002	-0	-0	-0	0
3	0.0003	0.0005	0.0005	0.0002	0.0004	0.0002	0	-0	-0	0
4	0.0001	0.0002	0.0002	0.0003	0.0002	0.0001	0	0	0	-0
5	0.0003	0.0004	0.0004	0.0002	0.0005	0.0002	0	0	0	0
6	0.0003	0.0002	0.0002	0.0001	0.0002	0.0003	-0	-0	-0	0
7	0	0	0	0	0	-0	0.0002	0.0001	0.0001	0
8	0	0	0	0	0	-0	0.0001	0.0002	0.0001	0
9	0	0	0	0	0	-0	0.0001	0.0001	0.0001	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0002

$$[Ji]^{-1} - [Ji]^{-1} \cdot ([Jf] - [Ji]) \cdot [Ji]^{-1} =$$

$$=$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.0005	0.0004	0.0003	0.0001	0.0003	0.0003	-0	-0	-0	0
2	0.0004	0.0005	0.0005	0.0002	0.0004	0.0002	-0	-0	-0	0
3	0.0003	0.0005	0.0005	0.0002	0.0004	0.0002	0	-0	-0	0
4	0.0001	0.0002	0.0002	0.0003	0.0002	0.0001	0	0	0	-0
5	0.0003	0.0004	0.0004	0.0002	0.0005	0.0002	0	0	0	0
6	0.0003	0.0002	0.0002	0.0001	0.0002	0.0003	-0	-0	-0	0
7	0	0	0	0	0	-0	0.0002	0.0001	0.0001	0
8	0	0	0	0	0	-0	0.0001	0.0002	0.0001	0
9	0	0	0	0	0	-0	0.0001	0.0001	0.0001	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0002

Din cele prezentate în studiile de caz rezultă că în ambele cazuri rezultatele obținute prin inversarea matricei Jacobi și respectiv prin utilizarea metodei rapide propuse coincid totalmente.

Aceasta ne permite să afirmăm că metoda propusă poate fi utilizată, pe scară largă, în calculele operative ale regimurilor permanente de funcționare ale SEE.

Rezultatele comparative ale calculelor efectuate sunt prezentate în Tabelul 1, unde pentru fiecare scenariu ale studiilor de caz analizate sunt calculați determinanții respectivi. Cele trei scenarii sunt: scenariul unu – sarcina activă în nodul unu s-a modificat de două ori; scenariul doi – sarcinile în toate nodurile rețelei electrice analizate s-au majorat cu 20%, scenariul trei – sarcinile în toate nodurile rețelei electrice analizate s-au majorat cu 50%.

Tabelul 1. Rezultate comparative

	Studiu de caz unu ( $10^{-15}$ )			Studiu de caz doi ( $10^{-38}$ )		
	Scen.1,	Scen.2	Scen.3	Scen.1	Scen.2	Scen.3
Det(A)	1.3943	1.4248	1.4895	0.9880	1.0045	1.0645
Det(B)	1.3943	1.4248	1.4894	0.9880	1.0045	1.0644
Det(C)	1.3941	1.4244	1.4868	0.9875	1.0040	1.0609

Notă:  $A = [J_i]^{-1}$ ,

$$B = [J_i]^{-1} - [J_i]^{-1} \cdot ([J_f] - [J_i]) \cdot [J_i]^{-1} + \left[ [J_i]^{-1} \cdot ([J_f] - [J_i]) \right]^2 \cdot [J_i]^{-1},$$

$$C = [J_i]^{-1} - [J_i]^{-1} \cdot ([J_f] - [J_i]) \cdot [J_i]^{-1}.$$

Studiile de caz prezentate în lucrare ne demonstrează că și atunci când modificarea regimului inițial are loc în urma variației sarcinilor în toate nodurile rețelei electrice în marja (0-50)% e de ajuns ca seria de puteri să includă două componente. În acest caz valorile elementelor inversei matricei Jacobi, obținute prin utilizarea metodei propuse, coincid totalmente cu valorile elementelor inversei matricei Jacobi, obținute prin inversarea ei.

*Algoritmul* prezentat în acest capitol poate fi utilizat pentru estimarea puterii maxime admisibile printr-o secțiune a sistemului electroenergetic [4] fără a efectua calculul regimului permanent de funcționare, care este o problemă dificilă condiționată de convergența procesului iterativ.

Astăzi actualitatea problemei privind determinarea transferurilor maxime de putere activă prin rețeaua de transport (RET) a crescut esențial datorită creării complexelor informaționale operative pentru soluționarea problemelor ce țin de dirijarea automată a SEE, și, nu în ultimul rând, datorită implementării surselor distribuite.

Una din dificultăți ce apare la determinarea puterilor limită constă în formalizarea slabă a problemei, deoarece nu există o legătură funcțională directă dintre Jacobianul și parametrii SEE.

În legătură cu aceasta problema elaborării unei metode practice de evaluare a puterii active maxime admisibile printr-o secțiune a SEE prezintă interes.

Sistemul de ecuații nodale, ce descrie regimul de funcționare al SEE la un pas oarecare al procesului iterativ, în formă matriceală compactă, utilizând forma de scriere a bilanțului puterilor la noduri cu exprimarea tensiunilor în formă polară, se poate prezenta sub forma:

$$-[J] \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta U \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_p \\ W_q \end{bmatrix};$$

unde  $[J]$  este matricea Jacobi cu dimensiunile  $2_{n-m} \times 2_{n-m}$ ;

$[\Delta \delta]$  și  $[\Delta U]$  - subvectorii valorilor corecțiilor, fiind necunoscutele la pasul respectiv,

$[W_p]$ ,  $[W_q]$  - subvectorii valorilor erorilor puterilor la noduri, la același pas al procesului iterativ.

