

(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2021 00255

(22) Data de depozit: 14/05/2021

(41) Data publicării cererii:
29/11/2022 BOPi nr. 11/2022

(71) Solicitant:
• INSTITUTUL NAȚIONAL DE
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU
INGINERIE ELECTRICĂ ICPE-CA,
SPLAIUL UNIRII NR.313, SECTOR 3,
BUCUREȘTI, B, RO

(72) Inventatori:
• DUMITRU CONSTANTIN,
STR.CONSTANTIN BRĂTESCU, NR.16 A,
TULCEA, TL, RO;

• VASILE IONUȚ, STR.IZVORUL RECE,
NR.7, BL.A8, SC.2, AP.53, SECTOR 4,
BUCUREȘTI, B, RO;
• TUDOR EMIL, STR.ALEXANDER VON
HUMBOLDT NR.5, BL.V23 A, SC.1, ET.7,
AP.22, SECTOR 3, BUCUREȘTI, B, RO;
• CONSTANTIN ALEXANDRU-IONEL,
INTRAREA NUFERILOR, NR.16, BL.2, ET.3,
AP.18, LOCALITATEA ROȘU, IF, RO;
• SBURLAN ION-CĂTĂLIN,
CALEA GIULEȘTI, NR.46, BL.4, SC.B,
AP.47, BUCUREȘTI, B, RO

(54) MOTOR ELECTRIC ASINCRON PENTAFAZAT ȘI METODA
DE ALIMENTARE A ACESTUIA ÎN CURENT ALTERNATIV

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un motor electric asincron de curent alternativ, pentafazat, cu stator bobinat și rotor în colivie, precum și la metoda de alimentare a acestuia în curent alternativ. Motorul electric, conform invenției, este realizat astfel încât să poată fi alimentat de la o sursă (17) de tensiune alternativă prevăzută cu cinci ieșiri dependente între ele, motorul (11) având cinci înfășurări statorice simetrice, notate cu Aa (12), Bb (13), Cc (14), Dd(15) și Ee(16), conectate la sursa (17) de tensiune alternativă, constituită din cinci surse dependente notate cu L1(18), L2(19), L3(20), L4(21) și L5(22), astfel încât polaritatea pozitivă a unei surse de tensiune este conectată la începutul unei înfășurări statorice astfel: L1 cu A, L2 cu B, L3 cu C, L4 cu D și L5 cu E, iar polaritățile negative ale surselor de tensiune sunt conectate între ele la o bornă N (23), care poate fi conectată sau nu la punctul O (24) de conectare comun al înfășurărilor statorice ale motorului (11), sistemul de tensiuni fiind reglabil prin impunerea de către un operator a unui nivel de tensiune U^* (25) și a unei frecvențe f^* (26), în condițiile existenței unui semnal activ de Start-Stop (27).

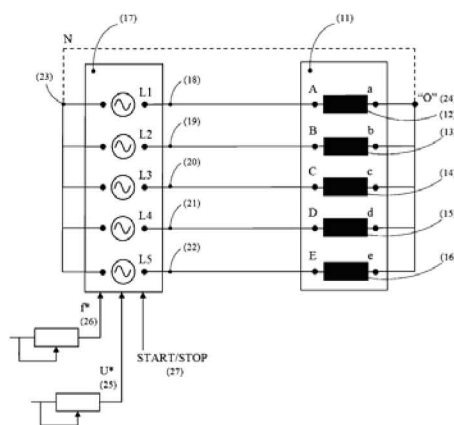


Fig. 2

Revendicări: 3
Figuri: 9

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).



Descrierea invenției

Titlul Invenției: **Motor Electric Asincron Pentafazat și Metoda de Alimentare a Acestuia în Curent Alternativ**

Domeniul tehnic: *Inginerie Electrică, Subdomeniul Mașini și Acționări Electrice, Ramura Mașini Electrice Rotative.*

Invenția se referă la un motor electric asincron, de curent alternativ, pentafazat, cu stator bobinat și rotor cu colivie, precum și la **metoda de alimentare** a acestuia în curent alternativ cu un sistem de cinci tensiuni alternative defazate între ele cu câte $0,4\pi$ radiani.

Stadiul actual al tehnicii în ceea ce privește mașini electrice polifazate se refera, în principal, la soluțiile de motoare și de generatoare cu magneți permanenți cu cinci sau cu șase faze. Cele mai apropiate de domeniul motoarelor asincrone polifazate sunt următoarele:

Sunt cunoscute următoarele referințe: Brevetul US 6426605 B1 – autori Hamid A. Toliyat; Ruhe Shi, Huangsheng Xu, “Multi-phase induction motor drive system and method” (sistem și metodă de acționare pentru un motor multifazat) se referă la un sistem de alimentare a motoarelor polifazate cu cinci sau mai multe faze implementat prin folosirea unui microcontroler destinat reglajului curenților injectați în motor, dar nu face referire la motorul propriu zis.

Un alt brevet, RU 199115 U1 – autori V.V. Evghenievici (RU), M. A. Khalafovich (RU), V. Alexey (RU), P. Alexander (RU), K. R. Yamilevich (RU), „Motor asincron cu cinci faze tolerant la erori, cu înfășurare combinată” (fail-safe five-phase asynchronous motor with combination winding) propune un motor cu înfășurare combinată stea-pentagon, în fapt un motor complex, cu 10 înfășurări de excitație satorice, cu posibilitatea de a funcționa cu cele două sisteme de înfășurări propuse conectate împreună, fără a face referire la sursa lor de alimentare și nici la modul de funcționare degradat în cazul în care dispare una dintre tensiunile de alimentare.

Altă referință este cererea de brevet US 2013/0076187 A1 (abandonată) – Autor A. D. Flaste, “Five-phase alternating current induction motor and inverter system” (Sistem de motor asincron și invertor cu 5 faze) care face referire exclusiv la modul de control al unui motor de curent alternativ cu magneți permanenți, fără referire la motoarele asincrone sau la modul lor de comandă cu indicarea posibilității de funcționare în regim degradat, cum ar fi lipsa uneia sau a două tensiuni de alimentare de fază.

Soluțiile cunoscute până în prezent nu prezintă configurația de motor asincron cu stator bobinat cu cinci înfășurări simetrice și cu rotor cu colivie de aluminiu sau de cupru, și nici descrierea metodelor de alimentare a acestora în curent alternativ.

Scopul invenției îl reprezintă dezvoltarea unui motor nou, asincron pentafazat, pentru a fi utilizat în aplicațiile de tracțiune electrică – vehicule electrice, echipamentele de ridicat, poduri rulante și elevatoare, propulsia navelor electrice și a aeronavelor electrice, în principal acolo unde

motorul electric reprezintă un produs critic, și, prin urmare, în cazul apariției unui defect care duce la oprirea sistemului de acționare, se produc efecte economice negative majore.

