

(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2018 00683

(22) Data de depozit: 17/09/2018

(41) Data publicării cererii:  
30/12/2020 BOPI nr. 12/2020

(71) Solicitant:  
• TUDOR-FRUNZĂ FLORIN-EUGEN,  
INTRAREA VIOLETELOR NR. 14,  
OTOPENI, IF, RO;  
• STAVĂR IORDAN, CALEA GIULEȘTI  
NR. 44, BL. 7, SC. C, ET. 4, AP. 87,  
SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO

(72) Inventatori:  
• TUDOR-FRUNZĂ FLORIN-EUGEN,  
INTRAREA VIOLETELOR NR. 14,  
OTOPENI, IF, RO;  
• STAVĂR IORDAN, CALEA GIULEȘTI  
NR. 44, BL. 7, SC. C, ET. 4, AP. 87,  
SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO

(54) GENERATOR ELECTRIC CU RELUCTANȚĂ COMUTATĂ  
TRANSVERSAL

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un generator electric cu reluctanță comutată transversal, pentru producerea de energie electrică în orice aplicație de sistem energetic. Generatorul, conform invenției, are atât inductorul, cât și indusul fixați pe un stator inelar exterior din material feromagnetic și format din două pachete coaxiale statorice (1, 1'') despărțite prin niște magneți inductori (3) orientați astfel încât sensul magnetizării N-S să fie distinct în raport cu cele două pachete statorice formate din câte patru poli cu câte patru înfășurări electrogeneratoare (2, 2'') dispuse succesiv și intercalate câte două radial pe poli sau câte două transversal între poli, și un rotor feromagnetic interior cu lungimea polară (L<sub>prt</sub>) egală cu distanța dintre fețele inelului statoric, realizând o închidere de circuit magnetic succesiv între doi poli paraleli (8) aflați pe pachetele cu polarizări magnetice opuse, efectuând la mișcarea de rotație o comutație de fluxuri transversale conform principiului reluctanței minime.

Revendicări: 7  
Figuri: 10

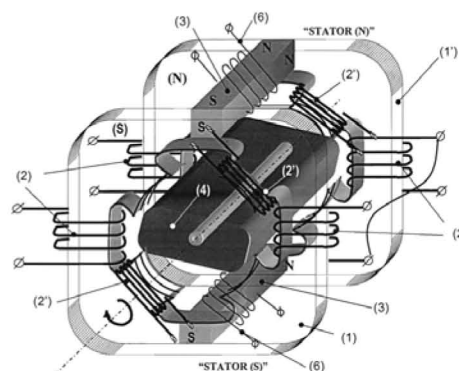


Fig. 3



# GENERATOR ELECTRIC CU RELUCTANȚĂ COMUTATĂ TRANSVERSAL

Invenția se referă la un *Generator electric cu reluctanță comutată transversal*, față de mișcarea de rotație rotorică, având inductorii și indușii fixați în stator, destinat producerii de energie electrică, prin mișcarea mecanică de rotație a unui comutator de circuit magnetic, utilizabilă în orice aplicație de sistem energetic, inclusiv regenerabil.

În stadiul actual al tehnicii, este cunoscută producerea de energie electrică din energia mecanică prin *deplasarea relativă* circulară sau oscilantă a două elemente fundamentale denumite *inductor* (elementul care generează tensiunea magnetomotoare) și *indus* (elementul generator de tensiune electromotoare), ce au la baza "Legea inducției electromagnetice". Transformarea energiei mecanice în energie electrică se face în principal prin variația fluxului magnetic produs de o sursă de câmp magnetic aflat în mișcare în secțiunea unei bobine sau prin deplasarea unui conductor bobinat într-un câmp magnetic.

Datorită simetriei funcționale toate mașinile electrice bazate pe aceste principii atunci când sunt cuplate la o sarcină electrică, curentul electric apărut în *indus* generează un alt câmp magnetic ce se opune câmpului inductor generând prin intermediul "Forței Laplace" un *cuplu rezistent* (de frânare) ce acționează direct asupra mișcării mecanice generatoare, fiind direct proporțională cu valoarea acestui curent al sarcinii electrice; la care se mai adaugă și *cuplul reluctant* « cogging » datorat forțelor de atracție dintre elementele de circuit magnetic.

Aceste fenomene determină necesitatea utilizării de putere mecanică crescută necesară menținerii unor parametrii electrice (tensiune și/sau frecvență) pentru producerea de putere electrică, randamentul transformării fiind afectat în sens negativ.

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția este aceea că, asigură o reducere a energiei mecanice necesare producerii de putere electrică prin faptul că, cuplul mecanic rezistent la ax este *reduc* în încărcarea cu sarcină electrică, datorită diminuirii semnificative a acțiunii "Forței Laplace" dintre înfășurările indusului și rotor prin aceea că, utilizează un comutator neutru de circuit magnetic între elementele inductoare (generatoare de câmp magnetic) și induse, realizând *variația* fluxului magnetic *fară* deplasarea relativă a acestora unul față de altul, prin *schimbarea traseului* circuitelor magnetice din stator pe baza principiului « *reluctanței minime* » dedusă din « *Legea lui Ohm pentru circuitele magnetice* ».

Această creștere a performanțelor generatorului cu reluctanță comutată este explicată și prin faptul că diametrul rotorului nu este strict proporțional cu obținerea

unei anumite viteze de variație a fluxurilor inductoare, ceea ce face ca valoarea cuplului rezistent să fie mai redusă în comparație cu generatoarele cunoscute .

Este de asemenea cunoscută și obținerea unei variații de flux magnetic prin *variția reluctanței* unui circuit magnetic, realizată prin creșterea sau scăderea întrefierului unui circuit magnetic, însă performanțele obținute raportate la gabarit sunt mult mai mici în comparație cu *comutația reluctanță* deoarece, în primul caz, avem o variație *scalara* a vectorilor de inducție magnetică iar, prin metoda prezentei invenției, avem o variație *vectorială* de superpoziție generată de schimbarea traseelor liniilor de câmp magnetic

Mașina electrică generatoare conform invenției, prezintă următoarele avantaje:

- cuplul mecanic rezistent (la ax ) este redus și neliniar în raport cu încărcarea în sarcină electrică; ceea ce implică ca, peste o anumită putere electrică generată, puterea mecanică necesară este semnificativ mai mică față de cel mai performant generator electric cunoscut;
- fiabilitate maximă datorită particularităților constructive – inductorul și indusul sunt staționare, fapt ce duce la eliminarea periiilor contactoare de excitație sau a *elementelor de prindere* a magnetilor pe rotor eliminând riscul forțelor mari centrifuge ce pot duce la desprindere și deteriorare ireversibilă;
- inerție mică a rotorului datorată simplității și masei reduse;
- aplicabilitate universală - se poate proiecta pentru o gamă largă de putere și turată în limitele tehnologice cunoscute prin utilizarea multipolară și multistatorică pentru sistemele energetice clasice sau regenerative, grupuri electrogene staționare sau mobile;
- este ideal în aplicațiile speciale (atmosfera explozivă, etc.).

Se dau, în continuare, exemple de realizare a *comutației de reluctanță*, în conformitate cu fig.1-10, după cum urmează :

- **fig.1**, model de ansamblu de bază **3D** a generatorului cu reluctanță comutată *radială* ;
- **fig.2.1**, reprezentarea fluxurilor circuitelor magnetice la generatorul cu reluctanță comutată *radială* având rotorul pe poziția **P1-P3**;
- **fig.2.2**, reprezentarea fluxurilor circuitelor magnetice la generatorul cu reluctanță comutată *radială* având rotorul pe poziția **P2-P4**;
- **fig.3**, model de ansamblu de bază **3D** a generatorului cu reluctanță comutată *transversal* bistatoric;
- **fig.4**, reprezentare sistem de polarizare magnetică stator modular de bază;
- **fig.5**, reprezentarea pe un segment bistatoric a fluxurilor circuitelor magnetice;
- **fig.6**, reprezentare liniară model constructiv tristatoric cu dubla comutație transversală;

- **fig.7**, reprezentare liniara model constructiv cu tripla comutatie transversala;
- **fig.8**, model de ansamblu 3D multipolar a generatorului cu reluctanta comutata *transversal* bistatoric;
- **fig.9.1**, detaliu constructiv de ansamblu rotor-stator cu infasurari colectoare pe poli;
- **fig.9.2**, detaliu constructiv de ansamblu rotor-stator cu infasurari colectoare intercalate intre poli;
- **fig.10**, reprezentare in sectiune a unui model constructiv de generator electric cu reluctanta comutata *transversal* ;

Pentru explicarea fenomenului de „*reluctanta comutata*“ analizam mai intai modelul generatorului principal cu *comutatie radiala* , compus dintr-un *stator* (1) (feromagnetic) ce contine, in varianta de baza, patru poli **P1, P2, P3** si **P4** ; cu doua *infasurari electrogeneratoare* (2) dispuse între poli pe doua laturi opuse si doi *magneti permanenti* (3) inserati pe celelalte doua laturi, orientati astfel încât sensul magnetizarii N-S sa fie convergent catre latura infasurarii (2) (conf. Fig.2.1 si Fig.2.2) ; si un *rotor* (4) (feromagnetic) ce realizeaza o inchidere de circuit magnetic între doi poli opusi dupa principiul « reluctantei minime », respectiv **P1**si **P3** (conf. Fig.2.1), sau **P2** si **P4** (conf. Fig.2.2).