Se consideră că, s-au modificat elementele liniilor  $i$ ,  $j$  și  $k$  ale matricei Jacobi  $[J]$ . Modificările elementelor matricei Jacobi pot să aibă loc atât în urma conectării sau deconectării elementelor rețelei electrice (RE), cât și în urma variațiilor puterilor absorbite din noduri sau injectate în ele. În acest caz matricea Jacobi modificată, notată prin  $[\hat{J}]$  se determină cu relația:

$$[\hat{J}] = \begin{bmatrix} J_1 \\ \vdots \\ J_i \\ \vdots \\ J_j \\ \vdots \\ J_k \\ \vdots \\ J_{2n-m} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0_{1 \times 2n-m} \\ \vdots \\ \hat{J}_i - J_i \\ \vdots \\ \hat{J}_j - J_j \\ \vdots \\ \hat{J}_k - J_k \\ \vdots \\ J_{2n-m} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 \\ \vdots \\ J_i \\ \vdots \\ J_j \\ \vdots \\ J_k \\ \vdots \\ J_{2n-m} \end{bmatrix} + [e_{i,j..k}] [\hat{J}_{i,j..k} - J_{i,j..k}]$$

unde  $J_i$ ,  $i=1 \dots 2n-m$  - liniile matricei Jacobi;

$\hat{J}_{i,j..k}$  sunt liniile matricei Jacobi modificate;

$[\hat{J}]$  este matricea Jacobi modificată;

$[e_{i,j..k}]$  este o matrice pătrată cu dimensiunile  $(2n-m \times 2n-m)$  cu elementele egale cu 1 ce

se află la intersecțiile liniilor și coloanelor  $i$ ,  $j$  și  $k$ , iar celelalte sunt nule.

În formă matriceală compactă relația de mai sus se poate scrie sub forma:

$$[\hat{J}] = \|[J] + [e_{i,j..k}] [\hat{J}_{i,j..k} - J_{i,j..k}]\|.$$

Se pune problema de identificat dacă matricea modificată  $[\hat{J}]$  este inversabilă, fără de a determina determinantul ei.

Determinantul matricei Jacobi modificate  $[\hat{J}]$  se determina cu relația:

$$\det[\hat{J}] = \det\left([J] + [e_{i,j..k}] [\hat{J}_{i,j..k} - J_{i,j..k}]\right).$$

sau:

$$\det[\hat{J}] = \det([U] + [\hat{J}_{i,j..k} - J_{i,j..k}] [J^{-1}] [e_{i,j..k}]) \cdot \det(J)$$

Condiția necesară privind nesingularitatea matricei Jacobi modificate  $[\hat{J}]$  se îndeplinește atunci dacă are loc strict inegalitatea:

$$[\hat{J}_{i,j..k} - J_{i,j..k}] [J]^{-1} [e_{i,j..k}] \neq [U].$$

Această relație poate fi utilizată în calitate de indice integral privind identificarea inversabilității matricei Jacobi modificate  $[\hat{J}]$ , în urma perturbațiilor locale care au loc permanent în SEE, în ipoteza că matricea Jacobi inițiată  $[J]$  este inversabilă. În calitate de matricea Jacobi inițială se propune de utilizat matricea  $[J]$  aferentă regimului la mers în gol.

Modificarea puterii active absorbite dintr-un nod oarecare al rețelelor electrice oarecare duce la modificarea elementelor matricei Jacobi, însă mai pronunțat se modifică elementele liniei aferente nodului în care a avut loc modificarea.

Ulterior prin înmulțirea elementelor liniei respective la elementele coloanei corespunzătoare ale matricei inverse Jacobi inițiale se obține coeficientul  $K_i$ . Variația acestui coeficient în funcție de valoarea puterii  $P_i$  este prezentată în Figura 7.