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în aceea că motorul pentafazat poate funcționa și în cazul lipsei unei tensiuni de alimentare de fază, lucru foarte important dacă motorul realizează deplasarea unui vehicul, ascensor, mașină de prelucrat, actuator sau alte aplicații critice.

A doua problemă tehnică importantă pe care o rezolvă prezenta invenție privește reducerea pulsațiilor cuplului mecanic produs, raportate la motoarele asincrone trifazate, lucru important în aplicațiile în care confortul și stabilitatea cuplului produs sunt importante pentru reducerea solicitărilor elementelor din lanțul de transmisie al mișcării (ambreiaje, cutii de viteze sau reductoare) precum și reducerea timpului de răspuns și creșterea stabilității mecanice a sistemului acționat.

A treia problemă tehnică pe care o rezolvă utilizarea mașinilor pentafazate este aceea că, la nivelul convertoarelor de alimentare ale acestora vor putea fi folosite circuite electronice de filtrare pasive invers proporțional cu numărul de faze al convertorului alimentat, precum și posibilitatea de a folosi ventile semiconductoare cu caracteristici de curent reduse în mod similar.

Invenția prezintă următoarele avantaje:

- Principalul avantaj al acestui tip de motor este acela că el poate funcționa și în situația în care, accidental, una sau două dintre tensiunile de alimentare aplicate motorului se întrerup, acesta fiind un mod de funcționare degradat în care motorul poate produce cuplu mecanic pe o perioadă scurtă de timp necesară finalizării regimului de funcționare comandat, de exemplu pentru ajungerea unui lift sau a unui vehicul la destinație.

- Al doilea avantaj al acestui motor în constituie realizarea unui cuplu mecanic cu pulsații mai reduse față de soluția clasică de motor trifazat, cu efect asupra reducerii solicitărilor transmisiei, reducerea elementelor de filtrare electrică ale alimentării, reducerea zgomotului și îmbunătățirea gradului de confort al celor aflați în vecinătatea acestor motoare.

- Al treilea avantaj al acestor motoare este acela că, prin divizarea curenților de alimentare prin cinci înfășurări în locul a trei înfășurări se pot realiza motoare de puteri mai mari față de soluțiile de motoare trifazate, cu utilizarea acelorași elemente constructive ale convertizoarelor electronice trifazate, deoarece aceste convertizoare sunt dimensionate în principal în funcție de curentul nominal, deoarece cuplul dezvoltat de motor la o anumită turație este proporțional cu curentul prin fiecare înfășurare, și cu numărul de faze alimentate.

În afară de alegerea numărului de faze $m=5$, pentru obținerea unui motor cât mai robust și mai rezistent la supratensiuni destinat a fi utilizat în tracțiunea electrică, unde va fi alimentat prin intermediul unui convertizor static, cu tensiuni de formă dreptunghiulară cu factor de umplere

variabil și unde va funcționa pe durata frânării recuperative și în regim de generator, ceea ce implică operarea la nivel de tensiune superior celui nominal, soluția propusă urmărește folosirea unei scheme de bobinaj cât mai simple, repartizarea înfășurărilor în creștături individuale pentru fiecare bobină, precum și folosirea izolației suplimentare de creștătură.

Se prezintă în continuare un **exemplu de realizare a invenției**, în legătura cu fig. 1 - 9, care reprezintă:

- Figura 1: desenul unui motor asincron penta-fazat de 1...250 kW;
- Figura 2: Modul de alimentare al motorului penta-fazat prin intermediul unui convertor;
- Figura 3: Diagrama sistemului de tensiuni alternative pentru alimentarea corectă a motorului penta-fazat
- Figura 4: Diagrama înfășurărilor statorice ale motorului penta-fazat;
- Figurile 5.1, 5.2, 5.3, 5.4 și 5.5: Diagrama înfășurărilor statorice detaliate pe fiecare fază a înfășurărilor statorice;
- Figura 6: Secțiune transversală prin stator bobinat;
- Figura 7: Pachetul miezului statoric și modul de asamblare al acestuia;
- Figura 8: Forma creștăturii statorice;
- Figura 9: Forma de undă a curentului efectiv de fază în situația întreruperii alimentării unei faze a motorului asincron penta-fazat.

În figura 1 avem prezentarea părților componente ale unui motor electric asincron penta-fazat din gama de puteri 1-250kW, care prezintă următoarele caracteristici tehnice generale:

- | | |
|---|------------------|
| - Putere nominală: | 1...250kW; |
| - Putere maximă: | 2...480kW; |
| - Tensiune maximă de fază: | 100...690Vca; |
| - Curent maxim de fază: | 2...500Aca; |
| - Frecvența maximă a tensiunii de alimentare: | 200Hz; |
| - Grad de protecție (carcasă) | minim IP54; |
| - Grad de protecție (temperatură bobinaj) | Clasa H (180°C). |

Principalele părți componente ale motorului asincron penta-fazat simetric sunt:

- Carcasă(1), miez feromagnetic stator (2), înfășurare statorică cu cinci faze (3), miez feromagnetic rotor (4) colivie rotorică (5), arborele (6), care este sprijinit pe scuturile de capete (7) prin intermediul a doi rulmenți (8);
- opțional pot fi folosite
 - ventilatoare axiale (9) montate pe ax sau ventilatoare externe;
 - sistem de răcire cu lichid;
 - traductoare de turație și/sau de poziție;

- senzori de temperatură plasați în apropierea bobinajelor sau a rulmenților;
- cutii de conexiuni, cuple sau conectoare rapide;
- Capace de protecție (10).

Așa cum este prezentat în Figura 2, motorul astfel realizat este destinat a fi alimentat de la o sursă de tensiune alternativă, prevăzută cu cinci ieșiri dependente între ele, unde motorul penta-fazat (11) are cinci înfășurări statorice simetrice notate cu Aa (12), Bb (13), Cc (14), Dd (15) și Ee (16) conectate la sursa de cinci tensiuni alternative simetrice (17) cu sursele dependente L1 (18), L2 (19), L3 (20), L4 (21) și L5 (22) conectate cu polaritatea pozitivă la începutul de înfășurare statorică al motorului, așa încât să avem conectat L1 cu A, L2 cu B, L3 cu C, L4 cu D și L5 cu E, iar polaritățile negative ale surselor de tensiune alternativă conectate între ele la borna N (23), care poate fi sau nu conectată la punctul de conectare comun al înfășurărilor statorice ale motorului O (24), sistemul de tensiuni fiind reglabil prin impunerea de către operator al nivelului de tensiune U^* (25) și a frecvenței f^* (26), în condițiile existenței unui semnal activ de Start-Stop (27).

În Figura 3 este detaliată diagrama sistemului de tensiuni alternative pentru alimentarea corectă a motorului penta-fazat, astfel că, vom observa diferența de potențial electric – tensiunea electrică U_1 (28) între bornele L1 și N, tensiunea electrică U_2 (29) între bornele L2 și N, tensiunea electrică U_3 (30) între bornele L3 și N, tensiunea electrică U_4 (31) între bornele L4 și N și tensiunea electrică U_5 (32) între bornele L5 și N, iar perioada T (33) reprezintă timpul scurt între două alternanțe succesive ale aceluiași semnal. Amplitudinea semnalului aplicat U este de valoare apropiată de prescrișă de tensiune U^* (25) și frecvența $f=1/T$ (33) este egală cu f^* (26).

