

Invenția se referă la electrotehnică și electroenergetică, și anume la convertoarele de tensiune de curent alternativ în tensiune de curent alternativ din sistemele electrice și electroenergetice.

Este cunoscut convertorul de tensiune de curent alternativ în tensiune de curent alternativ pe baza cheilor electronice, care conține o sursă de curent alternativ, două condensatoare de filtrare, opt chei electronice de comutație, opt diode de returnare, opt diode și opt rezistoare de comutație, un transformator de frecvență înaltă cu două bobine ce au două secții, două inductanțe de stocare în ciclul energiei [1].

Dezavantajul acestui convertor constă în faptul că se utilizează un număr mare de elemente semiconductoare active și pasive, ceea ce duce la majorarea costului instalației și a pierderilor de energie în ea. În convertorul de acest tip au loc pierderi mari de energie din cauza că comutația tuturor cheilor se efectuează în regim activ, totodată necesită rezistoare pentru limitarea supratensiunilor de comutație pe aceste chei. La majorarea costului și la creșterea pierderilor de energie contribuie și faptul că semibobinele transformatorului de frecvență lucrează numai pe durata timpului egală cu durata unui semiimpuls, ca urmare, acest transformator are o masă majorată.

Este, de asemenea, cunoscut convertorul de tensiune de curent alternativ în tensiune de curent alternativ pe baza cheilor electronice, care conține o sursă de curent alternativ, un redresor comandat, format din patru chei electronice și patru diode, un condensator de filtrare, un convertor de frecvență înaltă, care constă din patru chei electronice și patru diode, un transformator de frecvență înaltă cu două bobine, un redresor comandat de frecvență înaltă, format din patru chei electronice și patru diode, un condensator de filtrare și un convertor de frecvență joasă care constă din patru chei electronice și patru diode [2].

Dezavantajul acestui convertor constă în faptul că se utilizează un număr mare de elemente semiconductoare active și pasive, ceea ce duce la majorarea costului convertorului și a pierderilor de energie în el. Totodată, în acest convertor se utilizează mai multe trepte de comutație, ce de asemenea contribuie la majorarea costului instalației de comandă.

Cea mai apropiată soluție este convertorul de tensiune de curent alternativ în tensiune de curent alternativ pe baza cheilor electronice, care conține o sursă de curent alternativ, trei condensatoare de filtrare, patru chei electronice de curent alternativ, un transformator de frecvență înaltă cu două înfășurări, una dintre care conține două secții, și o bobină de inductanță [3].

Dezavantajul acestui convertor constă în faptul că se utilizează un număr mare de elemente feromagnetice și elemente semiconductoare active, aceasta duce la majorarea costului convertorului și a pierderilor de energie în el. Totodată, în acest convertor toate cheile electronice de curent alternativ lucrează în regim de comutație activ, ce duce la creșterea pierderilor de energie și, ca urmare, la micșorarea randamentului convertorului.

Problema pe care o rezolvă invenția constă în majorarea randamentului și micșorarea costului convertorului de tensiune de curent alternativ în tensiune de curent alternativ.

Convertorul, conform invenției, înlătură dezavantajele menționate mai sus prin aceea că include o sursă de curent alternativ, conectată în serie cu  $n$  contururi unite consecutiv. Fiecare contur conține câte două ramuri: prima – formată din două condensatoare de filtrare a armonicilor superioare, conectate în serie, și a doua – formată din două chei electronice de curent alternativ, conectate în serie. Convertorul mai conține un transformator de frecvență înaltă, format dintr-un miez feromagnetic cu întrefier, o bobină primară, formată din  $n$  secții, fiecare fiind conectată între punctul de conexiune a două condensatoare de filtrare și punctul de conexiune a două chei electronice din fiecare contur, și o bobină secundară. Bobina secundară a transformatorului este conectată în serie la o cheie electronică de curent alternativ, ultimele fiind conectate în paralel la un condensator de filtrare a armonicilor superioare și la a doua sursă de curent alternativ. Fiecare din cheile electronice de curent alternativ este formată din două tranzistoare unite între ele în serie în contrasens, totodată fiecare tranzistor este șuntat printr-o diodă.

