



(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2013 00286**

(22) Data de depozit: **08.04.2013**

(41) Data publicării cererii:
28.11.2014 BOPI nr. 11/2014

(71) Solicitant:
• **INDAELTRAC S.R.L., STR.BUJORULUI
NR.24, CRAIOVA, DJ, RO**

(72) Inventatori:
• **BITOLEANU ALEXANDRU,
STR. ÎMPĂRATUL TRAIAN NR.1, BL.G,
SC.1, AP.10, CRAIOVA, DJ, RO;**
• **POPESCU MIHAELA, CALEA BUCUREȘTI
NR. 47, BL. 27D, CRAIOVA, DJ, RO**

(54) **METODĂ PENTRU COMANDA INVERTOARELOR DE
TENSIUNE CU SARCINĂ REZONANTĂ PARALEL
DESTINATE ÎNCĂLZIRII PRIN INDUCȚIE**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă pentru comanda invertoarelor monofazate, utilizate la încălzirea prin inducție cu circuit de rezonanță de tip paralel. Metoda conform invenției se bazează pe legătura care există la rezonanță între valorile efective ale curenților prin inverter (3), printr-un inductor (6) și printr-un condensator (5) de rezonanță, care fac parte din schema sistemului de încălzire prin inducție, și constă din aceea că respectivi curenți prin inductor (6) și prin condensator (5) se obțin de la niște traductoare (10 și 11) de curent, iar prin însumarea lor într-un sumator (9), se obține și curentul de la ieșirea invertoarelor (3), apoi cei trei curenți se înmulțesc cu ei înșiși, iar semnalele astfel obținute se aplică unor filtre trece-jos (15, 16 și 17), la ieșirile cărora se obțin pătratele valorilor efective ale celor trei curenți, după care, în cadrul unui bloc (22), se face înmulțirea cu un coeficient (k_r) supraunitar sau subunitar, a pătratului valorii efective a curentului prin inductor, după cum se dorește să se obțină o frecvență de comandă mai mare sau mai mică decât frecvența de rezonanță a sarcinii, apoi se calculează, în cadrul unui alt sumator (19), eroarea sistemului, care este aplicată în continuare unui regulator de frecvență (20) tip PI, a cărui ieșire este valoarea numerică a frecvenței de comandă a invertoarelor, iar în cadrul unui oscilator (21) comandat în tensiune, această valoare este convertită în semnale de comandă a celor patru tranzistoare ale invertoarelor (3).

Revendicări: 5
Figuri: 6

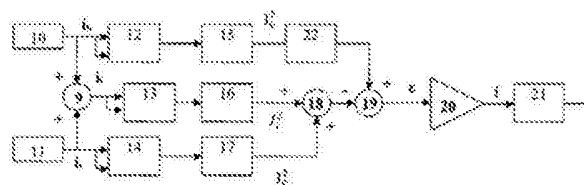


Fig. 3



METODĂ PENTRU COMANDA INVERTOARELOR DE TENSIUNE CU SARCINĂ REZONANTĂ PARALEL DESTINATE ÎNCĂLZIRII PRIN INDUCȚIE

DESCRIEREA INVENȚIEI

Domeniul invenției

Invenția se referă la comanda invertoarelor monofazate utilizate la încălzirea prin inducție cu circuit de rezonanță de tip paralel. Concret, invenția propune o metodă care permite obținerea comutației inverterului la curent nul, prin adaptarea dinamică a frecvenței de comandă la frecvența de rezonanță a sarcinii. Metoda utilizează doi curenți măsurați pe sarcină și se bazează pe o structură găsită de autori. Se definește structura necesară și se precizează rolul și funcționarea blocurilor componente.

Descrierea stadiului actual

La instalațiile de încălzire prin inducție, o bobină – inductorul de încălzire, fiind parcursă de un curent electric alternativ, produce un câmp magnetic variabil în timp. Introducând în inductor un corp conductor din punct de vedere electric (șarjă topită sau piesă brută sub diverse forme: țevă, cilindru, etc.), în acesta se vor induce curenți turbionari care, prin efect Joule, vor determina încălzirea directă sau chiar topirea corpului respectiv [1].