În Figura 4 prezintă modul de realizare al înfășurării statorice ale motorului asincron penta-fazat, unde c1...c40 reprezintă creștăturile statorice, iar Aa (12), Bb (13), Cc (14), Dd (15) și Ee (16) sunt cele cinci înfășurări statorice simetrice, această diagramă reprezintă modul de repartizare al bobinelor în creștături. La alegerea numărului de creștături s-au aplicat următoarele calcule:

- Tipul ales al înfășurării este: Înfășurare într-un strat, cu bobinele conectate în serie, și distribuite în număr întreg de creștături pe pol și fază;
- Număr de faze: $m = 5$, pentru a avea motor penta-fazat
- Număr de perechi de poli: $p = 2$, pentru a avea turația nominală = 1500 rpm;
- Număr de creștături pe poli și fază: $q = 2$, pentru a avea o distribuție echilibrată a înfășurării și pentru a nu avea bobine de la faze diferite suprapuse în aceeași creștătură;
- Rezultă numărul de creștături statorice: $Z_1 = 2 \cdot m \cdot p \cdot q = 40$;

În Figurile 5 este prezentată în detaliu modul de amplasare și sensurile curenților prin bobinele înfășurărilor statorice, astfel:

- Figura 5.1, înfășurarea pentru Faza 1 (12), pleacă de la borna A, intra în creștătura c1, se întoarce prin c11, intră în c2, se întoarce prin c12, intră în c21, se întoarce prin c31, intră prin c22, se întoarce prin c32 și este conectat la borna de ieșire a;

- Figura 5.2, înfășurarea pentru Faza 2 (13), pleacă de la borna B, intra în creștătura c5, se întoarce prin c15, intră în c6, se întoarce prin c16, intră în c25, se întoarce prin c35, intră prin c26, se întoarce prin c36 și este conectat la borna de ieșire b;

- Figura 5.3, înfășurarea pentru Faza 3 (14), pleacă de la borna C, intra în creștătura c9, se întoarce prin c19, intră în c10, se întoarce prin c20, intră în c29, se întoarce prin c39, intră prin c30, se întoarce prin c40 și este conectat la borna de ieșire c;

- Figura 5.4, înfășurarea pentru Faza 4 (15), pleacă de la borna D, intra în creștătura c34, se întoarce prin c24, intră în c33, se întoarce prin c23, intră în c14, se întoarce prin c4, intră prin c13, se întoarce prin c3 și este conectat la borna de ieșire d;

- Figura 5.5, înfășurarea pentru Faza 5 (16), pleacă de la borna E, intra în creștătura c38, se întoarce prin c28, intră în c37, se întoarce prin c27, intră în c18, se întoarce prin c8, intră prin c17, se întoarce prin c7 și este conectat la borna de ieșire e;

În Figura 6 este prezentată o secțiune transversală prin statorul bobinat, care este format din tola statorică (34), înfășurarea statorică (35), izolația de creștătură (36), creștătura de aliniere (37) și penele de rigidizare (38) introduse în creștăturile laterale (39).

În Figura 7 este prezentat Pachetul miezului statoric (2) și modul de asamblare al acestuia, anume se centrează pe un dorn tolele statorice (34), aliniat conform creștăturii de aliniere (37), se introduc penele de rigidizare (38) în creștăturile laterale (39), pentru a obține un pachet de tole de lungime L_1 (40), diametru exterior D_1 (41) și diametru interior d_1 (42) folosind relațiile de calcul aplicate la proiectarea motoarelor asincrone.

În Figura 8 este prezentată forma creștăturii statorice realizată pentru a optimiza gradul de umplere al creștăturii cu bobinaj de Cu dispus după regula de o singură bobină într-o creștătură, cu următoarele coordonate principale: lățime intrare creștătură (43), adâncime totală creștătură (44) și adâncime utilă creștătură (45), rază racordare capăt creștătură (46), lățime utilă dinte (47), iar ca rezultat al alegerii numărului de dinți este pasul dentar (48) care este rezultatul divizării celor $2\pi/Z = 0,05\pi$ radiani.

Testarea unui astfel de motor se face utilizând un convertor pentafazat de construcție specială (17), astfel încât amplitudinea și frecvența celor cinci tensiuni să fie egale, dar fazele succesive să fie decalate cu câte $0,4\pi$ radiani de așa manieră încât tensiunile să fie succesive.

Reglarea turației motorului pentafazat se poate realiza prin modificarea frecvenței comune a tensiunilor de alimentare (26), turația fiind direct proporțională cu frecvența tensiunilor de alimentare, conform formulei [1]. Reglarea cuplului M al motorului pentafazat se realizează prin

controlul amplitudinii tensiunii sistemului de alimentare U (25), la o frecvență f dată, conform formulei [2].

$$n = \frac{60 \cdot f}{p} \quad [1]$$

$$M = \frac{k \cdot U^2}{f^2} \quad [2]$$

unde constantele k reprezintă constanta de cuplu și p reprezintă numărul de perechi de poli ale mașinii electrice.

Particularitatea acestui tip de motor cu cinci faze cu înfășurări simetric distribuite este acela că el poate funcționa și în situația în care, accidental, una sau două dintre tensiunile de alimentare aplicate motorului se întrerup acesta fiind un mod de funcționare degradată, în care motorul poate produce cuplu mecanic inferior celui nominal, pe o perioadă scurtă de timp necesară finalizării regimului de funcționare comandat, ca exemplu pentru ajungerea unui lift sau a unui vehicul la destinație. Pentru a putea controla acești curenți se vor folosi convertoare statice de tipul invertoare de tensiune realizate cu ventile cu dispozitive semiconductoare care sunt comandate de către un microcontroler folosind tehnica de control vectorial cu orientare după câmpul statoric pentru a compensa lipsa unei faze și a distribui curenții prin fazele funcționale. Experimentarea numerică unui astfel de regim degradat este prezentată în Figura nr. 9, unde este reprezentată turația motorului (49) în funcție de timp (50), înainte și după apariția unui defect de izolare de fază care intervine la momentul t_f (51), când constatăm modificarea turației prin creșterea ondulațiilor, dar cu menținerea valorii medii la o valoare similară celei de la funcționarea normală.

Principala limitare în utilizarea pe scară largă a motoarelor asincrone penta-fazate vine din lipsa unui convertor polifazat care să poată genera tensiuni alternative cu defazaj reglabil corespunzător numărului de faze al motorului.

