

# PRINCIPALELE CONFIGURAȚII ALE SISTEMELOR SOLARE ȘI TOPOLOGII DE INVERTOARE FOTOVOLTAICE

## Șef lucrări dr. ing. Lucian MIHEȚ-POPA

Absolvent al Facultății de Electrotehnică, Timișoara, promoția 1999. A absolvit studiile aprofundate în 2000, la specializarea acționări electrice și electronică de putere; în 2003 a obținut titlul de doctor în inginerie electrică. În prezent este cadru didactic la Facultatea de Electrotehnică, în cadrul Catedrei de mașini, acționări și utilizarea energiei (MAUE). Este autor a trei cărți și a publicat peste 25 de lucrări științifice, ca prim autor, în reviste internaționale și naționale. A participat la șase contracte de cercetare, dintre care trei, internaționale. A fost profesor invitat în Germania, la Universitatea din Siegen, în anul 2004, și a lucrat ca cercetător la Universitatea din Aalborg–Danemarca, în perioada 2000–2002.



## Conf. dr. ing. Dan NICOARĂ

Absolvent al Institutului Politehnic „Traian Vuia” din Timișoara, Facultatea de Electrotehnică, Secția electromecanică, în 1974. În perioada 1975–1991 a lucrat la Întreprinderea Electrotimiș–Timișoara, ca inginer proiectant. Din 1991 este cadru didactic la Universitatea „Politehnică” din Timișoara, Facultatea de Electrotehnică, Catedra de MAUE, fiind în prezent conferențiar universitar. Activitatea științifică este concretizată prin elaborarea, în calitate de autor principal sau coautor, a șase tratate, cărți sau manuale de specialitate, șase brevete de invenție și peste 36 de lucrări științifice publicate în reviste de specialitate din țară și din străinătate. De asemenea, a participat și participă la derularea a peste 16 contracte de cercetare științifică în domeniul ingineriei electrice.



## REZUMAT

**Lucrarea prezintă principalele configurații ale sistemelor fotovoltaice cu panouri solare, alături de cele mai utilizate topologii de invertoare fotovoltaice. Sunt descrise elementele componente ale acestora, avantajele, dezavantajele și domeniile de putere și aplicabilitate.**

## ABSTRACT

**The paper deals with the main power configurations for PV systems with solar cells and the most used topologies of PV inverters with and without DC-DC boost converters and LF/HF transformers. The main components, configurations, advantages, drawbacks and a range of applications are also described.**

## 1. INTRODUCERE

Sursele clasice de producere a energiei electrice (termocentrale, centrale nucleare, hidrocentrale) pot fi reduse semnificativ prin înlocuirea cu surse neconvenționale de conversie a energiei, cum ar fi panouri solare, turbinele de vânt (generatoare eoliene), sisteme de conversie a curenților marini etc., rezultând astfel o scădere a gradului de poluare, o reînnoire a resurselor indigene și, într-un final, crearea unei industrii energetice moderne, cu implicații majore în susținerea economiei.

Puterea instalată pe glob, obținută din conversia energiei solare, între anii 1992 și 2004 a înregistrat o

creștere exponențială și a fost de 2,5 GW, din totalul de 3,7 GW [4, 5]. Prețul panourilor solare a fost estimat că va scădea la jumătate până în anul 2020, iar puterea instalată va crește cu încă 1 GW [5, 7].

Energia solară poate fi folosită utilizând sisteme solare fotovoltaice care realizează conversia radiațiilor solare în energie electrică, prin intermediul panourilor solare.

Sistemele fotovoltaice se bazează pe captarea razelor solare de pe o suprafață mai mare, concentrate într-o suprafață mult mai mică (1 cm<sup>2</sup>), astfel fiind posibilă utilizarea celulelor fotovoltaice. Aceste celule sunt construite astfel încât să poată fi răcite cu apă pentru a obține temperaturi mari și o eficiență de până la, 38–40%. Aceste sisteme fotovoltaice cu panouri solare pot fi de

diferite forme, dimensiuni și puteri (de exemplu 25kW/850 W/m<sup>2</sup>) și pot funcționa independent sau conectate direct la rețea [1–3, 4, 6].

Ca aplicații, pot fi utilizate pentru sateliți, mașini de curse sau pentru case de vacanță, cu acoperișul integrat sau neintegrat.

## 2. PRINCIPALELE CONFIGURAȚII ALE SISTEMELOR FOTOVOLTAICE CU PANOURI SOLARE

Panourile solare pot fi conectate, în serie sau paralel, la un inverter monofazat sau trifazat. Prin intermediul inverterului se realizează conversia din energie continuă, produsă de panourile solare pe baza efectului fotovoltaic, în energie alternativă, pentru conectarea la rețea.

