



MD 2652 G2 2004.12.31

REPUBLICA MOLDOVA



(19) Agenția de Stat
pentru Proprietatea Intelectuală

(11) 2652⁽¹³⁾ G2
(51) Int. Cl.⁷: H 02 M 5/257, 5/12;
H 02 J 3/06

(12) BREVET DE INVENȚIE

<p>(21) Nr. depozit: a 2004 0094 (22) Data depozit: 2004.04.26</p>	<p>(45) Data publicării hotărârii de acordare a brevetului: 2004.12.31, BOPI nr. 12/2004</p>
<p>(71) Solicitant: INSTITUTUL DE ENERGETICĂ AL ACADEMIEI DE ȘTIINȚE A REPUBLICII MOLDOVA, MD (72) Inventatori: CALININ Lev, MD; ZAIȚEV Dumitru, MD; BERZAN Vladimir, MD; TÎRȘU Mihai, MD (73) Titular: INSTITUTUL DE ENERGETICĂ AL ACADEMIEI DE ȘTIINȚE A REPUBLICII MOLDOVA, MD</p>	

(54) Instalație de reglare a unghiului de fază dirijată cu chei electronice de putere

(57) Rezumat:

1

Invenția se referă la energetică, și anume la echipamentele de reglare a unghiului de fază a tensiunilor de intrare și ieșire în sistemele de transfer de energie electrică trifazată.

Instalația conține un transformator de excitație, ce include două înfășurări trifazate de tensiune înaltă, prima dintre care este conectată în triunghi, iar a doua este bobinată cu punct mediu și este conectată galvanic cu vârful triunghiului primei înfășurări, un transformator în serie și un bloc de chei electronice de putere. Transformatorul de excitație este dotat cu trei înfășurări trifazate de tensiune joasă, numărul de spire la fiecare fiind același, totodată, secțiunea conductorului înfășurării a doua este mai mare decât secțiunea conductoarelor primei și a treia înfășurări, ultima fiind bobinată cu un punct mediu ce o divizează în două părți cu un

2

număr egal de spire. Transformatorul în serie include două module identice, fiecare fiind dotat cu două perechi de înfășurări trifazate de tensiune înaltă și joasă, numărul de spire la fiecare fiind același, iar secțiunea conductoarelor este egală cu secțiunea conductoarelor primei și celei de a treia înfășurări de tensiune joasă a transformatorului de excitație. Blocul de chei electronice de putere include trei perechi de chei electronice, raportul puterilor nominale al cărora este $\frac{4}{7} : \frac{2}{7} : \frac{1}{7}$.

Revendicări: 2
Figuri: 9

5

10

15

MD 2652 G2 2004.12.31

MD 2652 G2 2004.12.31

Descriere:

Invenția se referă la energetică, și anume la echipamentele de reglare a unghiului de fază a tensiunilor de intrare și ieșire în sistemele de transfer de energie electrică trifazată.

Este cunoscut regulatorul de fază cu un singur transformator [1].

5 Dezavantajul acestei soluții constă în necesitatea amplasării cheilor electronice de putere pe o platformă special izolată. Totodată, montarea cheilor electronice de putere consecutiv cu linia electrică conduce la dificultăți de ordin tehnologic privind dirijarea lor, iar pasul majorat de schimbare a unghiului fazei reglate conduce la diminuarea indicilor de calitate a tensiunii de ieșire. Din aceste considerente este necesar de a instala echipament suplimentar de filtrare a armonicilor superioare, ceea ce conduce la creșterea masei și costului regulatorului de fază cu un singur trans-

10 formator.

Este cunoscut echipamentul realizat constructiv din două transformatoare, utilizat pentru reglarea decalajului de fază a tensiunilor în liniile electrice trifazate [2].

15 Dezavantajul acestui echipament, care include două transformatoare, îl constituie sporirea aproape de două ori a puterii instalate a transformatoarelor. Reglarea fazei se face în mod discret și numărul de paliere a valorii reglate în intervalul de reglare este determinat de numărul de transformatoare conectate în serie la linia electrică de transport (mai departe transformator în serie). Reglarea lentă a unghiului decalajului de fază prin modularea lățimii impulsurilor în circuitul de tensiune înaltă al transformatorului în serie este însoțită de distorsiunea semnificativă a tensiunii de

20 ieșire.

Este cunoscut transformatorul cu decalajul unghiului de fază dirijat cu chei electronice de putere care include transformatorul de excitație al cărui circuit de tensiune înaltă include două înfășurări, una dintre care are conexiunea în triunghi, iar a două înfășurare este confecționată cu punct neutru conectat galvanic la vârfurile triunghiului format de prima înfășurare, transformatorul în serie format din șapte module unitare, chei electronice de putere pentru asigurarea conexiunilor programate dintre înfășurările secundare de tensiune joasă a acestor transformatoare și dirijarea funcționării acestor module după algoritme bine determinate [3].