Revendicări:

1. Motor electric asincron, de curent alternativ, pentaafazat, cu stator bobinat și rotor cu colivie, **caracterizat prin aceea că** motorul are o înfășurare statorică cu un număr m de faze egal cu cinci, o schemă de bobinaj cât mai simplă și mai robustă, în care cele cinci înfășurări statorice simetrice notate cu Aa (12), Bb (13), Cc (14), Dd (15) și Ee (16) sunt alimentate de la sursa de cinci tensiuni alternative simetrice (17) cu sursele dependente L1 (18), L2 (19), L3 (20), L4 (21) și L5 (22) conectate cu polaritatea pozitivă la începutul de înfășurare statorică al motorului, așa încât să avem conectat L1 cu A, L2 cu B, L3 cu C, L4 cu D și L5 cu E, înfășurările statorice ale motorului fiind conectate în stea, adică bornele a, b, c, d și e sunt conectate împreună la borna O (24) iar polaritățile negative ale surselor de tensiune alternativă conectate între ele la borna N (23), bornă care poate fi sau nu fi conectată la punctul de conectare comun al înfășurărilor statorice ale motorului O (24), sistemul de tensiuni fiind reglabil prin impunerea de către operator al nivelului de tensiune U^* (25) și a frecvenței f^* (26) în condițiile existenței unui semnal activ Start-Stop (27);

2. Motor electric asincron, de curent alternativ, pentaafazat, cu stator bobinat și rotor cu colivie conform revendicării nr. 1, **caracterizat prin aceea că** înfășurarea statorică are bobinele individuale Aa (12), Bb (13), Cc (14), Dd (15) și Ee (16) și sunt plasate individual în creștături separate așa cum este descris în figura nr. 4, deoarece înfășurarea este realizată într-un strat, cu bobinele conectate în serie, și distribuite în număr întreg de creștături pe pol și fază pentru a asigura uniformitatea câmpului magnetic al motorului și pentru a realiza un cuplu mecanic cu ondulații reduse ;

3. Motor electric asincron, de curent alternativ, pentaafazat, cu înfășurarea statorică și rotor cu colivie conform revendicării nr. 2, **caracterizat prin aceea că** motorul permite funcționarea degradată în cazul în care unul dintre circuitele de alimentare pe fază sunt întrerupte, așa cum este prezentat în figura nr. 9, iar câmpul magnetic învârtitor al motorului alimentat prin 4 dintre cele 5 faze este asigurat prin creșterea curenților prin fazele funcționale astfel încât realizează cuplul util motorului necesar funcționării în regim degradat.