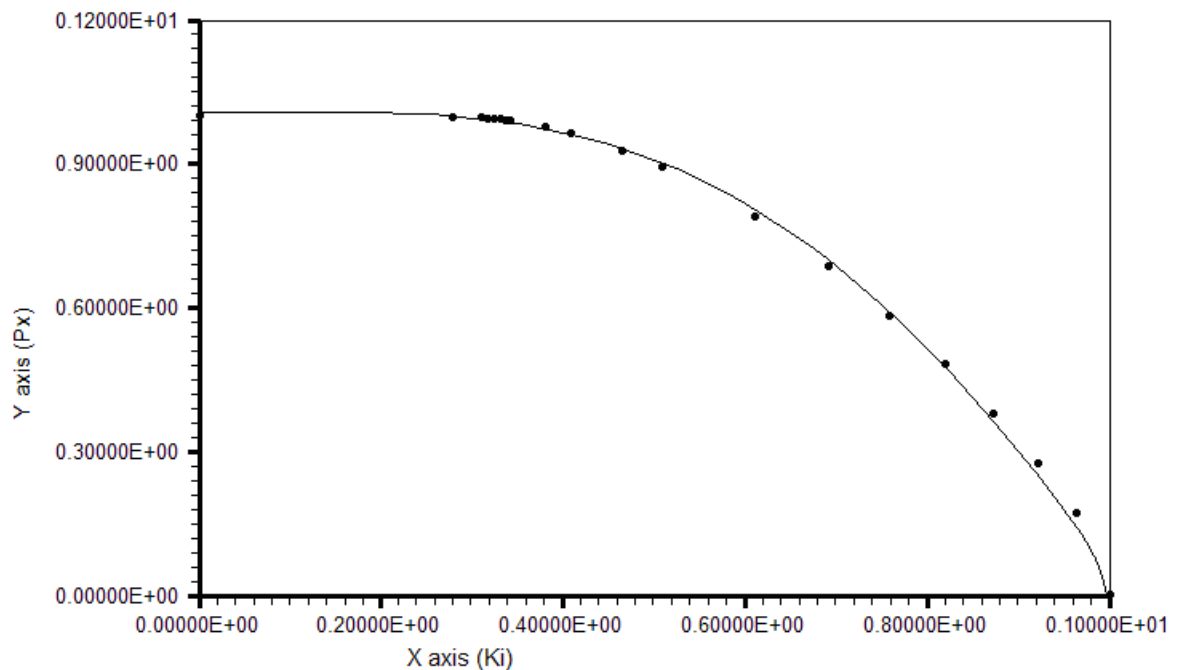


Fig. 7. Dependența  $P_x = f(K_i)$ .



Dacă se utilizează valoarea relativă a puterii active se obține una și aceeași curbă, indiferent de schema analizată (similară curbei din Figura 7). Această curbă poate fi descrisă utilizând polinomul:

$$P_* = 0,049 \cdot e^{\frac{(K_i - 4,680)^2}{16,634}} + \frac{0,133 + K_i}{0,163 + 0,031 \cdot K_i^2} - 5,859 \cdot K_i,$$

Pentru a demonstra aplicabilitatea polinomului se consideră o rețea electrică de 330 kV, schema de principiu a căreia este prezentată în Figura 8.

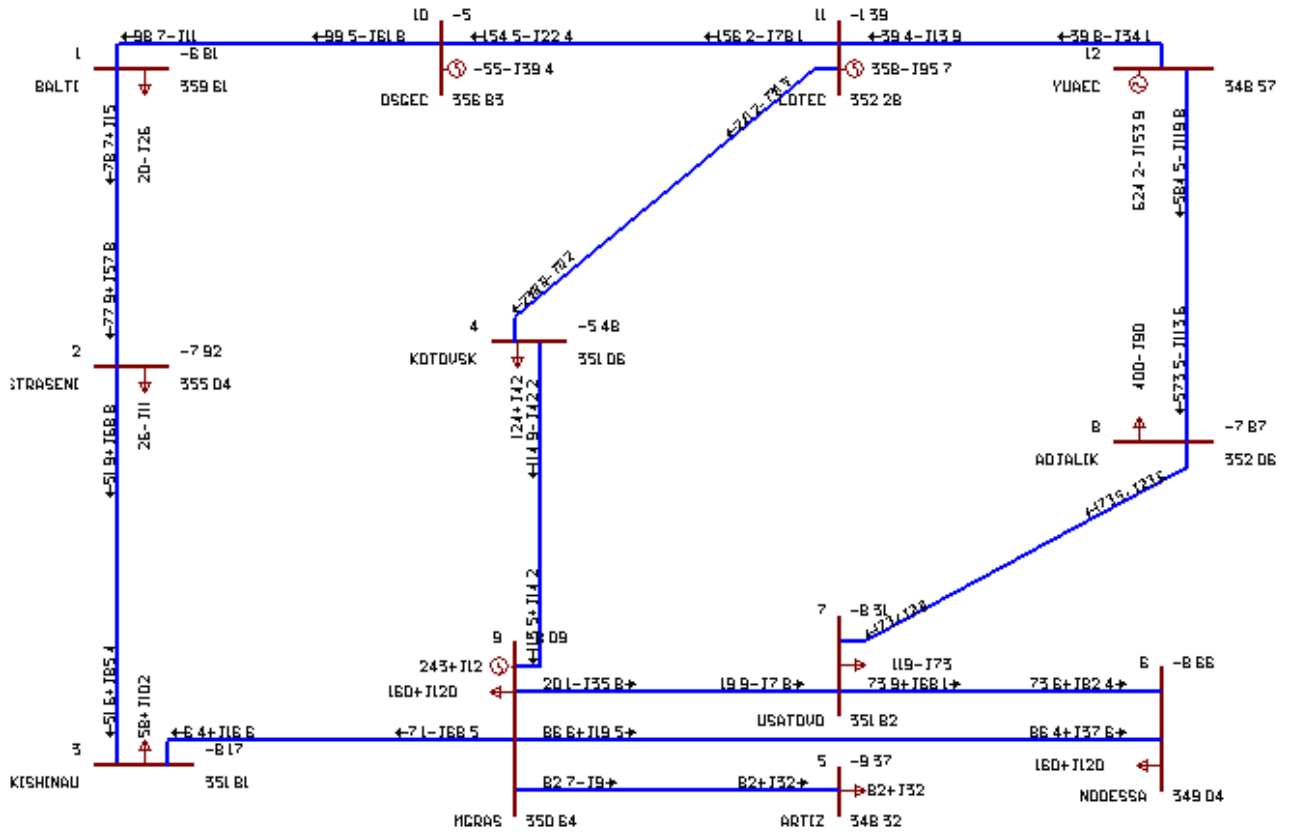


Fig. 8. Schema de principiu a rețelei electrice.

Rezultatele obținute sunt prezentate în Tabelul 2.

Tabelul 2. Rezultate obținute

$P, MW$	$K_i$	
	regim	polinom
300	0,903	0,9020
600	0,744	0,7446
900	0,487	0,4796

Algoritmul elaborat poate fi utilizat pentru estimarea puterii maxime fără a efectua calculul regimului permanent de funcționare, care este o problemă dificilă condiționată de convergența procesului iterativ.