Pentru a explica principiul generarii *tensiunilor induse*  $u_{N\Gamma}(t)$  ;respectiv  $u'_{N\Gamma}(t)$  in infasurarile colectoare (2) , avem in vedere efectul fizic realizat de *comutatie* de circuit magnetic între pozitiile alternate mentionate mai sus, ce realizeaza o *variatie* de flux magnetic  $d\phi_{\Gamma}(t)$  .

Vom calcula valoarea unitara a tensiunii  $u_{\Gamma}(t)$  de-a lungul unei curbe  $\Gamma$ , aplicand :

$$\text{- legea inductiei electromagnetice} \quad u_{\Gamma}(t) = - \frac{d\phi_{\Gamma}(t)}{dt}$$

Valoarea fluxului inductor este definit de o functie variabila in timp ce insumeaza vectorial fluxurile generate de cei doi magneti permanenti ce creeaza doua intensitati de camp magnetic  $H_p$  , respectiv  $H_p'$  astfel :

$$\bar{\phi}_{\Gamma}(t) = \bar{\phi}_p(t) + \bar{\phi}'_p(t)$$

unde :  $\phi_{\Gamma}(t)$  este fluxul magnetic rezultat din stator in sectiunea din dreptul curbei  $\Gamma$  ;

$\phi_p(t)$  este fluxul magnetic din stator generat de magnetul (3) ;

$\phi'_p(t)$  este fluxul magnetic din stator generat de magnetul (3') ;

Daca nu exista rotorul (situatie la echilibru), atunci :  $\varphi_{\Gamma}(t) = 0$ .

Deci  $\varphi'_p(t) = -\varphi_p(t)$ ;

In prezenta rotorului feromagnetic (4), variatia fluxului inductor se realizeaza prin comutarea circuitelor magnetice convergente in spatiul  $\Gamma$  dupa principiul « reluctantei minime » ; valoarea reluctantei avand o variatie in functie de timp  $R_m(t)$  exprimata prin relatia :

$$R_m(t) = R_{m_{stat}}(t) + R_{m_{rot}}(t) = \frac{l_{stat}}{\mu S} + \frac{l_{rot}}{\mu(t) S}$$

Unde :

$l_{stat}$  este lungimea spatiului circuitului magnetic in stator;

$l_{rot}$  este lungimea spatiului circuitului magnetic in rotorul

(4);

$S$  este sectiunea circuitului magnetic in spatiul  $\Gamma$

Aplicand Legea lui Ohm pentru circuite magnetice avem :

$$\varphi_{\Gamma}(t) = \frac{H_p l}{R_m(t)} + \frac{H_p l}{R_m'(t)} \approx H_p \frac{l_{stat}}{l_{rot} S} \mu(t) = H_p \frac{l_{stat}}{l_{rot} S} \mu_0 (1 + \mu \cos 2\omega t);$$

ceea ce inseamna ca :

$$u_{NF}(t) = -N S \frac{dB(t)}{dt} \approx N S H_p \left[ 1 - \frac{l_{stat}}{l_{rot}} \right] 2\omega \mu \sin 2\omega t = u'_{NF}(t)$$

Dupa cum se observa valoarea tensiunilor induse in infasurarile induse este o functie variabila in timp, ce poate fi utilizata direct sau prin transformari si prelucrari electronice.

De asemeni, putem sa calculam si valorile momentului mecanic rezistiv la rotor  $M(t)$  in functie de energia campului magnetic  $W_m$  si viteza unghiulara  $\omega$  dupa expresia:

$$M(t) = \frac{dW_m(t)}{\omega t} \approx 4 \frac{H_p^2}{\omega t} (1 - \sin 2\omega t);$$

Ceea ce inseamna că, valoarea sa este o funcție variabilă in timp ce are « momente motoare » (pozitive) și « momente de franare » (negative) ; pe ansamblu putem spune ca la o rotatie completa de 360° suma momentelor in gol este :

$$\sum M(t) = 0$$

Pentru utilizarii in aplicatii unde valoarea tensiunii electrice debitate pe sarcini variabile aleatoriu necesita o reglare automata , se poate inlocui inductorul realizat cu magneti permanenti cu doua infasurari de excitatie amplasate conform cu **fig.1**, numite « **inductor** » (6), asupra carora se vor aplica tensiuni de curent continuu astfel incat sa se respecte principiul polarizarii magnetice reprezentat si sa asigure convergenta campurilor catre infasurarile denumite « **indusi** » (2) similar cu reprezentarea campurilor din **fig.2.1** sau **fig.2.2**.

Deoarece Generatorul electric cu reluctanță comutata *radial* necesită sectionarea statorului pentru *inserarea* magnetlor inductori , prezenta invenție adoptă realizarea unui model constructiv modular coaxial multistatoric in care comutatia reluctantei se face *transversal* la mișcarea de rotație in lungul axului rotoric (4) *intre* doua statoare numite generic (in varianta de baza) « **STATOR "S"** » (1) si « **STATOR "N"** » (1') - conform **fig. 3**. - separate prin intermediul magnetilor inductori (3) sau electromagnetilor (6), avand doua tipuri de infasurari induse *transversal* intre poli (2) si *radial* pe poli (2').

Pentru marirea eficientei comutatiei reluctantei am adoptat solutia inchiderii circuitelor reluctante prin intermediul *talpii polilor rotorici* , realizandu-se practic o dubla comutare spatiala de fluxuri statorice.

Lungimea circuitului magnetic comutat fiind redusa la aproximativ de doua ori distranta dintre statorii modulari (1) si (1').

Polarizarea magnetica (corespunzator **fig.4** ) a statorilor (1) si (1') este realizata extrem de simplu tehnologic prin interpunerea de magneti inductori (3) sau bobine de excitatie (6) avand polarizarile astfel orientate incat sa se inchida circuitele magnetice prin intermediul rotorului central (4) ce strabate ambele statoare.

In cazul in care folosim pachete de tole se va utiliza varianta cu magnetii (3'') amplasati radial si uniti prin intermediul unei piese polare (7).

Traseul fluxurilor este reprezentat in **fig.5** pe un segment liniar statori/rotor, astfel incat se obtine in polii statorici si rotorici fluxul rotoric :

$$\Phi_{12} = \Phi_1 + \Phi_2$$

In cazul unor aplicatii energetice regenerabile (turbine eoliene sau hidro) in care este necesara obtinerea de valori utilizabile de tensiune si frecventa la turatii ale rotorului reduse, generatorul electric, conform inventiei, poate fi realizat cu un numar de poli in multiplu de patru (conform **fig.6**) astfel incat sa fie eliminata utilizarea unui angrenaj intermediar multiplicator de turatie intre axul elicei si axul generatorului, **dupa** relatiile:

$$P_{nst.} = 4 \times n ,$$

unde :

( $n \in \mathbb{N}$ ),

$P_{nst.}$  reprezinta nr. de poli din stator ;

si rotorul cu

$$P_{nrt.} = 4 \times n / 2 , \text{ unde } (n \in \mathbb{N}),$$

$P_{nrt.}$  reprezinta nr. de poli din rotor ;

Circuitele magnetice si in aceasta situatie realizandu-se din doi in doi poli intre flansele statorice « STATOR“N”»(1') și « STATOR“S”»(1), inducandu-se in infasurarile radiale (2') sau transversale (2) tensiune electromotoare ( $U_{out}$ ) proportionala cu viteza de comutare a traseelor liniilor de flux magnetic intre polii statorici consecutivi; la care am adaugat suplimentar inca un « STATOR “N” », pentru a exemplifica modalitatea de multiplicare a comutatiei transversale.