25 Dezavantajul acestui echipament constă în necesitatea unui număr sporit de module unitare ale transformatorului în serie pentru a asigura o reglare lentă a unghiului decalajului de fază și îndeplinirea cerințelor față de indicii de calitate a tensiunii de ieșire, cum este, de exemplu, coeficientul de distorsiune a tensiunii în limitele admisibile pentru liniile electrice (sub 2%). Această condiție se îndeplinește, dacă la reglarea lentă a decalajului prin modularea lățimii impulsurilor de tensiune în primarul transformatoarelor în serie, pasul de variație a unghiului fazei nu depășește $3,5^\circ$ și, ca urmare este necesar de majorat nu numai numărul de module unitare a transformatoarelor în

30 serie, dar și numărul de chei electronice necesare pentru a îndeplini conexiunile conform algoritmului de dirijare. Puterile necesare ale transformatorului de excitație și a transformatorului în serie se calculează din relațiile:

$$S'_{ET} = 2S_r \operatorname{tg} \frac{\psi_{\max}}{2}; \quad (1)$$

$$S'_{BT} = 2S_r \operatorname{tg} \frac{\psi_{\max}}{2}, \quad (2)$$

40 unde S'_{ET} – puterea aparentă necesară a transformatorului de excitație;

S'_{BT} – puterea aparentă necesară a transformatorului în serie care asigură reglarea decalajului de fază dintre tensiuni;

S_r – puterea aparentă la bornele de ieșire a echipamentului (sarcina);

45 ψ_{\max} – valoarea maximă prescrisă a decalajului de fază dintre tensiunile de ieșire și intrare pentru regulatorul dat.

Puterile ambelor transformatoare sunt egale $S'_{ET} = S'_{BT}$. Valoarea maximală a puterii aparente a acestor transformatoare se determină din expresia (1) și (2).

Soluția cea mai apropiată poate asigura reglarea unghiului $\psi_{\max} = 24,5^\circ$, la valoarea coeficientului de distorsiune a tensiunii sub 2%, în caz dacă transformatorul în serie include un subansamblu din 7 module unitare.

50 Puterea cheilor electronice de putere corespunde sarcinii maxime, iar puterea echivalentă instalată a cheilor electronice de putere (comutatorului electronic) se determină pentru soluția cea mai apropiată din relația:

MD 2652 G2 2004.12.31

4

$$S'_{PE} = 4S_r \operatorname{tg} \frac{\psi_{\max}}{2}, \quad (3)$$

unde S'_{PE} – puterea echivalentă instalată a tuturor cheilor electronice de putere.

5 Cu sporirea valorii unghiului reglat crește complexitatea constructivă de realizare, masa, gabaritul, pierderile de energie proprii și costul echipamentului utilizat pentru reglarea unghiului decalajului de fază.

10 Problema pe care o rezolvă prezenta invenție constă în diminuarea masei și gabaritului transformatorului în serie, inclusiv și a numărului de module unitare necesare pentru a acoperi diapazonul de reglare a unghiului decalajului de fază și a limita valoarea coeficientului de distorsiune a tensiunii de ieșire la nivelul pe care îl asigură soluția cea mai apropiată.

Esența invenției propuse constă în micșorarea până la două module, realizarea constructivă a transformatorului în serie și modificarea circuitelor de conexiune a înfășurărilor de tensiune joasă, care se comutează cu cheile electronice de putere ale înfășurărilor de tensiune joasă ale transformatorului de excitație.

15 Problema invenției se rezolvă prin modificarea circuitelor de conexiune ale transformatorului de excitație și ale transformatorului în serie. Aceasta conduce la divizarea fluxului de putere în elementele instalației. Fluxul de putere parțial trece direct în sarcină, numai prin transformatorul de excitație și, ca urmare se diminuează sarcină transformatorului în serie. Această redistribuire a fluxului de putere, precum și micșorarea numărului de module unitare ale transformatorului în serie
20 are ca rezultat sporirea indicilor tehnico-economici ai instalației, care constau în micșorarea masei, gabaritelor și costului ei.

Instalația înlătură dezavantajele menționate mai sus prin aceea că conține trei subansambluri constructive: transformatorul de excitație, transformatorul în serie și șase chei electronice de putere. Transformatorul de excitație este un transformator cu trei faze cu miezul fierului format din trei
25 coloane și are cinci înfășurări cu trei faze. Două înfășurări formează circuitul de tensiune înaltă, una dintre care este conectată în triunghi, iar cealaltă înfășurare este confecționată cu punct neutru conectarea la vârfurile triunghiului primei înfășurări cu o deplasare a conexiunii la faza amplasată pe coloană vecină a fierului transformatorului. Trei înfășurări aparțin circuitului de tensiune joase și au fazele amplasate pe aceleași coloane ale fierului transformatorului de excitație. Înfășurările circuitului
30 de tensiune joasă au un număr egal de spire, două din ele sunt fabricate din conductoare cu aceeași secțiune transversală, totodată una din aceste înfășurări este realizată pentru fiecare fază cu punct neutru, care împarte înfășurarea în două părți cu un număr egal de spire. O altă înfășurare a circuitului de tensiune joasă este confecționată din conductor cu secțiunea mai mare ca secțiunea conductoarelor celorlalte două înfășurări ale circuitului de tensiune joasă. Rezultatul optimal se obține la
35 confecționarea ultimei înfășurări din conductor a cărui secțiune depășește de două ori secțiunea celorlalte două înfășurări ale transformatorului de excitație, care aparțin de asemenea circuitului de tensiune joasă a instalației.

