

(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2019 00006**

(22) Data de depozit: **04/01/2019**

(41) Data publicării cererii:
30/05/2019 BOPI nr. **5/2019**

(71) Solicitant:
• **UNIVERSITATEA "TRANSILVANIA" DIN
BRAȘOV, BD.EROILOR NR.29, BRAȘOV,
BV, RO**

(72) Inventatori:
• **NEAGOE MIRCEA, STR.MOLIDULUI
NR.103, SĂCELE, BV, RO;**

• **SĂULESCU RADU GABRIEL,
STR. PANSELUȚEI NR. 10, BL. 3, SC. A,
ET. 4, AP. 17, CODLEA, BV, RO;**
• **JALIU CODRUȚA ILEANA, BD.VICTORIEI
NR.10, BL.43, BRAȘOV, BV, RO;**
• **MUNTEANU OLIMPIU,
STR. COL. BUZOIANU NR. 51, AP. 3,
BRAȘOV, BV, RO**

(54) **SISTEM EOLIAN CONTRAROTATIV CU AMPLIFICATOR
DE TURAȚIE DIFERENȚIAL ȘI GENERATOR ELECTRIC
CONTRAROTATIV**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un sistem eolian destinat transformării energiei vântului în energie electrică. Sistemul conform invenției este compus din două rotoare (A și B) eoliene, principal și, respectiv, secundar, contrarotative coaxiale, și un generator electric contrarotativ având un rotor (E) mobil și un stator (F) mobil, interconectate cu un amplificator de turație planetar diferențial cu două intrări contrarotative și două ieșiri contrarotative, format prin cuplarea unei unități (C) planetare conice diferențiale cu o unitate (D) planetară cilindrică diferențială cu sateliți simpli, unitatea (C) planetară conică diferențială conține o roată (1) centrală cu dantură conică, solidarizată cu rotorul (A) eolian principal, un satelit dublu format din două roți (2 și 3) satelit conice coaxiale și articulat printr-o cuplă de rotație pe un element (4) suport-axe mobil, care este solidarizat cu rotorul (B) eolian secundar și articulat printr-o cuplă de rotație pe arborele roții (1) centrale, a doua roată (3) satelit conică angrenând cu roata (1) centrală, iar prima roată (2) satelit cu o roată (5) centrală conică, unitatea (D) planetară cilindrică diferențială conține o roată (6) cilindrică cu dantură interioară solidarizată cu roata (5) centrală conică, un alt element (7) suport-axe solidarizat cu roata (1) centrală și articulat printr-o cuplă de rotație cu

o roată (8) satelit cilindrică, care angrenează simultan cu roata (6) cilindrică și cu o roată (9) centrală cilindrică cu dantură exterioră, în care rotorul (E) mobil este solidarizat cu roata (9) centrală cilindrică, iar statorul (F) mobil este solidarizat cu un element (10) fixat coaxial cu roata (6) cilindrică.

Revendicări: 3
Figuri: 6

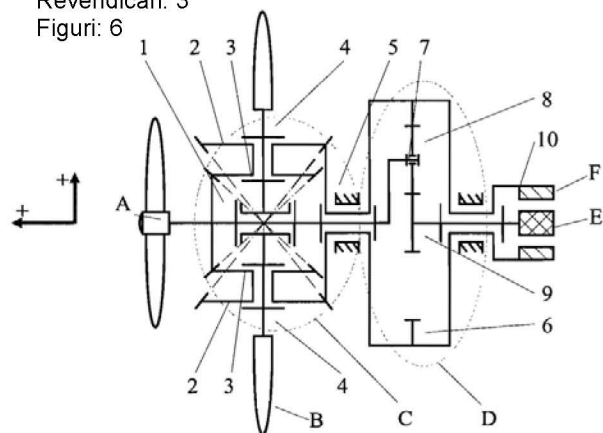


Fig. 1

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



Nr. 2 ut. ASP, 1, 228/41 42, 4A

OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI
Cerere de brevet de invenție
Nr. a 219 00006
Data depozit 04-01-2019

26

Sistem eolian contrarotativ cu amplificator de turație diferențial și generator electric contrarotativ

Invenția se referă la un sistem eolian cu două rotoare eoliene contrarotative și un generator electric contrarotativ (cu rotor și stator rotative, în sensuri contrare), conectate la un amplificator de turație diferențial cu două intrări contrarotative și două ieșiri contrarotative, format dintr-o unitate planetară diferențială conică cu sateliți dubli cuplată, prin două legături mecanice, cu o unitate planetară diferențială cilindrică cu sateliți simpli, cu scopul de a transforma cu eficiență ridicată energia vântului în energie electrică prin adaptarea turațiilor nominale reduse ale celor două rotoare eoliene la turația nominală ridicată a generatorului electric și prin creșterea puterii nominale a turbinei eoliene ca urmare a însumării puterilor mecanice generate de cele două rotoare eoliene contrarotative.

