



(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2011 00372**

(22) Data de depozit: **19/04/2011**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **30/04/2019** BOPI nr. **4/2019**

(41) Data publicării cererii:
28/12/2012 BOPI nr. **12/2012**

(73) Titular:
• **UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN
BUCUREȘTI, SPLAIUL INDEPENDENȚEI
NR.313, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO**

(72) Inventatori:
• **STANCIU DUMITRU, STR. MIHAI BRAVU
NR.3, BL. ALMO 3, SC.4, ET.1, AP.134,
BUCUREȘTI, B, RO;**
• **TEODORESCU MIHAIL ȘTEFAN,
ALEEA LUNGULEȚU NR. 6, BL. D14, SC. 3,
AP. 89, SECTOR 2, BUCUREȘTI, B, RO;**

• **FLORESCU ADRIANA, ȘOS. COLENTINA
NR. 76, BL. 111, SC. B, ET. 1, AP. 59,
SECTOR 2, BUCUREȘTI, B, RO**

(56) Documente din stadiul tehnicii:
**US 2002/0041171 A1; "ADAPTIVE SPEED
IDENTIFICATION FOR VECTOR CONTROL
OF INDUCTION MOTORS WITHOUT
ROTATIONAL TRANSDUCERS"
PUBLICAT: IEEE, NR.5, VOL.28, 1992;
SENSORLESS CONTROL OF INDUCTION
MOTOR DRIVES EQUIPPED WITH
INVERTER OUTPUT FILTER" PUBLICAT:
IEEE, NR.4, VOL.53, 2006**

(54) **SISTEM DE REGLARE VECTORIALĂ A CURENTULUI
UNEI SARCINI MULTIREZONANTE**



RO 128075 B1

1 Invenția se referă la un sistem de reglare vectorială a curentului unei sarcini
multirezonante, care este constituită dintr-un ansamblu compus din motor asincron și filtru
3 capacitiv, cu autoconducere după fluxul rotor, fără senzor de turație, destinat mai ales
pentru reglarea turației unui motor asincron de mare putere (500 kW...2 MW) și tensiuni
5 înalte (6 kV), care are conectat în paralel un filtru capacitiv, având ca sarcină pompe și
ventilatoare.

7 Prezența filtrului capacitiv, necesar pentru realizarea în principal a tensiunii
cvasisinusoidale la bornele mașinii electrice, solicită controlul corect al puterii active și
9 reactive absorbite de ansamblul motor asincron-filtru capacitiv. Soluțiile clasice, scalare sau
vectoriale cunoscute pentru variația vitezei motorului asincron nu pot fi aplicate în acest caz,
11 fiind necesare soluții noi pentru sistemul de reglare, care să țină cont de prezența filtrului
capacitiv. Ansamblul motor asincron-filtru capacitiv are două frecvențe de rezonanță,
13 frecvența principală de rezonanță, determinată de inductanța de magnetizare a motorului și
capacitate, și frecvența secundară de rezonanță, determinată de inductanța totală de scăpări
15 și capacitate.

17 Sunt cunoscute metode de reglare a turației unui motor asincron având conectat în
paralel un filtru capacitiv, atât scalare, cât și vectoriale.

19 Ca metodă scalară, este folosită reglarea raportului tensiune/frecvență egal constant.
La această metodă sunt necesare măsuri pentru îmbunătățirea stabilității sistemului, acestea
constând în circuite de amortizare sau reglarea valorii instantanee a tensiunii de ieșire.

21 Sunt cunoscute, de asemenea, metode de reglare vectorială la flux rotor constant,
cu sau fără autoconducere după fluxul rotor, cu sau fără senzor de turație. Pentru metodele
23 care nu utilizează autoconducerea după flux, unghiul fluxului rotor este calculat ca integrală
a turației statorice, obținută din însumarea dintre turația măsurată și alunecare. Pentru
25 metodele vectoriale cu autoconducere după fluxul rotor, faza acestuia se obține calculând
mai întâi fluxul statoric și apoi scăzând din acesta fluxul de scăpări. Atât metodele vectoriale
27 cu autoconducere după fluxul rotor, cât și cele fără utilizează pentru turație fie senzor de
măsură, fie calculează turația din parametrii motorului. La soluțiile cu autoconducere după
29 fluxul rotor, pornirea se realizează cu metoda scalară, raportul tensiune/frecvență egal
constant.