Pentru a nu exista un cuplu reluctant avand oscilatii de maxim si minim ce ating valori excesiv de mari atat in gol cat si in sarcina, am adoptat solutia constructiva cu poli rotorici inclinati si flanse statorice atasate suplimentar - conform reprezentarii din **fig.7** - ce prezinta o compensare interna a cuplurilor reluctante astfel incat suma cuplurilor statice si dinamice sa fie nula la orice pozitie a rotorului, dupa modelul sistemelor trifazate « R / S / T » dar, spre deosebire de acestea, defazajul electric la 120 de grade este realizat de tripla comutatie intre statorii (1) si (1'') / (1') si (1) / (1') si (1''') prin polii statorici (8) si rotorici iar talpa unui pol rotorici corespunde la doua crestaturi statorice; pasul polilor rotorici fiind dat de distanta a doi poli statorici.

Infasurarile statorice induse (2) sunt in faza pe fiecare stator in parte, ceea ce permite inserierea electrică.

Acest model de asamblare realizeaza o multiplicare a comutatiei reluctante transversale si a puterii electrice generate printr-o crestere a fluxurilor circuitelor magnetice (9)/(9') si (9'').

Un exemplu 3D de realizare functionala este prezentat in **fig. 8** ; raportul intre polii statorici si rotorici fiind dat de relatia :

### **10Pst/4Prt**

In **fig.9.1.** este ilustrat un model de realizare practică a ansamblului rotor-stator, care exemplifică modalitatea de realizare a legăturilor electrice dintre înfașurările induse având configurată pe statorul (1) o bobinare (2') intercalata pe poli .

In **fig.9.2.** este ilustrat un model de realizare practică a ansamblului rotor-stator, care exemplifica modalitatea de realizare a legaturilor electrice dintre înfașurările induse având configurata pe statorul (1) o bobinare intercalata formata din bobine transversale (2) intre poli si bobine polare (2') .

Realizarea infasurarilor este similara pentru oricare din restul de pachete statorice.

In aplicatiile industriale, generatorul cu reluctanta comutata transversal, conform inventiei, si in legatura cu **fig. 10** se amplaseaza intr-o carcasa metalica (12) avand in vedere ca, modalitatea de prindere a statorilor (1) si (1') sa se faca, pe montanti din materiale cu proprietati nemagnetice (13) pentru ca, fluxurile magnetice sa se inchida exclusiv prin polii rotorului (4) montat pe axul (10) avand lungimea pachetului (Lprt) egala cu distanta dintre fetele statorice, ce se roteste in lagarele cu rulmenti (11) și (11').

Polarizarea N-S a pachetelor statorice (1) si (1') avand grosimea (Lst) se realizeaza de catre magnetii inductor (3) si (3') prin intermediul suruburilor (5) si (5') din material feromagnetic conform detaliului din **fig.4.2.**

Generator electric cu reluctanta comutata transversal, conform inventiei si in legatura cu **fig.7, fig. 9.1** si **fig.10**, lungimea polilor rotorici (Lprt) este inclinata cu unghiul ( $\alpha$ ) calculat in corelatie cu unghiul ( $\beta$ )-a unui pas statoric in scopul compensarii majore a cuplurilor reluctante statice si dinamice la orice pozitie a rotorului asigurand astfel un cuplu de rupere "cogging" cat mai redus.

Pentru proiectare la puteri si turatii diferite de configuratiile de baza, se va utiliza modelul modular conform relatiei :

$$\mathbf{Nnp} = \mathbf{n} \times \mathbf{10xPnst.} / \mathbf{4xPnrt.}, (\mathbf{n} \in \mathbf{N}),$$

unde **Nnp** reprezinta factorul de multiplicare fata de configuratia de baza, fapt ce permite obtinerea oricor turatii nominale, si oricarei puteri cu valori diferite de tensiune si curenti .



## REVENDICĂRI

**R1.** Generator electric cu reluctanță comutată transversal, **caracterizat prin aceea că**, are atât inductorul cât și indusul fixați pe un stator inelar exterior construit din material feromagnetic și, format din doua pachete coaxiale statorice (1) respectiv (1'), despartite prin niște magneți inductori (3) orientați astfel încât sensul magnetizării N-S să fie distinct în raport cu cele două pachete statorice formate din cate patru poli cu cate patru înfășurări electrogeneratoare (2) respectiv (2') dispuse în ordine succesivă, și intercalate câte două radial pe poli sau câte două transversal între poli și, un rotor feromagnetic interior cu lungimea polară ( $L_{prt}$ ) egală cu distanța dintre fețele inelului statoric, realizând o închidere de circuit magnetic succesiv între doi poli paraleli (8) aflați pe pachetele cu polarizări magnetice opuse, efectuând la mișcarea de rotație o comutație de fluxuri transversale după principiul "*reluctanței minime*".

**R2.** Generator electric cu reluctanță comutată transversal, conform revendicării **R1** și **R2**, **caracterizat prin aceea că**, în locul magneților inductori (3) respectiv (3') sunt utilizați electromagneți inductori (6) respectiv (6') păstrând aceeași polarizare N-S a pachetelor statorice (1) respectiv (1') pentru a realiza, fără perii, reglajul excitației inductoare în aplicații cu sarcini variabile pentru care tensiunea și frecvența trebuie menținute constante.

**R3.** Generator electric cu reluctanță comutată transversal, conform revendicării **R1**, **caracterizat prin aceea că**, numărul de poli statorici (8) se realizează în multiplu de patru, numărul de poli rotorici este jumătate din numărul de poli statorici, circuitele magnetice închizându-se din doi în doi poli, ceea ce permite obținerea de valori de tensiune și frecvență exploatabile, la turații reduse ale rotorului, fără utilizarea de multiplicatori mecanici.

**R4.** Generator electric cu reluctanță comutată transversal, conform revendicării **R1**, și **R3** **caracterizat prin aceea că**, lungimea polilor rotorici este înclinată cu unghiul ( $\alpha$ ) calculat în corelație cu unghiul ( $\beta$ )-a unui pas statoric în scopul compensării majore a cuplurilor reluctante statice și dinamice la orice poziție a rotorului asigurând astfel un cuplu de rupere "cogging" cât mai redus.