Pentru a determina puterea maximă trebuie de parcurs următorii pași:

1. Se efectuează calculul regimului cu modificarea puterii într-un nod;

$$[Si] := \begin{pmatrix} -(58 + J \cdot 102) \\ -(124 + J \cdot 42) \\ -(82 + J \cdot 32) \\ -(160 + J \cdot 120) \\ -(119 - J \cdot 73) \\ -(400 - J \cdot 90) \end{pmatrix} \quad [Sm] := \begin{pmatrix} -(300 + J \cdot 102) \\ -(124 + J \cdot 42) \\ -(82 + J \cdot 32) \\ -(160 + J \cdot 120) \\ -(119 - J \cdot 73) \\ -(400 - J \cdot 90) \end{pmatrix}$$

2. Se determină coeficientul  $Ki$  ca produsul liniei corespunzătoare a matricei Jacobi modificate la coloana respectivă a inversei matricei Jacobi inițiale;

$$Ki := \begin{cases} \text{for } z \in 1..rows([Si]) & = 0.903 \\ \quad i \leftarrow z \text{ if } [Sm]_z \neq [Si]_z \\ \text{for } x \in 1..cols([Ji]) \\ \quad C1_{1,x} \leftarrow [Jm]_{1,x} \\ \text{for } y \in 1..rows([Ji]^{-1}) \\ \quad C2_{y,1} \leftarrow ([Ji]^{-1})_{y,i} \\ C1 \cdot C2 \text{ if } Disp = 3 \\ "n/a" \text{ otherwise} \end{cases}$$

3. În baza polinomului se determină raportul dintre puterea modificată către puterea maximă;

$$Px(P, Ki) := \begin{cases} \text{for } x \in 0, \varepsilon .. 1 \\ \quad f(x) \leftarrow Y_1 \cdot e^{\frac{(x-Y_2)^2}{Y_3}} + \frac{Y_4 + x}{Y_5 + Y_6 x^2} + Y_7 x \\ \quad Px \leftarrow f(x) \text{ if } |x - Ki| < \varepsilon \\ Px \end{cases}$$

$$Px(300, 0.903) = 0.305$$

4. Se determină puterea maximă în baza raportului obținut.

$$P_{max} := \frac{P}{Px} = 983.986$$

Pe baza metodei dezvoltare în lucrare s-a elaborat un algoritm privind analiza stabilității statice aperiodice a SEE. Algoritmul propus în lucrare permite de a estima puterea limită printr-o secțiune prin efectuarea calculului numai a unui regim permanent de funcționare, care se află departe de limită. Aceasta duce la o reducere pronunțată a duratei de timp necesară pentru estimarea puterii limită.

În scopul realizării unui *studiu detaliat privind estimarea puterilor maxime* ce pot fi injectate în SEE al Republicii Moldova de la CEE s-au propus 20 de amplasamente ale acestor surse, distribuite pe întreg teritoriul țării, câte 5 în fiecare zonă (Figura 9):

- Zona NORD - Briceni, Dondușeni, Soroca, Fălești, Florești
- Zona CENTRU - Orhei, Călărași, Nisporeni, Cărpineni, Anenii Noi
- Zona SUD-EST - Cioburciu1, Cioburciu2, Purcari, Caplani, Râscăeții Noi
- Zona SUD - Vulcănești, Balabani, Comrat, Cahul Sud, Leova