Transformatorul în serie este format din două transformatoare trifazate, numite module unitare cu
40 câte patru înfășurări. Două înfășurări ale modulelor unitare se conectează în serie, racordat, aparțin circuitului de tensiune înaltă, iar începuturile înfășurării primului modul unitar sunt conectate cu sfârșitul înfășurării circuitului de tensiune înaltă cu punctele neutre ale transformatorului de excitație, iar sfârșiturile altei înfășurări a circuitului de tensiune înaltă a primului modul unitar sunt conectate la capetele de început ale înfășurării circuitului de tensiune înaltă cu punctul neutru al transformatorului de excitație. Sfârșitul înfășurării a două de tensiune înaltă a modulului al doilea al transformatorului în
45 serie constituie intrarea, iar începuturile primei înfășurării de tensiune înaltă a acestui modul sunt circuitul de ieșire a instalației. Înfășurările de tensiune joasă a modulelor unitare au câte o conexiune comună a începuturilor fazelor, precum aceste noduri comune ale fiecărei grupe se conectează la câte unul din capetele de ieșire ale înfășurării cu secțiunea mai mare din circuitul de tensiune joasă a transformatorului de excitație, iar ieșirile ultimi înfășurări au conexiune cu câte o cheie electronică de
50 putere cu cea mai mare valoare a puterii instalate. Sfârșitul unei înfășurări a circuitului de tensiune joasă a primului modul unitar are conexiune cu începuturile primei înfășurări din circuitul de tensiune joasă a transformatorului de excitație și cu o cheie electronică de putere cu valoare intermediară a puterii instalate, iar sfârșitul înfășurării a doua a circuitului de tensiune joasă a primului modul unitar este conectat la sfârșitul aceleiași înfășurări a circuitului de tensiune joasă a transformatorului de
55 excitație și la o cheie electronică de putere cu o valoare intermediară a puterii instalate.

Sfârșitul primei înfășurări a circuitului de tensiune joasă a modulului unitar doi are o conexiune comună cu începutul fazelor înfășurării de tensiune joasă a transformatorului de excitație cu punct neutru și cu puntea de diode ale unei chei electronice de putere cu valoarea puterii instalate mică, iar sfârșitul fazelor înfășurării de tensiune joasă cu punct neutru al transformatorului de excitație au
60 conexiune comună cu sfârșiturile înfășurării a doua de tensiune joasă a modulului unitar doi. Punctele

MD 2652 G2 2004.12.31

5

de neutru ale fazelor înfășurării de tensiune joasă sunt conectate la o altă cheie electronică de putere cu valoarea puterii instalate mică.

Înfășurările modulelor unitare ale transformatorului în serie sunt confecționate din conductoare cu aceeași valoare a secțiunii transversale.

- 5 Chelie electronice de putere conțin o punte trifazată din șase diode, ieșirea căreia este unită cu un comutator dirijat, de exemplu, un tiristor. După valoarea puterii instalate, aceste chei se divizează în trei grupuri: cu valoare mare, intermediară și mică a puterii instalate.

Invenția se explică prin desenele din fig. 1...9, care reprezintă:

- fig. 1, schema electrică echivalentă a instalației;
10 – fig. 2, diagrama fazică convențională și starea cheilor electronice la formarea unghiului decalajului de fază $\psi = 0^\circ$;
– fig. 3, diagrama fazică convențională și starea cheilor electronice la formarea unghiului decalajului de fază $\psi = 3,48^\circ$;
– fig. 4, diagrama fazică convențională și starea cheilor electronice la formarea unghiului decalajului de fază $\psi = 6,95^\circ$;
15 – fig. 5, diagrama fazică convențională și starea cheilor electronice la formarea unghiului decalajului de fază $\psi = 10,42^\circ$;
– fig. 6, diagrama fazică convențională și starea cheilor electronice la formarea unghiului decalajului de fază $\psi = 13,86^\circ$;
20 – fig. 7, diagrama fazică convențională și starea cheilor electronice la formarea unghiului decalajului de fază $\psi = 17,28^\circ$;
– fig. 8, diagrama fazică convențională și starea cheilor electronice la formarea unghiului decalajului de fază $\psi = 20,67^\circ$;
25 – fig. 9, diagrama fazică convențională și starea cheilor electronice la formarea unghiului decalajului de fază $\psi = 24,02^\circ$.