Este cunoscută o turbină eoliană (Wind turbine generator, brevet nr. US4291233), compusă dintr-un rotor eolian, un generator electric contrarotativ și un amplificator de turație cu o intrare și două ieșiri contrarotative, format din două angrenaje conice cu axe fixe care acționează o unitate planetară cilindrică bimobilă cu sateliți simpli. Această soluție prezintă dezavantajul utilizării unui singur rotor eolian, care dezvoltă puteri nominale mai reduse comparativ cu turbinele eoliene contrarotative. De asemenea, roata conică de pe arborele de intrare formează, cu celelalte două roți conice coaxiale, două angrenaje cu unghiuri diferite între axele de rotație, fapt care generează dificultăți constructive și tehnologice semnificative.

Mai este cunoscut un sistem eolian cu două rotoare eoliene (Multi-unit rotor blade system integrated wind turbine, brevet nr. US5876181A), în care amplificatorul de turație integrează angrenaje conice cu axe fixe și o unitate planetară cilindrică bimobilă cu două intrări și o ieșire, care însumează mișcările de intrare, având dezavantajul unui mecanism complex cu gabarit mărit și a unui moment la rotorul generatorului mult redus față de momentul unui rotor eolian (Climescu, O. ș.a. Specific features of a counter-rotating transmission for renewable energy systems).

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția este creșterea puterii nominale a turbinelor eoliene și a turației generatorului electric din componența acestora prin utilizarea unor sisteme bimobile cu două rotoare eoliene contrarotative, un amplificator de turație și un generator contrarotativ, în condițiile unor costuri de fabricație reduse.

Sistemul eolian contrarotativ cu amplificator de turație diferențial și generator electric contrarotativ propus *soluționează problema tehnică* prin utilizarea a două rotoare eoliene contrarotative coaxiale, a unui generator electric contrarotativ și a unei transmisii diferențiale



cu roți dințate, formată prin cuplarea a două unități planetare diferențiale cu câte două intrări și două ieșiri a puterii mecanice, prima unitate planetară fiind cu roți conice și a două cu roți cilindrice. Cele două rotoare eoliene sunt cuplate la intrările unității planetare conice, rotorul și statorul generatorului electric sunt conectate la ieșirile unității planetare cilindrice, iar cele două ieșiri ale unității planetare conice sunt cuplate la intrările unității planetare cilindrice.

Sistemul eolian contrarotativ cu amplificator de turație diferențial și generator electric contrarotativ, *conform invenției*, prezintă următoarele avantaje comparativ cu soluțiile cunoscute:

- realizează puteri nominale superioare soluțiilor clasice cu un rotor eolian;
- poate fi utilizat pentru o gamă largă de puteri;
- poate fi utilizat cu ax orizontal sau vertical, prin adaptarea corespunzătoare a rotoarelor eoliene;
- asigură la arborele generatorului electric o turație ridicată, obținută ca sumă ponderată a vitezelor de intrare aferente celor două rotoare eoliene contrarotative, realizabilă prin transmisia planetară diferențială;
- are o construcție robustă și o tehnologie de fabricație nepretențioasă.

Se prezintă, în continuare, un exemplu de realizare a invenției, în legătură cu figurile 1, 2, 3, 4, 5 și 6:

- *fig. 1*, schemă conceptuală a unui sistem cu două rotoare eoliene contrarotative – amplificator de turație planetar diferențial cu două intrări și două ieșiri – generator electric contrarotativ;

- *fig. 2*, exemplu de variație a raportului de amplificare i_a și a randamentului amplificatorului de turație η_{tot} în funcție de raportul vitezelor de intrare k_{ω} ;

- *fig. 3*, exemplu de variație a aportului de putere adus de rotorul **B** eolian secundar și a puterii mecanice de antrenare a generatorului electric P_{ge} în funcție de raportul vitezelor de intrare k_{ω} (pentru $P_A = 1$ kW);

- *fig. 4*, exemplu de variație a turației relative n_{ge} dintre rotorul și statorul generatorului electric în funcție de turația rotorului eolian principal n_A și de raportul vitezelor de intrare k_{ω} ;

- *fig. 5*, exemplu de variație a randamentului amplificatorului de turație în funcție de raportul vitezelor de intrare k_{ω} pentru diverse valori ale raportului cinematic interior al unității planetare conice;

- *fig. 6*, exemplu de variație a raportului cinematic de amplificare i_a în funcție de raportul vitezelor de intrare k_{ω} pentru diverse valori ale raportului cinematic interior i_{01} al unității planetare conice.

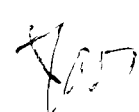
Sistemul eolian contrarotativ cu amplificator de turație diferențial și generator electric contrarotativ, *conform invenției*, în legătură cu fig. 1, este format din două rotoare eoliene **A** și **B** contrarotative, având rotații de sensuri contrare, un amplificator de turație planetar format prin cuplarea a două unități planetare **C** și **D** diferențiale, cu câte două intrări și două ieșiri, și un generator electric contrarotativ compus dintr-un rotor **E** și un stator **F**, care se rotesc în sensuri contrare.