31 Soluția scalară de reglare, în comparație cu soluțiile vectoriale, are performanțe
modeste, atât în regim staționar, cât și dinamic, și necesită circuite complicate pentru
33 îmbunătățirea stabilității sistemului. De aceea sunt preferate soluțiile vectoriale.

35 Principalele dezavantaje ale soluțiilor vectoriale cunoscute sunt legate de rezolvarea
cu circuite complexe a următoarelor probleme:

- 37 - fenomenele de rezonanță cauzate de interacțiunea dintre filtrul capacitiv și
inductanțele motorului;
- 39 - efectele frecvenței secundare de rezonanță, care apar mai ales în sarcină;
- 41 - instabilitatea, mai ales la frecvențe mari, cauzată de filtrul capacitiv;
- 43 - calculul mai ales al turației, unghiului fluxului, modulului și fazei curentului statoric
al ansamblului motor asincron-filtru capacitiv cu formule matematice complicate, care conduc
și la multe mărimi măsurate.

45 De asemenea, soluțiile vectoriale cunoscute nu permit funcționarea cu mai multe
motoare conectate în paralel pentru că folosesc pentru calcule parametrii motorului.

47 Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în eficientizarea unui sistem de
reglare vectorială, destinat reglării turației unui ansamblu compus dintr-un motor asincron
și un filtru capacitiv, având ca sarcină pompe și ventilatoare.

RO 128075 B1

Această problemă tehnică se rezolvă printr-un sistem de reglare vectorială a curentului unei sarcini multirezonante, cu autoconducere după fluxul rotor, fără senzor de turație, având sarcina multirezonantă constituită dintr-un ansamblu compus din motor asincron și filtru capacitiv, care, conform invenției, este alcătuit din:	1
- un regulator de turație, a cărui turație estimată ω este calculată într-un bloc de calcul;	3
- un regulator de flux care reglează modulul fluxului $ \phi_m $, semnalul de ieșire al acestuia fiind asociat curentului de magnetizare I_μ ;	5
- un bloc de calcul al curentului prin condensatoarele filtrului capacitiv, curentul reactiv fiind suma algebrică dintre curentul de magnetizare al motorului I_μ , și modulul curentului prin condensatoare $ I_c $;	7
- un generator de pornire care livrează două semnale în cuadratura $\sin\theta$, $\cos\theta$, cu frecvență variabilă în funcție de mărimea semnalului de intrare;	9
- un bloc de estimare a fazei φ a semnalului de autoconducere după flux care estimează faza semnalului prin intermediul semnalelor $\sin \varphi$, $\cos \varphi$, din componentele rectangulare ale fluxului, fluxul rotor pe fază fiind estimat ca integrală a tensiunii pe fază;	11
- un bloc de comutare între semnalele de pornire, $\sin\theta$, $\cos\theta$ ale generatorului de pornire la semnalele de autoconducere după flux $\sin \varphi$, $\cos \varphi$ ale blocului de estimare;	13
- un bloc de calcul a semnalelor de comandă care calculează faza și modulul curentului statoric în mod indirect;	15
- un generator de semnale de comandă pentru invertorul I;	17
- un regulator al modulului curentului statoric ce are ca valoare de referință modulul curentului $ I $, calculat în blocul de calcul a semnalelor de comandă și ca valoare măsurată curentul din circuitul intermediar I_m ;	19
- un generator de comandă pentru redresor, care distribuie impulsurile de comandă pentru redresorul R.	21
Regulatorul de turație al sistemului de reglare, conform invenției, are turația măsurată ω estimată în blocul de calcul din tensiunile motorului V_A , V_B , V_C prin redresarea acestora, bucla de reglare a turației devenind o buclă de tensiune, contribuind astfel la atenuarea puternică a efectelor frecvenței secundare de rezonanță, semnalul de ieșire al regulatorului de turație fiind asociat cu componenta activă a curentului statoric I_{sq} și alunecarea ω_r .	23
Regulatorul de flux al sistemului de reglare, conform invenției, estimează fluxul rotor pe fazele A și B în blocul de calcul, ca integrale ale tensiunilor pe fazele motorului A și, respectiv, B, neglijând căderea de tensiune pe rezistența statorică și fluxul de scăpări, acestea fiind compensate în valoarea prescrisă a modulului fluxului, faza fluxului fiind corectată în blocul de estimare a fazei, în care este compensat și defazajul introdus de circuitele de integrare, constanta de timp a circuitelor de integrare fiind mult mai mare decât perioada corespunzătoare frecvenței minime de operare, astfel fluxurile fiind practic mărimi sinusoidale identice cu cele din mașină.	25
Blocul de calcul a semnalelor de comandă al sistemului de reglare, conform invenției, calculează faza și modulul curentului statoric în mod indirect, faza calculându-se utilizând coordonatele carteziene, iar modulul este determinat ca fiind valoarea maximă pozitivă a patru unde ale curenților de referință, două fiind coordonatele carteziene ale acestora și celelalte două undele defazate cu $\pi/4$ față de acestea, iar generatorul de semnale de comandă pentru invertorul I calculează valorile curenților de referință pentru cele trei faze din componentele carteziene ale curentului statoric, prin intermediul unei matrici de transformare, realizându-se distribuția semnalelor de comandă de 120° pentru invertorul I, și la fiecare 60° pentru circuitul de blocare CB.	27
	29
	31
	33
	35
	37
	39
	41
	43
	45
	47

