



(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2010 00236**

(22) Data de depozit: **15.03.2010**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **28.12.2012** BOPI nr. **12/2012**

(41) Data publicării cererii:
28.10.2011 BOPI nr. **10/2011**

(73) Titular:
• **INSTITUTUL DE CERCETĂRI PENTRU
MAȘINI ELECTRICE ICPE-ME S.A.,
BD. TUDOR VLADIMIRESCU NR.45,
SECTOR 5, BUCUREȘTI, B, RO**

(72) Inventatori:
• **CISTELECAN MIHAIL VASILE,
BD. TUDOR VLADIMIRESCU NR.53, BL. T 6,
ET.4, AP.15, SECTOR 5, BUCUREȘTI, B,
RO;**
• **POPESCU MIHAIL, STR.FLOARE ROȘIE
NR.4, BL.55, SC.A, ET.1, AP.5, SECTOR 6,
BUCUREȘTI, B, RO**

(56) Documente din stadiul tehnicii:
**BIANCHI NICOLA & COLECTIV "THEORY
AND DESIGN OF FRACTIONAL-SLOT PM
MACHINES", SEPT.2007, UNIVERSITATEA
DIN PADOVA, ED.CLEUP, ISBN
978-88-6129-122-5, P.32, FIG.2.16;
SALMINEN PIA, "FRACTIONAL SLOT
PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS
MOTORS FOR LOW SPEED
APPLICATIONS", PhD THESIS,
LAPPEENRANTA UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY, FINLAND, 2004, ISBN
951.764-983-5, P.35, FIG.2.3, P.40, TABEL
2.3, 2.4; MEIER FLORENCE,
"PERMANENT- MAGNET SYNCHRONOUS
MACHINES WITH NON- OVERLAPPING
CONCENTRATED WINDINGS FOR
LOW-SPEED DIRECT-DRIVE
APPLICATIONS", PhD THESIS, ROYAL
INSTITUTE OF TECHNOLOGY,
STOCKHOLM, 2008, ISBN
978-91-7415-089-6, P.25, TABEL 3.3;
US 6166471 A**

(54) **ÎNFĂȘURARE FRAȚIONARĂ TRIFAZATĂ SIMETRICĂ, CU
BOBINE CONCENTRATE PE DINTE, CU ARMONICE
SPAȚIALE REDUSE**



RO 126814 B1

1 Invenția se referă la o înfășurare fracționară, trifazată, simetrică, cu bobine
concentrate pe dinte, având un număr de $Z = 3(2k+1)$ creștături și un număr de $2p = 2(3k+1)$
3 poli, pentru orice număr $k = 0, 1, 2, \dots$, care se poate utiliza pentru mașini electrice trifazate,
multipolare, de turație redusă (motoare sau generatoare), cu magneți permanenți, pentru
5 reducerea conținutului de armonice spațiale din tensiunea magnetică de reacție a indusului,
dar poate fi folosită și pentru motoare de inducție multipolare, de turație redusă.

7 În scopul echipării armăturii statorice a mașinilor sincrone cu magneți permanenți, de
turație redusă, cu înfășurări fracționare, concentrate pe dinte, sunt cunoscute soluții tehnice
9 fie într-un strat, fie în două straturi, cu partajarea creștăturii între straturile înfășurării fie pe
lățimea creștăturilor, fie pe înălțimea acestora. În ceea ce privește obiectul invenției, și
11 anume, clasa de înfășurări trifazate, primitive, care se circumscriu relației $Z = 2p \pm 1$, dintre
numărul total de creștături Z și numărul perechilor de poli p , sunt cunoscute și studiate soluții
13 tehnice în două straturi, pentru cazul $Z = 9, p = 4$ [1, p. 32, fig. 2.16], de asemenea, pentru
cazul $Z = 21, p = 10$ [2, p. 35, fig. 2.3]. O analiză generală, care circumscrie și clasa de
15 înfășurări care face obiectul invenției, este realizată în 3, p. 25, tabelul 3.3 și în 2, p. 40,
tabelul 2.3 și 2.4.

17 În toate cazurile exemplificate mai sus, înfășurările fracționare, concentrate pe dinte,
realizate într-un strat sau în cel mult două straturi, au dezavantajul unui conținut mare de
19 armonice spațiale, în curba tensiunii magnetice de reacție a indusului, îndeosebi
subarmonici, al căror efect asupra pierderilor, prin curenți turbionari, în părțile feromagnetice
21 ale armăturii rotitoare este semnificativ și dăunează unei funcționări eficiente a mașinii
electrice în ansamblu.

23 Este cunoscut, de asemenea, brevetul lui Kometani [4], cu aplicare strictă la clasa
de înfășurări caracterizate prin $Z = 9, p = 4$, care, în vederea reducerii conținutului de
25 armonice spațiale a tensiunii magnetice de reacție, descrie o metodă de dublare a înfășurării
și decalarea cu o creștătură a celor două semiînfășurări, conectate în serie sau în paralel.

27 Dezavantajul soluției din 4 este, pe de o parte, că se aplică strict numai la un singur
element din clasa de înfășurări $Z = 2p \pm 1$, și anume, $Z = 9, p = 4$, iar pe de altă parte,
29 reducerea conținutului de armonice spațiale este limitată.

31 Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în reducerea conținutului de
armonice spațiale ale tensiunii magnetice de reacție a indusului, îndeosebi a subarmonicilor
spațiale.

33 Înfășurarea trifazată, conform invenției, este caracterizată prin aceea că se obține
dintr-o înfășurare concentrată pe dinte, în două straturi, cunoscută din stadiul tehnicii, care
35 se dedublează, în sensul că fiecare bobină este divizată în două semibobine cu numere de
spire pe jumătate, sau se triplează, în sensul că fiecare bobină este divizată în câte trei
37 bobine, cu numărul de spire câte o treime, înfășurările elementare astfel constituite fiind
decalate spațial, la periferia armăturii, cu câte una sau mai multe creștături, în scopul
39 creșterii gradului de distribuire, iar bobinele parțiale, situate pe același dinte și aparținând
aceleiași faze, se recompun împreună. Înfășurările elementare astfel divizate sunt conectate
41 în serie.