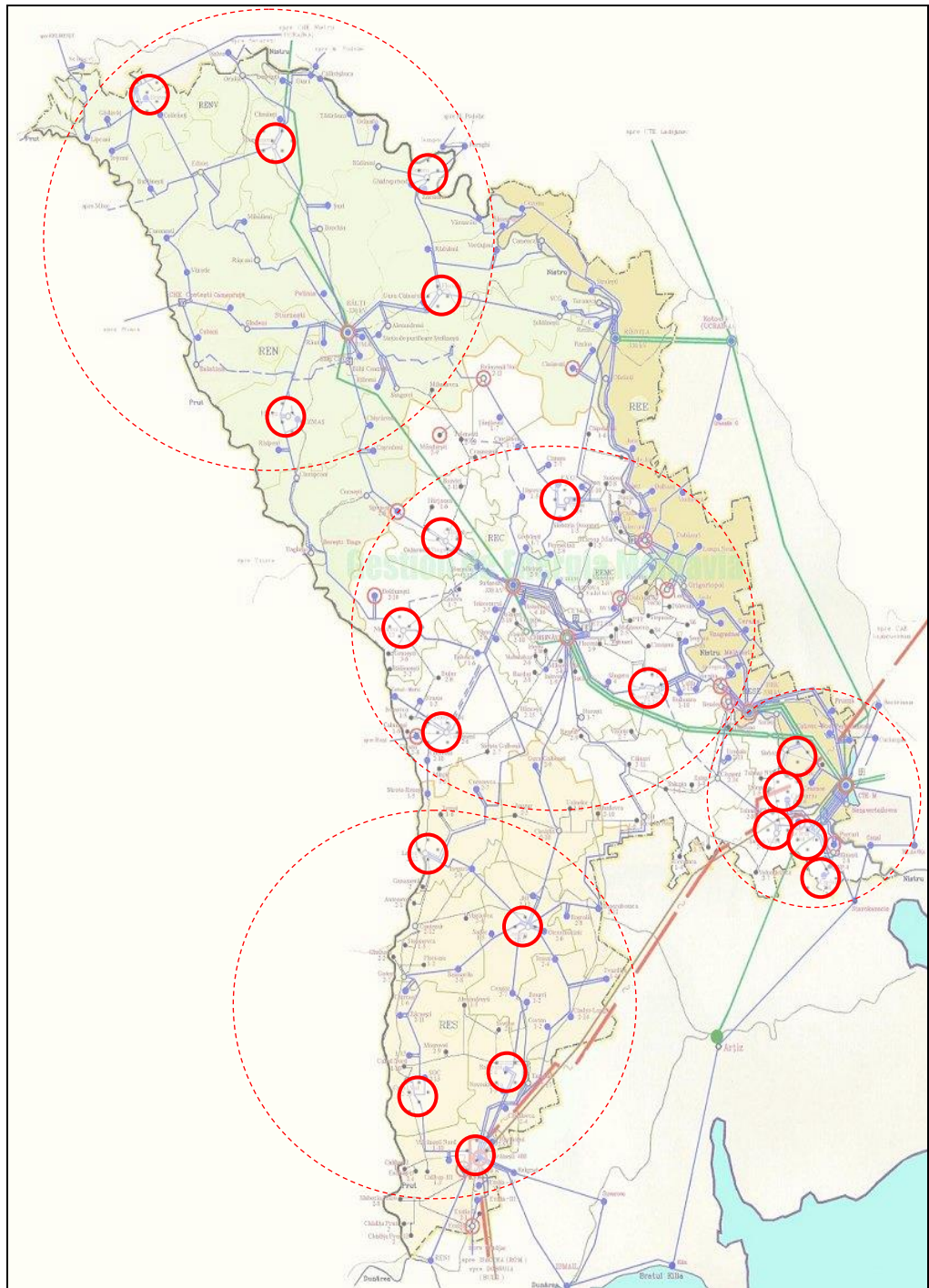


Fig. 9. Amplasamentele CEE

În conformitate cu amplasamentele prezentate în Figura 9 s-au analizat 8 scenarii, câte 4 pentru regimurile de sarcină maximă de iarnă și sarcină maximă de vară, injectând în una din zone puterea maximă posibilă, din considerentele capacităților de transport ale liniilor electrice de transport din zonă, iar pentru celelalte zone s-au determinat puterile maxime care pot fi injectate utilizând criteriul convergenței procesului iterativ, după cum urmează:

- scenariul 1 - injectarea în zona de SUD a puterii maxime de la CEE;
- scenariul 2 - injectarea în zona de SUD-EST a puterii maxime de la CEE;
- scenariul 3 - injectarea în zona de CENTRU a puterii maxime de la CEE;
- scenariul 4 - injectarea în zona de NORD a puterii maxime de la CEE.

Estimarea puterilor maxime s-a realizat prin aplicarea următorului algoritm de calcul:

- asigurarea alimentării consumatorilor Î.U.S. „Dnestrenergo” de la centralele electrice MGRES și CHE Dubăsari;
- injectarea în cele 20 de amplasamente a CEE de puteri comparativ mici (zeci de MW);
- modificând puterile injectate în nodurile unei zone, în conformitate cu scenariul dat, ținând seama ca liniile electrice să nu fie supraîncărcate, se determină puterea maximă totală ce poate fi injectată în această zonă, în baza criteriului convergenței procesului iterativ privind soluționarea sistemului de ecuații de stare a SEE [14, 15].

Acest algoritm a fost utilizat pentru toate scenariile analizate.

Soluționarea ecuațiilor de funcționare ale regimului permanent pentru estimarea puterilor maxime totale ale CEE ce pot fi injectate în sistemul electroenergetic s-a realizat în baza criteriului convergenței procesului iterativ.

Se menționează că puterile maxime s-au estimat considerând că toate liniile electrice de transport se află în funcțiune. La rândul său la deconectarea unei linii electrice de transport are loc reducerea puterilor maxime, care pot fi injectate în SEE.

În baza studiului s-a constatat că puterile maxime care pot fi injectate în diferite zone ale SEE al Republicii Moldova, în dependență de valorile curentului maxim admisibil ce parcurge conductoarele liniilor electrice de transport existente, constituie circa 1000 MW, indiferent de zona unde se injectează puterea maximă.

## CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI

Cercetările teoretice și experimentale efectuate în cadrul tezei au generat formularea următoarelor concluzii:

1. În teză s-a demonstrat necesitatea asigurării securității energetice a Republicii Moldova prin integrarea surselor regenerabile de energii în sistemul electroenergetic național.
2. Conform cercetărilor efectuate privind conectarea centralelor eoliene la rețelele de distribuție și/sau la cele de transport a energiei electrice, au fost identificate cerințe tehnice minime care asigură funcționarea normală a acestor sisteme în diferite regimuri. Recomandările sunt propuse ANRE pentru a fi implementate în normele tehnice existente [8].
3. S-a analizat principiul de acționare al sistemelor automatizate ale turbinelor eoliene pentru diferite viteze ale vântului, fiind limitată puterea injectată în sistemul energetic atât din punct de vedere a forțelor mecanice, care acționează asupra turbinei, cât și a parametrilor părții electrice a instalației [5].
4. În cazul unui scurtcircuit bifazat la bornele turbinei eoliene cu generator asincron cu dublă alimentare [1], componentele de succesiune directă ating valorile maxime la alunecări mici, iar cele de succesiune inversă – în apropierea alunecării egale cu 2-s [10]. În același timp cuplul electromagnetic reprezintă pulsații cu frecvență dublă, amplitudinile cărora cresc împreună cu alunecarea și pot depăși cu mult valoarea medie. În instalația în funcție aceste pulsații produc vibrații mecanice și sunt periculoase din punct de vedere a apariției rezonanței [7].
5. Analiza stabilității statice a unui sistem electroenergetic la integrarea a unei CEE a demonstrat atât conform criteriului Stodola, cât și conform criteriului Hurvitz, că sistemul analizat este static stabil, fără provocarea oricăror avarii considerabile.
6. S-a elaborat o metoda pentru determinarea rapidă a inversei matricei Jacobi [3], care poate fi utilizată, pe scară largă, în calculele operative ale regimurilor permanente de funcționare ale SEE.
7. S-a realizat un algoritm privind determinarea puterii limită printr-o secțiune prin efectuarea numai a unui regim permanent de funcționare, care se află departe de limită [4]. Aceasta duce la o reducere pronunțată a duratei de timp necesară pentru estimarea puterii limită.