Rezultatul tehnic al invenției constă în majorarea randamentului și micșorarea cheltuielilor de confecționare a convertorului de tensiune de curent alternativ în tensiune de curent alternativ.

Micșorarea cheltuielilor de confecționare a convertorului se asigură prin simplificarea schemei electrice a convertorului, și anume prin excluderea mai multor elemente funcționale, în comparație cu cea mai apropiată soluție: sunt excluse o cheie electronică de curent alternativ și o bobină de inductanță, utilizată pentru limitarea curenților la comutație. Micșorarea numărului de chei electronice de curent alternativ asigură și micșorarea cheltuielilor de confecționare a schemei de comandă a convertorului de tensiune de curent alternativ în tensiune de curent alternativ. De asemenea, în convertorul propus se utilizează transformatorul de frecvență înaltă, a cărui bobină secundară conține numai o secție, pe când în soluția cea mai apropiată se folosește un transformator de frecvență, bobina secundară a căruia conține două secții. Utilizarea unui astfel de transformator asigură micșorarea masei materialului conductor al înfășurărilor și a masei materialelor feromagnetice, ce de asemenea contribuie la micșorarea cheltuielilor de confecționare a transformatorului, ca urmare, și a convertorului. Micșorarea cheltuielilor de confecționare a convertorului se datorează de asemenea și micșorării numărului de legături dintre elementele funcționale.

Majorarea randamentului convertorului bidirecțional de tensiune de curent alternativ în tensiune de curent alternativ este o consecință a micșorării numărului de elemente semiconductoare active prin excluderea unei chei electronice de curent alternativ din schema funcțională în comparație cu cea mai apropiată soluție și prin micșorarea numărului de elemente inductive, deoarece în schema funcțională propusă nu se utilizează nici o inductanță, în comparație cu elementul inductiv utilizat în schema celei mai apropiate soluții. Excluderea acestor elemente, deci și a pierderilor provocate de curenți în acestea, contribuie la majorarea randamentului. De asemenea, la majorarea randamentului contribuie și utilizarea unui transformator de frecvență înaltă, a cărui bobină secundară conține numai o secție, pe

când în cea mai apropiată soluție se folosește un transformator de frecvență, bobina secundară a căruia conține două secții, deci și pierderile în transformatorul soluției propuse sunt mai mici, ceea ce asigură majorarea randamentului convertorului. Randamentul convertorului de asemenea se majorează și datorită utilizării unui algoritm de comandă, ce asigură comutația cheilor electronice de curent alternativ la tensiunea nulă pe chei.

Particularitățile menționate contribuie la obținerea rezultatului tehnic: micșorarea cheltuielilor de confecționare și majorarea randamentului convertorului de tensiune de curent alternativ în tensiune de curent alternativ.

Invenția se explică prin desenele din fig. 1-3, care reprezintă:

- fig. 1, schema echivalentă a convertorului;

- fig. 2, diagrama impulsurilor de comandă a cheilor electronice și forma curbelor de tensiune la intrarea și ieșirea convertorului;

- fig. 3, diagrama impulsurilor de comandă a cheilor electronice și forma curbelor de tensiune și curent în elementele convertorului.

Enumerarea pozițiilor din fig. 1:

1 – sursa de curent alternativ, 2 – condensatoarele de filtrare a armonicilor superioare, 3 – bobina primară a transformatorului de frecvență înaltă, 4, 5 – cheile electronice de curent alternativ, 6 – bobina secundară a transformatorului de frecvență înaltă, 7 – transformatorul de frecvență înaltă, miezul feromagnetic al căruia este executat cu întrefier, 8 – cheia electronică de curent alternativ, 9 – condensatorul de filtrare a armonicilor superioare, 10 – sursa de curent alternativ.

Explicarea diagramelor din fig. 2:

21 – forma curbei impulsului de comandă, aplicat la cheile electronice 4 și 8 ale tranzistorului de sus;

22 – forma curbei impulsului de comandă, aplicat la cheile electronice 4 și 8 ale tranzistorului de jos;

23 – forma curbei impulsului de comandă, aplicat la cheia electronică 5 a tranzistorului de sus;

24 – forma curbei impulsului de comandă, aplicat la cheia electronică 5 a tranzistorului de jos;

25 – forma curbei tensiunii sursei de curent alternativ 1 (vezi fig.1);

26 – forma curbei tensiunii în punctul de conexiune a cheilor electronice 4 și 5;

27 – forma curbei tensiunii în punctul de conexiune a cheii electronice 8 și a bobinei secundare 6 a transformatorului 7 de frecvență înaltă (vezi fig.1);

28 – forma curbei tensiunii sursei de curent alternativ 10 (vezi fig.1).