- Instalația include circuitul trifazat de intrare 1 de tensiune înaltă, circuitul de ieșire de tensiune înaltă 2, transformatorul de excitație 3, transformatorul în serie 4 și blocul de chei electronice de putere 5. Transformatorul de excitație 3 include înfășurările trifazate 6, 7, 8, 9 și 10. Transformatorul în serie 4 este format din două module unitare 11 și 12, care au câte patru înfășurări. Primul modul unitar 11 include două înfășurări de tensiune înaltă 13 și 14 și două înfășurări de tensiune joasă 15 și 16. Modulul al doilea unitar 12 are de asemenea două înfășurări de tensiune înaltă 17, 18 și două înfășurări de tensiune joasă 19 și 20. Bornele ieșirilor trifazate 21, 22, 23, 24, 25 și 26 ale circuitelor de tensiune joasă formate de înfășurările 8, 9, 10 ale transformatorului de excitație și de înfășurările 15, 16, 19 și 20 ale transformatorului în serie sunt conectate cu intrările cheilor electronice de putere 27, 28, 29, 30, 31 și 32 ale blocului 5. Înfășurările 6 și 7 ale transformatorului de excitație se conectează la circuitul de tensiune înaltă, iar înfășurările 8, 9 și 10 în circuitul de tensiune joasă. Înfășurarea 6 este conectată în triunghi. Înfășurarea 7 este realizată cu punct neutru, iar ieșirea acestui punct se conectează la vârful triunghiului înfășurării 6, astfel ca bobina înfășurării 7 amplasată pe prima coloană a fierului transformatorului de excitație este conectată cu începutul bobinei înfășurării 6 amplasată pe coloana a doua, neutrul bobinei amplasate pe coloana a doua a înfășurării 7 este conectat cu începutul bobinei înfășurării 6 amplasate pe coloana a treia, iar neutrul bobinei înfășurării 7 amplasat pe coloana a treia este conectat cu începutul bobinei înfășurării 6 amplasate pe prima coloană a fierului transformatorului 3. Înfășurările 8, 9 și 10 ale transformatorului de excitație au același număr de spire. Înfășurările 8 și 10 sunt confecționate din conductoare cu secțiunea transversală egală. Secțiunea conductorului înfășurării 9 are o valoare sporită în comparație cu secțiunea conductorelor bobinelor 8 și 10. O soluție optimală se obține, dacă secțiunea conductorului înfășurării 9 este de două ori mai mare în comparație cu valoarea secțiunii conductorului înfășurărilor 8 și 10. Înfășurarea 10 este confecționată cu punct neutru al bobinelor fazelor. Punctele neutre al înfășurărilor 7 și 10 divizează bobinelor fazelor acestor înfășurări în părți egale cu numărul de spire respectiv $W_7/2$ și $W_{10}/2$, unde W_7 și W_{10} – numărul de spire al bobinei fazei înfășurării respective 7 și 10. Transformatorul în serie 4 este format din două module unitare 11 și 12 cu parametri identici. Înfășurările 8, 10, 15, 16, 19 și 20 sunt executate din conductoare cu secțiunea transversală egală. Cheile electronice de putere 27, 28, 29, 30, 31 și 32 conțin o punte de redresare trifazată formată din șase diode de putere VD1-VD6 și un tiristor T. Tiristoarele cheilor electronice de putere au funcția de comutatoare cu ajutorul cărora se fac modificări în schema de structură a instalației, în circuitele de tensiune joasă. Bornele trifazate 21, 22, 23, 24, 25, 26 asigură conectarea cheilor electronice de putere ale blocului 5 la circuitele înfășurărilor de tensiune joasă ale transformatorului de excitație 3 și ale transformatorului în serie 4. Cheile electronice de putere pot include trei diode și trei tiristoare în punte sau pot fi confecționate din alte elemente moderne electronice de putere.
- 60

MD 2652 G2 2004.12.31

6

Fazele înfășurărilor 7, 13, 17 se conectează în serie racordat, astfel că începutul înfășurării 7 este conectat cu sfârșitul fazelor înfășurării 13, iar începutul fazelor înfășurării 13 cu sfârșitul fazelor înfășurării 17, începutul fazelor înfășurării 17 se conectează la bornele de ieșire 2 ale instalației.

5 Sfârșitul înfășurării 7 se conectează cu începutul fazelor înfășurării 14, sfârșiturile cărora au conexiune galvanică cu începuturile fazelor înfășurării 18 ale modulului unitar 12. Sfârșiturile fazelor înfășurării 18 sunt conectate la bornele de intrare 1 ale instalației.

10 Începuturile fazelor înfășurării 8 au conexiune cu sfârșiturile fazelor respective ale înfășurării 15 a modulului unitar 11 și prin borna 21 cu puntea de diode a cheii electronice de putere 27, iar sfârșiturile fazelor înfășurării 8 sunt conectate cu sfârșitul fazelor înfășurării 16 a modulului unitar 11 și prin borna 25 cu puntea de diode a cheii electronice de putere 31. Începutul fazelor înfășurării 9 au o conexiune comună cu începutul fazelor respective ale înfășurării 15 modulului unitar 11, cu începutul fazelor înfășurării 19 ale modulului unitar 12 și prin borna 22 cu puntea de diode a cheii electronice de putere 28, iar sfârșitul fazelor înfășurării 9 au conexiune comună cu începutul fazelor înfășurărilor 16 a modulului unitar 11 și cu începutul fazelor înfășurării 20 modulului unitar 12, iar prin borna 23 cu puntea de diode a cheii electronice de putere 29. Începutul fazelor înfășurării 10 este conectat cu sfârșitul fazelor înfășurării 19 a modulului unitar 12 a transformatorului în serie, prin intermediul bornei 24 cu puntea de diode a cheii electronice de putere 30, pe când sfârșitul fazelor înfășurării 10 sunt legate galvanic cu sfârșitul fazelor înfășurării 20 a modulului unitar 12. Punctele de neutru ale bobinelor fazelor înfășurării 10, prin borna 26 sunt conectate cu puntea de diode a cheii electronice de putere 32.

Instalația funcționează în modul următor.

Funcționarea normală a instalației transformator cu decalajul unghiului de fază dirijat cu chei electronice de putere necesită îndeplinirea următoarelor condiții:

$$\frac{W_7}{W_6} = \frac{2\sqrt{3}}{7} \operatorname{tg} \frac{\psi_{\max}}{2}$$
$$\begin{aligned} W_8 &= W_9 = W_{10} \\ W_{13} &= W_{14} = W_{17} = W_{18} \\ W_{15} &= W_{16} = W_{19} = W_{20} \end{aligned} \quad (4)$$
$$\frac{W_{13}}{W_{15}} = \frac{W_{14}}{W_{16}} = \frac{W_{17}}{W_{19}} = \frac{W_{18}}{W_{20}} = \frac{1}{3} \frac{W_7}{W_6}$$

30 unde W_6, W_8 – numărul de spire în bobinele fazelor înfășurărilor 6 și 7 de tensiune înaltă a transformatorului de excitație;

W_8, W_9, W_{10} – numărul de spire în bobinele fazelor înfășurărilor 8, 9 și 10 ale circuitului de tensiune joasă a transformatorului de excitație;

W_{13}, W_{14} – numărul de spire în bobinele fazelor înfășurărilor 13 și 14 de tensiune înaltă ale primului modul unitar al transformatorului în serie;

35 W_{17}, W_{18} – numărul de spire în bobinele fazelor înfășurărilor 17 și 18 de tensiune înaltă ale modulului al doilea unitar al transformatorului în serie;

W_{15}, W_{16} – numărul de spire în bobinele fazelor înfășurărilor 15 și 14 de tensiune joasă ale primului modul unitar al transformatorului în serie;

40 W_{19}, W_{20} – numărul de spire în bobinele fazelor înfășurărilor 19 și 20 de tensiune joasă ale modulului al doilea unitar al transformatorului în serie.