În comparație cu alte metode de încălzire, încălzirea prin inducție prezintă următoarele avantaje [1]:

- căldura se dezvoltă în metalul care urmează a fi încălzit cu o densitate mare de putere, rezultând o viteză de încălzire mai mare decât în cuptoarele cu încălzire indirectă;
- condițiile de lucru sunt mai ecologice, poluarea mediului fiind astfel redusă.

Instalațiile de încălzire prin inducție necesită surse de alimentare la frecvențe diferite de 50 Hz. Acestea sunt realizate din ansambluri redresor-invertor și oferă tensiuni și curenți într-o gamă largă de frecvențe, uzual de la sute de Hz până la zeci de kHz [2], [3].

Cheia obținerii unor performanțe energetice superioare este comanda inverterului la o frecvență apropiată de frecvența de rezonanță a ansamblului inductor-corp de încălzit-condensator [1-3].

Cu referire la Fig. 1, redresorul trifazat (2) este conectat la rețeaua de alimentare prin intermediul unui transformator (1). Energia de c.c. de la ieșirea redresorului este convertită în energie de c.a. de către inverterul (3). Pentru decuplarea circuitului de reglare a puterii de circuitul de reglare a frecvenței, redresorul este de regulă complet comandat. Conectarea inverterului cu circuitul de sarcină, format din inductorul (6), corpul de încălzit (7) și condensatorul de rezonanță (5), se face prin intermediul circuitului de adaptare (4), care facilitează maximizarea puterii transmise. Blocul de comandă (8) realizează două funcții importante:

- stabilește frecvența de comandă a inverterului;
- reglează transferul de putere către inductor, prin controlul tensiunii la ieșirea redresorului (în cazul invertoarelor de tensiune) sau curentului la ieșirea redresorului (în cazul invertoarelor de curent).

Principala cerință impusă buclei de reglare a frecvenței este de a realiza calarea permanentă, dinamică, pe frecvența de rezonanță a circuitului paralel inductor echivalent-condensator de compensare. Deoarece parametrii circuitului echivalent sunt dependenți, pe de o parte de inductorul folosit, corpul ce se încălzește, temperatura acestuia și condensatorul utilizat, iar pe de altă parte de modificarea dinamică a acestor parametrii, circuitul de reglare trebuie să asigure autoadaptarea dinamică a frecvenței.

Pentru comutarea inverterului la curent nul sau foarte apropiat de zero, frecvența de comandă trebuie să fie mai mare decât frecvența de rezonanță a circuitului de sarcină, în cazul utilizării unui inverter de tensiune și mai mică decât frecvența de rezonanță a circuitului de sarcină, pentru un inverter de curent. În consecință, bucla de reglare a frecvenței trebuie să realizeze și acest lucru.

În momentul actual, calarea pe frecvența de rezonanță sau apropiată de aceasta se realizează cu bucle PLL (Phase Locked Loop) care, sub o formă sau alta, controlează defazajul dintre semnalul de comandă a tranzistoarelor inverterului și o altă mărime din sistem [4-6]. Spre exemplu, în cazul invertorilor de tensiune, se controlează defazajul dintre semnalul de comandă a tranzistoarelor inverterului și tensiunea la bornele inductorului [US Pat. 6943330 B2/Sept.13,2005].

Principalul dezavantaj al utilizării circuitelor PLL în comanda invertorilor cu sarcină rezonantă paralel constă în sensibilitatea lor manifestată prin:

- necesitatea inițializării frecvenței la o valoare apropiată de frecvența de rezonanță;
- stabilitatea redusă la apariția regimurilor tranzitorii.

Pentru diminuarea acestor dezavantaje, s-au propus diverse metode cum ar fi monitorizarea atât a tensiunii la bornele inductorului cât și a curentului prin acesta [US Pat. 7262981 B2/Aug.28,2007]. În [US Pat. 2012/0018426 A1] se propune calculul frecvenței de comandă prin monitorizarea vârfurilor de curent datorate comutației și compararea lor cu valori predeterminate.