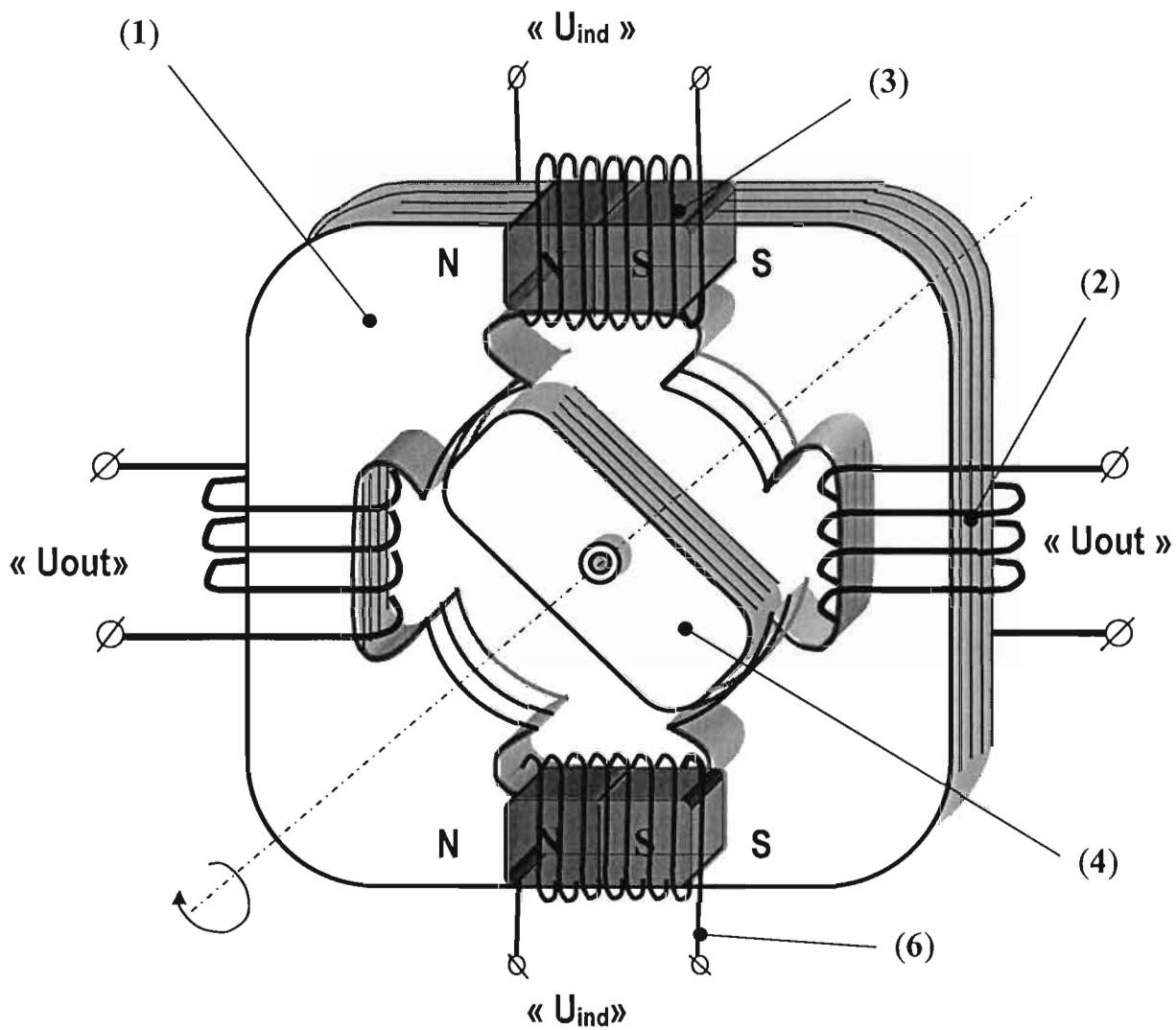
**R5.** Generator electric cu reluctanță comutată transversal, conform revendicării **R1**, **caracterizat prin aceea că**, are în alcatuire "n" pachete statorice coaxiale polarizate magnetic alternativ astfel încât să fie multiplicată comutația de fluxuri transversale și marita eficiența comutației la mișcarea de rotație.

J

**R6.** Generator electric cu reluctanță comutată transversal, conform revendicării **R1, R2, și R5, caracterizat prin aceea că,** amplasarea magneților (3'') sau electromagnetilor inductori (6'') se face radial prin intermediul unei punți feromagnetice (7) pe perimetrul exterior al statorilor respectând alternarea polarizării N-S.

**R7.** Generator electric cu reluctanță comutată transversal, conform revendicării **R1, R2, și R5, caracterizat prin aceea că,** polarizarea N-S a pachetelor statorice (1) și (1') având grosimea ( $L_{st}$ ) se realizează de către magneții inductori (3) și (3') prin intermediul șuruburilor (5) și (5') din material feromagnetic.

**DESENE**



« Fig. 1 »

Fig. 2.1

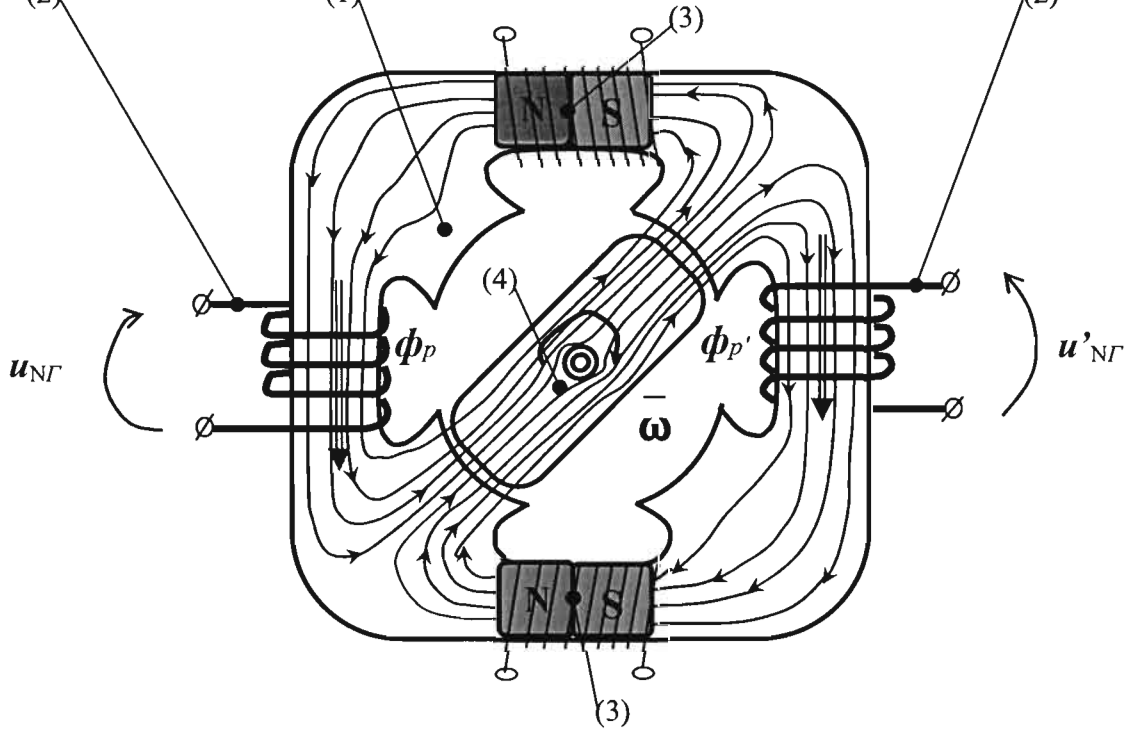
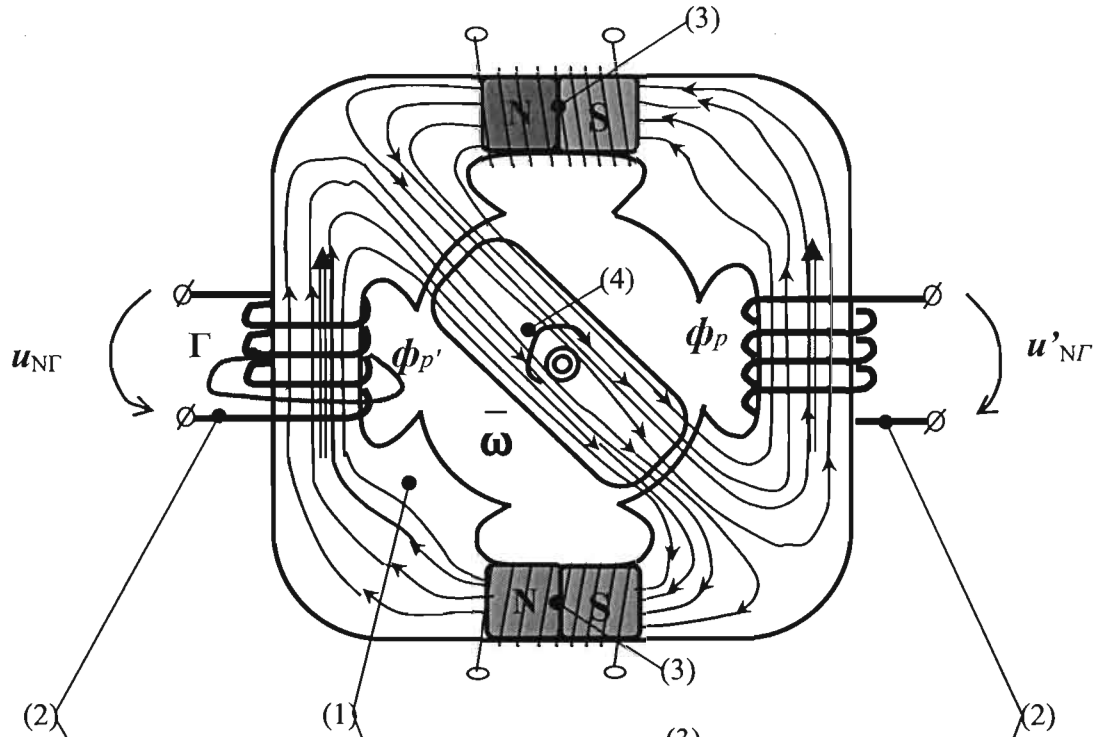