Tensiunea decalajului de fază se determină din relația:

$$U_{sr} = U_r - U_s = U_7 \pm [U_{13} + U_{17} + U_{14} + U_{18}], \quad (5)$$

unde: U_{rs} – vectorul tensiunii decalajului de fază;

45 U_r – vectorul tensiunii de ieșire a instalației;

U_s – vectorul tensiunii de intrare a instalației;

U_7 – vectorul tensiunii înfășurării 7 a transformatorului de excitație;

U_{13} – vectorul tensiunii înfășurării 13 a circuitului de tensiune înaltă al primului modul unitar al transformatorului în serie;

50 U_{17} – vectorul tensiunii înfășurării 17 a circuitului de tensiune înaltă al modulului al doilea unitar al transformatorului în serie;

U_{14} – vectorul tensiunii înfășurării 14 a circuitului de tensiune înaltă al primului modul unitar al transformatorului în serie;

55 U_{18} – vectorul tensiunii înfășurării 18 a circuitului de tensiune înaltă al modulului al doilea unitar al transformatorului în serie.

Valoarea tensiunii decalajului de fază și a unghiului decalajului de fază ψ dintre tensiunea ieșire și tensiunea intrare a instalației este determinată de combinația de lucru a cheilor electronice de putere. Înfășurarea 7 a transformatorului de excitație formează un vector al tensiunii cu valoarea constantă,

MD 2652 G2 2004.12.31

7

iar modulele 11 și 12 ale transformatorului în serie 4 formează un ansamblu de tensiuni cu valori diferite în funcție de starea cheilor electronice de putere 27, 28, 29, 30, 31, 32. Cheia electronică de putere 28 în regim de lucru asigură regimul de scădere din vectorul tensiunii înfășurării 7 a transformatorului de excitație 3 a vectorilor tensiunilor formați de înfășurările 13, 17, 14, 18 a transformatorului în serie 4, iar la activarea cheii electronice de putere 29 obținem regimul de sumare a tensiunilor și, ca urmare, reglăm valoarea unghiului decalajului de fază de la zero până la circa 24°. Valoarea tensiunii în înfășurările 17 și 18 ale modului unitar este determinată de înfășurarea transformatorului de excitație 8 sau 10 care se conectează în circuit de către cheile electronice de putere. La conectarea bobinelor înfășurării 10, tensiunea în înfășurările 17 și 18 devine egală cu ? din valoarea maximă posibilă și aceasta majorează numărul de paliere ale valorii reglate a tensiunii decalajului de fază.

Reglarea tensiunii decalajului de fază include două diapazoane determinate de faptul, care din cheile 28 sau 29 este conectată.

Conectarea consecutivă a cheilor 27 și 31 conduce la schimbarea discretă și simultană a tensiunilor înfășurărilor de tensiune înaltă 13 și 14 ale primului modul unitar 11, iar conexiunile efectuate consecutiv de cheile 27 și 32 asigură reglarea simultană și discretă a valorilor tensiunilor înfășurărilor 17 și 18 ale modului unitar 12. Conexiunea cheilor electronice (27):(32) după un algoritm prescris conduce la obținerea a opt valori discrete ale tensiunii și a unghiului decalajului de fază ψ .

Diagrama conexiunii racordate ale cheilor electronice de putere (27):(32) este prezentată în tabel, iar în fig. 2...9 sunt prezentate diagramele fazice pentru toate combinațiile de conexiune ale cheilor electronice (27):(32) construite pentru instalația care asigură reglarea discretă a unghiului decalajului de fază cu pasul $\Delta\psi = 3,5^\circ$ în regimul de mers în gol și care se obțin prin șapte trepte de variație a acestei mărimi până la atingerea valorii maxime a mărimii reglate.

Diagrama stării de lucru a cheilor electronice de putere

Valoarea unghiului decalajului de fază ψ , grade electrice	Numărul cheii electronice și starea ei					
	28	31	32	30	27	29
0	1	1	1	0	0	0
3,48	1	1	0	1	0	0
6,96	1	0	1	0	1	0
10,42	1	0	0	1	1	0
13,86	0	1	1	0	0	1
17,28	0	1	0	1	0	1
20,67	0	0	1	0	1	1
24,02	0	0	0	1	1	1

In tabel este notat: 1 – starea activă (de lucru) a cheii, iar 0 – cheia este deconectată.

Varierea pasului de reglare a unghiului decalajului de fază ψ a instalației nu depășește $\pm 1,5\%$, și este condiționată de micșorarea inducției în coloanele transformatoarelor, proporțional evoluției valorii funcției $\cos \frac{\psi}{2}$. Deoarece pasul de variație discretă a unghiului decalajului de fază nu depășește

valoarea de $3,5^\circ$, soluția propusă asigură și reglarea lentă a unghiului ψ prin modularea lățimii impulsurilor cu ajutorul cheilor electronice de putere, comandate după o lege determinată în regim închis-deschis, ceea ce ne asigură valoarea coeficientului de distorsiune a tensiunii de ieșire sub 2%, dar acest rezultat s-a obținut în baza utilizării numai a două module unitare în transformatorul serie în comparație cu cele 7 ale soluției tehnice realizate de soluția cea mai apropiată.