Descrierea detaliată a invenției

Conform invenției, metoda propusă constă într-un sistem autoadaptiv care funcționează pe baza legăturii, care există la rezonanță, între valorile efective ale curenților prin inverter, prin inductor și prin condensatorul de rezonanță.

Conform invenției, referindu-ne la figura 2a, schema echivalentă a circuitului rezonant conține rezistența echivalentă (R_b) și inductivitatea echivalentă (L_b) ale inductorului, împreună cu corpul de încălzit și condensatorul de compensare având capacitatea C .

Conform invenției, referindu-ne tot la figura 2a, se scriu ecuațiile fazoriale corespunzătoare frecvenței de comandă ca și frecvență fundamentală:

$$\underline{I}_i = \underline{I}_b + \underline{I}_C; \quad (1)$$

$$\underline{U}_b = (R_b + jX_b)\underline{I}_b = -jX_C \underline{I}_C. \quad (2)$$

Conform invenției, referindu-ne la figura 2b, se evidențiază: fazorul tensiunii la bornele inductorului ($\underline{U}_b$) luat ca origine de fază; fazorii curentului prin inverter ($\underline{I}_i$), curentului prin inductor ($\underline{I}_b$) și curentului prin condensator ($\underline{I}_C$); componentele lor active ($\underline{I}_{ia}=\underline{I}_{ba}$) aflate pe direcția lui $\underline{U}_b$ și componentele lor reactive ($\underline{I}_{ir}$ și $\underline{I}_{br}$) aflate pe direcția perpendiculară pe $\underline{U}_b$, precum și unghiurile fazorilor curentului prin inverter și curentului prin inductor, față de fazorul tensiunii la bornele inductorului (φ_i și φ_b).

Conform invenției, referindu-ne tot la figura 2b, la rezonanță curentul prin inverter este în fază cu tensiunea la bornele inductorului ($\varphi_i=0$) și rezultă relația,

$$I_b^2 = I_C^2 + I_i^2. \quad (3)$$

Conform invenției, referindu-ne la figura 3, curenții prin inductor și prin condensatorul de compensare se obțin de la traductoarele de curent (10) și (11), iar prin însumarea lor în sumatorul (9) se obține, conform ecuației (1), și curentul la ieșirea inverterului.

Conform invenției, referindu-ne tot la figura 3, cei trei curenți se înmulțesc cu ei înșiși în blocurile (12), (13) și (14), apoi semnalele astfel obținute se aplică filtrelor „trece jos” (15), (16) și (17), la ieșirile cărora se obțin pătratele valorilor efective.

Conform invenției, referindu-ne tot la figura 3, în blocul (22) se face înmulțirea cu un coeficient supraunitar sau subunitar (k_f), după cum se dorește ca frecvența de comandă să fie mai mare sau mai mică decât frecvența de rezonanță a sarcinii.

Conform invenției, referindu-ne tot la figura 3, în sumatorul (18) se calculează membrul drept al relației (3), iar în sumatorul (19) se calculează eroarea sistemului cu relația,

$$\varepsilon = k_f I_b^2 - (I_C^2 + I_i^2). \quad (4)$$

Conform invenției, referindu-ne tot la figura 3, blocul (20) este regulatorul de frecvență, de tip PI, a cărui ieșire este valoarea numerică a frecvenței de comandă a inverterului, iar blocul (21) este un oscilator comandat în tensiune a cărui ieșire conține informația necesară pentru comanda celor patru tranzistoare ale inverterului.

Conform invenției, schema pentru calculul frecvenței de comandă a inverterului și comutație la curent nul, ilustrată în Fig. 4, exemplifică implementarea pe sistemul dSPACE 1103.

Scurtă descriere a desenelor

Semnificația figurilor care însoțesc prezenta propunere de invenție este prezentată în continuare.

