



(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2021 00392

(22) Data de depozit: 06/07/2021

(41) Data publicării cererii:
29/11/2021 BOPI nr. 11/2021

(71) Solicitant:
• UNIVERSITATEA DIN CRAIOVA,
STR.ALEXANDRU IOAN CUZA NR.13,
CRAIOVA, DJ, RO

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

• NICOLAE PETRE MARIAN,
STR.FILIP LAZĂR, NR.4, BL.F5, SC.1, ET.2,
AP.7, CRAIOVA, DJ, RO;
• POPESCU MARIAN, STR.REMUS, NR.24,
CRAIOVA, DJ, RO;
• NICOLAE ILEANA-DIANA,
STR.FILIP LAZĂR, NR.4, BL.F5, SC.1, ET.2,
AP.7, CRAIOVA, DJ, RO;
• POPESCU ELENA ANDRONICA,
STR.A.I.CUZA, NR.4, BL.150, SC.CC1,
AP.12, CRAIOVA, DJ, RO;
• MARINESCU RADU-FLORIN,
STR.HENRI COANDĂ, NR.62, BL.C7, SC.2,
AP.14, CRAIOVA, DJ, RO

(54) **PROCEDURA PENTRU OPTIMIZAREA PROIECTĂRII
TRANSFORMATOARELOR DE TRACȚIUNE FERROVIARĂ
UȘOARĂ**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un procedeu de optimizare a proiectării transformatoarelor de tracțiune feroviară ușoară. Procedeul, conform invenției, utilizează cinci variabile principale: B - inducția magnetică în coloană, J1/J2 - densitățile de curent din înfășurările primară și secundară, Dc/Lc - diametrul/înălțimea coloanei, variabile care sunt grupate într-o funcție obiectiv $f(x)=Ct=f(B,$

J1, J2, dC, Lc), și în care sunt avute în vedere restricții impuse de beneficiar constând în dimensiunile de gabarit și restricții impuse pe variabile din considerente de încălzire a transformatorului, grupate într-un model matematic.

Revendicări: 5



DESCRIEREA INVENȚIEI

OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI	
Cerere de brevet de invenție	
Nr. a 22	392
Data depozit 06-07-2021	

PROCEDURĂ PENTRU OPTIMIZAREA PROIECTĂRII TRANSFORMATOARELOR DE TRACȚIUNE FERROVIARĂ UȘOARĂ

Invenția descrie o procedură de optimizare a proiectării transformatoarelor monofazate pentru tracțiunea feroviara usoara (rame electrice urbane si interurbane). Aceste transformatoare au multe particularități de proiectare, construcție și funcționare specifice echipamentelor feroviare: sunt în construcție închisă IP 54, se montează chiar pe materialul rulant (are dimensiuni de gabarit impuse), tensiunea de scurtcircuit impusa 20%, au o construcție robustă rezistentă la șocuri, vibrații, intemperii si suprasarcini de durata. De aceea se propune soluția constructivă cu infasurarea primara in galeți, alimentata de la linia de contact (25kV), doua infasurari secundare de tracțiune realizate din folie de cupru si o infasurare pentru servicii auxiliare. Cele doua secundare de tracțiune, alimenteaza cu energie electrica motoarele asincrone prin intermediul convertoarelor statice de tensiune si frecventa.

Performanțele transformatorului de tracțiune feroviara usoara 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 transformatorului de tracțiune, motiv care a determinat trecerea la optimizarea proiectării si funcționării acestora.

Modelul matematic

Invenția propusă urmărește completarea modelelor matematice cunoscute pentru proiectarea transformatoarelor monofazate, cu noutati specifice transformatoarelor de tracțiune. In perioada cat dureaza demarajul, avem un un regim termic ridicat și se impune un sistem de răcire special, realizat prin circulația forțată a uleiului și folosirea unui schimbător de căldură, unde acționează un ventilator pentru a intensifica transferul de căldură.

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 transformator, 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 transformatoare de tip similar, se poate calcula C_f –costul de fabricație, $C_f = k_f * C_{ma}$.

Pentru C_e -costul pierderilor de energie în exploatare se are în vedere N_{ore} -numărul de ore de funcționare/an al transformatorului de tracțiune, $c_{el.a} / c_{el.r}$ -costul unui kWh/ kVARh de energie electrică activă, respectiv reactivă, T_{ri} -timpul de recuperare a investiției, $\Sigma p / \Sigma q$ -pierderile totale/ consumul de putere reactivă, $C_e = N_{ore} * T_{ri} * (c_{el.a} * \Sigma p + c_{el.r} * \Sigma q)$.

Optimizarea proiectării transformatoarelor de tracțiune 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 transformatorului de tracțiune ușoară, folosită în acționarea mijloacelor de transport feroviare ușoare pentru transport persoane, este C_t -cost total, rezultând astfel funcția obiectiv.

$$f(\bar{x}) = C_t = C_f + C_e \quad (1)$$

Optimizarea presupune minimizarea lui C_t , și în acest scop s-a considerat că sunt importante următoarele 5 variabile: B -inducția magnetică în coloană, J_1 / J_2 -densitățile de curent din înfășurarea primară/ secundară, D_c / L_c -diametrul/ înălțimea coloanei. A rezultat astfel funcția obiectiv $f(\bar{x}) = C_t$, dependentă de următoarele variabile:

$$C_t = f(B, J_1, J_2, D_c, L_c) \quad (2)$$

unde restricțiile impuse de beneficiar sunt dimensiunile de gabarit (L_c -lungimea, l_e -latimea, H_e -înălțimea) și u_{sc} -tensiunea de scurtcircuit:

$$L_e \leq L_{e.max} \quad l_e \leq l_{e.max} \quad H_e \leq H_{e.max} \quad u_{sc.min} \leq u_{sc} \leq u_{sc.max} \quad (3)$$