RO 128075 B1

1 Generatorul de pornire al sistemului de reglare, conform invenției asigură generarea
semnalelor în cuadratură $\sin\theta$, $\cos\theta$, cu frecvență variabilă funcție de mărimea semnalului
3 de intrare, unghiul θ fiind calculat prin integrarea turației măsurate, calculată în interiorul
generatorului de pornire la care se însumează o fracțiune a semnalului de ieșire a
5 regulatorului de turație, reprezentând alunecarea ω_r .

Invenția mai rezolvă următoarele probleme:

7 - semnalul de autoconducere după fluxul rotoric este calculat ca integrală a tensiunii,
faza calculându-se din componentele rectangulare ale fluxului, la care se compensează
9 defazajul introdus de circuitele de integrare și, de asemenea, se corectează efectul asupra
unghiului fluxului, datorat neglijării căderii de tensiune pe rezistența statorică și fluxului de
11 scăpări;

13 - pornirea sistemului este asigurată de un generator de semnale în cuadratură cu
frecvență variabilă în funcție de mărimea semnalului de intrare, integrala semnalului de
intrare fiind calculată implicit în interiorul generatorului;

15 - modulul și faza curentului statoric al ansamblului motor asincron-filtru capacitiv se
estimează în mod indirect. Faza se calculează utilizând coordonatele carteziene, iar modulul
17 ca valoare de vârf a patru unde: coordonatele carteziene și undele defazate cu $\pi/4$ față de
acestea;

19 - atenuarea puternică a efectelor frecvenței secundare de rezonanță, în mod intrinsec
prin modul de realizare a sistemului de reglare, mai ales a buclei de reglare a vitezei, care
21 este de fapt o buclă de tensiune, căreia i se asociază componenta activă a curentului
motorului.

23 Sistemul de reglare vectorială, fără senzor de turație, cu autoconducere după flux,
calculat ca integrală a tensiunii pe fază, realizează pornirea sistemului cu un generator de
25 unde în cuadratură cu frecvență variabilă, dependentă de mărimea semnalului de intrare, cu
estimarea în mod indirect a modulului și fazei curentului statoric, turația fiind estimată din
27 tensiunea de ieșire, astfel că bucla de reglare a turației este de fapt o buclă de tensiune, care
contribuie la atenuarea puternică a efectelor frecvenței secundare de rezonanță.

29 Convertorul de putere constă dintr-un redresor comandat, care reglează modulul
curentului ansamblului motor asincron-filtru capacitiv și un invertor de curent, cu comanda
31 de 120° , care dictează faza curentului. Circuitul de blocare a invertorului asigură blocarea
atunci când ansamblul motor asincron-filtru capacitiv operează în regim inductiv.

33 Sistemul poate fi pornit utilizând un generator local de unde sinusoidale în cuadratura
cu frecvență variabilă, care permite reglarea după alunecare, precum în sistemele
35 convenționale de control vectorial. De asemenea, sistemul se autoconduce după
componentele rectangulare ale fluxului, calculat ca integrala tensiunii pe motor.

37 Turația măsurată este obținută fără senzor de măsură, din tensiunile motorului, și
reglată de un regulator de tip PI. De fapt, bucla de reglare a turației este o buclă de tensiune.
39 Semnalul de ieșire al regulatorului de turație este asociat la doi parametri ai motorului
asincron: componenta activă a curentului statoric și alunecarea.

