

3. Golovanov N. *Calitatea energiei electrice în microrețele*. PROBLEMELE ENERGETICII REGIONALE 1 (30) 2016. pp.32-38. ISSN 1857-0070.

## **INVERTOR MONOFAZAT PENTRU RACORDAREA MODULELOR PV LA REȚEAUA DE DISTRIBUȚIE A ENERGIEI ELECTRICE**

**Iurie ERMURACHI, IUERIE Iu. ERMURACHI, Nicolae ANDRONATI**

Institutul de Energetică al Academiei de Științe a Moldovei

**Abstract:** *Se propune soluția de realizare a unui invertor apt să asigure funcționarea injecția energiei electrice în rețeaua de distribuție centralizată în regim de fluctuație aleatorie a puterii de generare a modulelor fotovoltaice. Tranzistorii invertorului funcționează în regim de comutații ZVS cu realizarea principiului TCM (Triangular Current Mode). S-a propus un algoritm nou de dirijare cu tranzistorii invertorului care asigură regimul lor comutație la frecvență variabilă. Frecvența de comutație este determinată de valoarea curentă instantanee a tensiunii rețelei de distribuție. S-a confecționat și testat mostra de laborator a invertorului cu puterea de 2 kW. Pentru sarcina activă s-a obținut randamentul de 98% și densitatea specifică a puterii peste 10 kW/dm<sup>3</sup>.*

**Cuvinte cheie:** *invertor DC/AC, comutație ZVS, frecvență variabilă de comutație.*

### **1. Introducere**

Valorificarea surselor de energie regenerabilă (SER) prezintă o prioritate pe plan internațional în domeniul asigurării cu energie a consumatorilor și este un obiectiv strategic pentru Republica Moldova stipulat în documentele de politici energetice adoptate în prezent în țară [1,2]. Producerea energiei electrice prin conversia radiației solare de către centralele PV este o soluție avantajoasă pentru Moldova, inclusiv și prin extinderea centralelor PV de mică putere, proprietarii cărora sunt consumatorii individuali. Stimularea extinderii producerii energiei de centrale PV de mică putere poate avea un impact benefic pentru sistemul electroenergetic și sporirea investițiilor în sector efectuate de persoane particulare.

Problema accelerării dezvoltării acestui segment de producere a energiei electrice se poate rezolva prin asigurarea unor condiții de racordare a centralelor PV de mică putere la rețeaua centralizată de joasă tensiune, utilizând adaptoare de tipul DC/AC.

Caracterul intermitent al densității energiei surselor regenerabile are influență asupra eficienței producerii energiei electrice, deci și a duratei de recuperare a investiției. Adaptorul, care prezintă un invertor de tensiune de tipul DC/AC, are destinația și de asigurare a funcționării eficiente a modulelor PV prin menținerea regimului de generare în punctul maxim de putere (PMP).

### **2. Avantaje și dezavantaje a soluțiilor de confecționare a invertoarelor de tip DC/AC**

Analiza soluțiilor de realizare ale invertoarelor de tensiune arată, că schemele funcționale utilizate includ multe elemente pasive, ce are ca urmare sporirea consumului de consumabile și materiale active, inclusiv, și majorarea costului invertoarelor, care poate limita aria lor de utilizare în schema de producere distribuită a energiei electrice de către consumatorii privați. Ridicarea indicilor energetici și de cost a invertoarelor DC/AC se poate face prin ridicarea frecvenței de comutație a cheilor electronice în ciclul de lucru, cumulara funcțiilor îndeplinite de diferite elemente unitare într-un singur element de construcție specială, de exemplu, amplasarea elementelor inductive pe un singur miez feromagnetic, ridicarea eficienței transferului de energie dintr-un circuit în altul, micșorarea pierderilor prin optimizarea regimului de comutație a tranzistoarelor-utilizarea regimului de ușoară comutație.

Regimul de ușoară comutație se realizează la o frecvență mai ridicată în comparare cu regimul de comutație dură (hard switching) prin ce se diminuează și intensitatea emisiilor electromagnetice (EMI) cu sporirea compatibilității electromagnetice a invertorului. În invertoarele cu topologie tradițională filtrul EMI ocupa până la o treime din volumul invertorului [3].