Amplificatorul de turație planetar este compus dintr-o unitate planetară **C** conică diferențială cu sateliți dubli și o unitate planetară **D** cilindrică diferențială cu sateliți simpli, fiecare cu câte patru legături exterioare coaxiale (câte două intrări și două ieșiri). Cele două intrări ale unității planetare **C** sunt conectate la rotoarele eoliene **A** și **B**, iar cele două ieșiri sunt cuplate la intrările unității planetare **D**. Ieșirile unității planetare **D** sunt conectate la rotorul **E** și statorul **F** din componența generatorului electric.

Unitatea planetară **C** conică diferențială conține o roată **1** centrală cu dantură conică, solidarizată cu rotorul eolian **A** principal, un satelit **2-3** dublu format dintr-o roată **2** satelit conică solidarizată coaxial cu o roată **3** satelit conică. Satelitul **2-3** este articulat printr-o cuplă de rotație pe un element **4** suport-axe mobil solidarizat cu rotorul eolian **B** secundar și articulat printr-o cuplă de rotație pe arborele roții **1**. Roata **3** satelit conică angrenează cu roata **1** centrală, iar roata **2** satelit angrenează cu o roată **5** centrală conică, a cărei mișcare este obținută prin însumarea ponderată a mișcărilor celor două rotoare eoliene **A** și **B** prin intermediul unității planetare **C** diferențiale conice cu două intrări (roata **1** și elementul **4** suport-axe) și două ieșiri (roțile **1** și **5**).

Unitatea planetară **D** cilindrică diferențială conține o roată **6** cilindrică cu dantură interioară solidarizată cu roata **5**, un element **7** suport-axe solidarizat cu roata **1** și articulat printr-o cuplă de rotație cu o roată **8** satelit cilindrică, care angrenează simultan cu roata **6** și cu o roată **9** centrală cilindrică cu dantură exterioară. Unitatea planetară **D** cilindrică diferențială permite însumarea ponderată a mișcărilor celor două intrări (roata **6** și elementul **7** suport-axe) și transmiterea mișcărilor către rotorul **E** mobil, solidarizat cu roata **9**, și către statorul **F** mobil, solidarizat cu un element **10** fixat pe roata **6**.

Unitatea **C** planetară poate avea doi sau mai mulți sateliți **2-3** dubli montați în paralel, care în particular pot deveni sateliți simpli; analog, unitatea **D** planetară poate avea doi sau mai mulți sateliți **8** simpli montați în paralel. Se recomandă ca sateliții **2-3** dubli să fie în număr egal cu numărul palelor rotorului **B** eolian și montați pe axele acestor pale. Rotoarele **A** și **B** eoliene pot avea 2 sau mai multe pale, dispuse echidistant.



Un generator contrarotativ are rotorul **E** și statorul **F** mobile, cu rotații de sensuri contrare. Pentru reducerea efectelor inerțiale în regim variabil de funcționare, rotorul **E** al generatorului electric se rotește cu o turație mai mare în valoare absolută decât cea a statorului **F**. Energia produsă de un generator electric este direct dependentă de turația relativă a rotorului **E** față de statorul **F**.

Sistemul eolian contrarotativ cu amplificator de turație diferențial și generator electric contrarotativ, conform invenției, utilizează un amplificator de turație diferențial cu două intrări (**1** - intrare principală, **4** - intrare secundară) și două ieșiri (**9** - ieșire principală, **6** - ieșire secundară) și are următoarele proprietăți:

- are două mișcări independente de intrare pe care le însumează, obținându-se o mișcare amplificată la rotorul **E** și statorul **F** mobile ale generatorului electric;
- datorită mișcării contrarotative a rotorului **E** față de statorul **F**, turația n_{ge} echivalentă/nominală a generatorului este dată de turația relativă a rotorului **E** față de statorul **F**, care se obține prin însumarea valorilor absolute ale turațiilor rotorului și statorului;
- mișcarea de ieșire de la roata **9** este amplificată în raport cu mișcarea independentă a intrării **1** principale;
- mișcărilor de rotație ale celor două intrări sunt de sensuri contrare, proprietate asigurată prin sensurile de înclinare opuse ale palelor celor două rotoare **A** și **B** eoliene.