Puterea transformatorului în serie 4 format din modulele unitare 11 și 12 se determină din relația:

$$S_1 = \frac{2(\sin \frac{\psi_{\max}}{2} - \frac{3}{7} \sin \frac{\psi_{\max}}{2})}{\cos \frac{\psi_{\max}}{2}} S_r \approx 0,572 S'_{BT}, \quad (6)$$

iar puterea transformatorului de excitație:

$$S_3 = (2 \frac{3}{7} tg \frac{\psi_{\max}}{2} + \frac{8}{7} tg \frac{\psi_{\max}}{2}) S_r = S'_{ET}, \quad (7)$$

unde S_3 – puterea aparentă a transformatorului de excitație în instalația propusă;

S_r – puterea aparentă a transformatorului în serie în instalația propusă;

S'_{ET} – puterea transformatorului de excitație a soluției cea mai apropiată;

S'_{BT} – puterea aparentă a transformatorului în serie a soluției cea mai apropiată.

Puterea cheilor electronice de putere în instalația propusă se determină din relațiile:

MD 2652 G2 2004.12.31

8

$$S_{28} = S_{29} = \frac{4}{7} \frac{S_q}{\cos \frac{\psi_{\max}}{2}}, \quad (8)$$

$$S_{21} = S_{31} = \frac{2}{7} \frac{S_q}{\cos \frac{\psi_{\max}}{2}}, \quad (9)$$

$$S_{30} = S_{32} = \frac{1}{7} \frac{S_q}{\cos \frac{\psi_{\max}}{2}}, \quad (10)$$

$$S_q = 2S_r \sin \frac{\psi_{\max}}{2}, \quad (11)$$

$$5 \quad S_{PE} = S_{27} + S_{28} + S_{29} + S_{30} + S_{31} + S_{32} = 4tg \frac{\psi_{\max}}{2} = S'_{PE}, \quad (12)$$

$$S_d = S_r - S_q - \Delta S, \quad (13)$$

unde: S_{21} ; S_{28} ; S_{29} ; S_{30} ; S_{31} ; S_{32} – puterea cheilor electronice de putere (27)+(32) în instalația propusă;

10 S_q – partea de putere furnizată sarcinii, care trece prin transformatorul de excitație și prin transformatorul în serie;

S_r – puterea aparentă totală a sarcinii;

S_{PE} – puterea totală a cheilor electronice de putere a instalației propuse;

S'_{PE} – puterea totală a cheilor electronice de putere a soluției cea mai apropiată;

15 S_d – cota puterii transmise în sarcină direct, prin ocolirea transformatorului de excitație și a transformatorului în serie;

ΔS – mărimea care include pierderile de energie în transformatoarele instalației propuse și puterea reactivă consumată de această instalație.

20 După puterea instalată, cheile electronice de putere se divizează în instalația propusă în trei grupări: S_{28} ; S_{29} – cu valoare mare a puterii instalate; S_{27} ; S_{31} – cu valoarea intermediară a puterii instalate și S_{30} ; S_{32} – cu valoarea mică a puterii instalate.

25 Rezultatul invenției este o urmare a divizării fluxului de putere S_q care trece prin transformatorul complex cu decalajul unghiului de fază dirijat cu chei electronice de putere în două fluxuri: S_{q1} și S_{q2} . Un flux de putere $S_{q1} = 0,428S_q$ este supus numai la o singură transformare de fază de transformatorul de excitație, iar fluxul al doilea $S_{q2} = 0,572S_q$ este modificat de două ori, atât de transformatorul de excitație, cât și de transformatorul serie.

30 Puterea transformatorului de excitație a instalației propuse este egală cu puterea transformatorului de excitație a soluției cea mai apropiată, iar puterea totală a transformatorului în serie se micșorează cu 42,8% , ceea ce îmbunătățește indicii tehnici și economici ai instalației propuse. Pentru regimul de funcționare la valoarea unghiului decalajului de fază $\psi = \psi_{\max}$, pierderile de energie în instalația propusă se micșorează cu 21,4% în comparație cu soluția cea mai apropiată.

35 Rezultatul invenției constă în diminuarea masei, gabaritelor, costului total al pierderilor de energie în transformatorul cu decalajul fazei dirijat cu chei electronice de putere și a lărgirii posibilităților de fabricare a echipamentului ca unitate constructivă integră. Aceasta este o urmare a divizării fluxului de energie conversată de transformatorul cu decalajul fazei dirijat cu chei electronice de putere în două fluxuri, unul din care ocolește transformatorul în serie.

Autenticitatea soluției tehnice propuse și robustețea ei a fost verificată experimental în Institutul de Energetică al Academiei de Științe a Moldovei.