41 Modulul fluxului se reglează într-un regulator de flux, semnalul de ieșire al regula-
torului fiind asociat curentului de magnetizare. Fluxul rotoric se estimează pe două faze ale
43 motorului ca integrală a tensiunii pe fiecare fază, neglijând căderea de tensiune pe rezistența
statorică și fluxul de scăpări. Efectul acestor neglijări asupra modulului și fazei fluxului este
45 compensat prin corectarea valorii prescrise de flux și printr-o corecție adecvată de fază. În
aceste condiții, vectorul flux este defazat cu $\pi/2$ în urma vectorului de tensiune. Integrarea
47 tensiunilor este realizată cu o constantă de integrare care este mult mai mare decât perioada
frecvenței minime de operare, astfel că fluxurile sunt practic mărimi sinusoidale.

RO 128075 B1

Referitor la regimurile de funcționare ale sarcinii multirezonante, se specifică următoarele:	1
Dacă se neglijează componenta activă a curentului prin condensatoare, vectorul curentului prin condensatoare este defazat cu $\pi/2$ înaintea vectorului de tensiune. Deci, componenta reactivă a curentului ansamblului motor asincron-filtru capacitiv este suma algebrică dintre curentul de magnetizare al motorului, asociat semnalului de ieșire a regulatorului de flux și modulul curentului prin condensatoare.	3 5 7
Pentru frecvențe de funcționare mai mici decât frecvența de rezonanță principală, curentul de magnetizare este mai mare decât modulul curentului prin condensatoare, adică vectorul curentului statoric este defazat în urma tensiunii și ansamblul motor asincron-filtru capacitiv funcționează în regim inductiv.	9 11
Pentru frecvențe de funcționare mai mari decât frecvența de rezonanță principală, curentul de magnetizare este mai mic decât modulul curentului prin condensatoare, adică vectorul curentului statoric este defazat înaintea tensiunii și ansamblul motor asincron-filtru capacitiv funcționează în regim capacitiv.	13 15
Sistemul de reglare vectorială permite funcționarea continuă atât sub, cât și peste frecvența principală de rezonanță a ansamblului motor asincron-filtru capacitiv.	17
Efectele frecvenței secundare de rezonanță, datorate inductanței de scăpări totale ale motorului, apar mai ales în sarcină. Aceste efecte sunt puternic atenuate în mod intrinsec prin modul de realizare a sistemului de reglare, mai ales a buclei de reglare a vitezei, care este de fapt o buclă de tensiune, căreia i se asociază componenta activă a curentului motorului.	19 21
Sistemul de reglare vectorială, fără senzor de turație, funcționează cu autoconducere după flux, pornirea fiind asigurată de un generator de semnale în cuadratura $\sin\theta$, $\cos\theta$, cu frecvență variabilă în funcție de mărimea semnalului de intrare. Unghiul θ este calculat prin integrarea turației însumată cu o fracțiune a semnalului de ieșire a regulatorului de turație, reprezentând alunecarea. Această integrală este calculată implicit în interiorul generatorului.	23 25 27
Faza fluxului, după care sistemul se autoconduce, se calculează din componentele rectangulare ale fluxului, la care se compensează defazajul introdus de circuitele de integrare și, de asemenea, se corectează efectul asupra unghiului fluxului, datorat neglijării căderii de tensiune pe rezistența statorică și fluxului de scăpări.	29 31
Referitor la obținerea curenților statorici, se specifică următoarele:	
Modulul și faza curentului statoric al ansamblului motor asincron-filtru capacitiv se estimează în mod indirect. Faza se calculează utilizând coordonatele carteziene, iar modulul ca valoare de vârf a patru unde: coordonatele carteziene și undele defazate cu $\pi/4$ față de acestea, așa cum este prezentat în continuare.	33 35
Componentele curentului statoric, atât componenta activă, I_{sq} , cât și cea reactivă, I_{sd} , obținute la ieșirea regulatorului de turație, respectiv, prin însumarea semnalului de la ieșirea regulatorului de flux și curentului filtrului capacitiv, sunt mărimi continue, trecerea la mărimile statorice $I_{s\alpha}$ și $I_{s\beta}$ față de un sistem de axe solidar cu statorul (α , β) făcându-se utilizând semnalele în cuadratura $\sin\varphi$ și $\cos\varphi$, generate de fluxul statoric, prin înmulțire cu matricea de rotație, conform relației:	37 39 41 43
	45

$$\begin{pmatrix} I_{s\alpha} \\ I_{s\beta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\varphi & \sin\varphi \\ -\sin\varphi & \cos\varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{sd} \\ I_{sq} \end{pmatrix}$$

RO 128075 B1

1 Amplitudinea și faza curentului prin ansamblul motor asincron-filtru capacitiv sunt
date de relațiile:

$$3 \quad |I| = \sqrt{I_{sd}^2 + I_{sq}^2}$$

$$5 \quad \xi = \arctg \frac{I_{sd}}{I_{sq}}$$

9 Modulul curentului ansamblului motor asincron-filtru capacitiv se determină ca
valoarea de vârf a componentelor rectangulare $I_{s\alpha}$ și $I_{s\beta}$, și două unde defazate cu $\pi/4$ față
11 de acestea.