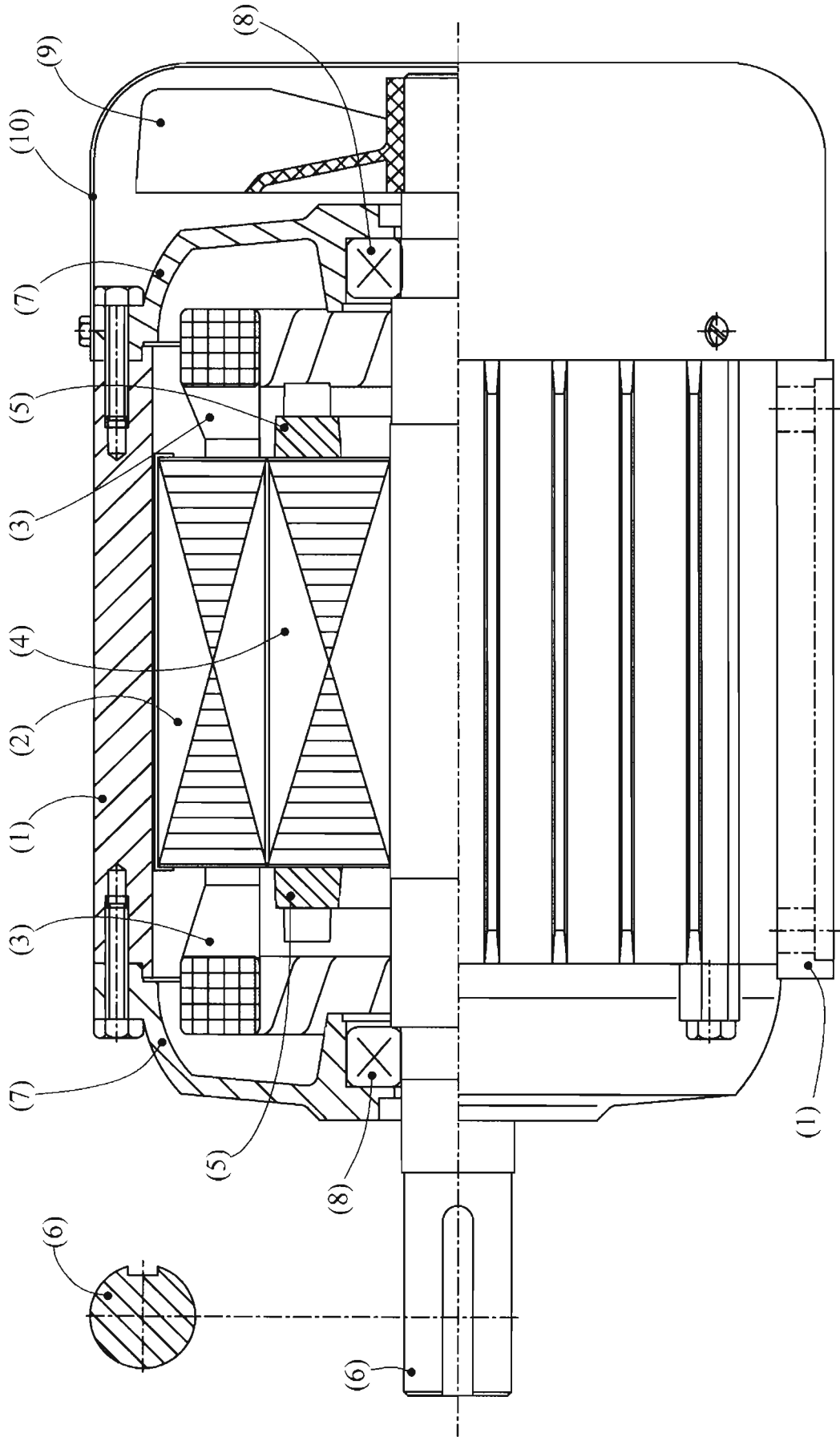


Fig. 1

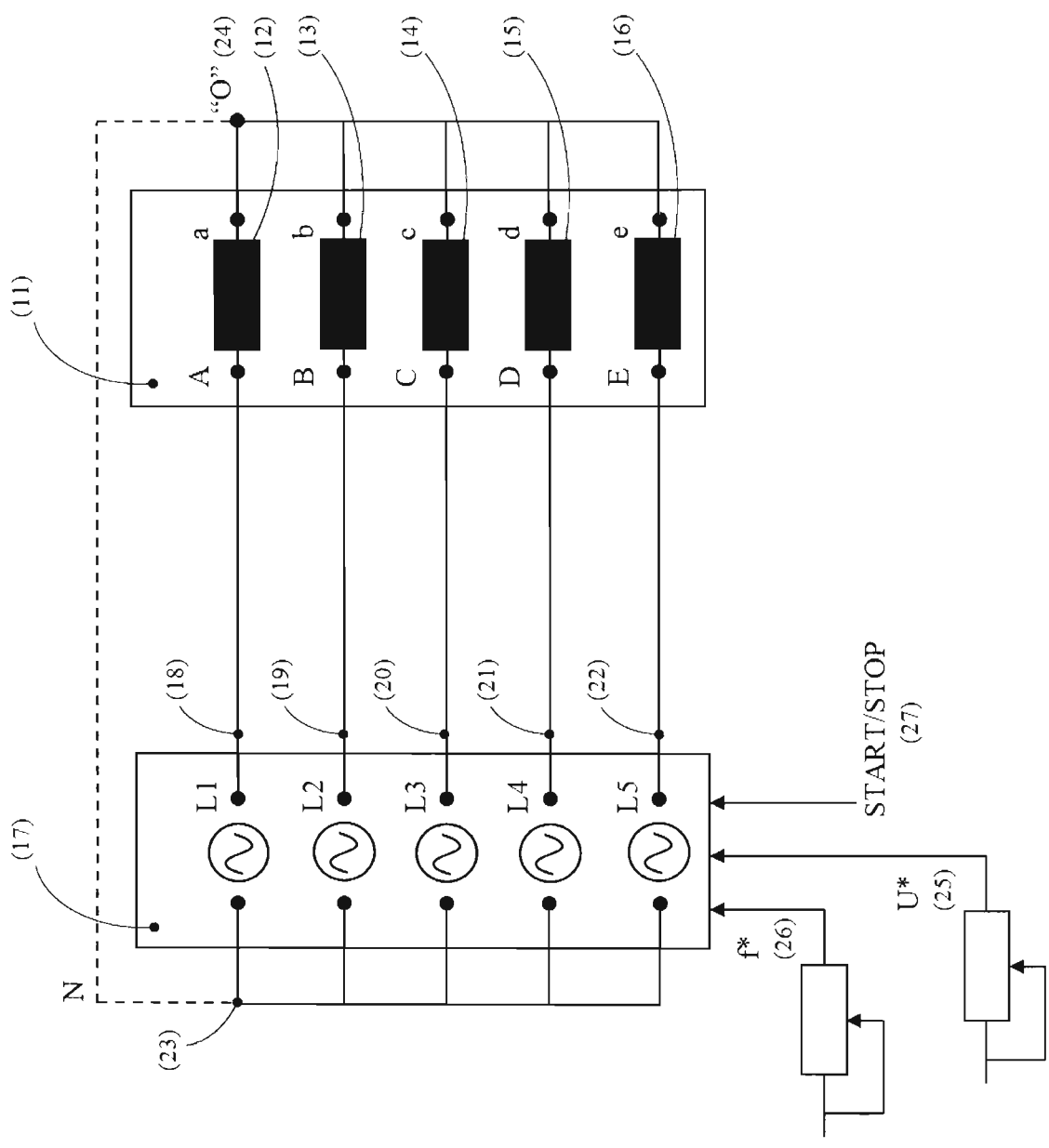


Fig. 2

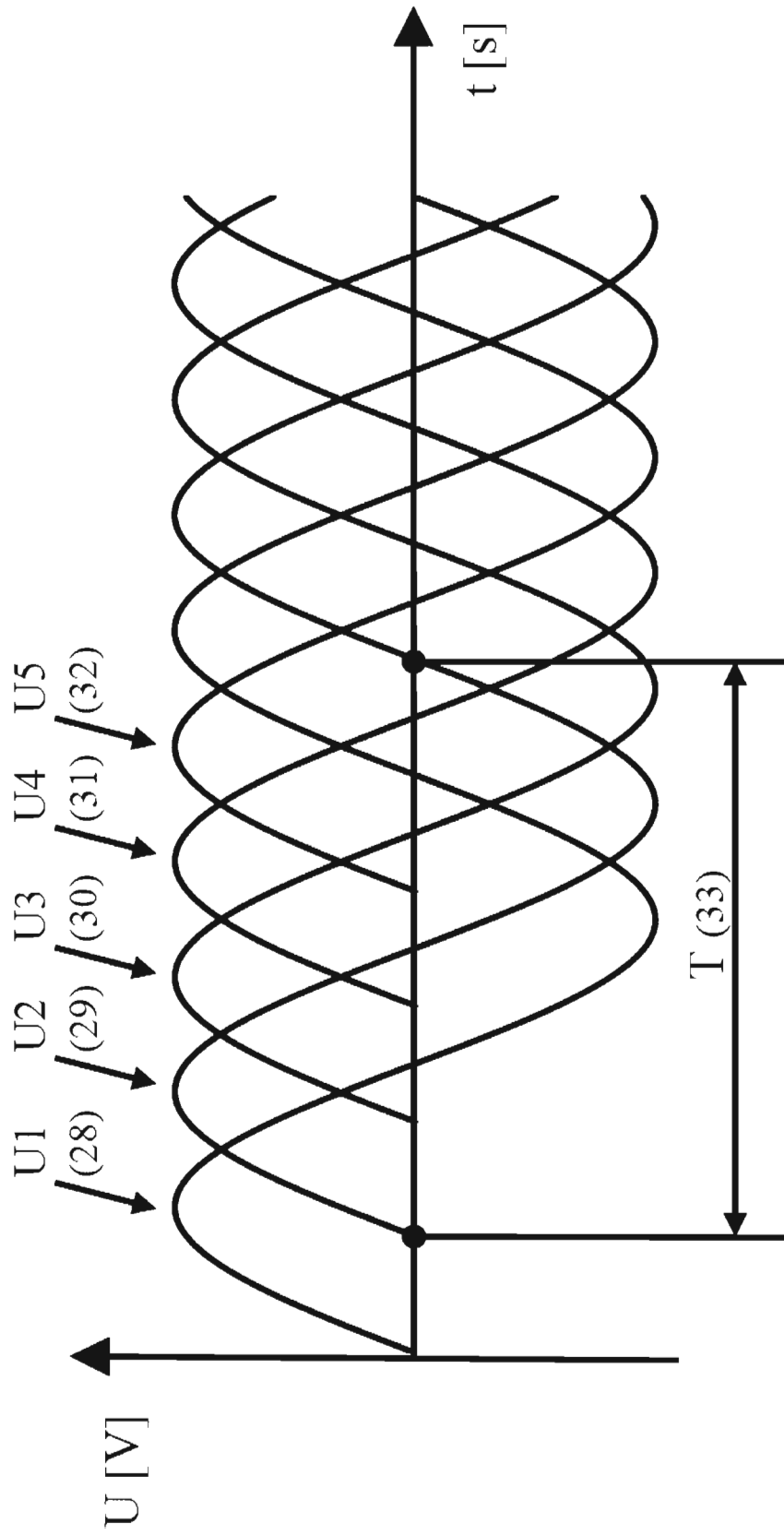


Fig. 3