43 Desigur că, deși invenția este prezentată în detaliu și se referă la partea primitivă a
unei înfășurări caracterizate prin relația $Z = 2p \pm 1$, aceasta se aplică întocmai și pentru orice
multiplicare de ordin n (n număr natural), adică, pentru înfășurări cu nZ creștături și $n(2p \pm 1)$
45 poli, care conțin de n ori înfășurarea conform invenției.

47 Prin aplicarea invenției, se obține avantajul diminuării conținutului de armonice
spațiale din curba tensiunii magnetice de reacție a indusului și prin aceasta reducerea
49 pierderilor prin curenți turbionari induși de aceste armonice, în partea feromagnetică a
armăturii rotitoare.

RO 126814 B1

Se dau, în continuare, patru exemple de realizare a invenției, în patru variante constructive, în legătură și cu fig. 1...5, care reprezintă: 1

- fig. 1, steaua bobinelor pentru fundamentala electrică, explicativă la principiul sintezei înfășurării în două straturi conform invenției, în prima variantă constructivă; 3

- fig. 2, schema de amplasare a bobinelor în două straturi (prima variantă constructivă); 5

- fig. 3, schema de amplasare a bobinelor parțial în două straturi și parțial în trei straturi (a doua variantă constructivă); 7

- fig. 4, schema de amplasare a bobinelor parțial în două straturi, parțial în trei straturi și parțial în patru straturi (a treia variantă constructivă); 9

- fig. 5, schema de amplasare a bobinelor parțial în două straturi, parțial în trei straturi și parțial în patru straturi (a patra variantă constructivă). 11

Exemplele concrete, care se prezintă în desenele descrierii, se referă la cazul armăturii de mașină electrică, trifazată, simetrică, având Z creștături și p perechi de poli, relația de legătură fiind $Z = 2p + 1$. Înainte de prezentarea concretă a elementelor invenției, pentru caracterizarea acesteia, într-un mod cât mai general, sunt necesare câteva considerații introductive. 13 15 17

Condiția de simetrie permite caracterizarea clasei de înfășurări trifazate, conform invenției, printr-un singur parametru, număr natural, $k \geq 0$. Astfel, din relația dintre Z și p, rezultă că numărul de creștături Z este impar. Pe de altă parte, simetria înfășurării trifazate obligă numărul de creștături Z să fie divizibil cu trei, deci rezultă că, în cazul cel mai general, invenția se referă la înfășurări pentru care avem $Z = 3(2k + 1)$, iar numărul de perechi de poli este conform relației de legătură dintre Z și p, $p = 3k + 1$. 19 21 23

Cu aceste precizări rezultă, pentru exemplificare, că înfășurarea cu 9 creștături și 8 poli se obține pentru $k = 1$, înfășurarea cu 15 creștături și 14 poli se obține pentru $k = 2$, înfășurarea cu 21 creștături și 20 poli se obține pentru $k = 3$ etc. 25

Numărul de creștături pe pol și fază q, al înfășurărilor conform invenției, se poate scrie: 27

$$q = \frac{Z}{6p} = \frac{2k + 1}{2(3k + 1)} \quad (1) \quad 29$$

Este demonstrabil că fracția sub care se exprimă q este o fracție ireductibilă, întrucât numerele $2k + 1$ și $3k + 1$ sunt prime între ele, oricare ar fi numărul natural k. În baza unei cunoscute teoreme din teoria divizibilității, aceasta rezultă, deoarece între numerele $2k + 1$ și $3k + 1$ există o relație de forma: 31 33

$$i(2k + 1) + j(3k + 1) = 1 \quad (2) \quad 35$$

cu i și j întregi (concret $i = 3$ și $j = -2$). Rezultă că toate înfășurările conform invenției sunt simetrice, întrucât numitorul numărului q nu are divizorul 3. Este interesant însă de remarcat că înfășurarea limită care s-ar obține pentru $k \rightarrow \infty$ nu mai are această proprietate, pentru că se obține $q \rightarrow 1/3$. 37 39 41

Pe de altă parte, fracția 1 fiind ireductibilă, se știe, din teoria înfășurărilor trifazate simetrice, că fiecare fază va avea un număr de $2k + 1$ bobine, reprezentate prin fazori distincți în steaua bobinelor. 43

Înfășurările fiind concentrate pe dinte, pasul tuturor bobinelor, exprimat în număr de creștături, este $y = 1$, în timp ce pasul diametral, corespunzător fundamentalei electrice, adică a armonicii cu 2p poli, este: 45 47

$$y_\tau = \frac{Z}{2p} = \frac{3(2k + 1)}{2(3k + 1)} = \frac{6k + 3}{6k + 2} \rangle y \quad (3) \quad 49$$

RO 126814 B1

1 Pasul diametral al armonicilor spațiale de ordin v va fi, corespunzător:

$$3 \quad y_{rv} = \frac{Z}{2v} = \frac{3(2k+1)}{2v} \quad (4)$$

5 Mărimea scurtării pasului depinde de ordinul k al înfășurării, fiind maximă (o treime
7 din pasul polar) pentru $k = 0$ (3 creștături și 2 poli) și tinzând către zero când $k \rightarrow \infty$. Armonica
9 spațială fundamentală electrică este de ordin $p = 3k+1$. Toate armonicile spațiale de ordin
11 mai mic decât $3k+1$ sunt subarmonici spațiale fracționare. Factorul de scurtare,
corespunzător unei înfășurări caracterizate de parametrul k , din clasa care face obiectul
invenției și armonica spațială de ordin v , se calculează cu relația cunoscută din literatură:

$$13 \quad k_{yv} = \sin\left(\frac{y}{y_{rv}} \times 90^\circ\right) = \sin\left(\frac{2v}{6k+3} \times 90^\circ\right) \quad (5)$$

15 În cazul particular al fundamentalei electrice, factorul de scurtare se calculează cu
17 relația 5, pentru $v = 3 + 1$.