Explicarea diagramelor din fig. 3:

31 – forma impulsului de comandă, aplicat la cheile electronice 4 și 8;

32 – forma impulsului de comandă, aplicat la cheia electronică 5;

33 – forma curbei tensiunii în punctul de conexiune a condensatoarelor de filtrare 2 a armonicilor superioare din conturul N (vezi fig.1);

34 – forma impulsului tensiunii în punctul de conexiune a cheilor electronice 4 și 5 (vezi fig.1);

35 – forma impulsului curentului, care trece prin bobina primară 3 a transformatorului 7 (vezi fig.1);

36 – forma impulsului curentului, care trece prin bobina primară 3 a transformatorului 7 (vezi fig.1);

37 – forma impulsului tensiunii în punctul de conexiune a cheii electronice 8 și a bobinei secundare 6 a transformatorului 7 (vezi fig.1).

Convertorul bidirecțional de tensiune de curent alternativ în tensiune de curent alternativ include o sursă de curent alternativ 1, conectată în serie cu  $n$  contururi unite consecutiv. Fiecare contur conține câte două ramuri: prima – formată din două condensatoare de filtrare 2 a armonicilor superioare, conectate în serie, și a doua – formată din două chei electronice 4 și 5 de curent alternativ, conectate în serie. Convertorul mai conține un transformator 7 de frecvență înaltă, format dintr-un miez feromagnetic cu întrefier, o bobină primară, formată din  $n$  secții 3, fiecare fiind conectată între punctul de conexiune a două condensatoare de filtrare 2 și punctul de conexiune a două chei electronice 4 și 5 din fiecare contur, și o bobină secundară 6. Bobina secundară 6 a transformatorului 7 este conectată în serie la o cheie electronică 8 de curent alternativ, ultimele fiind conectate în paralel la un condensator de filtrare 9 a armonicilor superioare și la a doua sursă de curent alternativ 10. Fiecare din cheile electronice 4, 5 și 8 de curent alternativ este formată din două tranzistoare unite între ele în serie în contrasens, totodată fiecare tranzistor este șuntat printr-o diodă.

Convertorul funcționează în felul următor.

La aplicarea tensiunii de curent alternativ de la sursa de curent alternativ 1 și în prezența impulsurilor de comandă 21, 22, 23 și 24 (vezi fig. 2) pentru cheile 4, 5 și 8 pot fi asigurate două regimuri de lucru ale convertorului. Primul regim se asigură prin reglarea duratei impulsurilor de comandă 23 și 24 la cheia electronică 5. Energia de la sursa de curent alternativ 1 în acest regim se acumulează în câmpul magnetic al transformatorului 7. Acest regim mai este numit „fly-back”. Regimul al doilea se asigură prin reglarea duratei impulsurilor de comandă 21 și 22 la cheia electronică 4. În acest regim energia de la sursa de curent alternativ 1 se transmite direct la sursa de curent alternativ 10. Asemenea regim mai este numit „forward”.

A fost analizat lucrul convertorului la aplicarea semiunde pozitive a tensiunii de la sursa de curent alternativ 1 (vezi fig. 1). La trecerea sinusoidii prin zero, la tranzistoarele de jos ale cheilor electronice 4, 5 și 8 se aplică impulsurile de comandă 22 și 24 (vezi fig. 2) și tranzistoarele se deschid. În acest caz în procesul de transfer de energie de la sursa de curent alternativ 1 în sursa de curent alternativ 10 vor participa numai tranzistoarele de sus ale cheilor