O celulă solară poate produce în medie 1–4 W, de aceea sunt conectate împreună (în serie) într-un panou solar.

În figura 1 sunt prezentate principalele configurații ale sistemelor fotovoltaice.

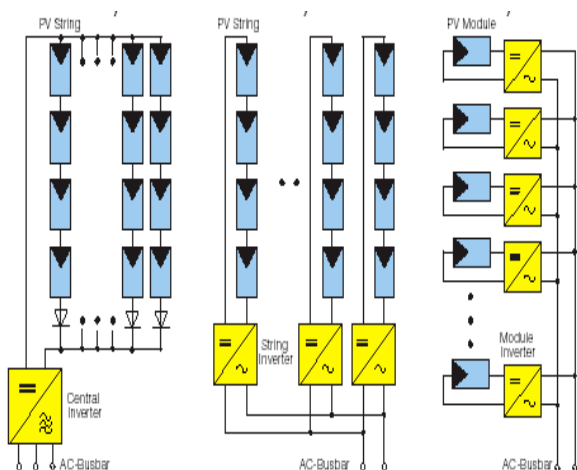


Fig. 1. Principalele configurații ale sistemelor fotovoltaice cu panouri solare [4].

Panourile solare pot fi conectate în paralel la un inverter trifazat central, caracteristic sistemelor solare de puteri mari (10–250 kW). Această configurație are următoarele caracteristici: eficiență ridicată, cost redus, siguranță și fiabilitate reduse. O altă soluție, dedicată aplicațiilor rezidențiale de puteri medii (1,5–5 kW), conține câte un inverter pentru fiecare șir de panouri solare. Această variantă constructivă permite funcționarea sistemului solar la eficiență maximă (pe caracteristica de funcționare), șirul de panouri solare poate avea diferite orientări, iar la puteri mai mici de 5 kW, invertoarele sunt trifazate. A treia soluție conține invertoare de tip modul, de mică putere (50–180 W), fiecare panou având propriul

inverter. Această soluție are un cost destul de mare / kW, o întreținere dificilă și o eficiență redusă.

## 3. DIFERITE TOPOLOGII DE CONVERTOARE PENTRU INVERTOARELE FOTOVOLTAICE

Există o varietate mare de topologii de convertoare dedicate sistemelor fotovoltaice, în principal dependente de nivelul de putere și de cerințele legate de separarea galvanică [1–3].

Invertoarele fotovoltaice, care funcționează în două cadrane și care au în componență și convertoare cc-cc (variatoare/stabilizatoare de tensiune), sunt folosite în special pentru aplicațiile rezidențiale, având o putere instalată de până la 4,5 kW.

Configurațiile de invertoare care nu conțin și transformatoare pentru separare galvanică au devenit foarte atractive, în special datorită faptului că au o eficiență mai ridicată.

În figura 2 sunt prezentate elementele componente ale unui inverter fotovoltaic (PV Inverter).

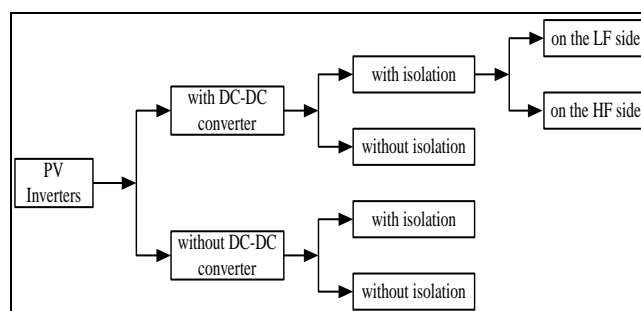


Fig. 2. Configurația elementelor componente ale invertoarelor fotovoltaice [1].

După cum descrie figura 2, topologia unui inverter fotovoltaic poate să conțină un convertor de cc-cc ridicător de tensiune și un transformator pentru izolare galvanică.

În cadrul sistemelor fotovoltaice se impune utilizarea convertoarelor ridicătoare de tensiune deoarece tensiunea continuă este mult mai mică decât tensiunea rețelei.

### 3.1. Invertoare fotovoltaice cu convertor cc-cc ridicător de tensiune și trafo de izolare

Figura 3 prezintă schema-bloc a unui inverter fotovoltaic, având în componență și un convertor ridicător de tensiune. Deosebirea dintre cele două configurații constă în amplasarea transformatorului pentru izolare galvanică, pe partea de joasă frecvență (fig. 3,a), sau pe partea de înaltă frecvență (fig. 3,b).