În rezultatul analizelor invertoarelor cu topologia transformatorless [4] s-a constatat, că întru micșorarea pierderile în circuitele de forță se folosește un număr minimal de tranzistori cu valoarea minimală a rezistenței interne. Ca dezavantaj al convertorului [4] se indică coeficientul ridicat de distorsiune al curentului, ce necesită

dotarea inverterului cu filtru EMI, ce conduce la diminuarea indicilor specifici de masă și volum [5,6]. În [7] se prezintă varianta modificată a topologiei transformatorless ce permite conexiunea bornelor de ieșire cu sursa de alimentare prin intermediul unei diode. Aceasta permite o micșorare semnificativă ale emisiilor electromagnetice.

Aplicarea unei noi metode de comutație a tranzistoarelor [8] în regim de ușoară comutație (la tensiunea egală cu zero-ZVS) conduce la reducerea pierderilor în tranzistoare. O dezvoltare a tehnologiei de comutație ușoară este prezentată în lucrările [8,9], regimul ZVS pe parcursul întregi perioadei de alimentare, cunoscută în prezent sub denumirea TCM (Triangular Current Mode). Urmare a acestora se pot utiliza frecvențe ridicate de comutare a tranzistoarelor (până la sute de kHz).

### 3. Soluția propusă de realizare a inverterului

În invertoarele în care se realizează regimul ZVS după procedeul TCM au loc pulsații ale mărimilor electrice cu frecvență dublă în comparare cu frecvența semnalului de ieșire și aceste pulsații este necesar de filtrat sau compensat. Astfel, capacitatea condensatorului filtrului de intrare a inverterului la această frecvență trebuie să fie cel puțin de 2,5 mF, de exemplu, pentru puterea convertorului egală cu 2 kW și tensiunea de intrare 450 V. Volumul bateriei de condensatoare este foarte mare, chiar la utilizarea condensatoarelor de tip electrolit, ce se reflectă și asupra costului inverterului [10]. Cerințele impuse de regimul de funcționare al inverterului privind amplitudinea pulsațiilor nu se racordează cu regimul admisibil de exploatare al condensatoarelor electrolitice, ceea ce are impact asupra indicilor de masă și gabarit a filtrului (neutilizarea eficientă a capacităților energetice ale condensatoarelor filtrului). În fig. 1 se prezintă schema bloc a inverterului propus.

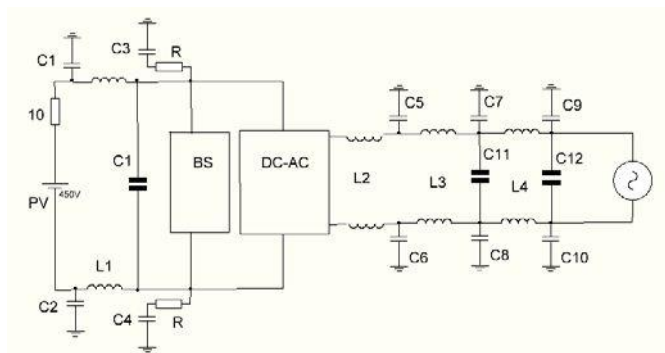


Fig. 1. Schema bloc a inverterului

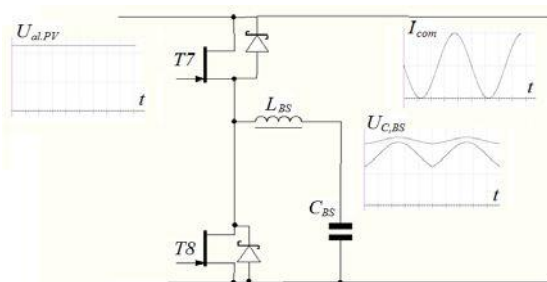


Fig. 2. Schema echivalentă a blocului special BS de compensare a curentului cu frecvența dublă

Depășirea dezavantajului privind indicii de masă și gabarit ridicați în soluțiile cunoscute este posibilă ca urmare a introducerii în schema convertorului a unui bloc special (BS), care este destinat pentru a realiza funcția de compensare a pulsației curentului sursei de alimentare PV (fig.1). Funcția realizată de acest bloc constă în dirijarea cu nivelul pulsației tensiunii condensatorului filtrului prin majorarea acestor pulsații până la valoarea admisă de documentația tehnică. Prin aceasta se asigură majorarea sarcinii condensatorului și sporirea eficienței energetice a utilizării lui, care are ca rezultat îmbunătățirea indicilor de masă și gabarit a filtrului. Schema BS este prezentată în fig.2.