40

(57) Revendicări:

1. Instalație de reglare a unghiului de fază dirijată cu chei electronice de putere, care conține un transformator de excitație, ce include două înfășurări trifazate de tensiune înaltă, prima dintre care este conectată în triunghi, iar a doua este bobinată cu punct mediu și este conectată galvanic cu vârfului triunghiului primei înfășurări, un transformator în serie și un bloc de chei electronice de putere, **caracterizată prin aceea că** transformatorul de excitație este dotat cu trei înfășurări trifazate de tensiune joasă, numărul de spire la fiecare fiind același, totodată secțiunea conductorului înfășurării a doua este mai mare decât secțiunea conductoarelor primei și a treia înfășurări, ultima fiind bobinată cu un punct mediu ce o divizează în două părți cu un număr egal de spire; transformatorul în serie include două module identice, fiecare fiind dotat cu două perechi de înfășurări trifazate de tensiune înaltă și joasă, numărul de spire la fiecare fiind același, iar secțiunea conductoarelor este egală cu secțiunea conductoarelor primei și celei de a treia înfășurări de tensiune joasă a transformatorului de excitație; blocul de chei electronice de putere include trei perechi de chei

MD 2652 G2 2004.12.31

9

- electronice, raportul puterilor nominale a căror este $\frac{4}{7} : \frac{2}{7} : \frac{1}{7}$; totodată, începuturile înfășurării a doua
- de tensiune înaltă a transformatorului de excitație sunt unite cu capetele primei înfășurări de tensiune înaltă a primului modul al transformatorului în serie, începuturile căreia sunt unite cu capetele primei înfășurări de tensiune înaltă a modului al doilea al transformatorului în serie, începuturile căreia
- 5 sunt conectate la circuitul de ieșire de tensiune înaltă, iar capetele înfășurării a doua de tensiune înaltă a transformatorului de excitație sunt unite cu începuturile înfășurării a doua de tensiune înaltă a primului modul al transformatorului în serie, capetele căreia sunt unite cu începuturile înfășurării a doua de tensiune înaltă a modului al doilea a transformatorului în serie, capetele căreia sunt conectate la circuitul de intrare trifazat; începuturile înfășurării a doua de tensiune joasă a
- 10 transformatorului de excitație sunt unite cu punctul comun al începuturilor primelor înfășurări de tensiune joasă a modulelor transformatorului în serie și cu intrarea unei chei electronice a primei perechi, cu valoarea puterii nominale proporțională cu $\frac{4}{7}$, iar capetele ei sunt unite cu începuturile înfășurării a doua de tensiune joasă a primului modul și cu intrarea cheii electronice a doua a acestei perechi; începuturile primei înfășurări de tensiune joasă a transformatorului de excitație sunt unite cu capetele primei înfășurări de tensiune joasă a primului modul și cu intrarea unei chei electronice a perechii a doua, cu valoarea puterii nominale proporțională cu $\frac{2}{7}$, iar capetele acestei înfășurări sunt
- 15 unite cu capetele înfășurării a doua de tensiune joasă a primului modul al transformatorului în serie și cu intrarea cheii electronice a doua a acestei perechi; punctele medii ale înfășurării a treia de tensiune joasă a transformatorului de excitație sunt unite cu intrarea unei chei electronice a perechii a treia, cu
- 20 valoarea puterii nominale proporțională cu $\frac{1}{7}$, începuturile ei sunt unite cu capetele înfășurării a doua de tensiune joasă a modului al doilea și cu intrarea cheii electronice a doua a acestei perechi, iar capetele ei sunt unite cu capetele înfășurării a doua de tensiune joasă a modului al doilea al transformatorului în serie.
- 25 2. Instalație de reglare a unghiului de fază dirijată cu chei electronice de putere, conform r. 1, caracterizată prin aceea că secțiunea conductorului înfășurării a doua de tensiune joasă a transformatorului de excitație este de două ori mai mare decât secțiunea conductoarelor primei și a treia înfășurare de tensiune joasă a acestuia.

30

(56) Referințe bibliografice:

1. S. Nyati, M. Eitzmann, J. Kappenmaa, D. Van House, N. Mohan, A. Edris "Design Issues For a Single Core Transformer Thiristor Controlled Phase-Angle Regulator", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 10, No. 4, October 1995, pp. 2013-2019.
2. Luiz A. C. Lopes, Geza Joos, Boon-Teck Ooi "A PWM Quadrature Booster Phase-Shifter for FACTS", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 11, No. 4, October 1996, pp. 1999-2004.
3. Luiz A. C. Lopes, Geza Joos, Boon-Teck Ooi "A PWM A High-Power PWM Quadrature Booster Phase Shifter Based on a Multimodule AC Controller, IEEE Transactions on Power Electronics", Vol. 13, No. 2, March 1998, pp. 357-365.

Șef Secție:	NEKLIUDOVA Natalia
Examinator:	SĂU Tatiana
Redactor:	UNGUREANU Mihail