Pentru exemplificare, se consideră un amplificator de turație planetar pentru care se cunosc schema structurală și razele / numerele de dinți ale roților (roata i are raza r_i , respectiv z_i dinți, $i = 1, 2, 3, 5, 6, 8, 9$), conform fig. 1. Pentru această soluție de amplificator de turație planetar se aplică următoarea metodologie de calcul cinematic și static (*Miloiu, Gh., Dudiță, Fl., Diaconescu D.V. Transmisii mecanice moderne*):

- notând $\frac{\omega_B}{\omega_A} = \frac{\omega_4}{\omega_1} = -k_\omega$, în care $k_\omega \in (0,1]$, rezultă

$$\omega_4 = -k_\omega \omega_1;$$

- considerând următoarele egalități cinematice:

$$\omega_A = \omega_1 = \omega_7; \omega_2 = \omega_3; \omega_5 = \omega_6 = \omega_{10} = \omega_F; \omega_B = \omega_4; \omega_9 = \omega_E; \omega_{ge} = \omega_E - \omega_F,$$

se pot calcula:

- viteza roții **5** centrale de la ieșirea unității **C** planetare conice, în funcție de viteza intrării **1** principale și de raportul k_ω :

$$\omega_5 = \omega_1 \left(\frac{1}{i_{01}} + k_\omega \frac{1 - i_{01}}{i_{01}} \right);$$

- viteza roții 9 centrale de ieșire din unitatea D planetară cilindrică, în funcție de viteza intrării 1 principale și de raportul k_ω :

$$\omega_9 = \omega_1 \left[\left(\frac{1}{i_{01}} + k_\omega \frac{1-i_{01}}{i_{01}} \right) i_{02} + (1-i_{02}) \right];$$

- vitezele rotorului și statorului generatorului electric în funcție de viteza intrării 1 principale și de raportul k_ω :

$$\omega_E = \omega_A \left[1 + \left(\frac{1}{i_{01}} + k_\omega \frac{1-i_{01}}{i_{01}} - 1 \right) i_{02} \right], \quad \omega_F = \omega_A \left(\frac{1}{i_{01}} + k_\omega \frac{1-i_{01}}{i_{01}} \right);$$

- viteza generatorului electric:

$$\omega_{ge} = \omega_E - \omega_F;$$

- raportul de amplificare a vitezelor transmise de la rotorul A eolian principal la rotorul E al generatorului electric:

$$i_{aA-E} = \frac{\omega_E}{\omega_A} = \frac{i_{02}}{i_{01}} [1 + k_\omega (1-i_{01})] + (1-i_{02});$$

- raportul de amplificare a vitezelor transmise de la rotorul A eolian principal la statorul F al generatorului electric:

$$i_{aA-F} = \frac{\omega_F}{\omega_A} = \frac{1}{i_{01}} + k_\omega \frac{1-i_{01}}{i_{01}};$$

- raportul de amplificare a vitezelor transmise de la rotorul A principal la generatorul electric

$$i_a = i_{aA-ge} = \frac{\omega_{ge}}{\omega_A} = i_{aA-E} - i_{aA-F},$$

în care: $i_{01} = -\frac{z_5 z_3}{z_2 z_1}$ este raportul cinematic interior al unității planetare conice, $i_{02} = -\frac{z_6}{z_9}$

este raportul cinematic interior al unității planetare cilindrice;

- calculul turației:

$$n_i = \frac{30}{\pi} \omega_i,$$

în care $\omega_i, i = A, B, E, F, 1...10$ reprezintă viteza unghiulară absolută a elementului i .

- considerând egalitatea momentelor mecanice pentru generatorul electric

$$T_F = -T_E,$$

se pot calcula:

- funcțiile de transmitere a momentelor:

$$T_A = -T_E \left[\frac{1}{i_{01} \eta_{pl1}} \left(\frac{i_{02}}{\eta_{pl2}} - 1 \right) + \frac{1 - i_{02}}{\eta_{pl2}} \right], T_B = T_E \left(\frac{1 - i_{01}}{i_{01} \eta_{pl1}} \right) \left(\frac{i_{02}}{\eta_{pl2}} - 1 \right),$$

în care η_{pl1} , η_{pl2} sunt randamentele unităților planetare **C** și, respectiv, **D**;

- randamentul amplificatorului de turație:

$$\eta_{tot} = -\frac{\omega_E T_E + \omega_F T_F}{\omega_A T_A + \omega_B T_B} = \frac{\frac{1}{i_{01}} (i_{02} - 1) [1 + k_\omega (1 - i_{01})] + (1 - i_{02})}{\frac{1}{i_{01} \eta_{pl1}} \left(\frac{i_{02}}{\eta_{pl2}} - 1 \right) [1 + k_\omega (1 - i_{01})] + \left(\frac{1 - i_{02}}{\eta_{pl2}} \right)},$$

