

Invenția se referă la electrotehnică, și anume la invertoarele de curent continuu în curent alternativ pentru sursele regenerabile de energie, și anume pentru modulele fotovoltaice.

Este cunoscut un inverter de curent continuu în curent alternativ pe bază de chei electronice, care conține o sursă de tensiune fotovoltaică, un filtru format dintr-un condensator, un convertor de curent continuu în curent continuu, care modifică parametrii tensiunii și care conține o inductanță, patru chei electronice și un condensator de frecvență înaltă, un transformator de frecvență înaltă, patru diode de redresare, un filtru de tensiune medie, format dintr-un condensator, precum și un convertor de curent continuu în curent alternativ, care conține patru chei electronice cu diode și un filtru de curent alternativ, care este format dintr-un condensator și două inductanțe [1].

Dezavantajul acestui inverter constă în faptul că sunt două trepte de convertizare a energiei cu un număr mare de elemente, care duce la pierderi sporite de energie în inverter.

De asemenea, este cunoscut un inverter de curent continuu în curent alternativ pe bază de chei electronice, care conține o sursă de tensiune fotovoltaică, un compensator al fluctuațiilor de putere, format din trei diode, o cheie electronică și o inductanță, un condensator de netezire a tensiunii de alimentare a inverterului, o punte cu patru chei electronice și un filtru electromagnetic, format din două inductanțe și trei condensatoare [2].

Dezavantajul acestui inverter constă în aceea că funcția de netezire (compensare) a fluctuațiilor de putere a sarcinii este realizată de către un condensator de capacitate mare cu pierderi dielectrice majorate, care se caracterizează prin valori ridicate ale masei și volumului, se utilizează un număr mare de inductanțe și condensatoare de filtrare a perturbațiilor electromagnetice ale inverterului, ceea ce implică creșterea masei și volumului inverterului, precum și pierderi sporite de energie condiționate de utilizarea unui număr mare de elemente, pentru care sunt specifice pierderi proprii sporite de energie, ce influențează negativ asupra randamentului inverterului.

Problema pe care o rezolvă invenția propusă constă în majorarea randamentului inverterului și micșorarea consumului de materiale la confecționarea lui.

Inverterul pentru modulul fotovoltaic, conform invenției, înlătură dezavantajele menționate mai sus prin aceea că conține un modul fotovoltaic, la ieșirea căruia sunt conectate în paralel prima ramură formată din două chei electronice, a doua ramură formată din două chei electronice, a treia ramură formată din două condensatoare și a patra ramură formată din două chei electronice, elementele fiecărei ramuri sunt legate între ele în serie. În paralel cu o cheie electronică a primei ramuri sunt conectate o inductanță și un condensator, legate între ele în serie. Între punctul de conexiune a cheilor electronice ale ramurii a doua și punctul de conexiune a condensatoarelor ramurii a treia este conectată o inductanță. Între punctul de conexiune a condensatoarelor ramurii a treia și punctul de conexiune a cheilor electronice ale ramurii a patra este conectat un condensator, bornele căruia formează ieșirile inverterului pentru conectarea sarcinii la acesta.

O particularitate a inverterului constă următoarele: condensatorul, folosit pentru netezirea fluctuațiilor de putere a sarcinii, este substituit cu un bloc funcțional, format din două chei electronice, la una dintre care în paralel este conectată o ramură consecutivă, formată dintr-o inductanță și un condensator, concomitent condensatoarele de filtrare a fluctuațiilor de putere în sarcină îndeplinesc și funcția de atenuare a perturbațiilor electromagnetice.

La funcționarea inverterului, alimentat de la module fotovoltaice, este dificil de asigurat echilibrul valorilor instantanee ale puterii generate și puterii consumate de sarcină, inclusiv, ca urmare a valorii limitate a puterii generate și devierea punctului real de generare de la punctul puterii maxime de generare a modulului fotovoltaic. Deoarece, în inverter are loc transformarea curentului continuu în curent alternativ, puterea activă instantanee consumată de sarcină prezintă o funcție armonică ce oscilează cu frecvență dublă în comparație cu frecvența fundamentală a curentului și tensiunii sarcinii. Banda de fluctuație a puterii instantanee în sarcină variază de la zero până la valoarea dublă a puterii generate de modulul fotovoltaic. Acest fapt și condiționează necesitatea dotării inverterului cu condensatoare destinate pentru acumularea și injectarea puterii în circuitul de curent alternativ pentru a asigura echilibrul instantaneu al puterii generate de modulul fotovoltaic și puterii instantanee consumate de sarcină. Puterea instantanee în circuitul de curent alternativ este determinată de relația:

$$p(t) = u(t)i(t) = U_m I_m \sin^2 \omega t = \frac{U_m I_m}{2} (1 - \cos 2\omega t)$$

în care componenta oscilatorie se determină din relația:

$$p_-(t) = \frac{U_m I_m}{2} \cos 2\omega t$$

unde U_m, I_m - amplitudinile tensiunii și curentului în circuitul sarcinii.