19 Sinteza înfășurărilor are la bază steaua creștăturilor, așa cum este aceasta
cunoscută din literatură [1]. Este utilă observația că toate bobinele înfășurărilor, conform
21 invenției, fiind concentrate pe dinte, este mai corect să se utilizeze în speță noțiunea de
steaua "dinților" sau, încă mai mult, steaua "bobinelor". În această situație, compunerea
23 fazorilor conform stelei bobinelor va da ca rezultat factorul de distribuție al înfășurării care,
pentru a se obține factorul de înfășurare în accepțiunea clasică, mai trebuie înmulțit cu
factorul de scurtare (5).

25 Unghiul electric corespunzător fundamentalei electrice dintre două creștături
geometrice adiacente este dat de relația:

$$27 \quad \gamma_{ce} = \frac{p \times 360^\circ}{Z} = \frac{3k+1}{2k+1} \times 120^\circ \quad (6)$$

29 Unghiul geometric dintre două creștături vecine este:

$$31 \quad \gamma_{cg} = \frac{360^\circ}{Z} = \frac{1}{2k+1} \times 120^\circ \quad (7)$$

33 Din relațiile 6 și 7, rezultă alte două relații generale între unghiul electric și cel
35 geometric dintre două creștături adiacente, respectiv, dintre doi dinți adiacenți:

$$37 \quad \gamma_{ce} = (3k+1) \times \gamma_{cg} \quad (8)$$

$$39 \quad \gamma_{ce} = 180^\circ - \frac{1}{2} \times \gamma_{cg} \quad (9)$$

41 Numărul total de bobine pe fiecare fază, în cazul înfășurării în două straturi, va fi:

$$43 \quad N_{\text{tbf}} = 2k+1 \quad (10)$$

45 În tabelul 1, sunt prezentate recapitulativ elementele generale care caracterizează
înfășurările din clasa care face obiectul invenției.

Caracteristici tehnice generale ale clasei de înfășurări conform invenției

k	0	1	2	3	4	5	...	k
Z	3	9	15	21	27	33	...	$3(2k+1)$
p	1	4	7	10	13	16	...	$3k+1$
q	1/2	3/8	5/14	7/20	9/26	11/32	...	$\frac{2k+1}{2(3k+1)}$
$\gamma_{ce}(^\circ)$	120	160	168	171,43	173,33	174,55	...	$\frac{3k+1}{2k+1} \times 120^\circ$
$\gamma_{cg}(^\circ)$	120	40	24	17,14	14,44	10,91	...	$\frac{1}{2k+1} \times 120^\circ$
N_{tbf}	1	3	5	7	9	11	...	$2k+1$

Cu considerațiile de mai sus, sinteza unei înfășurări cu $2(3k+1)$ poli, din clasa care face obiectul invenției, se poate face pornind de la steaua bobinelor corespunzătoare celor $Z = 3(2k+1)$ creștături, respectiv, dinți, respectiv, de la divizarea unui cerc în $3(2k+1)$ părți egale, ceea ce creează $3(2k+1)$ raze distincte. Datorită divizării impare, punctul diametral opus unui punct de diviziune oarecare este la mijlocul distanței dintre alte două puncte de diviziune. Dacă divizarea se începe din poziția inițială a orei "12", prin punctul de diviziune de ordin 1, corespunzătoare unui dinte d_1 , punctul de diviziune de ordin 2, corespunzător dintelui d_2 , trebuie să fie după un unghi electric γ_{cc} în sensul ceasului, adică, se obține dacă din poziția diametral opusă a punctului de diviziune 1, se scade jumătate din unghiul de divizare geometrică γ_{cg} , așa cum rezultă din relația 7 și fig. 1. Mai departe, pe baza aceluiași raționament, punctul de diviziune de ordin 3 se obține din poziția diametral opusă a punctului de diviziune 2, din care se scade jumătate din unghiul de divizare geometrică γ_{cg} etc. Așa cum se observă din fig. 1, punctele de divizare de ordin impar (1, 3, 5, ..., $Z = 6k+3$) se înșiră în sens invers acelor ceasornicului, începând cu punctul "1". În același sens, după ultimul punct de diviziune impar, urmează punctul 2, după care urmează toate punctele de diviziune pare (4, 6, 8, ..., $Z-1$). Există $k+1$ puncte de diviziune impare (inclusiv 1), care se găsesc în semicercul din partea stângă, și k puncte de diviziune pare, care se găsesc în semicercul din partea dreaptă (fig. 1). Din fig. 1 și relațiile 6...9, rezultă cu evidentă următoarele:

- opusul diametral al punctului 1 este între punctele Z și 2;
- opusul diametral al punctului 3 este între punctele 2 și 4;
- opusul diametral al punctului 5 este între punctele 4 și 6 etc.;
- opusul diametral al punctului Z este între punctele Z-1 și 1, după cum, similar:
- opusul diametral al punctului 2 este între punctele 1 și 5;
- opusul diametral al punctului 4 este între punctele 3 și 5 etc.;
- opusul diametral al punctului Z-1 este între punctele Z-2 și Z.

În vederea prezentării cât mai clare a invenției, se face precizarea, întâlnită de regulă în literatura tehnică, specifică materiei bobinajelor, că o bobină desenată într-o schemă de bobinaj are două laturi, una în partea stângă, într-o reprezentare desfășurată, numită latură de ducere (sau început) și una în partea dreaptă, în aceeași reprezentare desfășurată, numită latură de întoarcere (sau sfârșit). În ceea ce privește conectarea între ele, în serie, a bobinelor, se consideră, în mod convențional, că bobina este conectată în sensul pozitiv,

RO 126814 B1

1 dacă curentul prin faza sau calea de curent respectivă, căruia i se atașează un sens pozitiv
 2 convențional, de la începutul fazei spre sfârșitul ei, intră în latura de început a bobinei și iese
 3 din latura de sfârșit. În schemele convenționale electrice, o asemenea bobină apare cu
 4 semnul (+). Dacă dimpotrivă, o bobină este parcursă de curentul convențional dinspre latura
 5 de ieșire înspre latura de intrare, adică, de la sfârșit spre început, se consideră respectiva
 6 bobina conectată în sensul negativ, și apare în schemele convenționale cu semnul (-). În fig.
 7 2...5, bobinele considerate și notate cu semnul (+) au sensul curentului din latura de ducere
 8 (din partea stângă), notat cu \otimes , iar cele care sunt notate cu semnul (-) au sensul curentului
 9 din latura de ducere (latura din partea stângă) notat cu \bullet .