Curentul de compensare se schimbă după legea funcției sinusoidale, proporțional cu curentul în sarcina inverterului  $I_S$  și poate oscila în bandă de (0-0,5)  $I_S$  în regim de putere activă a inverterului. În elementul BS se folosește metoda TCM de comutație a cheilor T7 și T8 la valorile tensiunilor pe aceste chei aproape de zero (ZVS). Ca elementul BS să formeze curent sinusoidal, tensiunea fluctuațiilor pe condensatorul  $C_{BS}$  trebuie să se schimbe după legea unui polinom de gradul doi. Raportul dintre durata impulsului aplicat la cheia electronică și pauză se determină de relația  $(U_{C.BS} / U_{al.PV}) = (t_{imp.} / T_{com.})$ , în care  $U_{C.BS}$  - valoarea instantanee a tensiunii pulsației condensatorului;  $U_{al.PV}$  - tensiunea sursei PV;  $t_{imp.}$  - durata impulsului de comandă a cheii electronice;  $T_{com.}$  - perioada impulsului de comandă.

Durata impulsului  $t_{imp.} = const$  este determinată de condiția, ca miezul feromagnetic al inductanței  $L_{BS}$  să nu intre în faza de saturație. La îndeplinirea acestei condiții în inductanța  $L_{BS}$  se scurge un curent de formă triunghiulară.

Valoarea curentului prin inductanța  $L_{BS}$  determină timpul de încărcare a capacității interioare a cheii electronice, deci determină în așa mod durata pauzei dintre impulsurile de comandă, care asigură excluderea

regimului de scurtcircuit în celulă (curent cheie-cheie). Durata acestei pauze este determinată de timpul necesar pentru asigurarea procesului garantat de închidere a cheilor.

O altă condiție o constituie cerința ca curentul  $I_L$  în inductanța  $L_{BS}$  în timpul comutației trebuie să depășească o oarecare valoare  $I_{min}$ .

Din fig. 3, reiese, că în caz că curentul de compensare  $I_{comp}$  este mic, atunci și frecvența de comutație a cheilor electronice T7 și T8 este mică. Cu creșterea curentului de compensare  $I_{comp}$ , crește și frecvența de comutație. La micșorarea curentului prin inductanța  $L_{BS}$  sub valoarea  $I_{min}$ , frecvenței de comutație  $f_{com}$ , a cheilor electronice ale BS i se atribuie prin salt o valoare mai mare întru excluderea în procesul funcționării convertorului a regimului de trecere a curentului inductanței  $I_L$  prin zero (fig.4).

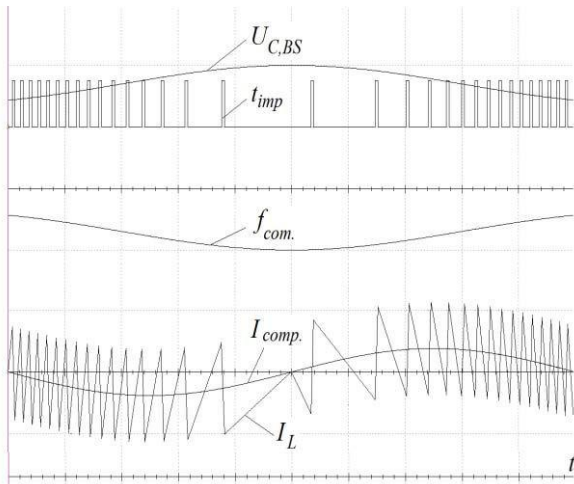


Fig. 3. Diagramele evoluției în timp a tensiunii condensatorului  $C_{BS}$ , frecvenței  $f_{com}$  de comutație a cheilor, curentului  $I_{comp}$  de compensație, curentul  $I_L$  în inductanța  $L_{BS}$