În mod indirect, bazat pe aceste relații, se face calculul fazei $\xi = \arctg I_{sd}/I_{sq}$, deoarece:

$$13 \quad I_{s\alpha} = I_{sd} \cos \varphi + I_{sq} \sin \varphi = \sqrt{I_{sd}^2 + I_{sq}^2} \sin(\varphi + \xi)$$

$$15 \quad I_{s\beta} = -I_{sd} \sin \varphi + I_{sq} \cos \varphi = \sqrt{I_{sd}^2 + I_{sq}^2} \cos(\varphi + \xi)$$

17 Aceste ultime relații sunt două unde sinusoidale în cuadratură defazate cu $\xi =$
19 $= \arctg I_{sd}/I_{sq}$ față de undele corespunzătoare $\sin \varphi$ și, respectiv, $\cos \varphi$.

21 Valorile de referință i_A , i_B , i_C pe cele trei faze se calculează din componentele
carteziene ale curentului statoric, $I_{s\alpha}$, $I_{s\beta}$, prin intermediul matricii de transformare:

$$23 \quad T = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{pmatrix}$$

31 Undele sinusoidale i_A , i_B , i_C sunt transformate în unde dreptunghiulare I_A , I_B , I_C cu
33 ajutorul unor circuite formatoare de impulsuri. Din acestea se realizează semnalele de
comandă de 120° pentru inverter și la fiecare 60° pentru circuitul de blocare. Circuitul de
35 blocare funcționează numai până când se depășește frecvența principală de rezonanță
(regim inductiv), după aceea blocarea fiind realizată de sarcină (regim capacitiv). Modulul
37 curentului ansamblului motor asincron-filtru capacitiv se reglează într-un regulator PI, ce are
ca valoare de referință modulul curentului calculat anterior și ca valoare măsurată curentul
39 din circuitul intermediar.

Principalele avantaje ale invenției în raport cu stadiul tehnicii sunt:

41 - oferă o soluție mai simplă decât cele existente prin problemele tehnice pe care le
rezolvă: modul de obținere a semnalului de autoconducere după fluxul rotor, modul de
43 pornire al sistemului, calculul indirect al modulului și fazei curentului statoric și atenuarea
efectelor frecvenței secundare de rezonanță, mai ales prin modul de realizare a buclei de
45 reglare a turației, care este de fapt o buclă de tensiune;

- utilizarea de relații simple pentru estimarea principalelor mărimi de reacție, mai ales
47 fluxul rotor și turația, ceea ce conduce la mărimi măsurate puține, și anume numai
tensiunile pe fazele sarcinii, doi curenți prin condensatoare și curentul prin circuitul
49 intermediar;