10 Conform fig. 2, care reprezintă prima variantă constructivă, o armătură de mașină
 11 electrică, într-o reprezentare desfășurată, are un număr de $Z = 3(2k+1)$ dinți egal distanțați
 12 $d_1, d_2, \dots, d_{3(2k+1)}$, între care există același număr de creștături, în care sunt amplasate laturile
 13 de bobine înfășurate pe dinți. Din cele de mai sus, rezultă că, într-o primă variantă
 14 constructivă, o înfășurare conform invenției este constituită din trei înfășurări de fază U, V
 15 și W, având, fiecare, câte $2k+1$ bobine înseriate, concentrate pe cei $3(2k+1)$ dinți ai unei
 16 armături statorice. Astfel, în general, se consideră că o bobină notată k_u este o bobină
 17 aparținând fazei U, înfășurată în jurul dintelui d_k , fiind afectată de unul dintre semnele (+) sau
 18 (-), după sensul în care aceasta se înfășoară în jurul dintelui, conform convenției stabilite,
 19 și se înseriază în circuitul de fază. Conform fig. 2, rezultă că:

- 20 - faza U are înseriate bobinele $+1_u, -2_u, +3_u, \dots, -(2k)_u, +(2k+1)_u$;
- 21 - faza V are înseriate bobinele $+(2k+2)_v, -(2k+3)_v, +(2k+4)_v, \dots, -(4k+1)_v, +(4k+2)_v$;
- 22 - faza W are înseriate bobinele $+(4k+3)_w, -(4k+4)_w, +(4k+5)_w, \dots, -(6k+2)_w, +(6k+3)_w$.

23 Fiecare bobină este înfășurată pe întreaga înălțime a dintelui. În fiecare creștătură,
 24 există două straturi, laturile bobinelor adiacente partajând spațiul pe înălțimea creștăturii.

25 Așa cum rezultă din fig. 2, în prima variantă constructivă, bobinele celor trei faze
 26 ocupă câte o treime din periferia armăturii, fiind grupate în zone compacte de câte 120°
 27 geometrice. Factorul de înfășurare fundamental ($v = p = 3k+1$), pentru înfășurarea din fig.
 28 2, rezultă din compunerea fazorilor fiecărei bobine constituate, conform fig. 1 și a factorului
 29 de scurtare (relația 5), astfel:

$$k_{wp} = k_{w(3k+1)} = k_{q(3k+1)} k_{y(3k+1)} = \frac{1}{2k+1} \left(1 + 2 \sum_{i=1}^k \cos \frac{i \times 360^\circ}{6(2k+1)} \right) \times \sin \frac{(6k+2) \times 90^\circ}{6k+3} \quad (11)$$

30 În tabelul 2, sunt date rezultatele de calcul, pentru înfășurările conform primei
 31 variante constructive a invenției.

32 Tabelul 2

Factori de înfășurare fundamentali, varianta constructivă I

35	k	0	1	2	3	4	5	...	k
	Z	3	9	15	21	27	33	...	$3(2k+1)$
37	p	1	4	7	10	13	16	...	$3k+1$
39	$k_{w(3k+1)}$	0,8660	0,9452	0,9514	0,9531	0,9538	0,9542	...	$\frac{1}{2k+1} \left(1 + 2 \sum_{i=1}^k \cos \frac{i \cdot 360^\circ}{6(2k+1)} \right) \cdot \sin \frac{(6k+2) \cdot 90^\circ}{6k+3}$

40 O a doua variantă constructivă este prezentată în fig. 3, fiind derivată din prima
 41 variantă constructivă, prin divizarea tuturor bobinelor fiecărei faze, în câte două semibobine
 42 egale, astfel că înfășurarea formată din semibobinele de la fundul creștăturii să fie
 43 înseriată cu înfășurarea formată din semibobinele situate spre deschiderea creștăturii.
 44

RO 126814 B1

Cele două semiînfășurări se decalează spațial cu o creștătură, iar apoi semibobinele aparținând aceleiași faze și care sunt înfășurate în jurul aceluiași dinți se recompun împreună, pentru a forma bobine întregi. Semibobinele înfășurate numai pe jumătate din înălțimea unui dinte, și deci având 50% spire, sunt notate cu semnul distinctiv prim ('). De exemplu, bobina $+k'_U$ este o bobină a fazei U, înseriată pozitiv, așezată pe dințele d_k și având 50% spire, adică fiind bobinată numai pe o jumătate din înălțimea dintelui. Astfel, în a doua variantă constructivă, conform fig. 3, rezultă că:

- faza U are înseriate bobinele $+1'_U, -2'_U, +3'_U, \dots, -(2k)_U, +(2k+1)_U, -(2k+2)'_U$;
- faza V are înseriate bobinele $+(2k+2)'_V, -(2k+3)'_V, +(2k+4)'_V, \dots, -(4k+1)'_V, +(4k+2)'_V, -(4k+3)'_V$;
- faza W are înseriate bobinele $+(4k+3)'_W, -(4k+4)'_W, +(4k+5)'_W, \dots, -(6k+2)'_W, +(6k+3)'_W, -1'_W$.

Se observă că, în varianta constructivă 2, fiecare fază are bobine întregi numai pe câte 2k dinți, trei dinți fiind partajați de câte două semibobine din faze diferite. Astfel, dintele d_1 este partajat de semibobinele $+1'_U, -1'_W$, dintele d_{2k+2} este partajat de semibobinele $+(2k+2)'_V$ și $-(2k+2)'_U$, iar dintele d_{4k+3} este partajat de semibobinele $+(4k+3)'_W$ și $-(4k+3)'_V$. Înfășurarea conform variantei constructive 2 este parțial în două straturi (6k-3 creștături) și parțial în trei straturi (6 creștături).

Varianta constructivă 3 (conform fig. 4) se obține printr-o procedură similară cu varianta 2, dar decalajul dintre cele două semiînfășurări este de două creștături. Corespunzător, se obține o înfășurare care are 6k-6 bobinate în creștături în două straturi, 6 creștături în trei straturi și 3 creștături bobinate în 4 straturi.