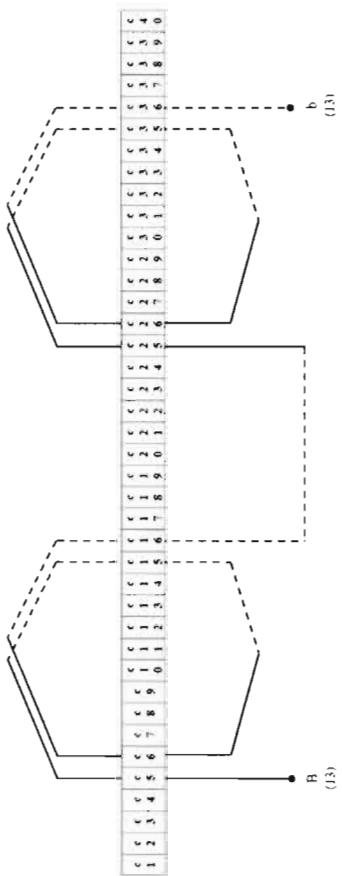


Fig. 5.1

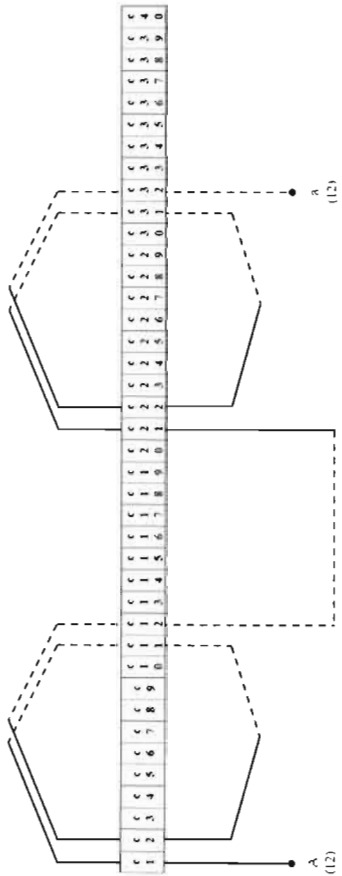


Fig. 5.2

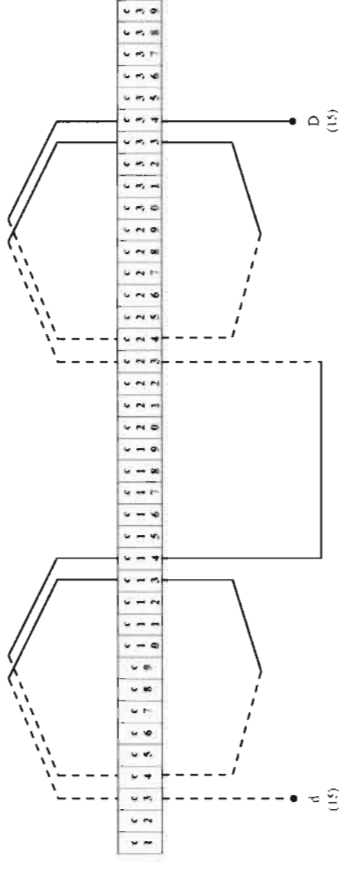


Fig. 5.3