Fig. 2.2

52

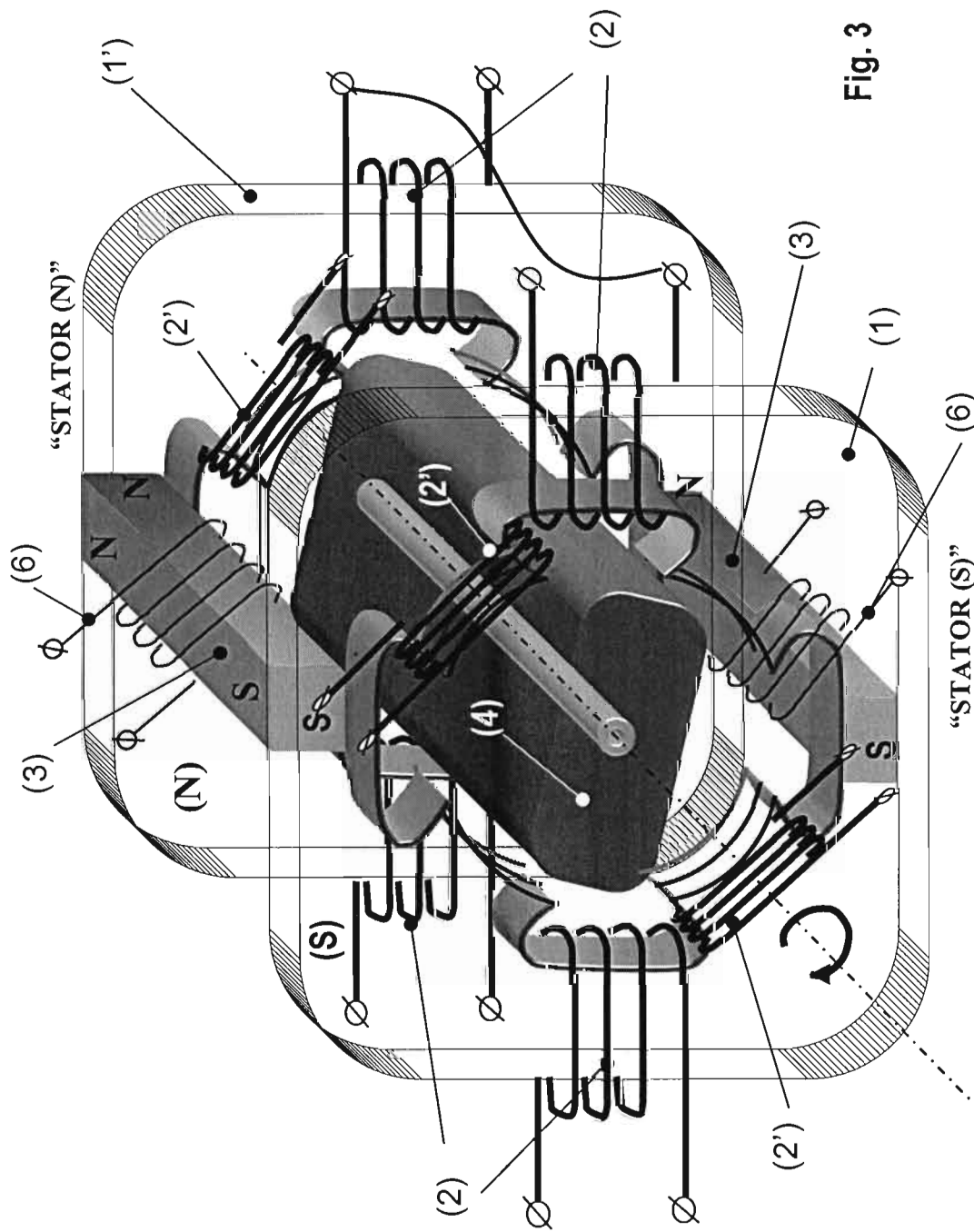
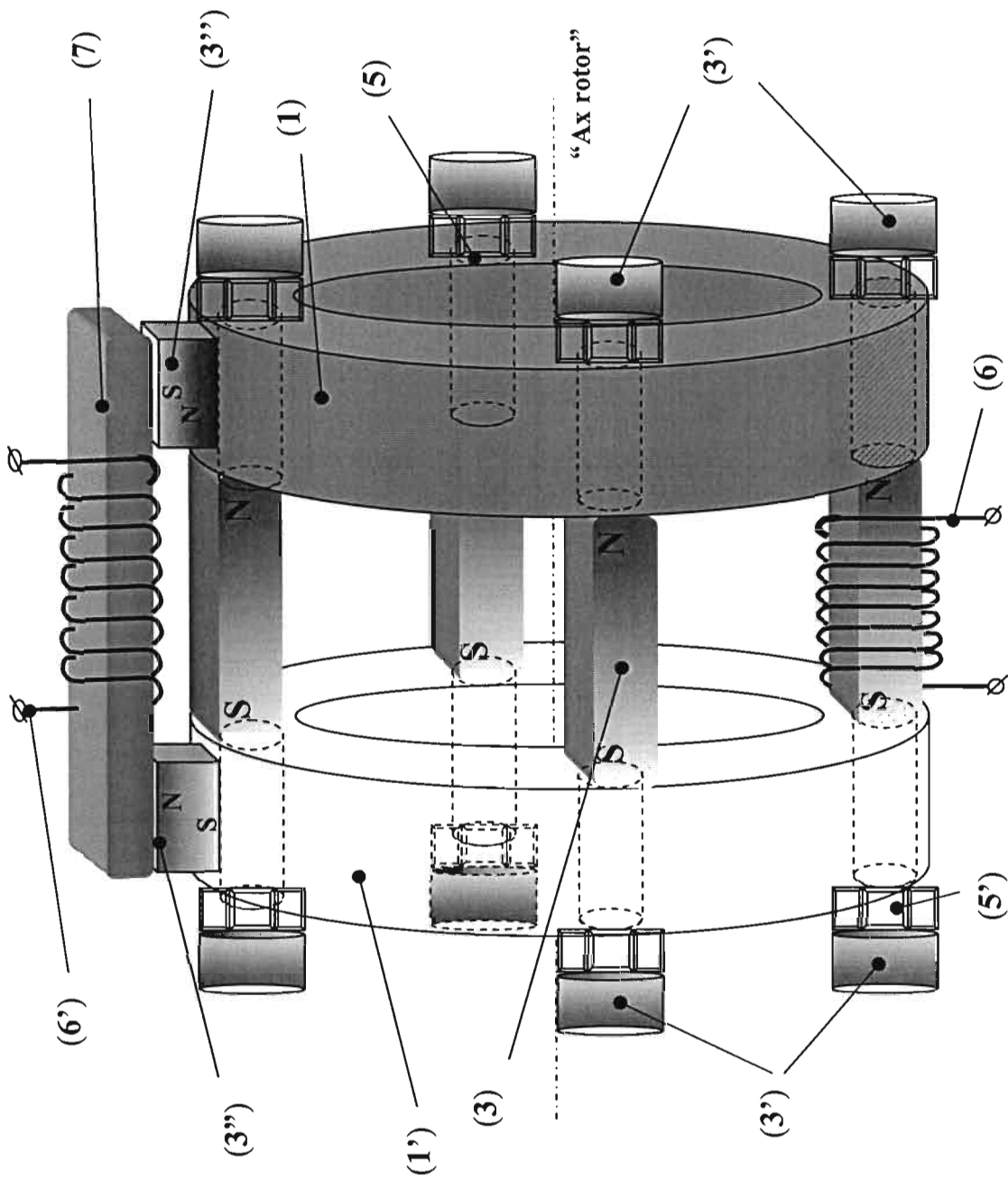