Astfel, în a treia variantă constructivă, rezultă conform fig. 4 că:

- faza U are înseriate bobinele $+1'_U, -2'_U, +3'_U, \dots, -(2k)_U, +(2k+1)_U, -(2k+2)'_U, +(2k+3)'_U$;
- faza V are înseriate bobinele $+(2k+2)'_V, -(2k+3)'_V, +(2k+4)'_V, \dots, -(4k+1)'_V, +(4k+2)'_V, -(4k+3)'_V, +(4k+4)'_V$;
- faza W are înseriate bobinele $+(4k+3)'_W, -(4k+4)'_W, +(4k+5)'_W, \dots, -(6k+2)'_W, +(6k+3)'_W, -1'_W, +2'_W$.

Rezultă că în a treia variantă constructivă a invenției, perechile de dinți $d_1, d_2, d_{2k+2}, d_{2k+3}$ și d_{4k+3}, d_{4k+4} au bobinate semibobine din faze diferite, în proporții egale de câte 50%.

În fine, a patra variantă constructivă derivă din prima variantă constructivă, prin divizarea fiecărei bobine, de pe fiecare dinte, în câte trei bobine, având numere de spire egale cu o treime din numărul inițial, obținându-se astfel trei înfășurări distincte, cea care conține treimile de bobine de la fundul creștăturilor, cea care conține treimile de bobine de la mijloc, care se decalează față de prima cu o creștătură, și cea care conține treimile de bobine situate spre deschiderea creștăturilor, care se decalează față de prima cu două creștături. După efectuarea decalajelor, bobinele parțiale ale aceleiași faze, care sunt situate pe același dinte, se recompun, astfel că rezultă trei feluri de bobine: cele cu 100% spire, notate cu aceleași simboluri ca în variantele anterioare, bobine cu 1/3/100% spire, notate cu semnul distinctiv secund (") și bobinele cu 2/3/100% spire, notate cu semnul distinctiv terț (").

Astfel, în a patra variantă constructivă conform fig. 5 rezultă că:

- faza U are înseriate bobinele $+1''_U, -2'''_U, +3'_U, \dots, -(2k)_U, +(2k+1)_U, -(2k+2)'''_U, +(2k+3)''_U$;
- faza V are înseriate bobinele $+(2k+2)''_V, -(2k+3)'''_V, +(2k+4)'_V, \dots, -(4k+1)'_V, +(4k+2)'_V, -(4k+3)'''_V, +(4k+4)''_V$;
- faza W are înseriate bobinele $+(4k+3)''_W, -(4k+4)'''_W, +(4k+5)'_W, \dots, -(6k+2)'_W, +(6k+3)'_W, -1'''_W, +2''_W$.

RO 126814 B1

Rezultă că, în a patra variantă constructivă a invenției, perechile de dinți d_1 , d_2 , d_{2k+2} , d_{2k+3} și d_{4k+3} , d_{4k+4} au bobinate bobine parțiale din faze diferite, dar în proporții inegale, de exemplu, dintele d_1 are o bobină cu 33,3% spire din faza U (+1^u) și o bobină cu 66,6% spire din faza W (-1^w) etc.

Utilizând metode cunoscute din literatura domeniului (steaua creștăturilor, respectiv, steaua bobinelor), se pot calcula factorii de înfășurare spațiali, fundamentali sau armonici, pentru a pune în evidență modul în care, cu prețul scăderii ușoare a unde fundamentale, se pot reduce sensibil undele armonice spațiale. Dacă se notează factorul de înfășurare fundamental, pentru prima variantă constructivă (11), cu k_{wp-I} , atunci factorii de înfășurare fundamentali, pentru variantele constructive II, III și IV, se pot calcula, ținând seama de unghiurile de defazaj, între înfășurările parțiale ale fiecărei faze, după cum urmează:

- varianta constructivă II se poate considera ca două înfășurări corespunzătoare variantei constructive I, defazate cu o jumătate din unghiul geometric γ_{cg} ;

- varianta constructivă III se poate considera ca două înfășurări corespunzătoare variantei constructive I, defazate cu un unghi geometric γ_{cg} ;

- varianta constructivă IV se poate considera ca trei înfășurări corespunzătoare variantei constructive I, defazate, una față de alta, cu câte o jumătate din unghiul geometric γ_{cg} .

Astfel, cu referire la factorii de înfășurare fundamentali, din precizările de mai sus, rezultă că următoarele relații sunt adevărate:

$$k_{wp-II} = k_{wp-I} \times \cos \frac{30^\circ}{2k+1}; k_{wp-III} = k_{wp-I} \times \cos \frac{60^\circ}{2k+1}; k_{wp-IV} = k_{wp-I} \times \frac{1}{3} \left(1 + 2 \cos \frac{60^\circ}{2k+1} \right) \quad (12)$$

Se poate arăta că, spre deosebire de factorii de înfășurare fundamentali, care suferă, pentru variantele constructive II, III și IV, conform (12), ușoare atenuări în raport cu varianta I, dimpotrivă, factorii de înfășurare ai armonicilor spațiale, îndeosebi ai subarmonicilor, sunt atenuați semnificativ. Pentru evidențierea acestui fapt, în tabelul 3, sunt prezentate rezultate de calcul, pentru două cazuri particulare, și anume, pentru înfășurările caracterizate de $k = 1$ (9 creștături, 8 poli) și $k = 2$ (15 creștături, 14 poli), în ceea ce privește factorii de înfășurare spațiali, fundamentali și armonici.