Componenta $p_-(t)$ pe perioada de oscilație variază de la „minus” până la „plus”:

$$\left| \frac{U_m I_m}{2} \cos 2\omega t \right| \text{ pentru } 0 < t < \frac{T}{2}$$

unde T - perioada de oscilație a curentului (tensiunii) în circuitul sarcinii, valoarea ei maximală este egală cu

$$P_{\sim} = \frac{U_m^2}{2} \omega C$$

. Axa în jurul căreia evoluează puterea de oscilație este reprezentată de componenta constantă a puterii.

Se consideră că energia acumulată în condensator, care participă la schimbul de putere este egală cu 1000 W. Pentru aceste condiții calculăm valoarea capacității condensatorului care, pentru regimul admisibil de funcționare a lui, asigură posibilitatea funcționării invertorului la parametrii indicați. Se admite că invertorul este alimentat de la

modulul fotovoltaic cu tensiunea de curent continuu $U_0 = 400V$. Condensatorul de netezire a fluctuațiilor de putere din cea mai apropiată soluție tehnică posedă valori limitate ale componentei alternative a tensiunii aplicate, care pentru condensatoarele de capacitate mare nu depășește 6% din tensiunea lui nominală [Электрические конденсаторы и конденсаторные установки. Справочник. В. В. Берзан, Б. Ю. Геликман, М. Н. Гураевский и др. Под ред. Г. С. Кучинского, Москва, Энергоатомиздат, 1987, 656 p.]. Considerând că tensiunea nominală a condensatorului coincide cu valoarea tensiunii modulului fotovoltaic, determinăm valoarea componentei tensiunii alternative admisibile pentru aceste condensatoare:

$$U_{C.adm.} = 0,06U_0 = 24V$$

Pentru valoarea dublă a frecvenței egală cu 100 Hz determinăm valoarea capacității condensatorului de netezire a fluctuațiilor de putere în invertorul din cea mai apropiată soluție tehnică:

$$C = \frac{2P_{\sim}}{U_m^2 2\pi f} = \frac{P_{\sim}}{U_m^2 \pi f} = 0,005529F = 5529\mu F$$

Condensatoarele electrolitice, de exemplu, de tipul K50-37-250V -4700 μF au valoarea tangentei unghiului de pierderi $tg\delta = 0,15$ și pierderile în acest condensator pentru regimul invertorului la 1000 W în sarcină vor constitui:

$$P_{ig} = \frac{U_m^2}{2} 2\pi f C tg\delta = \frac{24^2}{2} 2\pi 100 \cdot 5529 \cdot 10^{-6} 0,15 = 145W$$

În soluția propusă netezirea fluctuațiilor de putere se face în regim dinamic de compensare a devierilor de putere. Aceasta permite urmărirea devierilor instantanee în timp real, ca urmare se poate admite devierea tensiunii pe condensator de la zero până la valoarea maximă a tensiunii modulului fotovoltaic, deci în diapazonul 0...400 V. Pentru aceste condiții de funcționare valoarea capacității condensatorului se determină, de asemenea, din relația:

$$C = \frac{2P_{\sim}}{U_m^2 2\pi f} = \frac{1000}{400^2 \pi 100} = 1,99 \cdot 10^{-5} F \approx 20\mu F$$

Capacitatea obținută este caracteristică pentru condensatoarele cu dielectric organic (fie hârtie, fie pelicule din masă plastică, ca polietilenteraftalat, policarbonat sau polipropilenă). Condensatoarele cu dielectric organic, de exemplu de tipul K75-10-250V -10 μF , au valoarea tangentei unghiului de pierderi $tg\delta = 0,0015$ și pierderile în acest condensator pentru regimul invertorului la 1000 W în sarcină vor constitui:

$$P_{ig} = \frac{U_m^2}{2} 2\pi f C tg\delta = \frac{400^2}{2} 2\pi 100 \cdot 20 \cdot 10^{-6} 0,0015 = 1,5W$$

În soluția propusă pierderile de energie sunt mult mai mici în condensatoarele de netezire a fluctuațiilor de putere în comparație cu cea mai apropiată soluție. Totodată, masa condensatoarelor K50-37-250V -4700 μF la 1000 W putere constituie 3,4 kg, pe când masa condensatoarelor K75-10-250V -10 μF pentru aceeași putere este egală cu 0,78 kg.