8. În baza studiului s-a constatat că puterile maxime care pot fi injectate în diferite zone ale SEE al Republicii Moldova, în dependență de valorile curentului maxim admisibil ce parcurge conductoarele liniilor electrice de transport, constituie în ansamblu circa 1000 MW, fie că se injectează o putere maximă de 520 MW în zona de SUD, sau 630 MW în zona de NORD [15].

9. De remarcat că racordarea surselor de energii regenerabile la SEN duce la creșterea gradului de încărcare a unor linii electrice de 110 kV. Această creștere este influențată atât de amplasamentele CEE, de consumul de energie în Republica Moldova, precum și de exportul de energie din țară în Ucraina și România [14].

**Problema științifică importantă soluționată.** Constă în estimarea puterilor maxime admisibile printr-o secțiune a SEE, cu considerarea și capacităților eoliene racordate, fapt ce a permis obținerea informației pentru luarea deciziilor privind valorificarea energiei eoliene în diferite zone ale țării.

**Direcții și obiective de cercetare pentru viitor.** După ce a fost estimată puterea maximă ce poate fi tehnic racordată la SEN, reieșind din potențialul energetic eolian calculat, urmează a fi efectuat un studiu de echilibrare pentru SEE al Republicii Moldova, analiza ajustărilor și setărilor sistemelor de protecție și automatizare ale SEN, precum și estimarea din considerente economice a puterii maxime ce poate fi integrată în SEE al Republicii Moldova.

## Lista lucrărilor publicate la tema tezei

### Articole în diferite reviste științifice (în reviste internaționale cotate ISI):

1. **V. Gropa**, *The analysis of biphasic short circuit regimes to doubly-fed induction generators connected to a power system*. Annals of the University of Craiova, Electrical Engineering series No.37; 2013, p.68 – 72, ISSN 1842-4805, 0.38 c.t.
2. I. Macovei, I. Stratan, **V. Gropa**, *Working out of analytical expressions for the simplified operative definition of additional losses at various scenarios of export*. Annals of the University of Craiova, EE series No.33; 2009, p.117 – 121, ISSN 1842-4805, 0.31 c.t.

### Articole în culegeri științifice (culegeri de lucrări ale conferințelor internaționale):

3. **V. Gropa**, I. Stratan, *Metodă rapidă de calcul al inversei matrice Jacobi*. The 10th International Conference and Exhibition on Electromechanical and Power Systems. SIELMEN 2015, Craiova-Chișinău, 2015, p.191-195, ISBN 978-606-567-284-0, 0.25 c.t.
4. **V. Gropa**, I. Stratan, I. Macovei, *Metodă practică de evaluare a puterii active maxime admisibile printr-o secțiune a sistemului electroenergetic*. The 10th International Conference and Exhibition on Electromechanical and Power Systems. SIELMEN 2015, Craiova-Chișinău, 8 - 9 octombrie 2015, p.210-212, ISBN 978-606-567-284-0, 0.23 c.t.
5. I. Macovei, I. Stratan, **V. Gropa**, D. Rujanschi, *Funcționarea instalațiilor eoliene cu generator cu dublă alimentare tip DFIG în regim cuazistaționar*. The 10th International Conference and Exhibition on Electromechanical and Power Systems. SIELMEN 2015, Craiova-Chișinău, 8 - 9 octombrie 2015, p.205-209, ISBN 978-606-567-284-0, 0.31 c.t.
6. I. Macovei, **V. Gropa**, D. Rujanschi, *Unele aspecte privind protecția și metoda de calcul a curenților de scurtcircuit în sistemele eoliene cu viteză variabilă*. The 10th International Conference and Exhibition on Electromechanical and Power Systems. SIELMEN 2015, Craiova-Chișinău, 8 - 9 octombrie 2015, p.187-190, ISBN 978-606-567-284-0, 0.25 c.t.
7. I. Macovei, I. Stratan, **V. Gropa**, *Modelarea matematică a regimurilor nesimetrice ale unui generator cu dublă alimentare (DFIG)*. The 9th International Conference on Electromechanical and Power Systems. SIELMEN 2013, Chișinău, 17 - 18 octombrie 2013, p.265 – 270, ISSN 978-606-13-1560-4, 0.38 c.t.
8. **V. Gropa**, *Influence on power quality of grid-connected wind turbines*. Conferința internațională „Energetica Moldovei-2012”. Aspecte regionale de dezvoltare, Chișinău, 4-6 oct. 2012, p.204-209, ISBN 978-9975-62-324-7, 0.31 c.t.

