



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2015 00935

(22) Data de depozit: 02/12/2015

(41) Data publicării cererii:
28/07/2017 BOPI nr. 7/2017

(71) Solicitant:
• NEXTROM INDUSTRIES S.R.L.,
STR. AVIATORILOR NR. 10, GHERCEȘTI,
DJ, RO

(72) Inventatori:
• VLAD ION, STR. A.L. CUZA NR. 44,
BL. 8D, SC. 1, AP. 10, CRAIOVA, DJ, RO;
• ENACHE SORIN, STR. I. GH. DUCA
NR. 18, BL. J34, SC. 1, AP. 12, CRAIOVA,
DJ, RO;

• ENACHE MONICA-ADELA,
STR. I. GH. DUCA NR. 18, BL. J 34, SC. 1,
ET. 3, AP. 12, CRAIOVA, DJ, RO;
• MECHE MARIUS,
STR. C. BRÂNCOVEANU NR. 18,
CRAIOVA, DJ, RO

(74) Mandatar:
CABINET DOINA ȚULUCA, BD.LACUL TEI
NR.56, BL.19, SC.B, AP.52, SECTOR 2,
BUCUREȘTI

(54) METODĂ PENTRU OPTIMIZAREA PROIECTĂRII
MOTOARELOR DE CURENT CONTINUU FĂRĂ PERII

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă pentru optimizarea proiectării motoarelor de curent continuu fără perii. Metoda conform invenției se bazează pe calcularea unei funcții obiectiv în nodurile unei rețele, și eliminarea succesivă a nodurilor în care funcția are o valoare ridicată, funcția obiectiv având drept variabile principale pătura de curent, densitatea de curent în înfășurarea indusului, inducția magnetică din întrefier, inducțiile magnetice în dinte, jugul indus, respectiv, inductor, diametrul mașinii și întrefierul, în care metoda cuprinde

etapele de stabilire a pasului de căutare pe fiecare direcție, stabilire a punctelor în care se va calcula valoarea funcției obiectiv, inițializare a căutării pornind din punctul de minimum, trecere de la un punct de căutare la altul, modificând o singură componentă a punctului de căutare, și evaluare a funcției obiectiv în toate nodurile rețelei, pentru a obține un minimum global de calcul.

Revendicări: 1



Metodă pentru optimizarea proiectării motoarelor de curent continuu fără perii

Invenția se referă la o metodă de optimizare a proiectării motoarelor de curent continuu fără perii folosite la acționarea vehiculelor de transport persoane de mici dimensiuni (trotineta/bicicleta/scuter electric, etc.). Aceste motoare au multe particularități de proiectare, construcție și funcționare specifice acestor mijloace: sunt în construcție închisă IP 44, se montează chiar în butucul roții, au o construcție robustă rezistentă la șocuri, vibrații, intemperii, reglaj de viteză în limite largi. De aceea se propune soluția constructivă cu inductorul (rotorul) exterior, realizat din magneți permanenți de formă paralelipipedică, lipiți pe interiorul unui cilindru, și cu indusul (statorul) la interior unde vom avea înfășurarea plasată în creștături semiînchise. Câmpul magnetic inductor este realizat cu *magneți permanenți pe bază de pământuri rare*, NeFeB care prezintă inducție remanentă medie, intensitatea câmpului magnetic coercitiv și energia magnetică maximă foarte mare.

Performanțele mașinii sunt stabilite de caracteristicile de funcționare în regim staționar și dinamic, prețul de cost, dimensiuni de gabarit, nivelul de zgomot, fiabilitatea, etc. Toate acestea constituie elemente decisive în ceea ce privește succesul tehnic și economic al unei mașini noi. De asemenea, utilizarea pe o scară tot mai mare a electronicii de comandă asociată cu componente de putere, la alimentarea motoarelor de curent continuu fără perii, a permis trecerea la optimizarea funcționării acestora, performanțele obținute fiind deosebite.

Modelul matematic

Invenția propusă urmărește completarea modelelor matematice cunoscute, pe baza cărora să se facă proiectarea optimă cu metode numerice evolute a motoarelor de curent continuu fără perii. La mașinile cu puteri mici se recomandă o înfășurare cu trei faze conectate în stea, în dublu strat, unde funcționează simultan câte două faze înseriate, alimentate pe rând de un comutator cu tranzistoare sau tiristoare.