Ca urmare, se asigură economisirea consumabilelor la confecționarea invertorului. Deoarece compensația fluctuațiilor de putere se face în dinamică, practic acestea se exclud, ca rezultat se exclud și devierile regimului modulului fotovoltaic de la punctul de lucru - numit punctul de putere maximă, ceea ce asigură sporirea eficienței și randamentului invertorului.

Deoarece numărul bobinelor în inductanțele parcurse de curenți s-a micșorat de la cinci la două, se micșorează, de asemenea, și această componentă a pierderilor invertorului. Ca urmare a cumulării în soluția propusă a funcției de netezire a fluctuațiilor de putere în sarcină și a funcției de atenuare a pulsațiilor electromagnetice, efectuate de unele și aceleași condensatoare, de asemenea se contribuie la micșorarea consumului total de materiale la confecționarea invertorului. Micșorarea pierderilor în condensatoarele și inductanțele invertorului asigură majorarea randamentului lui, iar cumularea funcțiilor și utilizarea regimului de compensare în timp real a fluctuațiilor de putere asigură economisirea consumabilelor la confecționarea invertorului.

Toate aceste particularități contribuie la rezolvarea problemei puse, și anume majorarea randamentului invertorului și micșorarea consumului de materiale la confecționarea lui.

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

- fig. 1, schema principală a invertorului pentru modulul fotovoltaic;

- fig. 2, forma de undă a tensiunii, curentului și puterii consumate de sarcină;
- fig. 3, formele de undă a tensiunii în punctul de conexiune a condensatoarelor, conectate în paralel cu modulul fotovoltaic, și curba tensiunii sarcinii.

Enumerarea pozițiilor din fig. 1-3: 1 - modulul fotovoltaic; 2 și 3, 4 și 5, 8 și 9 - cheile electronice; 6 și 7, 11, 13 - condensatoarele; 10 și 12 - inductanțele; 14 - sarcina; 15 - curba curentului în sarcină; 16 - curba tensiunii sarcinii; 17 - puterea medie activă a sarcinii; 18 - curba fluctuațiilor de putere a sarcinii; 19 - impulsul de putere acumulat de condensatorul de netezire a fluctuațiilor de putere în sarcină; 20 - impulsul de putere injectat de către condensatorul de netezire în sarcină; 21 - semiunda pozitivă a curbei de tensiune în sarcină; 22 - semiunda negativă a curbei de tensiune în sarcină; 23 - tensiunea în punctul de conexiune a condensatoarelor 6 și 7.

Invertorul pentru modulul fotovoltaic (vezi fig. 1) conține o sursă de curent continuu, în particular un modul fotovoltaic 1, la ieșirea căruia sunt conectate în paralel patru ramuri, formate din cheile electronice 2 și 3, 4 și 5, 8 și 9 și condensatoarele 6 și 7, elementele fiecărei ramuri fiind legate în serie. La ramura formată din cheile electronice 2 și 3, în paralel cu cheia electronică 3 este conectată inductanța 10 și condensatorul 11, legate între ele în serie. Între punctul de conexiune a cheilor electronice 4 și 5, precum și punctul de conexiune a condensatoarelor 6 și 7 este conectată inductanța 12. Sarcina 14 este conectată în paralel cu condensatorul 13, care este conectat între punctul de conexiune a condensatoarelor 6 și 7 și punctul de conexiune a cheilor electronice 8 și 9.

În continuare se explică cum are loc netezirea în dinamică a fluctuațiilor de putere a sarcinii, care depășesc valoarea medie a puterii din circuitul sarcinii.