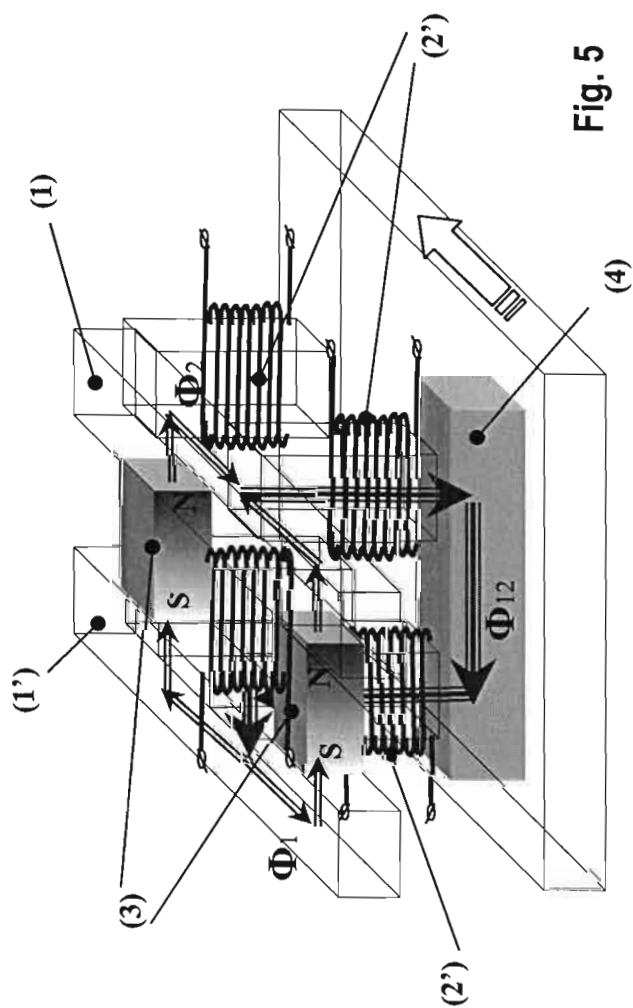
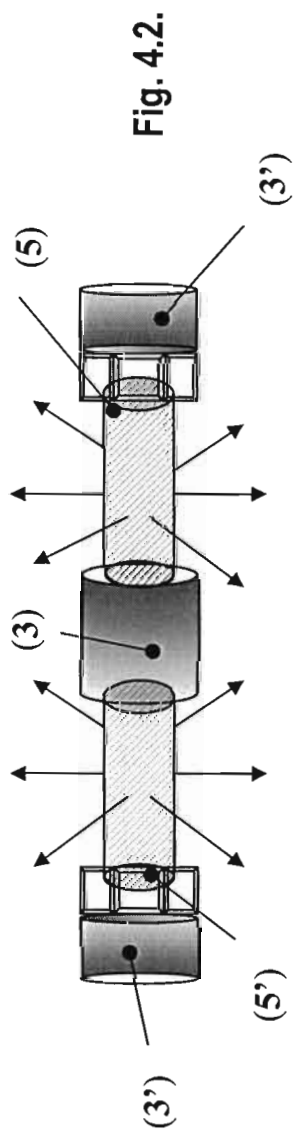
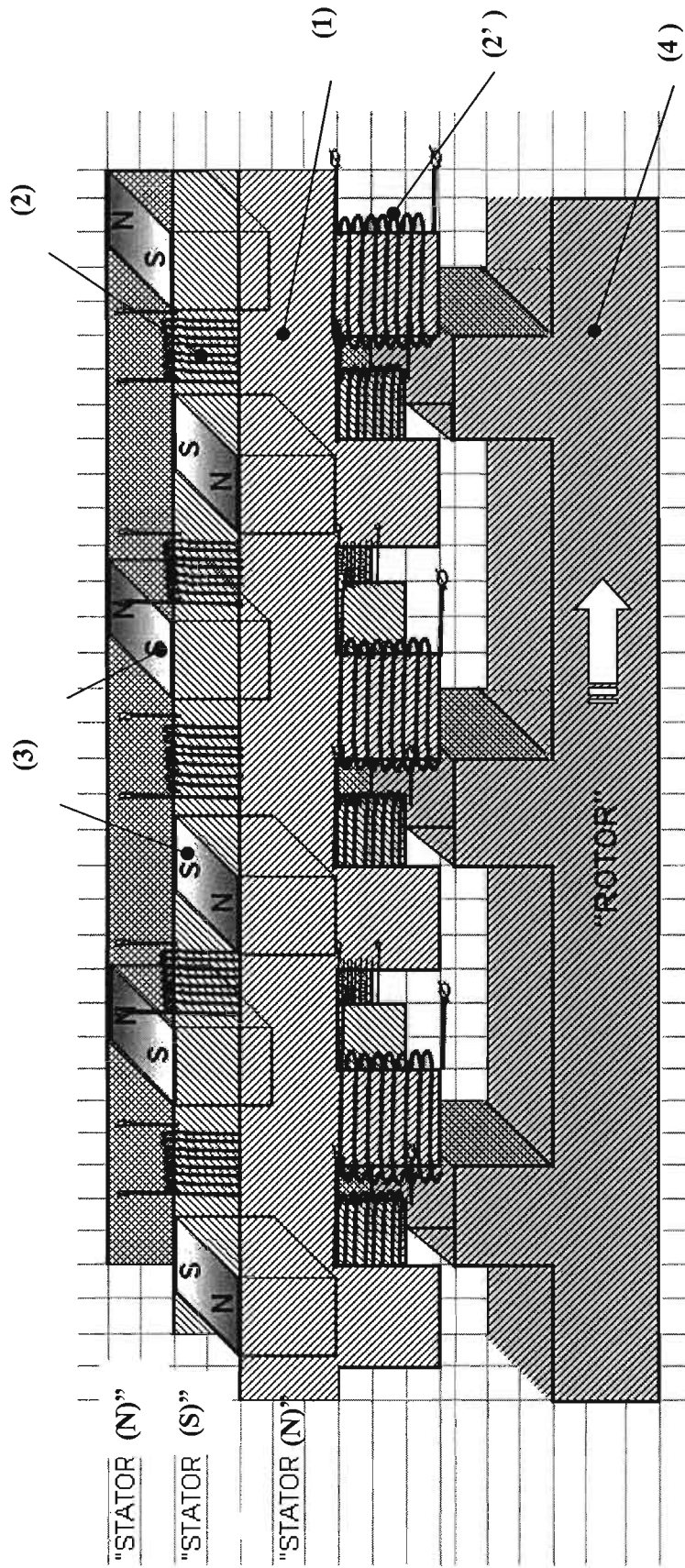