Dimensionarea magnetului și stabilirea punctului optim de funcționare pe dreapta de revenire depinde de configurația circuitului magnetic și este o etapă complicată.

Procedura de optimizare propusă ca invenție rezolvă numeric toate etapele ce privesc construcția grafică din fig. 1, stabilirea dimensiunilor magnetului și a fluxului util. Punctele care definesc curba de demagnetizare în mărimi raportate a magnetului permanent utilizat, $B' = f(H')$, sunt calculate cu relația:

$$B' = \frac{1-H'}{1-\alpha_{mg}H'} \quad (1)$$

unde avem variabila $H' = (0 \div 1.0)$, și coeficientul de revenire al magnetului:

$$\gamma_{mg} = \frac{BH_{max}}{B_r H_c} = 0.73 \quad \alpha_{mg} = \frac{2\sqrt{\gamma_{mg}}-1}{\gamma_{mg}} = 0.971 \quad (2)$$

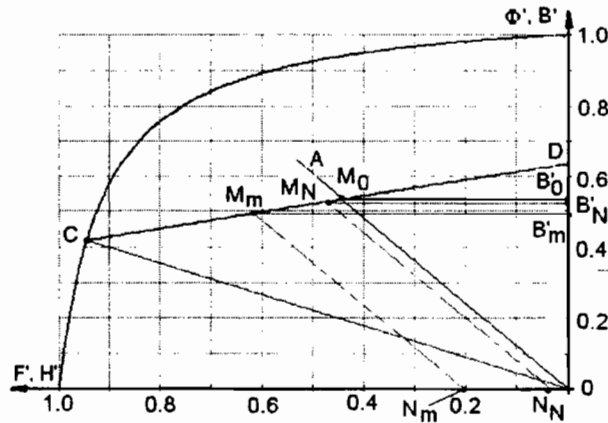


Fig. 1. Determinarea punctului de funcționare pe curba de revenire a magnetului permanent.

Dreapta OC reprezintă dependența fluxului magnetic liber de t.m.m. relativă, și face cu axa Ox unghiul $\alpha_2 = \arctg \lambda_2$ (λ_2 – permeanța relativă de dispersie a magnetului liber), iar dreapta OA reprezintă dependența fluxului exterior relativ al magnetului și face cu axa Ox unghiul $\alpha_1 = \arctg \lambda_1$ (λ_1 – permeanța relativă de dispersie a circuitului exterior magnetului).

Pe axa Ox se fixează punctele N_m și N_N ce definesc valoarea relativă maximă/nominală a reacției longitudinale a indusului, iar dreptele $N_m M_m$ și $N_N M_N$ sunt paralele cu OA. Punctele B'_{M0} , B'_{MN} și B'_{Mm} reprezintă inducțiile magnetice relative de la funcționarea în gol, sarcină și cea maximă, folosite la calculul fluxul total al magnetului $\Phi_{mg} = B_r B_{MN} S_{mg}$ și a celui util $\Phi_u = \Phi_{mg} / k_{\sigma mg}$.

În final se pune condiția ca între Φ_u și cel stabilit în etapa de proiectare Φ să avem o diferență maximă de 1%, iar în caz contrar se modifică grosimea magnetului și se reiau etapele prezentate.

Toate aceste operații sunt făcute în metoda de proiectare-optimizare propusă, care ne permite să stabilim tipul de magnet și punctual optim de funcționare, într-un timp scurt și cu eroare mică. Simulările care s-au făcut, au adus informații strict necesare cantitative și calitative, pentru corectarea modelului matematic, definitivarea parametrilor și a soluțiilor constructive.

Modelul matematic utilizat în proiectare ne oferă: consumurile de materiale folosite, costurile aferente, pierderile totale din mașină, parametrii importanți necesari în sistemele de comandă și control, etc.

Cunoscând C_{ma} - costul materialelor active folosite, și pe k_f - factor de producție, dependent de procesul și tehnologia de fabricație existentă, determinat de la motoare de tip similar, se poate calcula C_f - costul de fabricație, $C_f = k_f \cdot C_{ma}$. Pentru C_e - costul pierderilor de energie în exploatare se are în vedere N_{ore} - numărul de ore de funcționare/an al motorului, c_{el} - costul unui kWh de energie electrică, T_{ri} - timpul de recuperare a investiției, Σp - pierderile totale din mașină, $C_e = N_{ore} \cdot T_{ri} \cdot c_{el} \cdot \Sigma p$.