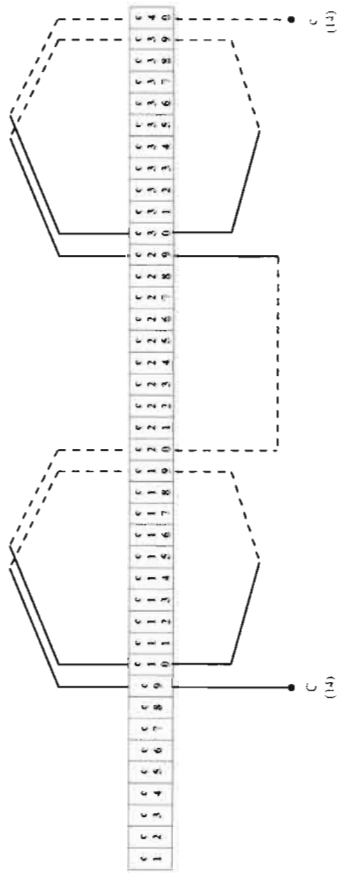


Fig. 5.4



Fig. 5.5

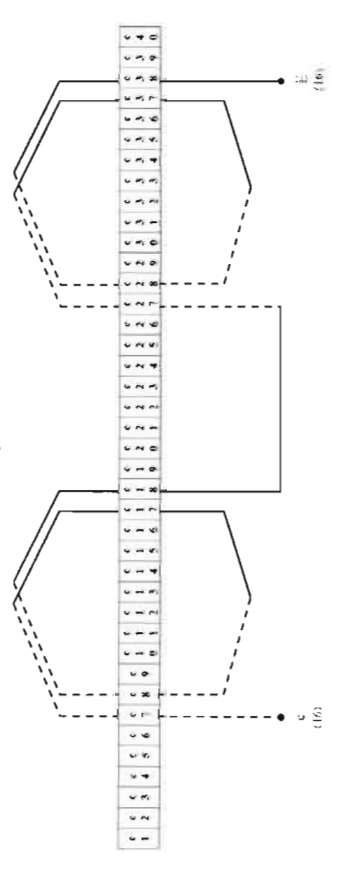


Fig. 5.6

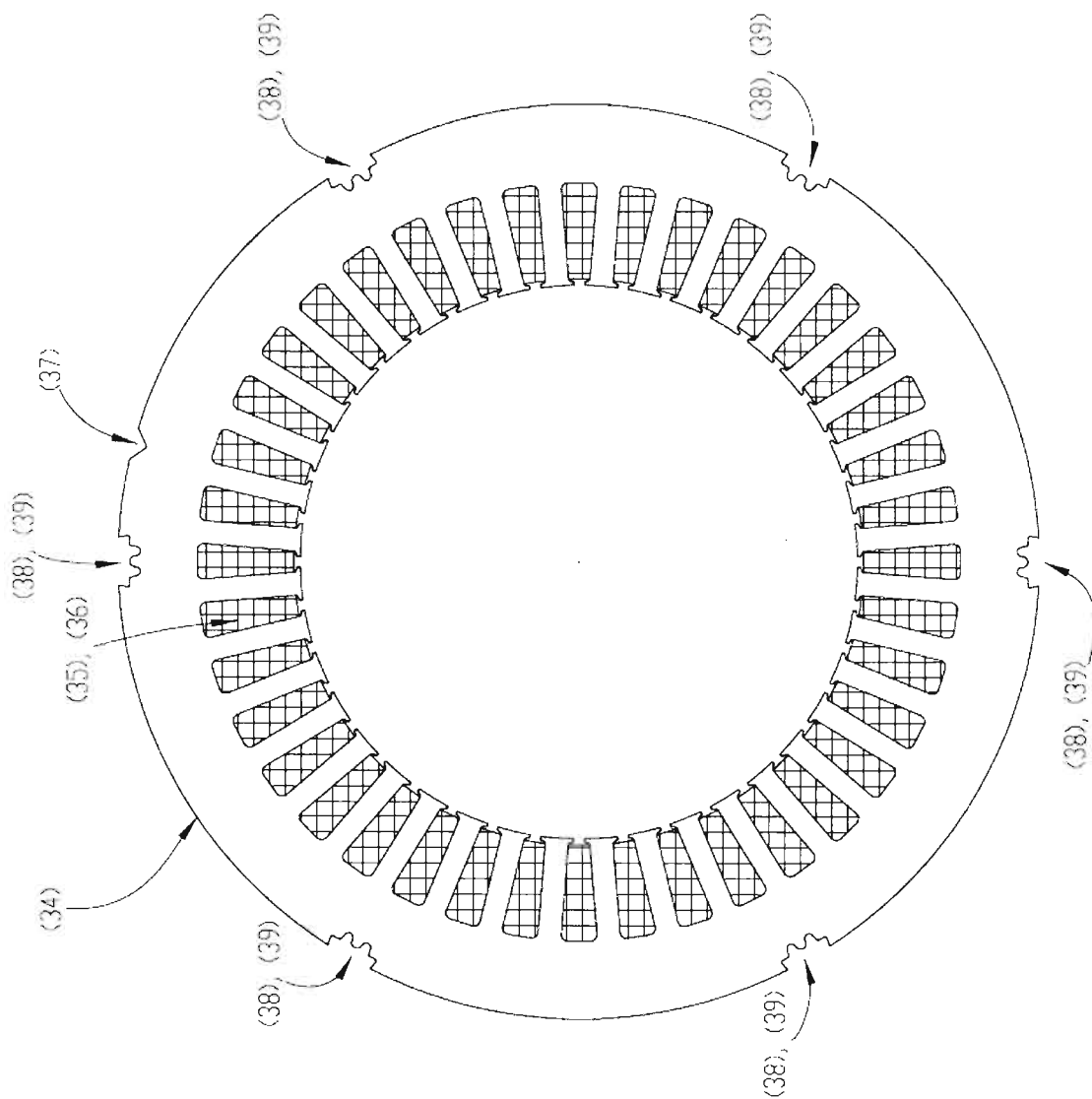