Tabelul 3

Factori de înfășurare spațiali, pentru înfășurările din clasa studiată cu $k = 1$ și $k = 2$.
Fundamentala electrică este cu caractere aldine

Ordinul armonicii spațiale v	$k=1$ (9 creștături, 8 poli)				$k=2$ (15 creștături, 14 poli)			
	Variant a I	Variant a II	Variant a III	Variant a IV	Variant a I	Variant a II	Variant a III	Variant a IV
1	0,0607	0,0207	0,0465	0,0108	0,0213	0,0044	0,0194	0,0059
2	0,1398	0,0899	0,0243	0,0304	0,0445	0,0181	0,0298	0,0050
4	0,9452	0,9309	0,8882	0,9072	0,1111	0,0825	0,0116	0,0448
5	0,9452	0,9309	0,8882	0,9072	0,1732	0,1500	0,0866	0,1155
7	0,1398	0,0899	0,0243	0,0304	0,9514	0,9462	0,9306	0,9376
8	0,0607	0,0207	0,0465	0,0108	0,9514	0,9462	0,9306	0,9376

RO 126814 B1

Ținând seama că amplitudinea unei armonice spațiale este proporțională cu mărimea factorului de înfășurare și invers proporțional cu ordinul armonicii, este evident că, de exemplu, amplitudinea subarmonicii de ordin $v = 1$, pentru înfășurarea corespunzătoare lui $k = 1$, reprezintă, pentru variantele I, II, III și IV, respectiv, 25,7, 8,9, 20,9 și 4,76% din fundametalele corespunzătoare.

RO 126814 B1

Revendicări

1

3 1. Înfășurare fracționară, trifazată, simetrică, concentrată pe dinte, având un număr
de $Z = 3(2k+1)$ creștături și un număr de $2p = 2(3k+1)$ poli, pentru orice număr $k = 0, 1, 2, \dots$
5 **caracterizată prin aceea că** fiecare dintre cei $6k+3$ dinți egal distanțați ($d_1, d_2, \dots, d_{2k+1}, d_{2k+2},$
7 $d_{2k+3}, \dots, d_{4k+2}, d_{4k+3}, \dots, d_{6k+3}$) ai unei armături de mașină electrică conține câte o bobină
înfășurată în jurul său, într-un sens sau în celălalt sens, definit prin semnul (+) sau (-), pus
în fața numărului de identificare al bobinelor, astfel încât:

9 - faza U conține $2k+1$ bobine înseriate, înfășurate în jurul dinților ($d_1, d_2, \dots, d_{2k+1}$), și
anume, bobinele $(+1)_U, -2_U, +3_U, \dots, -(2k)_U, +(2k+1)_U$;

11 - faza V conține $2k+1$ bobine înseriate, înfășurate în jurul dinților ($d_{2k+2}, d_{2k+3}, \dots, d_{4k+2}$),
și anume, bobinele $+(2k+2)_V, -(2k+3)_V, +(2k+4)_V, \dots, -(4k+1)_V, +(4k+2)_V$ și

13 - faza W conține $2k+1$ bobine înseriate, înfășurate în jurul dinților ($d_{4k+3}, d_{4k+4}, \dots, d_{6k+3}$),
și anume, bobinele $+(4k+3)_W, -(4k+4)_W, +(4k+5)_W, \dots, -(6k+2)_W, +(6k+3)_W$.

15 2. Înfășurare fracționară, trifazată, simetrică, concentrată pe dinte, având un număr
de $Z = 3(2k+1)$ creștături și un număr de $2p = 2(3k+1)$ poli, pentru orice număr $k = 0, 1, 2, \dots$
17 **caracterizată prin aceea că**, într-o altă variantă constructivă:

- faza U conține $2k+2$ bobine înseriate, înfășurate în jurul dinților ($d_1, d_2, \dots, d_{2k+1}, d_{2k+2}$),
19 și anume, bobinele $(+1'_U$ și $-(2k+2)'_U$) bobinate cu 50% număr de spire pe dinții (d_1 și d_{2k+2})
și bobinele $(-2_U, +3_U, \dots, -(2k)_U, +(2k+1)_U)$ bobinate, respectiv, pe dinții ($d_2, d_3, \dots, d_{2k+1}$) cu 100%
21 spire;

- faza V conține $2k+2$ bobine înseriate, înfășurate în jurul dinților ($d_{2k+2}, d_{2k+3}, \dots, d_{4k+2},$
23 d_{4k+3}), și anume, bobinele $+(2k+2)_V$ și $-(4k+3)_V$ bobinate cu 50% număr de spire pe dinții
(d_{2k+2} și d_{4k+3}) și bobinele $(-(2k+3)_V, +(2k+4)_V, \dots, -(4k+1)_V, +(4k+2)_V)$ bobinate, respectiv, pe
25 dinții ($d_{2k+3}, d_{2k+4}, \dots, d_{4k+2}$) cu 100% spire;

- faza W conține $2k+2$ bobine înseriate, înfășurate în jurul dinților ($d_{4k+3}, d_{4k+4}, \dots, d_{6k+2},$
27 d_{6k+3}, d_1), și anume, bobinele $+(4k+3)'_W$ și $-1'_W$ bobinate cu 50% număr de spire pe dinții
(d_{4k+3} și d_1) și bobinele $(-(4k+4)_W, +(4k+5)_W, \dots, -(6k+2)_W, +(6k+3)_W)$, bobinate respectiv, pe
29 dinții ($d_{4k+4}, d_{4k+5}, d_{6k+3}$) cu 100% spire.

30 3. Înfășurare fracționară, trifazată, simetrică, conform revendicării 2, **caracterizată**
31 **prin aceea că**, în vederea asigurării caracterului simetric, sub aspectul situației laturilor de
bobină în raport cu fluxurile de dispersie ale creștăturilor, bobinele cu numere de spire pe
33 jumătate, ale fiecărei faze, sunt amplasate câte una la fundul creștăturii și cealaltă la partea
dinspre întrefier a creștăturii, astfel perechile de bobine $(+1'_U$ și $-(2k+2)'_U, +(2k+2)'_V$ și
35 $-(4k+3)'_V, +(4k+3)'_W$ și $-1'_W$), sunt amplasate, primele în partea de la fundul creștăturii, iar
cele din urmă în partea dinspre întrefier a creștăturii.