în care:

$$\eta_{pl1} = \frac{i_{51} (1 - i_{01})}{i_{01} \eta_{01}^w (1 - i_{01}) + (1 - i_{01} \eta_{01}^w) (i_{51} - i_{01})}, w = -\operatorname{sgn} \frac{i_{01} (1 - i_{51})}{i_{51} (1 - i_{01})}, i_{51} = \frac{\omega_5}{\omega_1},$$

$$\eta_{pl2} = \frac{i_{96} (1 - i_{02})}{i_{02} \eta_{02}^x (1 - i_{02}) + (1 - i_{02} \eta_{02}^x) (i_{96} - i_{02})}, x = -\operatorname{sgn} \frac{i_{02} (1 - i_{96})}{i_{96} (1 - i_{02})}, i_{96} = \frac{\omega_9}{\omega_6},$$

$\eta_{01} = \eta_{12}^4 \eta_{35}^4$, $\eta_{02} = \eta_{68}^7 \eta_{89}^7$ - randamentele interioare ale unităților planetare **C** și, respectiv, **D**;

- puterea mecanică generată de rotorul **A** eolian principal:

$$P_A = T_A \omega_A;$$

- puterea mecanică generată de rotorul **B** eolian secundar:

$$P_B = T_B \omega_B;$$

- puterea mecanică la intrarea în generatorul electric:

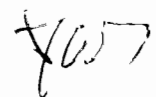
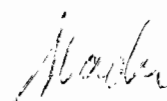
$$P_{ge} = T_{ge} \omega_{ge} = -T_A \omega_A \eta_{tot}.$$

În continuare se prezintă un exemplu numeric pentru un sistem eolian contrarotativ cu amplificator de turație diferențial și generator contrarotativ, conform soluției conceptuale din fig. 1, pentru care se consideră o valoare unitară a puterii rotorului eolian principal ($P_A = 1$ kW) și următoarele rapoarte cinematice și randamente interioare: $i_{01} = -1$, $i_{02} = -8$, $\eta_{01} = 0,96$ și $\eta_{02} = 0,95$. Raportul cinematic interior i_{01} se obține în cazul particular $i_{01} = -1$ prin înlocuirea satelitului 2-3 dublu cu un satelit simplu (format dintr-o singură roată 2 sau 3 satelit, roțile 2 și 3 având același număr de dinți).

Conform fig. 2 și fig. 3, odată cu creșterea raportului k_ω raportul i_a crește, puterea generată de rotorul **B** eolian secundar P_B crește, puterea generatorului electric P_{ge} crește, în condițiile în care randamentul η_{tot} este cvasi-constant (scade nesemnificativ). Turația n_{ge} a generatorului

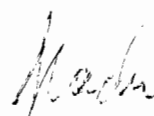
electric poate fi stabilită cu ajutorul nomogramei din fig. 4 în funcție de turația rotorului A eolian principal și valoarea parametrului k_{ω} . Astfel, la o turație a rotorului A eolian principal $n_A = 80$ rot/min se obține o turație relativă în generatorul electric $n_{ge} = 1440$ rot/min pentru $k_{\omega} = 0$ și, respectiv, $n_{ge} = 2880$ rot/min pentru $k_{\omega} = 1$.

Conform fig. 5 și fig. 6, raportul cinematic interior i_{01} al unității planetare C conice influențează semnificativ randamentul amplificatorului de turație planetar și raportul cinematic de amplificare i_a , mărimi care cresc odată cu descreșterea în valoare absolută a raportului i_{01} . Ca urmare, în dezvoltarea soluției de amplificator de turație se recomandă adoptarea unor valori absolute subunitare cât mai reduse ale raportului i_{01} .

 7

REVENDICĂRI

1. Sistem eolian contrarotativ cu amplificator de turație diferențial și generator electric contrarotativ, *conform invenției*, format din două rotoare (A și B) eoliene contrarotative coaxiale, un amplificator de turație planetar diferențial cu roți dințate, cu două intrări și două ieșiri, și un generator electric contrarotativ format dintr-un rotor (E) mobil și un stator (F) mobil, **caracterizat prin aceea că** amplificatorul de turație planetar este format prin cuplarea unei unități planetare (C) conice diferențiale cu sateliți dubli cu o unitate planetară (D) cilindrică diferențială cu sateliți simpli, **precum și prin aceea că** unitatea planetară (C) conică diferențială conține o roată (1) centrală cu dantură conică, solidarizată cu rotorul eolian (A) principal, un satelit (2-3) dublu format dintr-o roată (2) satelit conică solidarizată coaxial cu o roată (3) satelit conică și articulat printr-o cuplă de rotație pe un element (4) suport-axe mobil, care este solidarizat cu rotorul eolian (B) secundar și articulat printr-o cuplă de rotație pe arborele roții (1), roata (3) satelit conică angrenând cu roata (1) centrală, iar roata (2) satelit cu o roată (5) centrală conică, **precum și prin aceea că** unitatea planetară (D) cilindrică diferențială conține o roată (6) cilindrică cu dantură interioară solidarizată cu roata (5), un element (7) suport-axe solidarizat cu roata (1) și articulat printr-o cuplă de rotație cu o roată (8) satelit cilindrică, care angrenează simultan cu roata (6) și cu o roată (9) centrală cilindrică cu dantură exterioară, în care rotorul (E) mobil este solidarizat cu roata (9), iar rotorul (F) mobil este solidarizat cu un element (10) fixat coaxial de roata (6).
2. Sistem eolian contrarotativ cu amplificator de turație diferențial și generator electric contrarotativ, *conform revendicării 1*, **caracterizat prin aceea că** rotorul eolian (B) dispune de două sau mai multe axe echiunghiulare pe care se montează câte un satelit dublu (2-3).
3. Sistem eolian contrarotativ cu amplificator de turație diferențial și generator electric contrarotativ, *conform revendicării 1*, **caracterizat prin aceea că** sateliții dubli (2-3) se pot înlocui cu sateliți simpli (2 sau 3).