MD 2652 G2 2004.12.31

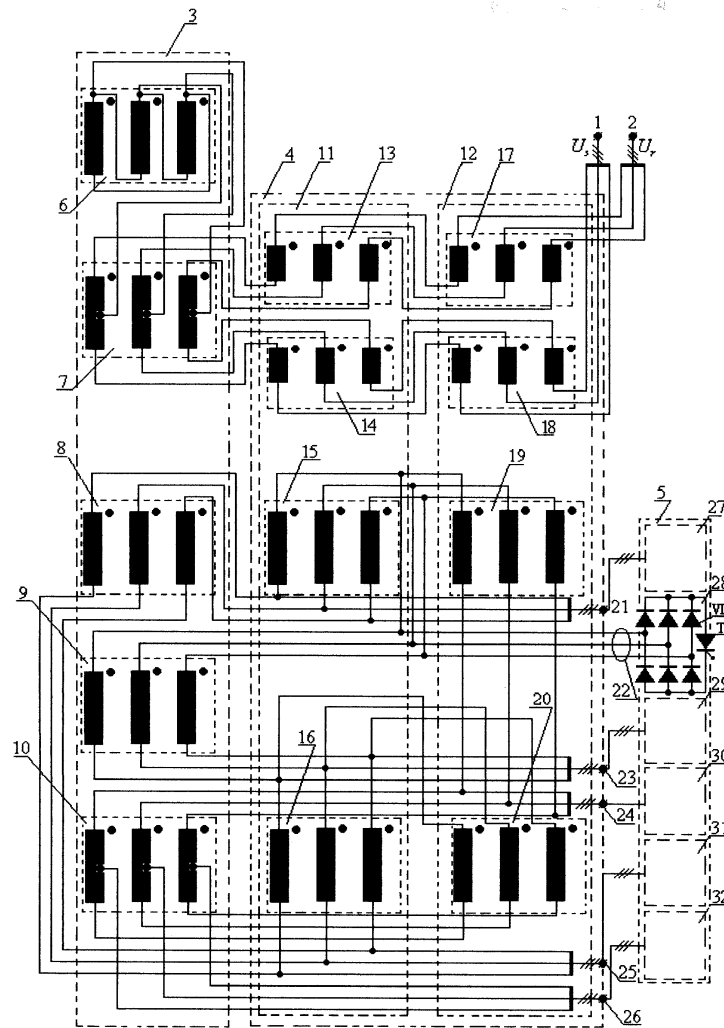
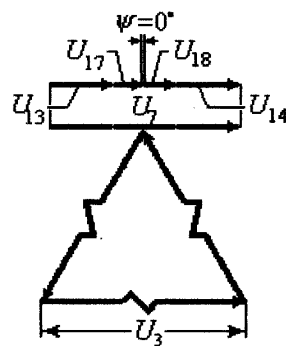


Fig. 1



Cheia	28	31	32	30	27	29
Starea cheii	1	1	1	0	0	0

Fig. 2

MD 2652 G2 2004.12.31

11

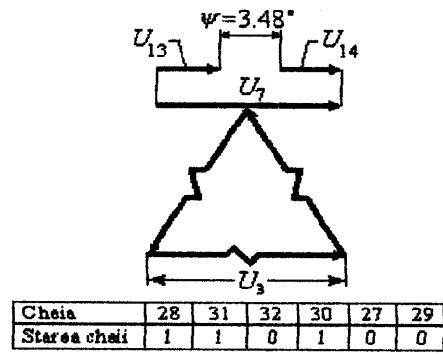


Fig. 3

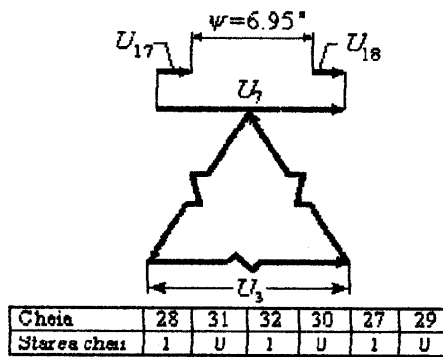


Fig. 4

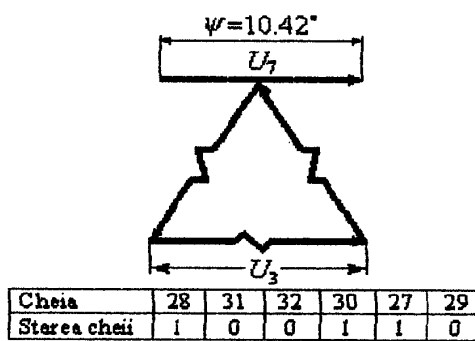


Fig. 5

MD 2652 G2 2004.12.31

12

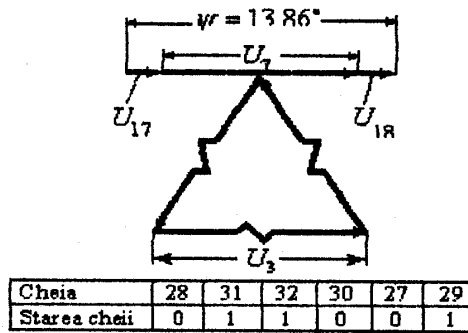


Fig. 6

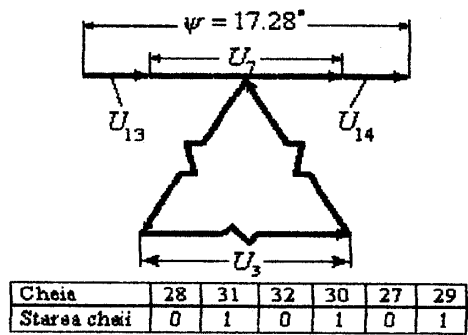


Fig. 7

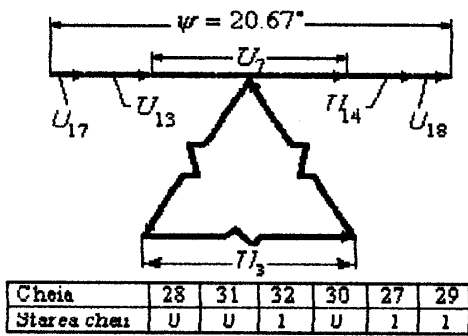


Fig. 8

MD 2652 G2 2004.12.31

13

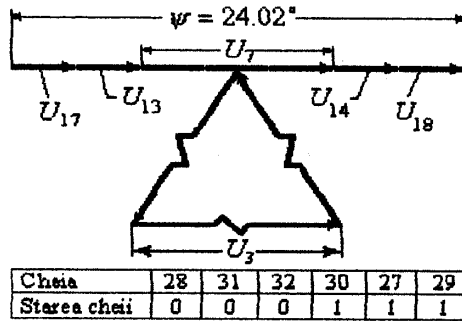


Fig. 9