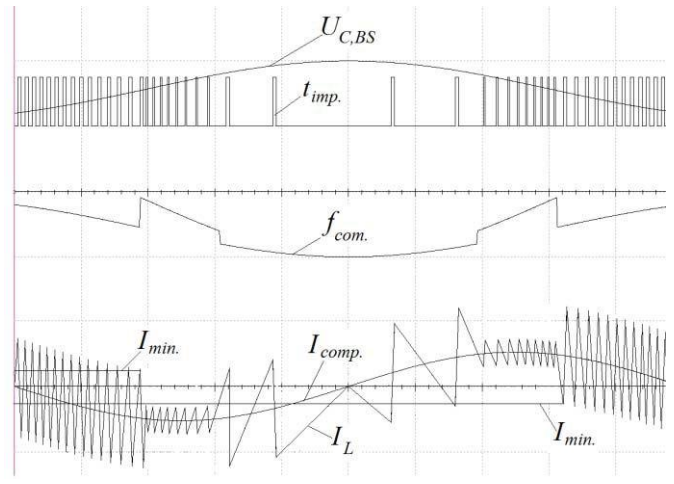


Fig. 4. Diagramele evoluției în timp a tensiunii condensatorului  $C_{BS}$ , frecvenței  $f_{com}$  de comutație a cheilor, curentului  $I_{comp}$  de compensație, curentul  $I_L$  în inductanța  $L_{BS}$  pentru condiția  $I_L > |I_{min}|$

Concomitent, pentru acest curent se îndeplinește condiția  $I_L > I_{min}$ . Aceasta arhitectura și modul de comutație a cheilor electronice permite majorarea frecvenței de comutație  $f_{com}$  până la câteva sute de kHz. Deoarece frecvența de comutație  $f_{com} = var.$ , aceasta conduce la diminuarea pierderilor de comutație a cheilor electronice. Utilizarea algoritmului nou de dirijare cu cheile electronice și arhitecturii modificate a elementului BS a asigurat micșorarea capacității necesare a condensatorului  $C_{BS}$  de la mii de  $\mu F$  la câteva sute de  $\mu F$ .

Mostra convertorului realizat cu puterea de 2 kW este prezentat în fig. 5

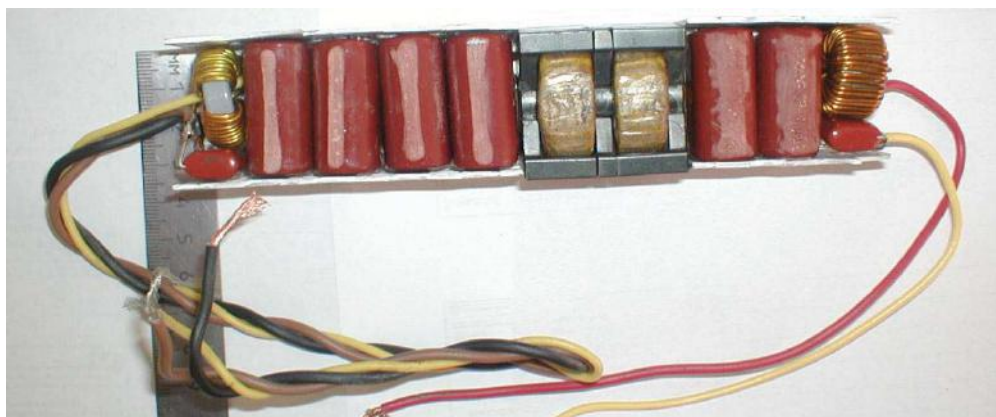


Fig. 5. Mostra invertorului DC/AC cu puterea 2 kW

Diagramele curentului intrare și ieșire pentru cazul sarcinii active  $R_S=28$  Ohm sunt prezentate în fig. 6 și 7.