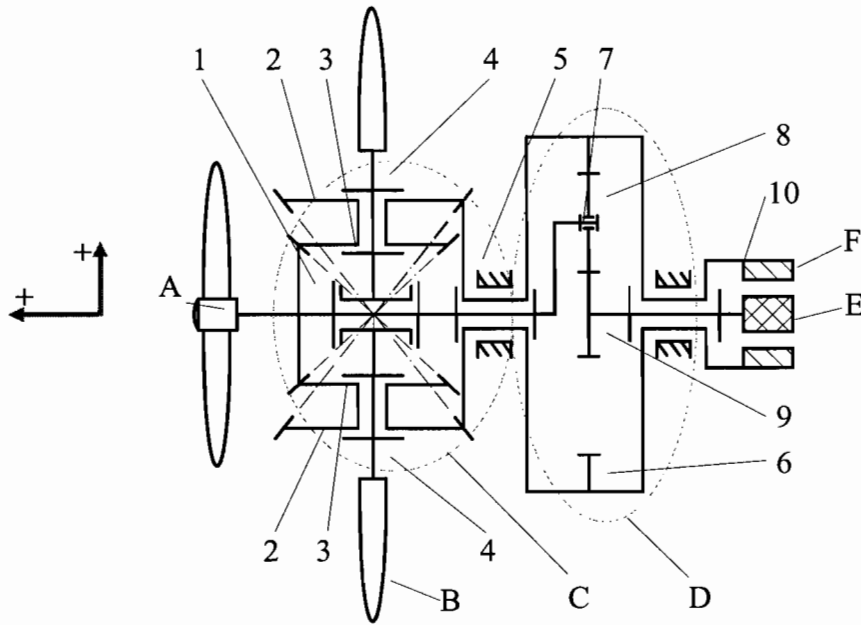


Fig. 1

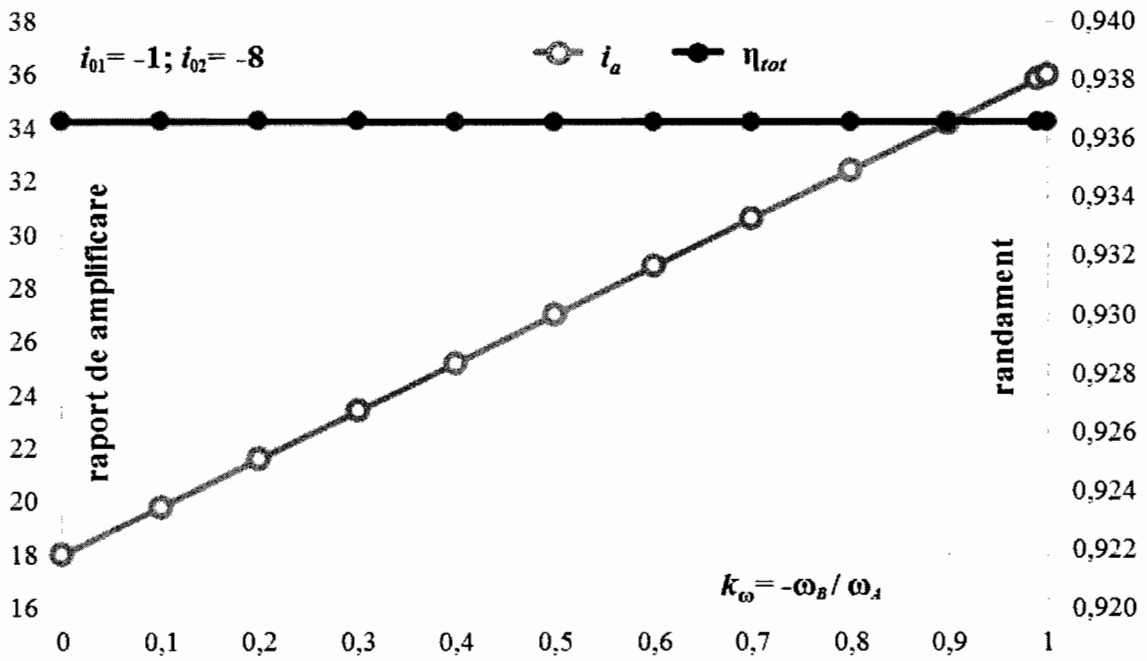


Fig. 2

[Handwritten signature]