electronice 4, 5 și 8. Fie că tensiunea surselor de curent alternativ 1 și 10 este pozitivă (vezi fig. 2, curbele 25 și 28). În acest moment, la tranzistorul de sus al cheii electronice 5 se aplică impulsul de comandă 32 (vezi fig. 3, pentru  $t_0$ ), care deschide acest tranzistor. Se formează un circuit din sursa de curent alternativ 1 – condensatorul de filtrare 2 – bobina primară 3 a transformatorului 7 – cheia electronică 5 – sursa de curent alternativ 1. Sub acțiunea sursei de curent alternativ 1 în acest circuit apare un curent (vezi fig. 3, curba 33), care crește și transferă energia din sursa de curent alternativ 1 în câmpul magnetic al transformatorului 7. Procesul va decurge până când se va stinge impulsul de comandă 32 (vezi fig. 3, pentru  $t_1$ ), aplicat la tranzistorul de sus al cheii electronice 5 și, respectiv, închiderea acestei chei. Durata impulsului de comandă 32 se determină prin expresia:

$$\tau_{32} = T - \tau_{31},$$

unde  $T$  – perioada impulsurilor de frecvență înaltă, a cărei valoare este determinată de frecvența din diapazonul 10...100 kHz.

De raportul dintre duratele impulsurilor de comandă 31 și 32, aplicate la cheile electronice 4 și 5, depinde raportul dintre valorile tensiunilor surselor de curent alternativ 1 și 10.

La închiderea cheii electronice 5, se formează două circuite. Primul circuit este format din bobina primară 3 a transformatorului 7 – dioda de sus a cheii electronice 4 – sursa de curent alternativ 1 – condensatorul de filtrare 2 – bobina primară 3 a transformatorului 7, al doilea circuit este format din bobina secundară 6 a transformatorului 7 – dioda de sus a cheii electronice 8 – sursa de curent alternativ 10 – bobina secundară 6 a transformatorului 7. Primul circuit asigură limitarea tensiunii de comutație a cheii electronice de curent alternativ la limita tensiunii de curent alternativ a sursei 1 (vezi fig. 2, curba 26), iar al doilea circuit asigură transferul de energie acumulată în câmpul magnetic al transformatorului 7 la sursa de curent alternativ 10 (în cazul de față ea este ca sarcină). Când tranzistorul de sus al cheii electronice 5 se închide, se aplică impulsul de comandă 31 la tranzistorul de sus al cheilor electronice 4 și 8, tranzistorii se deschid și scurtcircuitează dioda de sus a cheilor electronice 4 și 8 (vezi fig. 3, pentru  $t_2$ ). Aceasta nu influențează asupra procesului de transfer de energie din câmpul magnetic al transformatorului 7 către sursa de curent alternativ 10. Când curentul în bobina primară 3 a transformatorului 7 (vezi fig. 3, curba 35, pentru  $t_3$ ) își schimbă polaritatea, se începe al doilea regim de funcționare a convertorului, regimul numit „forward”. Din acest moment începe, paralel cu procesul de transfer de energie acumulată în câmpul magnetic al transformatorului 7 către sursa de curent alternativ 10, un nou transfer de energie, care are loc direct de la sursa de curent alternativ 1, prin circuitul format din sursa de curent alternativ 1 – cheia electronică de curent alternativ 4 – bobina primară 3 a transformatorului 7 – condensatorul de filtrare 2 – sursa de curent alternativ 1 și circuitul bobinei secundare 6 a transformatorului 7, către sursa de curent alternativ 10. Acest proces paralel are loc până când curentul în bobina primară 3 a transformatorului 7 (vezi fig. 3, curba 35, pentru  $t_4$ ) își schimbă polaritatea. În următorul moment se stinge impulsul de comandă 31, aplicat la tranzistorul de sus al cheii electronice 4 (vezi fig. 3, pentru  $t_5$ ). Cum se vede (fig. 3, curba 34, pentru  $t_4$  și  $t_5$ ), comutația și închiderea tranzistorului de sus al cheii electronice 4 au loc la tensiunea egală cu zero, ce micșorează pierderile de energie și, ca urmare, conduce la majorarea randamentului convertorului. Din momentul  $t_0$  se aplică un nou impuls de comandă 32 la cheia electronică 5 și procesul de funcționare a convertorului se repetă într-un nou ciclu de lucru până când valoarea instantanee a tensiunii sursei de curent alternativ 1 nu se va micșora până la zero (vezi fig. 2, curba 25).