Optimizarea mașinilor electrice a dobândit o atenție considerabilă în prezent, având în vedere uriașele cheltuieli de fabricație și de exploatare suportate de producător și beneficiar.

Criteriul stabilit la proiectarea optimă a motoarelor de curent continuu fără perii, folosite în acționarea mijloacelor de transport de dimensiuni mici pentru persoane, este C_t - cost total minim al mașinii, rezultând astfel funcția obiectiv.

$$f(\bar{x}) = C_t = C_f + C_e \quad (3)$$

Pentru optimizare s-a considerat ca importante 8 variabile: A - pătura de curent, J_a - densitatea de curent în înfășurarea indusului, B - inducția magnetică din întrefier, B_d , B_{ja} , B_{js} - inducțiile magnetice în dinte, jugul indus, respectiv inductor, D - diametrul mașinii, δ - întrefierul. A rezultat astfel funcția obiectiv $f(x) = C_t$, dependentă de următoarele variabile:

$$C_t = f(A, B, J_a, B_{ja}, B_{js}, D, \delta) \quad (4)$$

unde restricțiile impuse de beneficiar sunt dimensiunile de gabarit (D_e - diametrul exterior, L_e lungimea totală):

$$D_e \leq D_{e,max} \quad L_e \leq L_{e,max} \quad (5)$$

iar, restricțiile pe variabile se stabilesc din considerente de încălzire a mașinii și de a limita domeniul de căutare:

$$x_{min_i} \leq x_i \leq x_{max_i} \\ x_i = \{A, B, J_a, B_{ja}, B_{js}, D, \delta\} \quad (6)$$

Se propune ca la variabilele de natura solicitărilor electromagnetice (J_a , B , B_d , B_{ja} , B_{js}) să avem o variație în limitele -30%, respectiv +15% față de valoarea de referință dată de literatura de specialitate. La variabilele care definesc dimensiunile constructive (D , δ) putem stabili o variație în limite mai largi -40%, respectiv +50% față de valoarea de referință obținută prin proiectarea normală. De exemplu, pentru pătura de curent avem:

$$A = [A_{min}, A_{max}] = [0,70 \div 1,15] A_m \quad (7)$$

Sunt situații când limita superioară sau cea inferioară nu poate fi respectată, deoarece anumite condiții restrictive, tehnice sau tehnologice nu sunt îndeplinite.

Dacă la motorul proiectat condițiile restrictive nu sunt îndeplinite, atunci modelul matematic este reluat pentru alte valori atribuite variabilelor. O proiectare optimă a unui motor de curent continuu fără perii, înseamnă o reducere importantă a costului total (până la 25%).

Determinarea optimului

Problematica optimizării presupune, alegerea unui obiectiv și apoi elaborarea unei metode matematice evolute, de căutare a combinației de variabile care asigură atingerea obiectivului ales.

Criteriul stabilit la proiectarea optimă a motoarelor de curent continuu fără perii, este C_1 –cost total minim (3), (4), și minimul se determină cu o metodă explorativă, deoarece funcția obiectiv este multivariabilă, neliniară, discontinuă.

Metoda parcurgeri de noduri spațiale

Această metodă a fost adaptată proiectării optime a mașinilor electrice și presupune calculul funcției obiectiv în nodurile rețelei, eliminarea succesivă a nodurilor în care funcția are valoarea mare, și are următoarele etape de lucru:

a) se stabilește pasul de căutare pe fiecare direcție (ΔA , ΔB , ΔJ_a , ΔB_{ja} , ΔB_{js} , ΔD , $\Delta \delta$) cu relații de forma:

$$\Delta A = \frac{A_{max} - A_{min}}{n_A} \quad \Delta B = \frac{B_{max} - B_{min}}{n_B} \dots \dots, \quad (8)$$

unde, n_A , n_B , n_{Ja} , n_{Bja} , n_{Bjs} , n_D , n_δ reprezintă numărul de puncte intermediare pe fiecare direcție de căutare, stabilite în raport de precizia dorită;

b) se stabilesc punctele "nodurile spațiale": $P_1, P_2, P_3, \dots, P_N$ în care se va calcula valoarea funcției obiectiv;

c) se va inițializa căutarea pornind din punctul de minim;

e) trecerea de la un punct de căutare la altul se face modificând o singură componentă a punctului de căutare. Acest lucru conferă un caracter ordonat și ușor de urmărit căutării;

f) în urma evaluării funcției obiectiv în toate nodurile rețelei se obține un *minim global de calcul*. Astfel se obține "motorul optim", care respectă datele nominale și condițiile restrictive impuse de beneficiar.