[Handwritten signature]

[Handwritten signature]

[Handwritten signature]

12

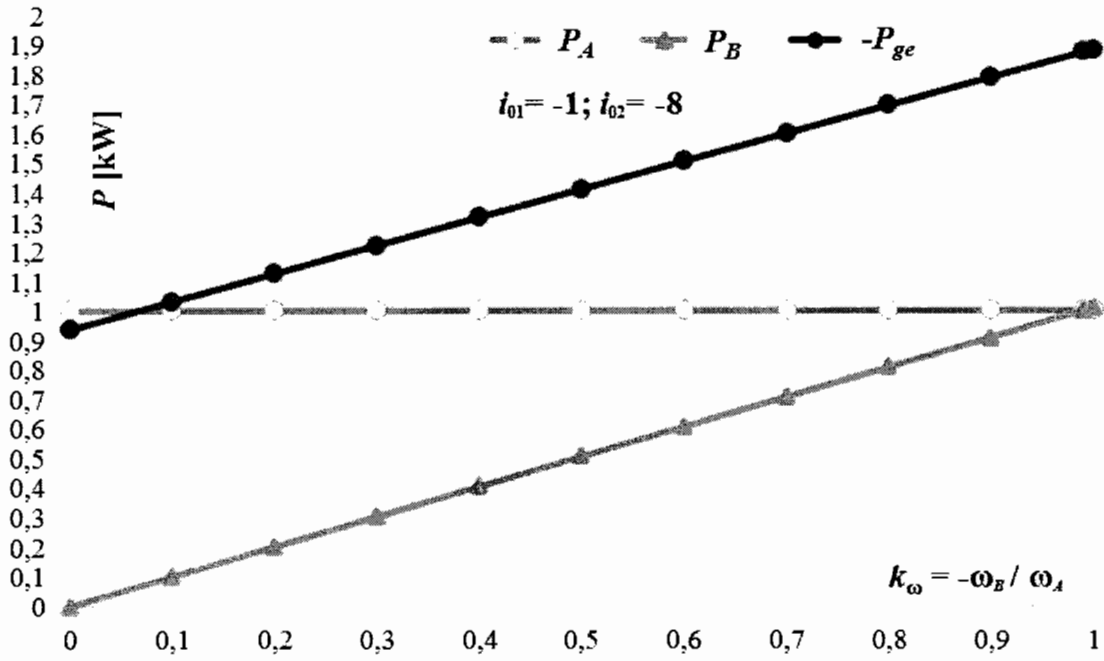


Fig. 3

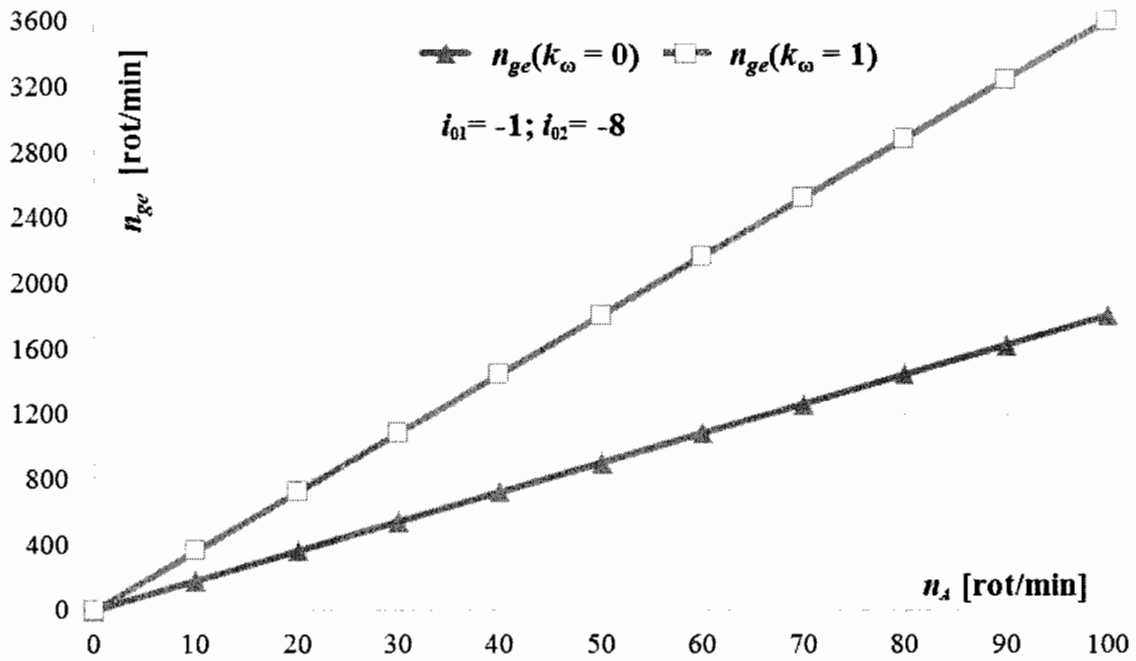


Fig. 4