La trecerea sinusoidei de tensiune a sursei de curent alternativ 1 (vezi fig.1) de la semiunda pozitivă la semiunda negativă prin zero (vezi fig. 2, curba 25) la tranzistoarele de jos ale cheilor electronice 4, 5 și 8 se sting impulsurile de comandă 22 și 24 (vezi fig. 2) și se aplică impulsurile de comandă 21 și 23 la tranzistoarele de sus ale cheilor electronice de curent alternativ 4, 5 și 8, ce deschid aceste tranzistoare. În cazul semiunde negative la procesul de transfer al energiei de la sursa de curent alternativ 1 în sursa de curent alternativ 10 vor participa numai tranzistoarele de jos ale cheilor electronice 4, 5 și 8. Procesul de comutație a cheilor electronice este asemănător cu comutația lor pe parcursul semiunde pozitive și nu va fi analizat.

Aplicabilitatea industrială a soluției propuse este determinată de faptul că convertorul bidirecțional de tensiune de curent alternativ în tensiune de curent alternativ se confecționează în baza componentelor electronice industriale, iar miezul feromagnetic al transformatorului de frecvență înaltă este executat cu întrefier, utilizat și pentru stocarea intermediară a unei porțiuni de energie din cadrul procesului de conversie, fiind confecționat în baza tipurilor standard ale miezurilor feromagnetice. Tehnologia de producere a microcircuitelor imprimate este accesibilă pentru realizare atât în condiții de laborator, cât și la uzinele cu profil de producere a echipamentelor electronice de diferită destinație.

Micșorarea cheltuielilor de confecționare a instalației se asigură prin excluderea mai multor elemente funcționale în comparație cu cea mai apropiată soluție, de exemplu sunt excluse o cheie electronică de curent alternativ și o inductanță pentru limitarea valorilor curenților de comutație, prin aceasta se asigură micșorarea numărului de elemente în convertorul propus. De asemenea, în convertorul propus se utilizează un singur transformator de frecvență înaltă cu o realizare constructivă simplificată cu două înfășurări, pe când în cea mai apropiată soluție se utilizează un transformator de frecvență înaltă, a cărui bobină secundară este confecționată cu două secții. Utilizarea unui transformator cu numai două înfășurări asigură diminuarea consumului de materiale și o utilizare mai eficientă a transformatorului de frecvență (se micșorează masa de material conductor necesar pentru asigurarea robusteții convertorului propus, se mărește coeficientul mutual al bobinelor). Prin aceasta se asigură micșorarea masei de material conductor și a masei materialelor feromagnetice, ce contribuie la micșorarea cheltuielilor de confecționare a

convectorului. Cheltuielile de confecționare a convectorului se micșorează, de asemenea, datorită reducerii numărului de legături dintre elementele funcționale.

Majorarea randamentului convectorului de tensiune de curent alternativ în tensiune de curent alternativ se obține ca rezultat al micșorării numărului de elemente semiconductoare pasive, adică la excluderea unei chei electronice de curent alternativ din schema funcțională a celei mai apropiate soluții și la micșorarea numărului de elemente inductive, deoarece în schema funcțională propusă nu se utilizează nici o bobină de inductanță pentru limitarea valorilor curenților de comutație, care este inclusă în schema funcțională a celei mai apropiate soluții. Excluderea elementelor enumerate, deci și a pierderilor provocate de curenți în acestea, contribuie la majorarea randamentului convectorului. De asemenea, la majorarea randamentului contribuie și utilizarea unui transformator de frecvență cu numai două înfășurări, prin aceasta se asigură o masă totală mai mică a transformatorului de frecvență înaltă în convectorul propus în comparație cu transformatorul de frecvență, la care bobina secundară este confecționată cu două semibobine, utilizat în cea mai apropiată soluție, ca urmare, pierderile de energie în convector sunt mai mici în comparație cu cele din cea mai apropiată soluție, deci randamentul total al convectorului se majorează.

Totalitatea particularităților indicate de realizare a convectorului bidirecțional de tensiune de curent alternativ în tensiune de curent alternativ asigură obținerea rezultatului invenției privind micșorarea cheltuielilor de confecționare a convectorului și majorarea randamentului lui de funcționare.