Fig. 3

Fig. 4.1.







« Fig. 6 »



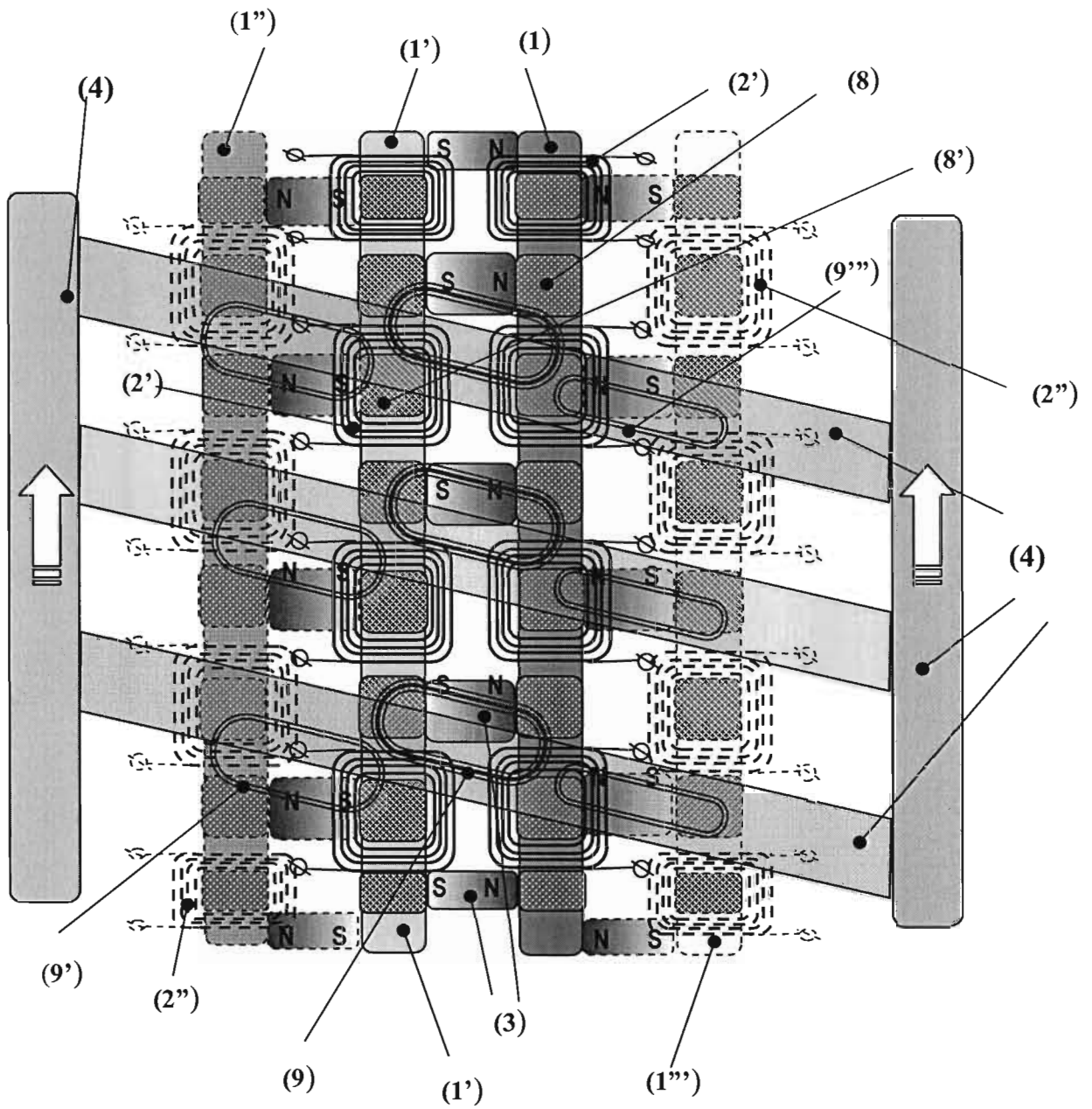


Fig. 7

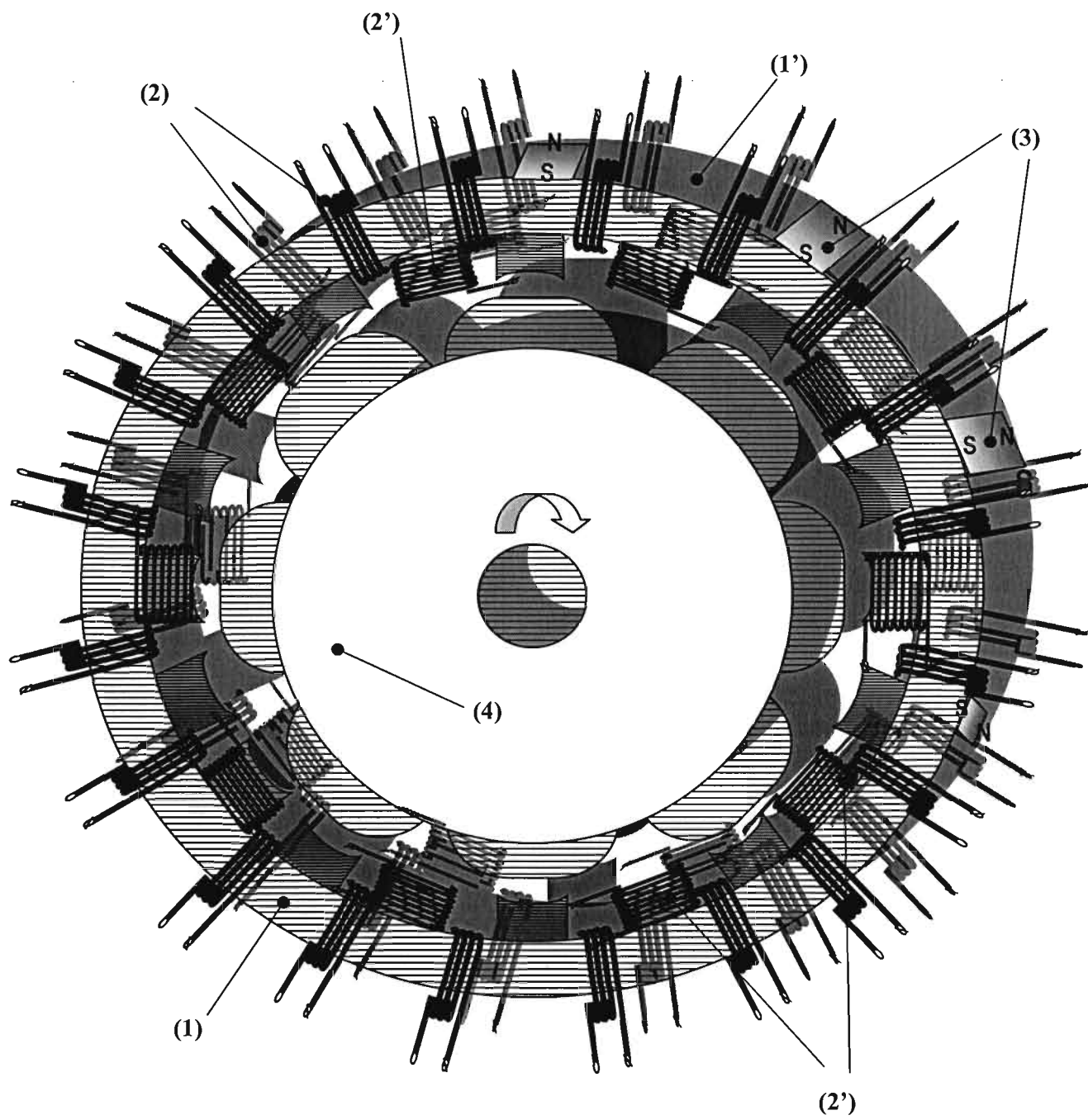


Fig. 8

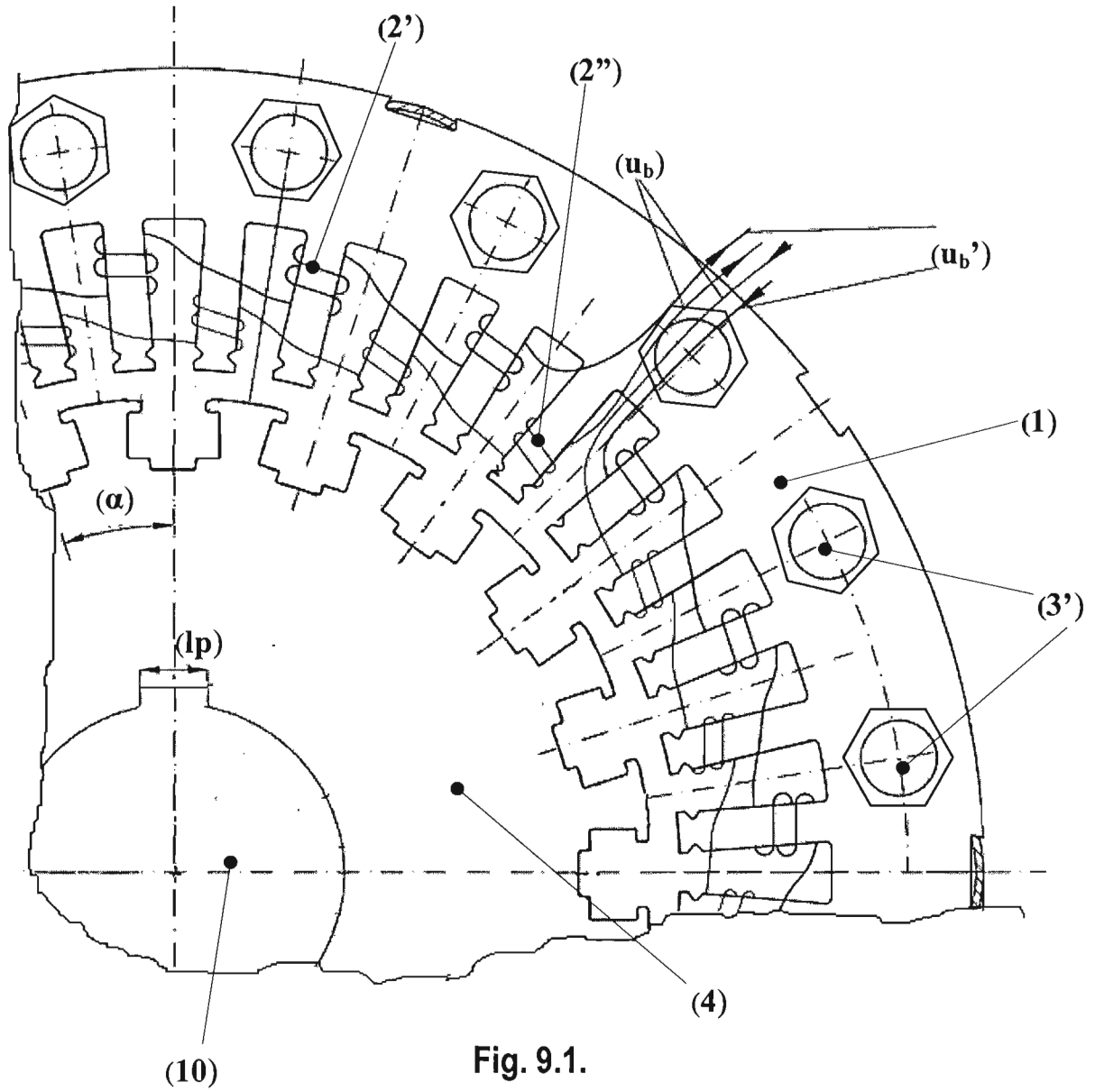


Fig. 9.1.