Fig. 1 reprezintă schema bloc a sistemului de încălzire prin inducție cu circuit de rezonanță de tip paralel. Blocul de calcul a frecvenței de comandă a inverterului, la o valoare apropiată de frecvența de rezonanță a sarcinii, la care se referă cererea de invenție, face parte din blocul (8).

Fig. 2 reprezintă schema echivalentă a circuitului rezonant conține rezistența echivalentă (R_b) și inductivitatea echivalentă (L_b) ale inductorului, împreună cu corpul de încălzit și condensatorul de compensare având capacitatea C .

Fig. 3 reprezintă detalierea blocului de calcul a frecvenței de comandă a inverterului, la o valoare apropiată de frecvența de rezonanță a sarcinii și constituie obiectul cererii de invenție.

Fig. 4 exemplifică implementarea metodei pentru calculul frecvenței de comandă a inverterului și comutație la curent nul, care face obiectul cererii de invenție, pe sistemul dSPACE 1103.

Fig. 5 arată răspunsul și performanțele dinamice la variația treaptă a inductivității circuitului de sarcină, obținute prin implementarea metodei pentru calculul frecvenței de comandă a inverterului și comutație la curent nul, care face obiectul cererii de invenție.

Fig. 6 ilustrează comutația la curent nul a inverterului monofazat de tensiune, obținut prin implementarea metodei pentru calculul frecvenței de comandă a inverterului și comutație la curent nul, care face obiectul cererii de invenție.



REVENDICĂRI

Metodă pentru comanda invertoarelor de tensiune cu sarcină rezonantă paralel destinate încălzirii prin inducție **caracterizată prin aceea că** folosește un sistem autoadaptiv la frecvența de rezonanță a sarcinii.

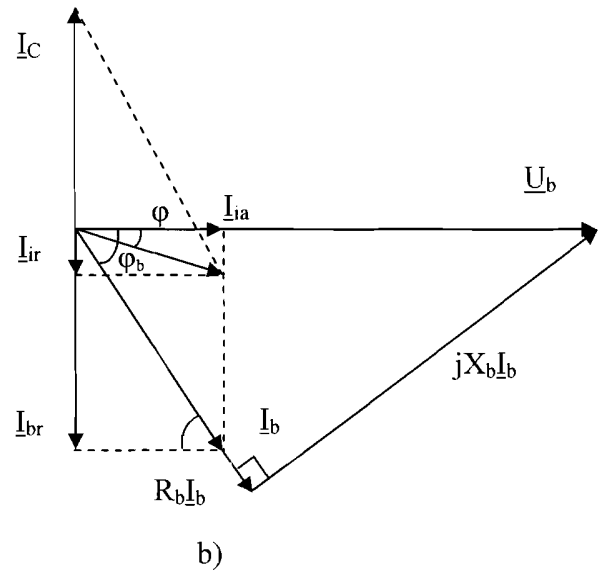
Metodă pentru comanda invertoarelor de tensiune cu sarcină rezonantă paralel destinate încălzirii prin inducție **caracterizată prin aceea că** frecvența de comandă a inverterului se obține la ieșirea unui regulator de tip PI cu saturație și limitare inferioară a semnalului de ieșire.

Metodă pentru comanda invertoarelor de tensiune cu sarcină rezonantă paralel destinate încălzirii prin inducție **caracterizată prin aceea că** necesită numai curenții prin inductorul de lucru și prin condensatorul de compensare, pentru calcularea erorii sistemului.

Metodă pentru comanda invertoarelor de tensiune cu sarcină rezonantă paralel destinate încălzirii prin inducție **caracterizată prin aceea că** asigură o dinamică foarte bună și sensibilitate redusă în raport cu frecvența inițială (Fig. 5). Prin acordarea corespunzătoare a regulatorului de frecvență (20), se obține autoadaptarea la frecvența de rezonanță a sarcinii chiar dacă frecvența inițială este mult diferită de frecvența de rezonanță (mai mică sau mai mare cu peste 50%).