RO 128075 B1

- permite funcționarea cu mai multe motoare conectate în paralel, neutilizând în calcule parametrii motorului.	1
Sistemul de reglare vectorială a curentului unei sarcini multirezonante este prezentat în figură, care reprezintă schema bloc a sistemului de control vectorial pentru sarcini multirezonante.	3 5
Se dă, în continuare, un exemplu de realizare a invenției în legătură cu figura.	
Convertorul de putere constă dintr-un redresor comandat R , care reglează modulul curentului, și un invertor de curent I , cu comanda de 120° , care controlează faza curentului, ambele construite cu tiristoare convenționale. Circuitul de blocare CB a invertorului asigură blocarea atunci când ansamblul motor asincron M - filtru capacitiv operează în regim inductiv.	7 9 11
<i>Reglarea turației</i>	
Reglarea turației se face cu regulatorul de turație 1 , de tip proporțional-integral, care are valoarea prescrisă ω^* . Turația măsurată ω este obținută fără senzor de măsură, din tensiunile motorului V_A , V_B , V_C , prin redresare. De fapt, bucla de reglare a turației este o buclă de tensiune. Semnalul de ieșire al regulatorului de turație este asociat cu doi parametri ai motorului asincron: componenta activă a curentului statoric I_{sq} și alunecarea ω_r .	13 15 17
<i>Estimarea fluxului</i>	
Fluxul rotoric pe fazele A, B este estimat în blocul de calcul 2 , ca integrală a tensiunii pe faza A, respectiv B, neglijând căderea de tensiune pe rezistența statorică și fluxul de scăpări. În aceste condiții, vectorul flux este defazat cu $\pi/2$ în urma vectorului de tensiune. Valorile neglijate ale căderii de tensiune pe rezistența statorică și a fluxului de scăpări sunt compensate în valoarea prescrisă a fluxului $ \Phi ^*$ pentru modulul de flux, iar faza este corectată în blocul 6 , unde se compensează și defazajul introdus de circuitele de integrare. Integrarea tensiunilor este realizată cu o constantă de integrare care este mult mai mare decât perioada frecvenței minime de operare, deci fluxurile sunt practic mărimi sinusoidale, identice cu cele din mașină, pentru a permite conducerea după flux. Din fluxurile pe fazele A și B, Φ_A , respectiv Φ_B sunt calculate componentele rectangulare ale fluxului Φ_α și Φ_β cu următoarea ecuație:	19 21 23 25 27 29
$\begin{bmatrix} \Phi_\alpha \\ \Phi_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{\sqrt{3}} & -\frac{2}{\sqrt{3}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Phi_A \\ \Phi_B \end{bmatrix}$	31 33
De asemenea, amplitudinea $ \Phi_m $ este calculată cu relația:	35
$ \Phi_m = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{(\Phi_A \Phi_B)^2 - \Phi_A \Phi_B}$	37 39
<i>Calculul curentului reactiv</i>	
Regulatorul de flux 3 reglează modulul fluxului $ \Phi_m $, semnalul de ieșire fiind asociat curentului de magnetizare I_μ . Dacă se neglijează componenta activă a curentului prin condensatoare, vectorul curentului prin condensatoare este defazat cu $\pi/2$ înaintea vectorului de tensiune. Blocul 4 calculează modulul curentului prin condensatoare $ I_c $, din curenții mășurați pe două faze ale filtrului capacitiv, I_{cA} , I_{cB} cu o ecuație similară cu cea utilizată pentru flux. Deci curentul reactiv I_{sd} este suma algebrică dintre curentul de magnetizare al motorului I_μ și modulul curentului prin condensatoare $ I_c $.	41 43 45 47

RO 128075 B1

1 Generatorul de pornire

3 Acest generator realizează pornirea sistemului. Generatorul de pornire **5** este un
generator de semnale în cuadratura **sinθ, cosθ**, cu frecvență variabilă în funcție de mărimea
semnalului de intrare. Unghiul **θ** este calculat prin integrarea turației măsurate **ω**, însumată
5 cu o fracțiune a semnalului de ieșire a regulatorului de turație, reprezentând alunecarea **ω_r**,

$$7 \quad \theta = \int (z_p \omega + \omega_r) dt$$

unde **z_p** este numărul de perechi de poli.

9 O problemă dificilă care se ridică aici este obținerea semnalului **ω_r**, și calculul acestei
integrale.

11 Acest generator de semnale în cuadratură conține un generator de undă
triunghiulară, comandat în tensiune, care livrează la ieșire două unde, o undă triunghiulară
13 simetrică **x(t)** cu amplitudinea **± 7,5 V** și alta dreptunghiulară **y(t)** de aceeași amplitudine.

15 Generatorul de undă triunghiulară comandat în tensiunea se bazează pe un circuit
integrator comandat prin intermediul unui circuit amplificator inversor, neinversor (**±1**), de
către semnalul **v_{com} = (ω_r + z_pω)**, la ieșirea lui obținându-se semnalul $v_0 = \frac{1}{T} \int v_{com} dt$
17 care arată că acest generator calculează integrala $\theta = \int (\omega_r + z_p \omega) dt$.

19 Unda triunghiulară în cuadratură **f(t)**, adică defazată cu **π/2** față de unda triunghiulară
x(t), este calculată cu relația:

$$f(t) = \pm x(t) + y(t)$$

21 Transformarea undelor triunghiulare în unde sinusoidale se face cu ajutorul a două
transformatoare funcționale în patru trepte, obținându-se la ieșire două unde în cuadratură
23 **5sin θ, 5cos θ** cu amplitudine constantă **5 V** și frecvență variabilă în gamă largă în funcție de
amplitudinea semnalului de intrare **v_{com} = (ω_r + z_pω)**.