9. I. Macovei, I. Stratan, **V. Gropa**, I. Păduraru, M. Pripa, *Study of technical diagnosis of power transformers in power system of republic of Moldova*. Conferința internațională „Energetica Moldovei-2012”. Aspecte regionale de dezvoltare, Chișinău, 4-6 oct. 2012, p.229-236, ISBN 978-9975-62-324-7, 0.57 c.t.
10. I. Macovei, I. Stratan, **V. Gropa**, M. Pripa, *A presentation method of the unsimetric short-circuits regimes of synchronous machine in the D-Q axes*. The 8th International Conference on Electromechanical and Power Systems. SIELMEN 2011, Chișinău, 13 - 15 octombrie 2011, p.445-450, ISSN 1842-4805, 0.38 c.t.
11. I. Macovei, I. Stratan, **V. Gropa**, *The simplified design procedure of losses of the electric power*. A The 7th International Conference of Electromechanical and Power Systems SIELMEN '09. Iași, 8-9 October 2009. V.1, p.121-124, ISBN 978-606-520-617-5, 0.26 c.t.

**Articole în culegeri științifice** (culegeri de lucrări ale conferințelor naționale):

12. D. Zastavnetchi, **V. Gropa**, *Identificarea cauzelor valorilor majorate ale tensiunilor în unele noduri ale sistemului electroenergetic al Republicii Moldova*. Conferința Tehnico-Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților UTM, Volumul I, Chișinău, 20 octombrie 2014, p.428 – 431, ISBN 978-9975-45-249-6, 0.25 c.t.
13. **V. Gropa**, *Aspecte economice privind racordarea surselor de energii regenerabile la sistemul electroenergetic al Republicii Moldova*. Conferința Tehnico-Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților UTM, Volumul I, Chișinău, 15-17 noiembrie 2012, p.399 – 400, ISBN 978-9975-45-249-6, 0.18 c.t.
14. **V. Gropa**, *Studiu privind utilizarea rațională a capacității de transport ale liniilor electrice aeriene*. Conferința Tehnico-Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților UTM, Volumul I, Chișinău, 8 - 10 decembrie 2011, p.228–229, ISBN 978-9975-45-208-3, 0.15 c.t.
15. I. Stratan, **V. Gropa**, *Identificarea capacităților maxime de racordare la stațiile electrice din sistemul electroenergetic al Republicii Moldova*. Conferința Tehnico-Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților. Chișinău, 17 - 19 noiembrie 2010, p.362–363, ISBN 978-9975-45-065-2, 0.12 c.t.

**Lucrări științifice cu caracter informativ** (enciclopedii, dicționare):

16. I. Stratan, G. Drăgan, M. Costea, **V. Gropa**, *Dicționar explicativ pentru științele exacte: Energetică ENER G 8: Linii electrice aeriene: român-englez-francez-german-rus.*, București: Editura Academiei Române; Editura A.G.I.R., 2007, 196 p., 8,17 c.t.



## ADNOTARE

**Autor** – GROPA Victor. **Titlul** – *Estimarea impactului centralelor eoliene asupra sistemului electroenergetic al Republicii Moldova*. Teză de doctor în vederea conferirii titlului științific de doctor în științe tehnice la specialitatea 221.01. *Sisteme și tehnologii energetice*. Chișinău 2017.

**Structura lucrării:** Lucrarea conține o introducere, patru capitole, concluzii generale și recomandări, bibliografie din 138 titluri și include 4 anexe, 138 pagini, 73 figuri, 39 tabele. Rezultatele obținute sunt publicate în 16 lucrări științifice.

**Cuvinte cheie:** sistem electroenergetic, centrală electrică eoliană, rețele electrice de transport, racordare la rețea, norme tehnice, metode de calcul, circulații de puteri.

**Domeniul de studiu:** științe tehnice.

**Scopul tezei:** contribuții privind sporirea securității energetice a Republicii Moldova prin integrarea centralelor electrice eoliene (CEE) în sistemul electroenergetic național (SEN).

**Obiectivele tezei** sunt creșterea ponderii surselor de energii regenerabile în mixtul de producție al SEN prin soluționarea problemelor de racordare a CEE la sistemul electroenergetic (SEE) al Republicii Moldova; elaborarea unor recomandări pentru toți participanții Pieței de Energie a Republicii Moldova cu privire la utilizarea energiei electrice produse de turbine eoliene, cât și pentru potențialii investitori; precum și estimarea puterii maxime a surselor de energii regenerabile ce pot fi tehnic racordate la SEN, fără fortificarea acestora.

**Noutatea și originalitatea științifică a tezei.** Elaborarea unei noi metode și algoritmului de estimare a puterii maxime admisibile printr-o secțiune a sistemului electroenergetic prin excluderea necesității efectuării calculelor dificile a regimurilor permanente la limita convergenței procesului iterativ.

**Problema științifică importantă soluționată.** Constă în soluționarea problemei de estimare a puterilor maxime admisibile printr-o secțiune a SEE, cu considerarea și capacităților eoliene racordate, fapt ce a permis obținerea informației pentru luarea deciziilor privind valorificarea energiei eoliene în diferite zone ale țării.

**Semnificația teoretică.** Teza aduce contribuții științifice la calculul și analiza regimurilor permanente de funcționare ale rețelelor electrice de transport cu considerarea integrării CEE.

**Valoarea aplicativă a lucrării.** S-au elaborat condițiile tehnico-normative de racordare a CEE la SEN, a fost creat programul și algoritmul de calcul pentru studiul regimului de scurtcircuit bifazat al generatorului asincron cu rotorul bobinat, s-a estimat puterea maximă totală ce poate fi injectată tehnic în sistemul electroenergetic național existent excluzând necesitatea fortificării acestuia.

**Implementarea rezultatelor științifice.** Rezultatele cercetărilor au fost prezentate operatorului de transport și sistem Î.S. “Moldelectrica”, Direcției generale securitate și eficiență energetică din cadrul Ministerului Economiei al Republicii Moldova și Asociației Române pentru Energia Eoliană (RWEA).