Metodă pentru comanda invertoarelor de tensiune cu sarcină rezonantă paralel destinate încălzirii prin inducție **caracterizată prin aceea că** asigură funcționarea stabilă și imunitate mare la variația parametrilor sarcinii (Fig. 5), chiar și la modificarea treaptă a acestora, cu variații de până la 100%.

Metodă pentru comanda invertoarelor de tensiune cu sarcină rezonantă paralel destinate încălzirii prin inducție **caracterizată prin aceea că** asigură comutația la curent nul, atât la amorsarea tranzistoarelor cât și la blocarea lor, atât în cazul invertoarelor de tensiune (Fig. 6), cât și în cazul invertoarelor de curent. Autoadaptarea la frecvența care determină comutația la curent nul se face prin valoarea coeficientului k_f (22).



5

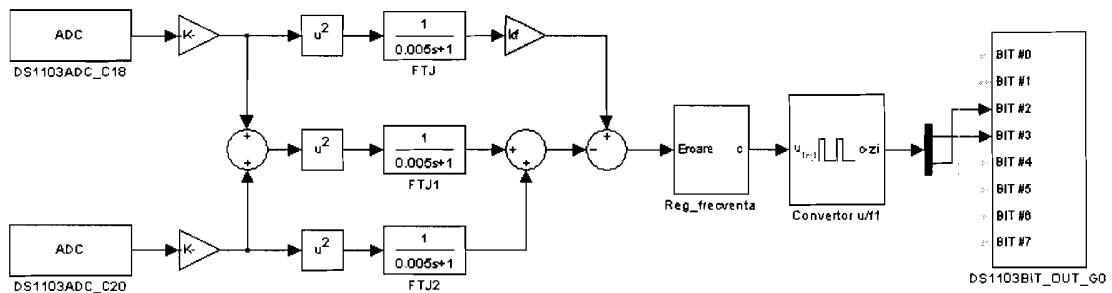


Fig. 4

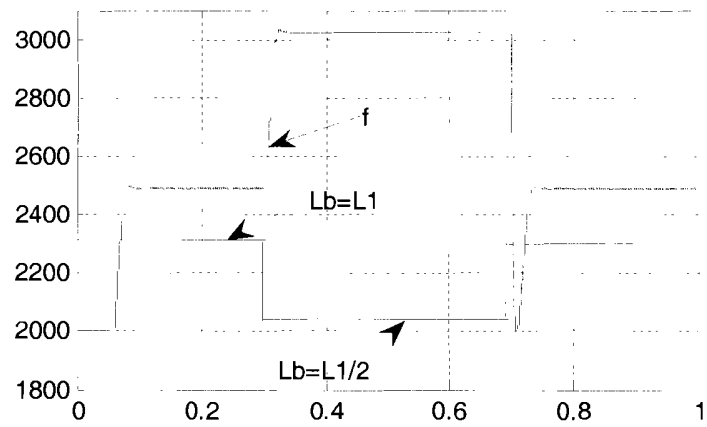


Fig. 5

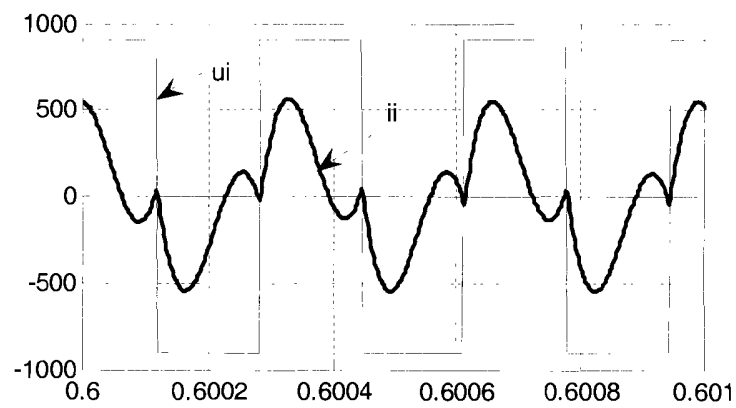


Fig. 6