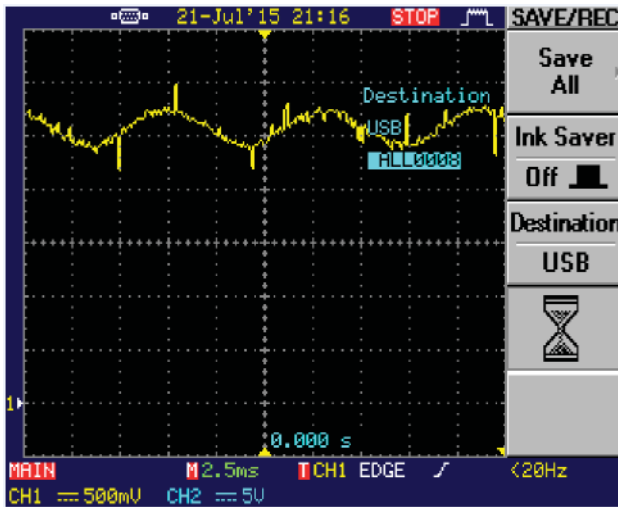


Fig.10. Curentul la intrarea în inverter pentru cazul sursei cu puterea limitată

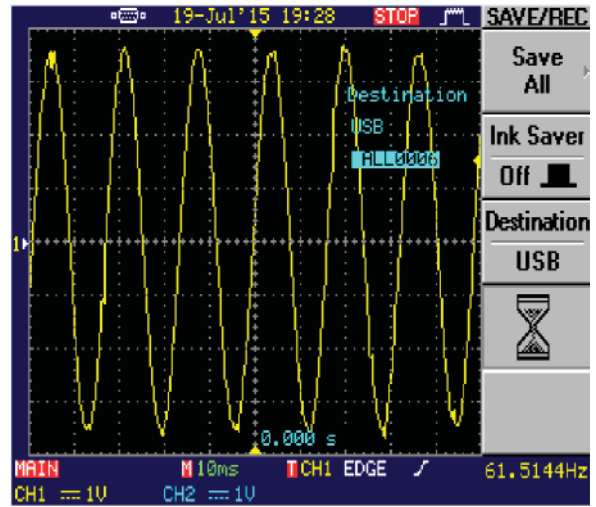


Fig.11. Curentul la ieșirea inverterului (în sarcină); putere limitată a sursei

### Concluzii

1. Topologia propusă a inverterului DC/AC asigură regimul de ușoară comutație a tranzistorilor la frecvență ridicată.
2. Verificarea experimentală a confirmat eficiența soluției propuse de realizare a inverterului cu indici de masă și volum ridicați, ca și a calității energiei livrate sarcinii. Inverterul cu puterea de 2 kW are randamentul de 98% în cazul sarcinii active și densitatea specifică a puterii peste 10 kW/dm<sup>3</sup>.

### Bibliografie

1. HOTĂRÎRE Nr.102 din 05.02.2013 cu privire la Strategia energetică a Republicii Moldova pînă în anul 2030. <http://lex.justice.md/md/346670/>
2. HG Nr. 833 din 10.11.2011 cu privire la PNEE 2011-2020. <http://lex.justice.md/viewdoc.php?>
3. Kolar J. W., Biela J., Miniboeck J. *Exploring the pareto front of multi-objective single-phase PFC rectifier design optimization—99.2% efficiency versus 7kW/dm<sup>3</sup> power density*. Proc. IEEE 6th Int. PowerElectron. Motion Control Conf., 2009, pp. 1–21.
4. Musavi F., Edington M., Eberle W., Dunford W. G. *Evaluation and efficiency comparison of front end AC-DC plug-in hybrid charger topologies*. IEEE Trans. Smart Grid, vol. 3, no. 1, pp. 413–421, Mar. 2012.
5. *Differential and Common Mode Noise - Murata*. <http://www.murata.com/~media/webrenewal/.../emc/...26to30.ashx>
6. *EMI and Layout Fundamentals for Switched-Mode Circuits*. <http://ecee.colorado.edu/~ecen5797.../layout.pdf>
7. <http://www.vincotech.com/fileadmin/downloads/power/ApplicationNotes/AN200912DesignconceptsinglesphaseTL.pdf>
8. Marxgut C., Biela J., Kolar J. W. *Interleaved triangular current mode (TCM) resonant transition, single phase PFC rectifier with high efficiency and high power density*. Proc. Int. Power Electron. Conf., 2010, pp. 1725–1732.
9. Su B., Zhang J., Lu Z. *Totem-Pole boost bridgeless PFC rectifier with simple zero-current detection and full-range ZVS operating at the boundary of DCM/CCM*. IEEE Trans. Power Electron., vol. 26, no. 2, pp. 427–435, Feb. 2011.
10. Ermurachi Iu., Berzan V., Ermurachi Iu. *Inverter pentru modul fotovoltaic*. Brevet MD 944 Z, BOPI nr. 8/2015.