După cum se vede din fig. 2, curba fluctuațiilor de putere a sarcinii 18 reprezintă o sinusoidă, valorile căreia oscilează față de puterea medie a sarcinii 17. Curba fluctuațiilor de putere a sarcinii 18 prezintă rezultatul produsului valorilor instantanee ale curentului 15 și tensiunii 16 sarcinii. În cazurile în care valorile instantanee ale curbei fluctuațiilor de putere în sarcină 18 sunt sub valoarea puterii medii 17, condensatorul de netezire a fluctuațiilor de putere în sarcină acumulează surplusul de putere prezentat de impulsul 19, iar în cazul în care valorile instantanee ale curbei fluctuațiilor de putere în sarcină 18 depășesc valoarea puterii medii 17, condensatorul de netezire a fluctuațiilor de putere în sarcină injectează puterea acumulată prezentată de impulsul 20 în sarcină.

Se analizează regimul de lucru al invertorului. Puterea generată (vezi fig. 1) de modulul fotovoltaic 1 este transformată în semiundă pozitivă 21 și semiundă negativă 22 (vezi fig. 3) a tensiunii 16 (vezi fig. 2). Pentru tensiunea condensatorului 6 (vezi fig. 1) egală cu zero tensiunea condensatorului 7 (vezi fig. 1) este egală cu valoarea tensiunii modulului fotovoltaic 1 (vezi fig. 3 pentru t_0), iar tensiunea sarcinii 14 trece prin zero și începe formarea semiundei pozitive 21 a tensiunii 16 sarcinii 14. În acest moment se aplică impulsul de comandă la cheia electronică 5. La deschiderea cheii electronice 5 se formează un circuit ce include modulul fotovoltaic 1, condensatorul 6, inductanța 12, cheia electronică 5 și modulul fotovoltaic 1. Din acest moment condensatorul 6 începe să se încarce, iar condensatorul 7 (vezi fig.1) începe să se descarce prin inductanța 12. Când cheia electronică 5 se închide, se deschide dioda cheii electronice 4 și datorită energiei acumulate în câmpul magnetic al inductanței 12, condensatorul 6 se încarcă în continuare, iar condensatorul 7 se descarcă. Prin reglarea duratei de deschidere-închidere a cheii electronice 5 se reglează valoarea curentului de încărcare a condensatorului 6 până la atingerea tensiunii acestuia valorii egale cu tensiunea modulului fotovoltaic 1 și valoarea curentului de descărcare a condensatorului 7 până la atingerea valorii tensiunii acestuia egale cu zero. În momentul t_1 (vezi fig. 3) se deschide cheia electronică 9 și cheia electronică 4. Prin aceasta se formează circuitul ce include următoarele elemente: modulul fotovoltaic 1, cheia electronică 4, inductanța 12, condensatorul 13 și sarcina 14, cheia electronică 9, modulul fotovoltaic 1. În acest circuit apare un curent limitat de inductanța 12, care asigură transmisia puterii din modulul fotovoltaic 1 în câmpul magnetic al inductanței 12, în câmpul electric al condensatorului 13 și în sarcină, asigurând creșterea tensiunii 16 sarcinii (vezi fig. 3). Când cheia electronică 4 se închide, se formează circuitul ce include inductanța 12, condensatorul 13 și sarcina 14, cheia electronică 9, dioda cheii electronice 5, inductanța 12, în care energia acumulată în câmpul magnetic al inductanței 12 se transmite în sarcină. Reglând durata de închidere-deschidere a cheii electronice 4 se formează unda pozitivă a semiundei 21 tensiunii 16 în sarcină (vezi fig. 3, intervalul t_1-t_2). În momentul t_3 cheia electronică 9 se închide.

Semiunda negativă a tensiunii sarcinii se formează astfel. În momentul t_2 tensiunea condensatorului 7 (vezi fig. 3, curba 23, momentul t_2) este egală cu zero. Pentru aceste condiții tensiunea condensatorului 6 este egală cu valoarea tensiunii modulului fotovoltaic 1, iar tensiunea sarcinii are valoarea zero, din acest moment se derulează procesul de formare a semiunde negative 22 a tensiunii 16. În momentul t_2 se aplică impulsul de comandă la cheia electronică 4. La deschiderea cheii electronice 4 se formează un circuit ce include modulul fotovoltaic 1, cheia electronică 4, inductanța 12, condensatorul 7, modulul fotovoltaic 1. Pentru $t > t_2$ condensatorul 7 începe a se încărca, iar condensatorul 6 începe a se descărca cu curentul limitat de către inductanța 12. Când cheia electronică 4 se închide, se deschide dioda cheii electronice 5 și datorită energiei acumulate în câmpul magnetic al inductanței 12, condensatorul 7 se încarcă în continuare, iar condensatorul 6 se descarcă. Prin reglarea duratei de deschidere-închidere a cheii electronice 4, se reglează valoarea curentului de încărcare a condensatorului 7 până la atingerea valorii tensiunii acestuia egale cu tensiunea modulului fotovoltaic 1 și valoarea curentului de descărcare a condensatorului 6 până la atingerea valorii tensiunii acestuia egale cu zero (vezi fig. 3, momentul t_3). Pentru $t > t_3$ se deschide cheia electronică 8 și cheia electronică 5 cu formarea circuitului ce include modulul fotovoltaic 1, cheia electronică 8, condensatorul 13 și sarcina 14, inductanța 12, cheia electronică 5, modulul fotovoltaic 1. În acest circuit apare un curent limitat de inductanța 12, care transferă puterea din modulul fotovoltaic 1 în câmpul magnetic al inductanței 12, în câmpul electric al condensatorului 13 și în sarcină, asigurând descreșterea tensiunii 16 sarcinii