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

$$x_{min_i} \leq x_i \leq x_{max_i} \\ x_i = \{B, J_1, J_2, D_c, L_c\} \quad (4)$$

Se propune ca la variabilele de natură solicitărilor electromagnetice (J_1, J_2, B) să avem o variație în limitele -30%, respectiv +10% față de valoarea de referință dată de literatura de specialitate. La variabilele care definesc dimensiunile constructive (D_c, L_c) putem stabili o variație în limite mai largi -40%, respectiv +40% față de valoarea de referință obținută prin proiectarea normală. De exemplu, pentru inducția magnetică din coloană avem:

$$B = [B_{min}, B_{max}] = [0,70 \div 1,10] B_{tr} \quad (5)$$

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

Dacă la transformatorul care se optimizează condițiile restrictive nu sunt îndeplinite, atunci modelul matematic este reluat pentru alte valori atribuite variabilelor. O proiectare optimă a transformatorului de tracțiune, înseamnă o reducere importantă a costului total (până la 10%).

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 transformatorului de tracțiune feroviara usoara, este C_t –cost total minim (1), (2), și minimul se determină cu o metodă explorativă, deoarece funcția obiectiv este multivariabilă, neliniară, discontinuă.

Metoda parcurgerii de noduri spațiale

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

a) se stabilește pasul de căutare pe fiecare direcție (ΔB , ΔJ_1 , ΔJ_2 , ΔD_c , ΔL_c) cu relații de forma:

$$\Delta B = \frac{B_{max} - B_{min}}{n_B} \quad \Delta J_1 = \frac{J_{1,max} - J_{1,min}}{n_{J1}} \dots, \Delta D_c = \frac{D_{c,max} - D_{c,min}}{n_{Dc}} \dots \quad (6)$$

unde, n_B , n_{J1} , n_{J2} , n_{Dc} , n_{Lc} , reprezintă numărul de puncte intermediare pe fiecare direcție de căutare, stabilite în raport de precizia dorită;

b) se stabilesc punctele "nodurile spațiale": $P_1, P_2, P_3, \dots, P_N, P_k(B_{k1}, J_{1,k2}, J_{2,k3}, D_{c,k4}, L_{c,k5})$ unde $k_1=1,2,\dots,n_B$, $k_2=1,2,\dots,n_{J1}$...). În toate nodurile rețelei 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 "transformatorul de tracțiune 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 transformatoarelor electrice, constituie o activitate permanentă.

Procedura de optimizare propusă ca invenție are următoarele avantaje:

Cercetarea și-a propus optimizarea proiectării transformatorului monofazat de tracțiune destinat echipării vehiculelor de tracțiune feroviara usoara actionate cu motoare asincrone, cu obiectivele:

-s-a făcut un studiu al metodelor și criteriilor de optimizare staționare folosite în proiectarea transformatoarelor de tracțiune monofazate;

-s-au identificat condițiile restrictive specifice acestor transformatoare, care alimentează cu energie electrica prin convertoare statice motoarele asincrone de tracțiune;

-s-a stabilit criteriul de optimizare pentru proiectarea optimală a transformatorului de tracțiune monofazat;

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

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

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

Validarea rezultatelor echipei s-a realizat prin confruntarea la numeroase conferințe internaționale de prestigiu cotate ISI / IEEE Xplore și prin publicarea în reviste de largă circulație.

Concluzii finale

Efectele optimizării se pot pune în evident mult mai bine printr-un exemplu concret de transformator de tracțiune. În acest caz se pot compara costurile obținute la "transformatorul optimizat" cu cele de la transformatorul de referință rezultat printr-o proiectare normală conform literaturii, sau cu cele de la un transformator 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:

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

$C_{f.var.tr}$ -costul de fabricație pentru varianta de transformator analizată, $C_{f.tr}$ - costul de fabricație la transformatorul luat ca referință.

Costurile transformatorului (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.

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 „transformatorului 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.

REVENDICĂRI

Procedura de optimizare a transformatorului monofazat de tractiune feroviara usoara prezentată detaliat are următoarele elemente de originalitate care sunt revendicate:

1. Pachetul de programe folosit la proiectarea optimală este flexibil deoarece permite o conversație permanentă a inginerului cu calculatorul, până la stabilirea soluției finale. Proiectantul poate schimba criteriul de optimizare urmărit prin puține modificări, și astfel se poate răspunde la alte cerințe ale fabricantului și beneficiarului, condiționate de procesul de producție sau de cel de exploatare, de caracteristicile și costurile materialelor electrotehnice folosite, etc.

2. Procedura de optimizare propusă ca invenție la proiectare optimală, 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 transformatorului, dimensiunile de gabarit și tensiunea de scurtcircuit impuse. Dacă transformatorul 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 "transformatorul optim".

3. 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 cinci variabile principale: B -inducția magnetică în coloana, J_1 / J_2 -densitățile de curent din înfășurarea primara/ secundara, D_c / L_c -diametrul/ înaltimea coloanei. 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.

4. Identificarea condițiile restrictive specifice transformatorului monofazat de tractiune este o condiție obligatorie pentru o proiectare optimală. El funcționează în condiții grele specifice tractiunii, are o construcție robustă, este montat direct pe vehicul, rezistă la șocuri, vibrații, intemperii, permite o dezasamblarea rapidă și relativ ușoară.

5. Procedura de optimizare propusă ca invenție are un program specializat de calcul și reprezentare grafică a caracteristicilor de funcționare la „transformatorul optimizat”, prin care sunt puse în evidență performanțele acestuia.