De adăugat că la ora actuală preocupările legate de dezvoltarea de noi metode și procedee de a optimiza construcția mașinilor electrice, constituie o activitate permanentă.

Metoda de optimizare propusă ca invenție are următoarele avantaje:

Cercetarea și-a propus optimizarea proiectării unui motor de curent continuu fără perii excitat cu magneți permanenți destinat acționării directe a roții motoare a unui vehicul de dimensiuni mici (trotinetă electrică, bicicletă electrică, etc.), cu obiectivele:

-s-a făcut un studiu al metodelor și criteriilor de optimizare staționare folosite în proiectarea motoarelor de curent continuu fără perii;

-s-au identificat condițiile restrictive specifice motoarelor de tracțiune de curent continuu fără perii, alimentate cu dispozitive de comandă;

-s-a stabilit criteriul de optimizarea pentru proiectarea optimală a motoarelor de tracțiune de curent continuu fără perii;

-s-a stabilit modelul matematic și s-a realizat programul de calcul pentru proiectarea optimală a motoarelor de tracțiune, cu dimensiuni de gabarit impuse;

-s-a stabilit funcția obiectiv (cost total minim) după care se face optimizarea;

-s-a făcut un studiu pentru stabilirea variabilelor principale.

Efectele optimizării se pot pune în evidență mult mai bine printr-un exemplu concret de motor de curent continuu fără perii cu magneți permanenți. În acest caz se pot compara costurile obținute la “motorul optim” cu cele de la motorul de referință rezultat printr-o proiectare normală conform literaturii, sau cu cele de la un motor existent. Se recomandă ca la aceste comparații să calculăm costurile relative: c_t – costul total, c_f – costul de fabricație, c_e – costul de exploatare:

$$c_t = \frac{C_{t.var.mot}}{C_{t.m}} \quad c_f = \frac{C_{f.var.mot}}{C_{f.m}} \quad c_e = \frac{C_{e.var.mot}}{C_{e.m}} \quad (9)$$

$C_{f.var.mot}$ -costul de fabricație pentru varianta de motor analizată, $C_{f.m}$ -costul de fabricație la motorul luat ca referință.

Costurile motorului (total, fabricație și exploatare), sunt dependente de costurile materiilor prime existente pe piață, de caracteristicilor materialelor electrotehnice folosite, de tehnologia de fabricație folosită, de costul energiei electrice, și de costul altor consumuri energetice.

Toate aceste costuri sunt variabile de la o perioadă de timp la alta. De aceea, procedura de optimizare a fost gândită flexibil, în sensul că prin puține modificări se poate schimba criteriul

de optimizare urmărit și astfel proiectantul poate răspunde la alte cerințe (criterii) ale beneficiarului.

Criteriile de stabilire a „motorului optim” pot varia de la o etapă la alta, în funcție de o serie de factori legați fie de procesul de producție, fie de cel de exploatare, de caracteristicile și costurile materialelor electrotehnice folosite, etc.

Caracteristicile de funcționare, pornire și reglaj de viteză ale motorului de curent continuu fără perii astfel optimizat, va corespunde condițiilor de competitivitate și exigentelor înalte impuse de echipamentele complexe folosite la vehiculele de transport persoane.

Validarea rezultatelor s-a realizat prin confruntarea la conferințe internaționale și prin publicarea în reviste de largă circulație.

Metoda de optimizare a motoarelor de curent continuu fără perii prezentată detaliat are următoarele avantaje:

Pachetul de programe folosit la proiectarea optimală este flexibil permițând alegerea de combinații ale valorilor variabilelor până la stabilirea soluției finale.. Proiectantul poate schimba criteriul de optimizare urmărit prin puține modificări, și astfel se poate răspunde la cerințele fabricantului și ale beneficiarului, condiționate de procesul de producție sau de cel de exploatare, de caracteristicile și costurile materialelor electrotehnice folosite, etc.