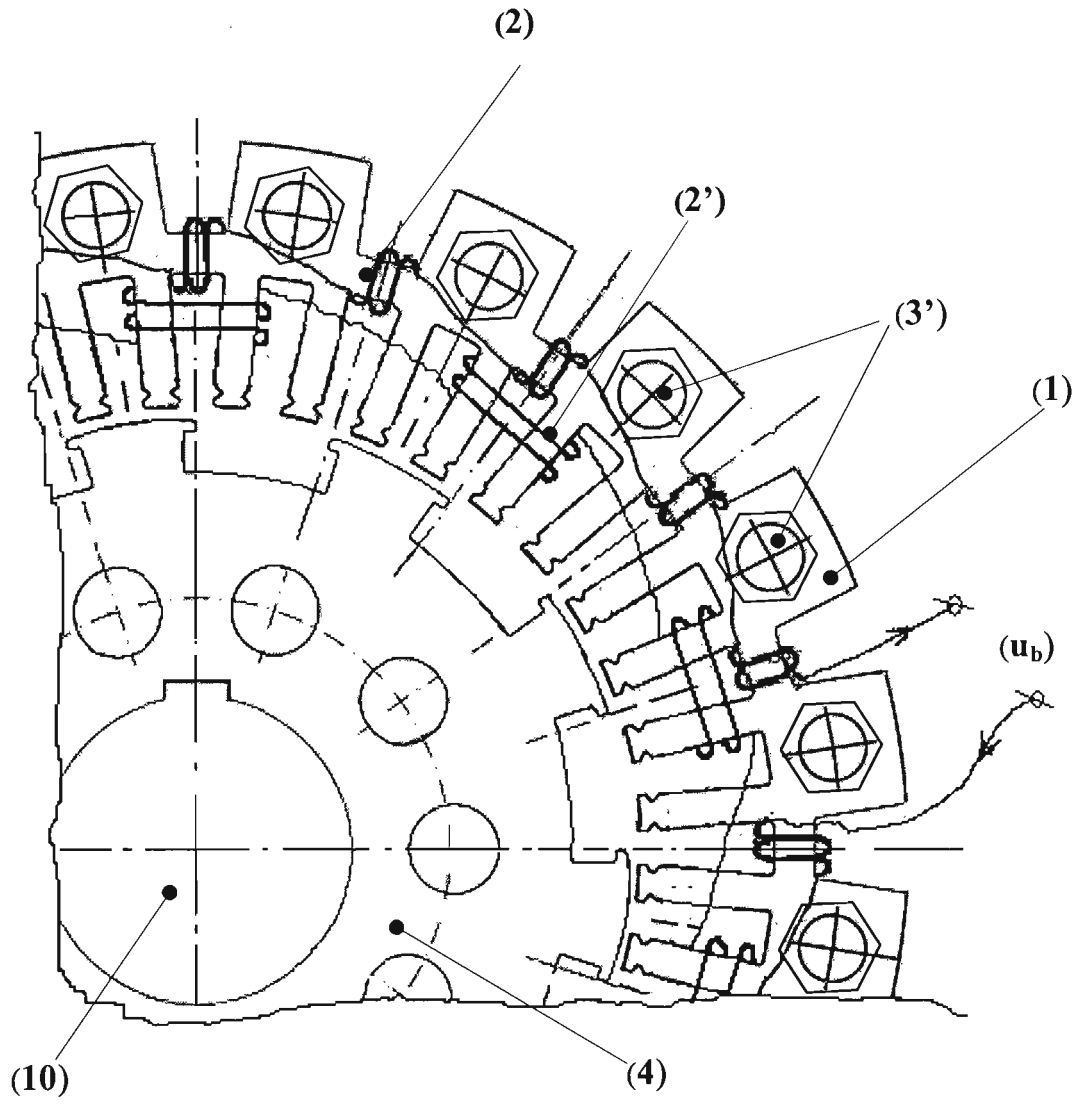


Fig. 9.2.

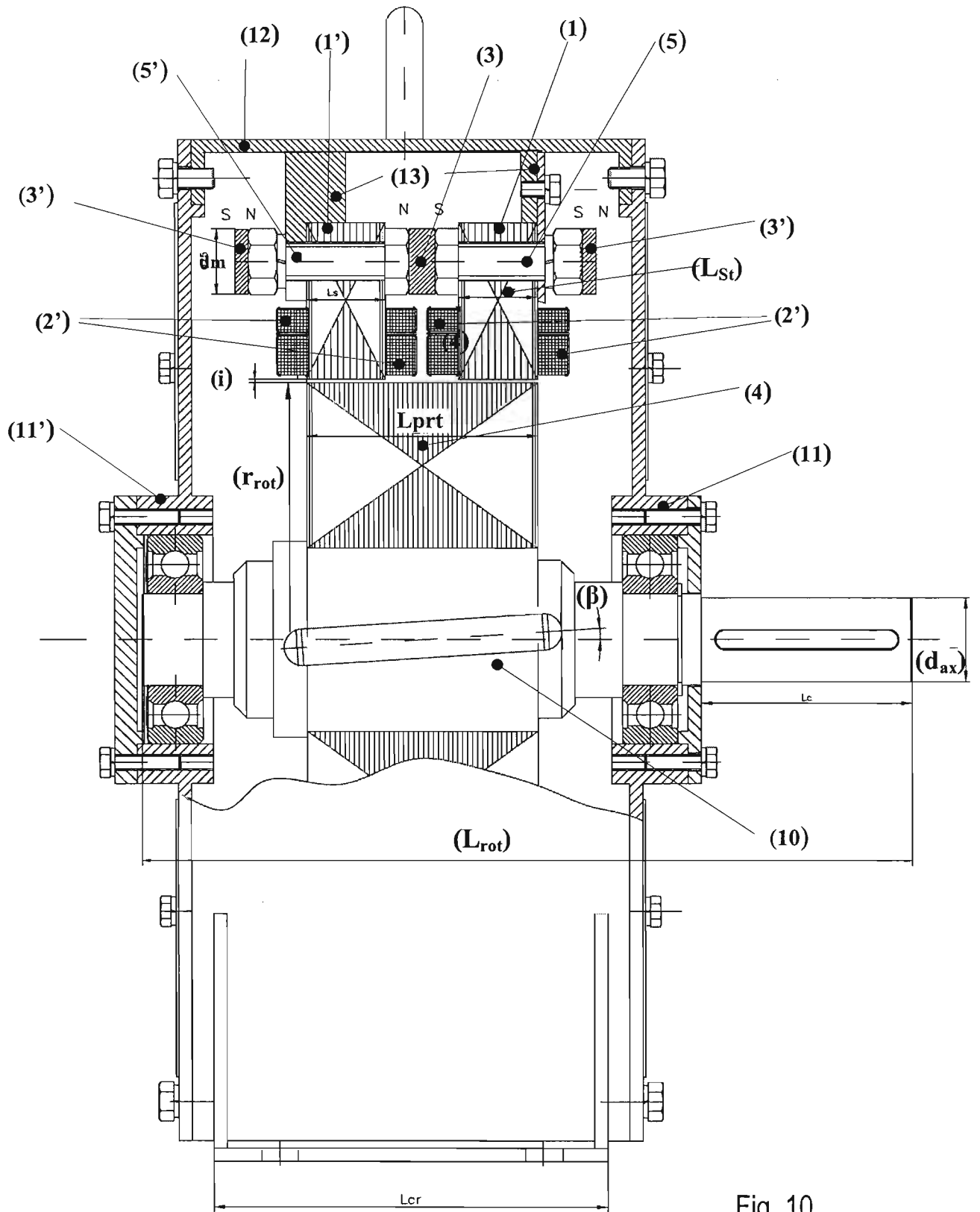


Fig. 10