37 4. Înfășurări fracționare, trifazate, simetrice, concentrate pe dinte, având un număr
de $Z = 3(2k+1)$ creștături și un număr de $2p = 2(3k+1)$ poli, pentru orice număr $k = 0, 1, 2, \dots$
39 **caracterizate prin aceea că**, într-o altă variantă constructivă:

- faza U conține $2k+3$ bobine înseriate, înfășurate în jurul dinților ($d_1, d_2, \dots, d_{2k+1}, d_{2k+2},$
41 d_{2k+3}), și anume, bobinele $(+1'_U, -2'_U, -(2k+2)'_U$ și $+(2k+3)'_U)$ bobinate cu 50% număr de spire,
respectiv, pe dinții (d_1, d_2, d_{2k+2} și d_{2k+3}), și bobinele $(+3_U, -4_U, \dots, -(2k)_U, +(2k+1)_U)$ bobinate,
43 respectiv, pe dinții ($d_3, d_4, \dots, d_{2k+1}$) cu 100% spire;

- faza V conține $2k+3$ bobine înseriate, înfășurate în jurul dinților ($d_{2k+2}, d_{2k+3}, \dots, d_{4k+2},$
45 d_{4k+3}, d_{4k+4}), și anume, bobinele $+(2k+2)'_V, -(2k+3)'_V, -(4k+3)'_V$ și $+(4k+4)'_V)$ bobinate cu 50%
număr de spire, respectiv, pe dinții ($d_{2k+2}, d_{2k+3}, d_{4k+3}$ și d_{4k+4}), și bobinele $+(2k+4)_V,$
47 $-(2k+5)_V, \dots, -(4k+1)_V, +(4k+2)_V)$ bobinate, respectiv, pe dinții ($d_{2k+4}, d_{2k+5}, \dots, d_{2k+2}$) cu 100%
spire;

RO 126814 B1

- faza W conține $2k+3$ bobine înseriate, înfășurate în jurul dinților ($d_{4k+3}, d_{4k+4}, \dots, d_{6k+2}, d_{6k+3}, d_1$ și d_2), și anume, bobinele $(+(4k+3)'_W, -(4k+4)'_W, -1'_W$ și $+2'_W)$ bobinate cu 50% număr de spire, respectiv, pe dinții (d_{4k+3}, d_{4k+4}, d_1 și d_2), și bobinele $(+(4k+5)_{W'}, -(4k+6)_{W'}, \dots, -(6k+2)_{W'}, +(6k+3)_{W'})$ bobinate, respectiv, pe dinții ($d_{4k+5}, d_{4k+6}, \dots, d_{6k+3}$) cu 100% spire. 1
5. Înfășurare fracționară, trifazată, simetrică, conform revendicării 4, **caracterizată prin aceea că**, în vederea asigurării caracterului simetric, sub aspectul situației laturilor de bobină în raport cu fluxurile de dispersie ale creștăturilor, bobinele cu numere de spire pe jumătate, ale fiecărei faze, sunt amplasate câte două, la fundul creștăturii și celelalte două la partea dinspre întrefier a creștăturii, astfel perechile de bobine $(+1'_U$ și $-2'_U, +(2k+2)'_V$ și $-(2k+3)'_V, +(4k+3)'_W$ și $-(4k+4)'_W)$ sunt bobinate la fundul creștăturii, iar perechile de bobine $(-(2k+2)'_U$ și $+(2k+3)'_U, -(4k+3)'_V$ și $+(4k+4)'_V, -1'_W$ și $+2'_W)$ sunt bobinate în partea dinspre întrefier a creștăturii. 3
6. Înfășurare fracționară, trifazată, simetrică, concentrată pe dinte, având un număr de $Z = 3(2k+1)$ creștături și un număr de $2p = 2(3k+1)$ poli, pentru orice număr $k = 0, 1, 2, \dots$ **caracterizată prin aceea că**, într-o altă variantă constructivă: 5
- faza U conține $2k+3$ bobine înseriate, înfășurate în jurul dinților ($d_1, d_2, \dots, d_{2k+1}, d_{2k+2}, d_{2k+3}$), și anume, bobinele $(+1''_U$ și $+(2k+3)''_U)$ bobinate cu 33,3% spire, respectiv, pe dinții (d_1, d_{2k+3}), bobinele $(-2'''_U$ și $-(2k+2)'''_U)$ bobinate cu 66,6% spire, respectiv, pe dinții (d_2, d_{2k+2}) și bobinele $(+3_U, -4_U, \dots, -(2k)_U, +(2k+1)_U)$ bobinate, respectiv, pe dinții ($d_3, d_4, \dots, d_{2k+1}$) cu 100% spire; 7
- faza V conține $2k+3$ bobine înseriate, înfășurate în jurul dinților ($d_{2k+2}, d_{2k+3}, \dots, d_{4k+2}, d_{4k+3}, d_{4k+4}$), și anume, bobinele $(+(2k+2)''_V$ și $+(4k+4)''_V)$ bobinate cu 33,3% spire, respectiv, pe dinții (d_{2k+2}, d_{4k+4}), bobinele $(-(2k+3)'''_V$ și $-(4k+3)'''_V)$ bobinate cu 66,6% număr de spire, respectiv, pe dinții (d_{2k+3}, d_{4k+3}), și bobinele $(+(2k+4)_V, -(2k+5)_V, \dots, -(4k+1)_V, +(4k+2)_V)$ bobinate, respectiv, pe dinții ($d_{2k+4}, d_{2k+5}, \dots, d_{4k+2}$) cu 100% spire; 9
- faza W conține $2k+3$ bobine înseriate, înfășurate în jurul dinților ($d_{4k+3}, d_{4k+4}, \dots, d_{6k+2}, d_{6k+3}, d_1$ și d_2), și anume, bobinele $(+(4k+3)''_W$ și $+2''_W)$ bobinate cu 33,3% spire, respectiv, pe dinții (d_{4k+3}, d_2), bobinele $(-(4k+4)'''_W$ și $-1'''_W)$ bobinate cu 66,6% număr de spire, respectiv, pe dinții (d_{4k+4}, d_1) și bobinele $(+(4k+5)_{W'}, -(4k+6)_{W'}, \dots, -(6k+2)_{W'}, +(6k+3)_{W'})$ bobinate, respectiv, pe dinții ($d_{4k+5}, d_{4k+6}, \dots, d_{6k+3}$) cu 100% spire. 11
7. Înfășurare fracționară, trifazată, simetrică, conform revendicării 6, **caracterizată prin aceea că**, în vederea asigurării caracterului simetric, sub aspectul situației laturilor de bobină în raport cu fluxurile de dispersie ale creștăturilor, bobinele cu numere de spire parțiale, adică 33,3%, respectiv, 66,6%, ale fiecărei faze, sunt amplasate câte două la fundul creștăturilor și celelalte două la partea dinspre întrefier a creștăturilor, astfel perechile de bobine $(+1''_U$ și $-2'''_U, +(2k+2)''_V$ și $-(2k+3)'''_V, +(4k+3)''_W$ și $-(4k+4)'''_W)$ sunt bobinate la fundul creștăturilor, iar perechile de bobine $(-(2k+2)''_U$ și $+(2k+3)'''_U, -(4k+3)'''_V$ și $+(4k+4)'''_V, -1''_W$ și $+2'''_W)$ sunt bobinate în partea dinspre întrefier a creștăturilor. 13