Fig 6

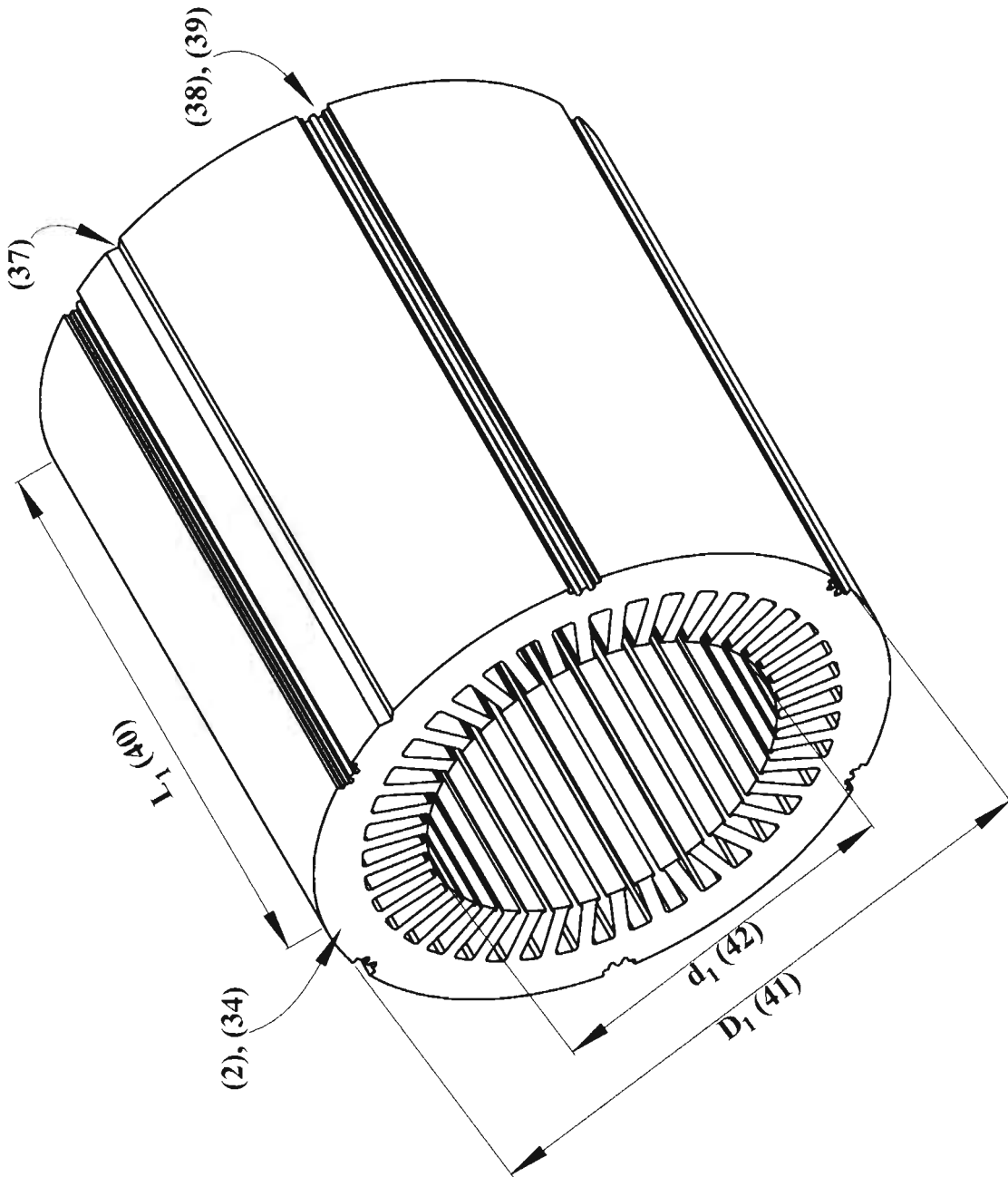


Fig. 7

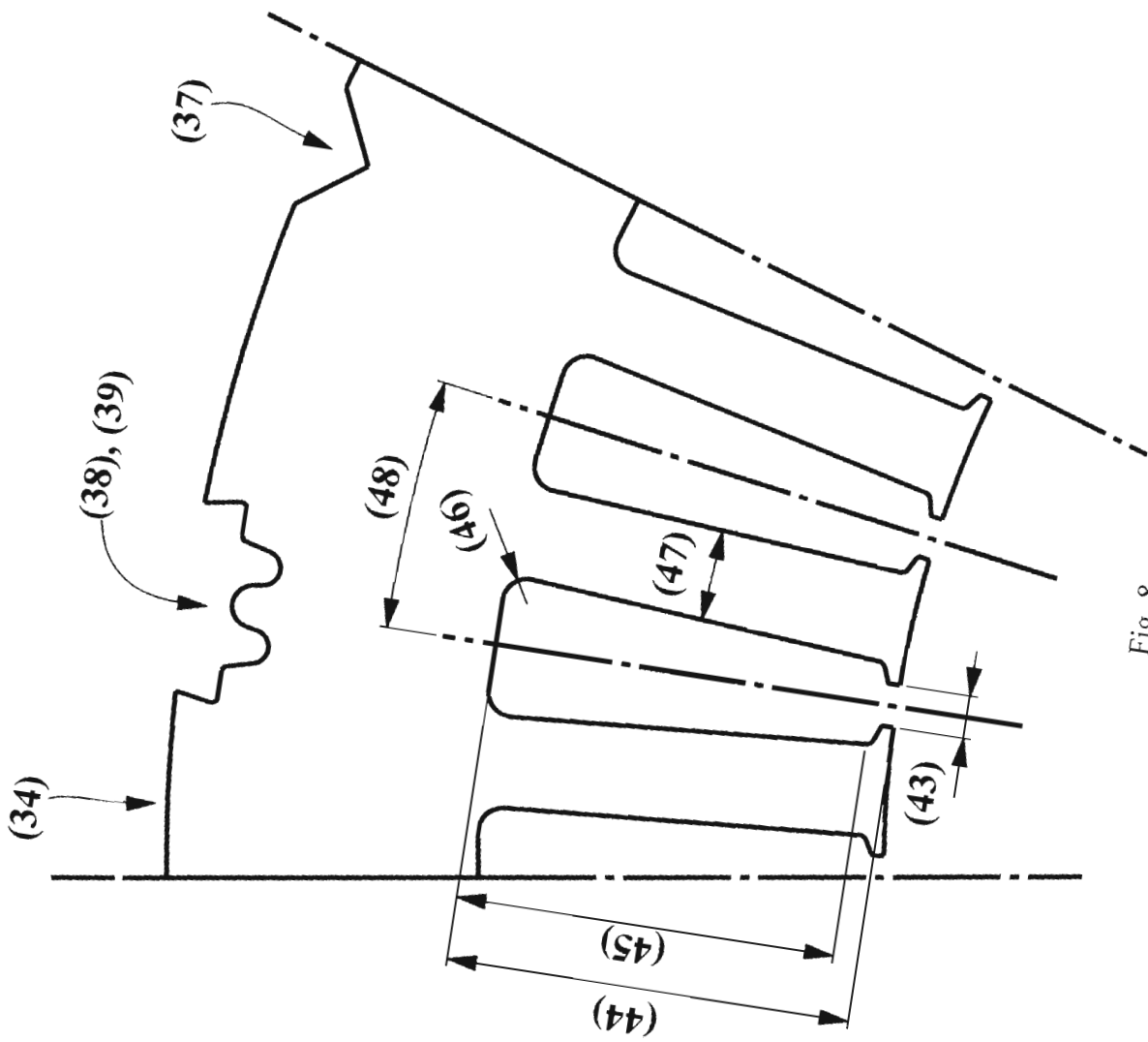


Fig. 8

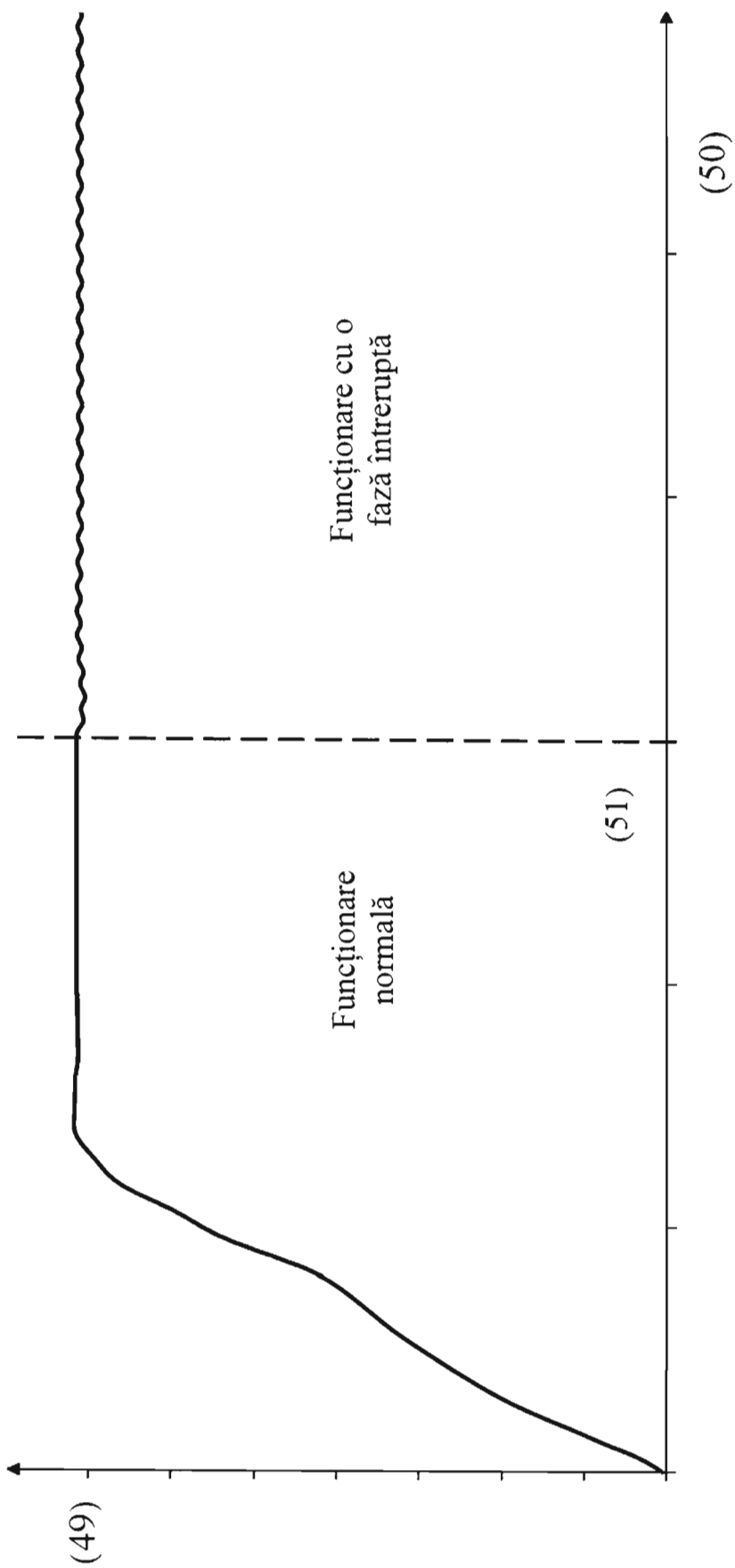


Fig. 9