## АННОТАЦИЯ

**Автор** – Гропа Виктор. **Название** – *Оценка влияния ветровых электрических станций на режим работы энергосистемы Республики Молдова*. Диссертация о присвоение докторской степени в области технических наук, специальность 221.01. *Энергетические системы и технологии*. Кишинэу 2017.

**Структура работы:** работа состоит из введения, четырех глав, выводов и рекомендаций, библиографии из 138 наименований и включает 4 приложений, 138 страниц, 73 рисунков и 39 таблиц. Результаты исследования опубликованы в 16 научных работах.

**Ключевые слова:** электроэнергетическая система, ветровая электрическая станция, передающие электрические сети, присоединение к сети, технические нормы, методы расчетов, потокораспределение.

**Область исследования:** технические науки.

**Цель диссертации** состоит в повышении энергетической безопасности Республики Молдова за счет использования ветровых электрических станций.

**Задачи диссертации:** увеличение доли возобновляемых источников электрической энергии (ВИЭЭ) в общем объеме производства за счет использования ВИЭЭ в энергосистеме Республики Молдова; разработка рекомендации которые учитывали бы особенности ветровых электрических станций; а так же оценка максимальной мощности ВИЭЭ которая может быть сгенерирована в энергосистеме Республики Молдова, без усиления передающих электрических сетей.

**Научная новизна работы:** Разработка методы и алгоритма по оценке предельной передаваемой мощности через участка энергосистемы.

**Решенная научная проблема:** состоит в решение задачи по определении предельной передаваемой мощности через участка энергосистемы с учетом подключенных генерирующих мощностей ветровых электрических станций, что позволило получить необходимую информацию для принятия решений по использованию ветровых электрических станций в различных регионов страны.

**Теоретическая значимость.** Работа вносит вклад в проблему расчета и анализа установившихся режимов электрических систем с учетом подключения к ним ветровых электрических станций.

**Прикладное значение работы:** Разработаны нормативно-технические условия на подключение к энергосистеме ветровых электрических станций, составлен алгоритм и программа по исследованию режима при двухфазном коротком замыкании у асинхронного генератора с короткозамкнутым ротором, оценена максимальная мощность которая может быть сгенерирована в энергосистему без усиления передающей сети.

**Внедрение научных результатов:** Результаты исследований были переданы системному оператору Г.П. «Молдэлектрика», в Главное управление безопасности и энергетической эффективности Министерство экономики Республики Молдова, а также Ассоциации по Ветровой Энергетике Румынии.

## ANNOTATION

**Author** – GROPA Victor. **Title** – *Estimation of the wind power impact on the power system of the Republic of Moldova*. PhD thesis for the awarding of the scientific title of doctor of technical sciences, specialty 221.01. *Energy systems and technologies*. Chişinău 2017.

**Structure:** The paper consists of an introduction, four chapters, conclusions and recommendations, 138 bibliography titles, and includes 4 Annexes, 138 pages, 73 figures, 39 tables. The results are published in 16 scientific papers.

**Keywords:** power system, wind power plant, high voltage network, network connection, technical rules, calculation method, loadflow.

**Field of study:** technical sciences.

**The aim of the thesis** is to contribute on increasing Moldova's energy security by integrating offshore wind power in the national power system.

**Objectives** are increasing the share of renewable energy in the joint production of the national energy system through solving the connection of offshore wind power in the electricity system of the Republic of Moldova; developing recommendations for creating national legal framework, which takes into account the characteristics of wind power; and the estimation of maximum power of renewable energy that can technically be connected to the national electricity system without fortify them.

**Scientific novelty and originality of the work.** Develop a new method and algorithm for estimating the maximum allowable power through a section of the power system by excluding the need to perform difficult calculations standing regimes operating on the edge convergence iterative process.

**Important scientific problem solved.** It consists in solving the problem of estimating the maximum output by a section of the power system with consideration of connected wind capacity, which gives information for decision making regarding the use of wind energy in different areas of the country.

**Theoretical importance.** The thesis makes scientific contributions to calculation and analysis of standing operating regimes of electricity transmission grids by considering the integration of wind power plants.

**The practical value of the work.** They were developed normative-technical requirements for connecting the wind farm to the national power system; was created a program and an algorithm for calculating the two-phase short-circuit study of DFIG; it was estimated maximum total power that can be technically injected into the existing national power system, excluding the necessity to strengthen it.

**Implementation of research results.** The research results were presented to the transmission system operator S.E. "Moldelectrica", to the Energy Efficiency and Sources of Renewable Energy Directorate of the Ministry of Economy and to the Romanian Wind Energy Association.

**GROPA VICTOR**

**ESTIMAREA IMPACTULUI CENTRALELOR EOLIENE  
ASUPRA SISTEMUL ELECTROENERGETIC  
AL REPUBLICII MOLDOVA**

**221.01 - SISTEME ȘI TEHNOLOGII ENERGETICE**

Autoreferatul tezei de doctor în științe tehnice

---

Aprobat spre tipar: 02.06.2017  
Hîrtie ofset. Tipar RISO.  
Coli de tipar.: 1.75

Formatul hîrtiei 60x84 1/16  
Tiraj 40 ex.  
Comanda nr. 52

---

UTM, 2017, MD 2004, Chișinău, bd. Ștefan cel Mare și Sfânt, nr. 168,  
EDITURA TEHNICA - UTM, MD 2045,  
Chișinău, str. Studenților, nr. 9/9.

© UTM, 2017