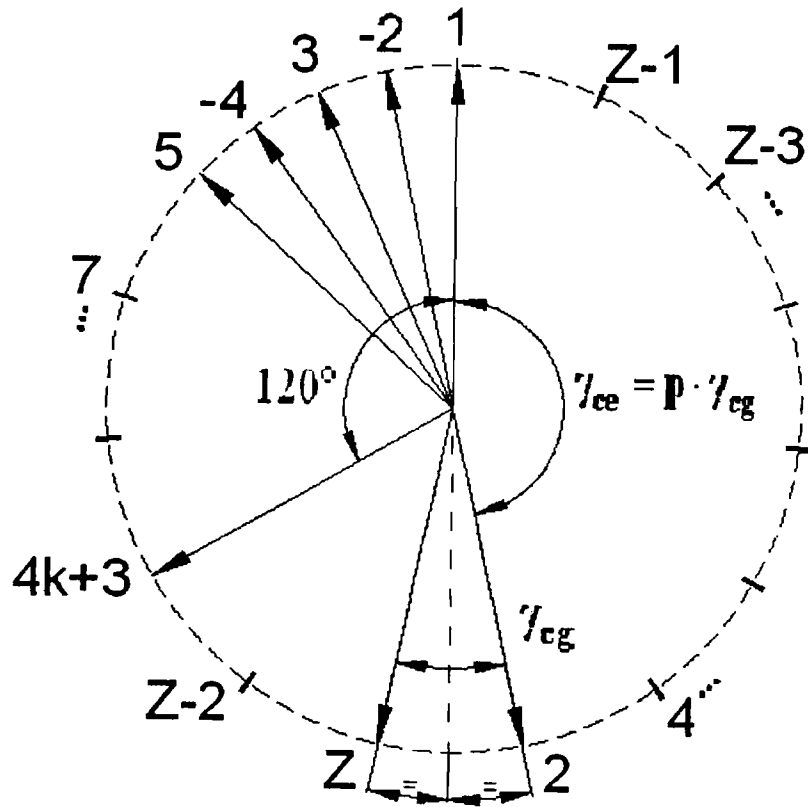


Fig. 1

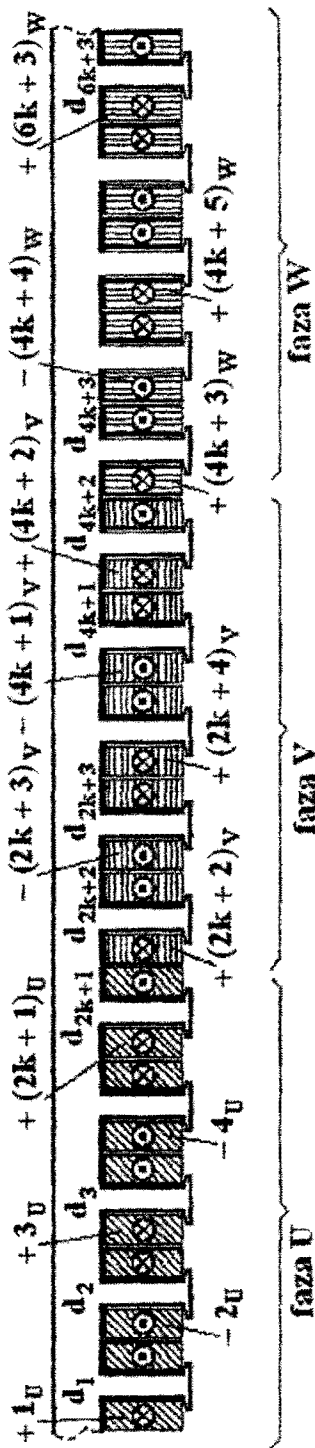


Fig. 2

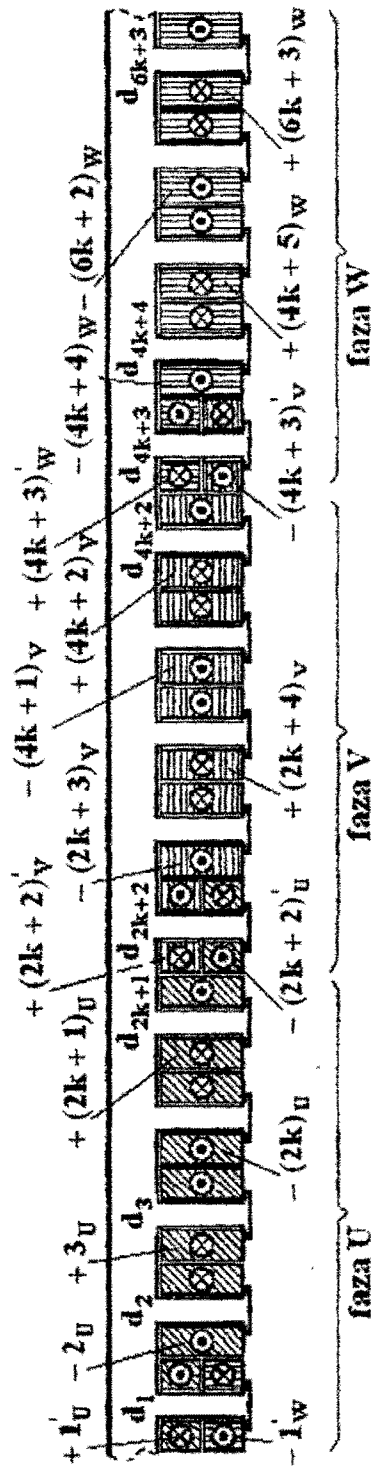


Fig. 3