25 Autoconducerea după flux

27 Blocul **6** calculează **sin φ, cos φ** din componentele rectangulare ale fluxului,
compensează defazajul introdus de circuitele de integrare și, de asemenea, corectează
unghiul fluxului, datorită neglijării căderii de tensiune pe rezistența statorică și a fluxului de
29 scăpări. Acestea se realizează introducând unghiul **arctg(aωτ)**, unde **τ** este constanta de
timp de integrare și **a** este factorul de corecție.

31 Blocul **7** comută semnalul de la semnalul de pornire **sin θ, cos θ** (blocul **5**) la **sinφ,**
cosφ (blocul **6**), care permite autoconducerea după flux.

33 Generarea semnalelor de comandă

35 Componentele rectangulare ale curentului statoric, atât cea activă **I_{sq}**, cât și cea
reactivă **I_{sd}**, sunt calculate într-un sistem de axe rotitor, deci sunt mărimi continue. Trecerea
la un sistem de axe solidar cu statorul se face prin înmulțire cu matricea de rotație,
37 prezentată anterior.

39 Blocul **8** calculează modulul și faza curentului statoric în mod indirect, așa cum am
arătat anterior, cu relațiile:

$$41 \quad I_{sa} = \sqrt{I_{sd}^2 + I_{sq}^2} \sin(\varphi + \xi)$$

$$I_{s\beta} = \sqrt{I_{sd}^2 + I_{sq}^2} \cos(\varphi + \xi)$$

43

$$45 \quad |I| = \sqrt{I_{sd}^2 + I_{sq}^2}$$

$$\xi = \arctg \frac{I_{sd}}{I_{sq}}$$

adică se calculează $\ I\ $ și $\xi = \arctg \frac{I_{sd}}{I_{sq}}$ din I_{sd} , I_{sq} , și $\sin \varphi$, $\cos \varphi$ (sau $\sin \theta$, $\cos \theta$ pe	1
durata pornirii). Unghiul ξ este calculat indirect utilizând $\sin(\varphi + \xi)$, $\cos(\varphi + \xi)$. Practic, modulul $\ I\ $ este determinat ca valoarea maximă pozitivă a patru unde, cele două amintite anterior și cele defazate cu $(\pi/4)$ față de ele.	3
<i>Generarea semnalelor de comandă pentru inverter</i>	7
Generatorul de semnale de comandă pentru inverter 9 calculează valorile de referință pe cele trei faze i^*_A , i^*_B , i^*_C din componentele carteziane ale curentului statoric, prin intermediul unei matrici de transformare, prezentată anterior. De asemenea, se realizează distribuția semnalelor de comandă de 120° pentru inverterul I și la fiecare 60° pentru circuitul de blocare CB .	9
De asemenea, același generator 9 realizează distribuția semnalelor de comandă pentru inverterul trifazat comandat cu secvențe de 120° și pentru circuitul de comutație (circuitul de blocare al inverterului) la fiecare 60° .	11
Undele sinusoidale i^*_A , i^*_B , i^*_C sunt transformate în unde dreptunghiulare A, B, C de durată $180^\circ E$, cu ajutorul unor circuite formatoare de impulsuri.	13
Impulsurile pentru comanda inverterului sunt constituite din trei succesiuni de impulsuri dreptunghiulare, chopate cu frecvență ridicată (≈ 20 kHz), defazate între ele cu câte $2\pi/3$, de durată $120^\circ E$, obținute prin asocierea impulsurilor dreptunghiulare A, B, C și negativele lor.	15
Impulsurile de blocare a inverterului au o frecvență de șase ori mai mare decât frecvența pe care funcționează acesta și sunt sincrone cu frontul negativ (terminarea impulsului) al impulsurilor de comandă a inverterului.	17
Circuitul de blocare funcționează numai până când se depășește frecvența principală de rezonanță (regim inductiv), după aceea blocarea fiind realizată de sarcină (regim capacitiv).	19
<i>Generarea semnalelor de comandă pentru redresor</i>	21
Regulatorul modulului curentului statoric 10 are ca valoare de referință modulul curentului $\ I\ $ calculat în blocul 8 și ca valoare măsurată curentul din circuitul intermediar I_m .	23
Generatorul de semnale de comandă pentru redresor 11 distribuie semnalele de comandă pentru redresor.	25
	27
	29
	31

RO 128075 B1

Revendicări

1
3
5
7
9
11
13
15
17
19
21
23
25
27
29
31
33
35
37
39
41
43

1. Sistem de reglare vectorială a curentului unei sarcini multirezonante, cu autoconducere după fluxul rotoric, fără senzor de turație, având sarcina multirezonantă constituită dintr-un ansamblu compus din motor asincron și filtru capacitiv, **caracterizat prin aceea că** este alcătuit din:

- un regulator (1) de turație, a cărei turație estimată (ω) este calculată într-un bloc (2) de calcul;

- un regulator (3) de flux care reglează modulul fluxului ($|\phi_m|$), semnalul de ieșire al acestuia fiind asociat curentului de magnetizare (I_μ);

- un bloc (4) de calcul al curentului prin condensatoarele filtrului capacitiv, curentul reactiv fiind suma algebrică dintre curentul de magnetizare al motorului (I_μ), și modulul curentului prin condensatoare ($|I_c|$);

- un generator (5) de pornire care livrează două semnale în cuadratură ($\sin\theta$, $\cos\theta$), cu frecvență variabilă funcție de mărimea semnalului de intrare;

- un bloc (6) de estimare a fazei ϕ a semnalului de autoconducere după flux care estimează faza semnalului prin intermediul semnalelor ($\sin \phi$, $\cos \phi$), din componentele rectangulare ale fluxului, fluxul rotoric pe fază fiind estimat ca integrală a tensiunii pe fază;

- un bloc (7), de comutare între semnalele de pornire ($\sin\theta$, $\cos\theta$) ale generatorului (5) de pornire la semnalele de autoconducere după flux ($\sin \phi$, $\cos \phi$) ale blocului (6) de estimare;

- un bloc (8) de calcul a semnalelor de comandă care calculează faza și modulul curentului statoric în mod indirect;

- un generator (9) de semnale de comandă pentru inverterul (I);

- un regulator (10) al modulului curentului statoric care are ca valoare de referință modulul curentului ($I|I|$), calculat în blocul (8) de calcul a semnalelor de comandă și ca valoare măsurată curentul din circuitul intermediar (I_m);

- un generator (11) de comandă pentru redresor, care distribuie impulsurile de comandă pentru redresorul (R).

2. Sistem de reglare, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** regulatorul (1) de turație are turația măsurată ω estimată în blocul (2) de calcul din tensiunile motorului (V_A , V_B , V_C) prin redresarea acestora, bucla de reglare a turației devenind o buclă de tensiune, contribuind astfel la atenuarea puternică a efectelor frecvenței secundare de rezonanță, semnalul de ieșire al regulatorului (1) de turație fiind asociat cu componenta activă a curentului statoric (I_{sq}) și alunecarea (ω_r).

3. Sistem de reglare, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** regulatorul (3) de flux estimează fluxul rotoric pe fazele A și B în blocul (2) de calcul, ca integrale ale tensiunilor pe fazele motorului A și, respectiv, B, neglijând căderea de tensiune pe rezistența statorică și fluxul de scăpări, acestea fiind compensate în valoarea prescrisă a modulului fluxului, faza fluxului fiind corectată în blocul (6) de estimare a fazei, în care este compensat și defazajul introdus de circuitele de integrare, constanta de timp a circuitelor de integrare fiind mult mai mare decât perioada corespunzătoare frecvenței minime de operare, astfel fluxurile fiind practic mărimi sinusoidale identice cu cele din mașină.

RO 128075 B1

4. Sistem de reglare, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** blocul (8) de calcul a semnalelor de comandă calculează faza și modulul curentului statoric în mod indirect, faza calculându-se utilizând coordonatele carteziene, iar modulul este determinat ca fiind valoarea maximă pozitivă a patru unde ale curenților de referință, două fiind coordonatele carteziene ale acestora și celelalte două undele defazate cu $\pi/4$ față de acestea, iar generatorul (9) de semnale de comandă pentru invertorul (I) calculează valorile curenților de referință pentru cele trei faze din componentele carteziene ale curentului statoric generate de blocul (8), prin intermediul unei matrici de transformare, realizându-se distribuția semnalelor de comandă de 120° pentru invertorul (I), și la fiecare 60° pentru circuitul de blocare (CB). 1
5. Sistem de reglare, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** generatorul (5) de pornire asigură generarea semnalelor în cuadratură ($\sin\theta$, $\cos\theta$), cu frecvență variabilă funcție de mărimea semnalului de intrare, unghiul (θ) fiind calculat prin integrarea turației măsurate, calculată în interiorul generatorului (8) de pornire la care se însumează o fracțiune a semnalului de ieșire a regulatorului de turație, reprezentând alunecarea (ω_s). 11