Metoda de optimizare propusă ca invenție rezolvă în timp scurt prin metode numerice evaluate și iterații, toate etapele ce privesc stabilirea dimensiunilor magnetului și a punctului optim de funcționare, astfel ca diferența între fluxul util și cel stabilit în etapa de proiectare să fie de maxim 1%.

Pachetul de programe folosit la proiectare optimală este original, are la bază un model matematic cunoscut în literatură dar cu foarte multe îmbunătățiri, este dotat cu o bibliotecă care conține caracteristicile materialelor electrotehnice folosite, și are ca mărimi de intrare datele nominale ale mașinii și dimensiunile de gabarit impuse. Dacă motorul proiectat nu corespunde condițiilor restrictive impuse, sau criteriul de optimizare nu este îndeplinit, atunci modelul matematic este reluat pentru alte valori atribuite variabilelor până obținem „motorul optim”.

Stabilirea numărului optim de variabile principale, s-a făcut pe baza unui studiu aprofundat din literatura de specialitate și în urma numeroaselor simulări efectuate pe diverse modele. A rezultat că sunt necesare opt variabile principale: A - pătura de curent, J_a –densitatea de curent în înfășurarea indusului, B -inducția magnetică din întrefier, B_d , B_{ja} , B_{js} –inducțiile magnetice în dinte, jugul indus, respectiv inductor, D –diametrul mașinii, δ –întrefierul. La stabilirea numărului de variabilele și a modelului matematic s-a avut în vedere precizia rezultatelor și reducerea timpului de calcul, astfel ca oferta de proiect să se facă în timp util.

Identificarea condițiilor restrictive specifice motoarelor de tracțiune de curent continuu fără perii alimentate de la baterii prin dispozitive de comandă, este o condiție obligatorie pentru o proiectare optimală. Motorul funcționează la turație redusă, permite reglaj de viteză în limite largi, are o construcție inversă robustă, este montat direct în roată, rezistă la șocuri, vibrații, intemperii, permite o dezasamblare rapidă și relativ ușoară.

Metoda de optimizare propusă ca invenție are un program specializat de calcul și reprezentare grafică a caracteristicilor la „motorul optim”. Reprezentările grafice ale caracteristicilor mecanice și de funcționare, pun în evidență performanțele motorului proiectat.

REVENDICARE

1. Metodă pentru optimizarea proiectării motoarelor de curent continuu fără perii pe baza calculului unei funcții obiectiv în nodurile rețelei și eliminarea succesivă a nodurilor în care funcția are valoarea mare **caracterizată prin aceea că** funcția obiectiv are 8 variabile principale A- pătura de curent, J_a –densitatea de curent în înfășurarea indusului, B -inducția magnetică din întrefier, B_d , B_{ja} , B_{js} –inducțiile magnetice în dinte, jugul indus, respectiv inductor, D –diametrul mașinii, δ –întrefierul și are următoarele etape:

a) stabilirea pasului de căutare pe fiecare direcție (ΔA , ΔB , ΔJ_a , ΔB_{ja} , ΔB_{js} , ΔD , $\Delta \delta$) cu relații de forma:

$$\Delta A = \frac{A_{max} - A_{min}}{n_A} \quad \Delta B = \frac{B_{max} - B_{min}}{n_B} \dots \dots, \quad (8)$$

unde, n_A , n_B , n_{Ja} , n_{Bja} , n_{Bjs} , n_D , n_δ reprezintă numărul de puncte intermediare pe fiecare direcție de căutare, stabilite în raport de precizia dorită;

b) stabilirea punctelor "nodurile spațiale": $P_1, P_2, P_3, \dots, P_N$ în care se va calcula valoarea funcției obiectiv;

c) inițializarea căutării pornind din punctul de minim;

e) trecerea de la un punct de căutare la altul se face modificând o singură componentă a punctului de căutare;

f) evaluarea funcției obiectiv în toate nodurile rețelei pentru a se obține un *minim global de calcul*,

se obține astfel "motorul optim", care respectă datele nominale și condițiile restrictive impuse.