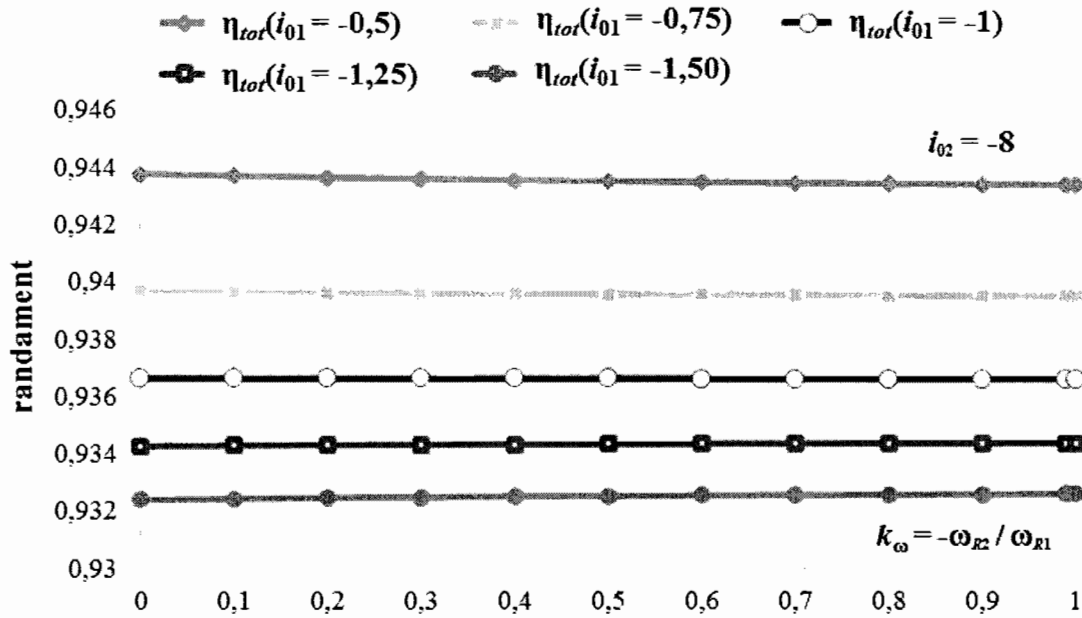


Fig. 5

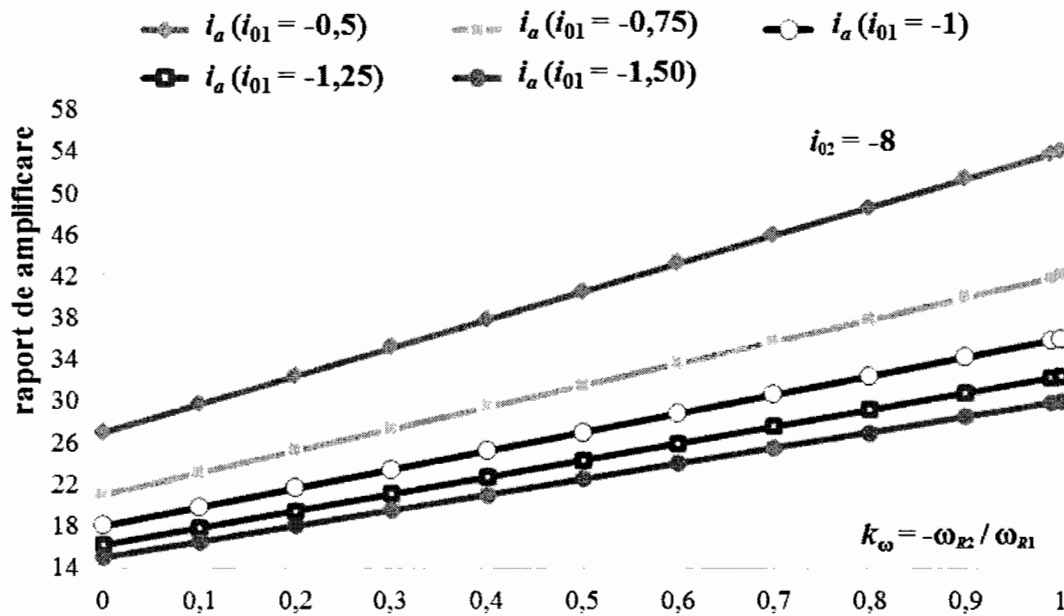


Fig. 6

[Handwritten signature]

[Handwritten signature]

[Handwritten signature]

[Handwritten signature]