14 (vezi fig. 3, intervalul t_3-t_0). Când cheia electronică 5 se închide, se formează circuitul ce include inductanța 12, condensatorul 13 și sarcina 14, cheia electronică 8, dioda cheii electronice 4, inductanța 12, în care energia acumulată în câmpul magnetic al inductanței 12 se transferă în sarcina 14. Reglând durata de închidere-deschidere a cheii electronice 5 se formează semiunda negativă a tensiunii 16 în sarcina 14 (vezi fig. 3, intervalul t_3-t_0). Din momentul t_0 se închide cheia electronică 8 și procesul de lucru al inverterului se repetă.

Netezirea dinamică a fluctuațiilor de putere pe sarcină la funcționarea inverterului se efectuează în felul următor. În momentul t_0 (vezi fig.2) tensiunea 16 pe sarcină are valoarea egală cu zero. Se presupune că inverterul se află în starea caracterizată de momentul t_1 (vezi fig. 2). În acest moment valoarea puterii de oscilație 18 devine egală cu valoarea puterii medii 17. În momentul $t=t_1$ se deschide cheia electronică 2 cu formarea circuitului din modulul fotovoltaic 1, cheia electronică 2, inductanța 10, condensatorul 11 și modulul fotovoltaic 1. În acest circuit apare un curent limitat de inductanța 10, care asigură acumularea energiei livrate de modulul fotovoltaic în câmpul magnetic al inductanței 10 și în câmpul electric al condensatorului 11. După închiderea cheii electronice 2 se deschide dioda cheii electronice 3 și condensatorul 11 se încarcă prin acumularea energiei câmpului magnetic al inductanței 10. Prin reglarea timpului de deschidere și închidere a cheii electronice 2 se acumulează puterea în condensatorul 11. Acest

proces are loc în intervalul de timp $t_1 < t < t_2$. În momentul $t = t_2$ se deschide cheia electronică 3 cu formarea circuitului din condensatorul 11, inductanța 10, cheia electronică 3 și în acest circuit apare un curent limitat de inductanța 10, care asigură redistribuirea energiei acumulate în condensatorul 11 în câmpul magnetic al inductanței 10. După închiderea cheii electronice 3 se deschide dioda cheii electronice 2 și puterea acumulată în câmpul magnetic al inductanței 10 și în câmpul electric al condensatorului 11 se transmite în sarcina 14. Prin reglarea timpului de deschidere și închidere a cheii electronice 3 se reglează puterea injectată în sarcina 14 de către condensatorul 11 în intervalul de timp $t_2 < t < t_3$. Pentru $t = t_3$ se deschide din nou cheia electronică 2 și procesul

de lucru se repetă ca și pentru descrierea anterioară a ciclului de lucru (vezi cazul $t = t_1$).

Majorarea randamentului inverterului prezintă o urmare a micșorării pierderilor în condensatorul de netezire a fluctuațiilor de putere în sarcină, pierderilor în elementele inductive și cumulării funcției de netezire a fluctuațiilor de putere și atenuare a fluctuațiilor electromagnetice, iar diminuarea consumului de materiale se obține datorită utilizării unui procedeu eficient de netezire a fluctuațiilor de putere condiționate de sarcină în dinamică și funcționarea condensatorului la devieri în bandă largă ale valorilor tensiunii aplicate la condensator.

Totalitatea semnelor indicate ale soluției tehnice propuse de realizare a inverterului pentru module fotovoltaice asigură atingerea sarcinii invenției privind majorarea randamentului inverterului și micșorarea consumului de materiale la confecționarea lui.