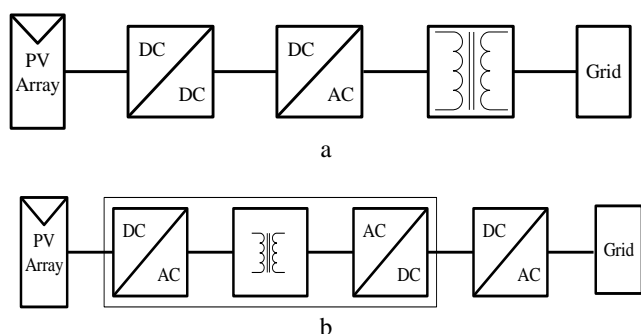


Fig. 3. Schema-bloc a unui inverter fotovoltaic cu convertor de cc-cc ridicător de tensiune.

Soluția prezentată în figura 3,*b*) este mai compactă, dar are un design mai complex.

În figura 4 este ilustrată schema detaliată clasică a unui inverter fotovoltaic, cu convertor cc-cc coborâtor – ridicător de tensiune și transformator de înaltă frecvență. Invertorul are configurația în punte completă, comandat cu tehnica modulării în lățime de puls (PWM-pulse width modulation). Filtrul de rețea poate fi de tipul LCL, LC sau L.

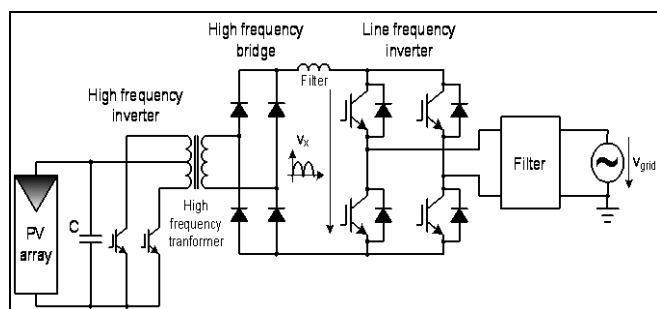


Fig. 4. Inverter fotovoltaic în punte, cu convertor coborâtor-ridicător de tensiune.

Topologia prezentată în figura 4 este utilizată în general pentru puteri mai mari de 750 W, având tensiunea continuă de intrare de valoare mică. Drept avantaj se poate menționa o bună utilizare a transformatorului de înaltă frecvență, pierderi reduse și performanțe ridicate, iar ca dezavantaj, numărul mare de componente și gabarit mare.

### 3.2. Invertoare fotovoltaice cu convertor cc-cc ridicător de tensiune și fără trafo de izolare

Invertoarele fotovoltaice având topologia fără transformator de izolare au devenit foarte atractive, datorită eficienței ridicate, în special în țări ca Japonia sau Germania, unde izolarea galvanică nu este necesară.

În figura 5 este ilustrată schema-bloc (*a*) și cea detaliată (*b*) a unui inverter fotovoltaic fără trafo de izolare.

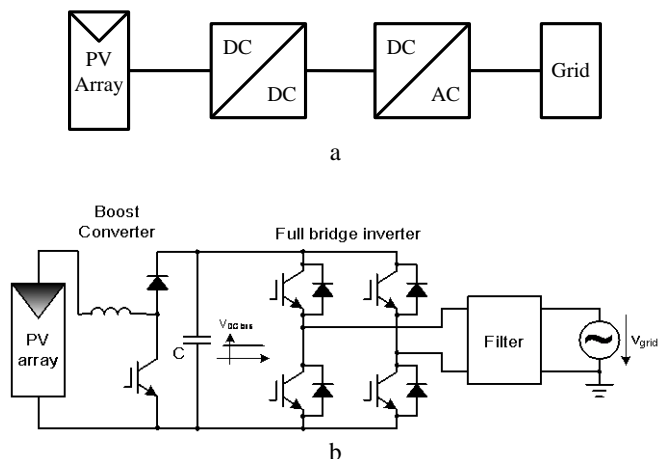


Fig. 5. Schema-bloc (*a*) și schema detaliată (*b*) a unui inverter fotovoltaic cu convertor ridicător și fără transformator de izolare.

Soluția prezentată în figura 5 are avantajul unei eficiențe ridicate (>96 %), datorită absenței transformatorului, și al unui design integrat, dar necesită utilizarea unei diode suplimentare.

### 3.3. Invertoare fotovoltaice fără convertor cc-cc ridicător de tensiune

Invertoarele fotovoltaice care nu au în componență convertoare cc-cc sunt utilizate la scară destul de redusă, în special în cazul aplicațiilor cu tensiune de intrare scăzută. Soluția clasică conține un inverter în punte completă, cu (fig. 6,*a*) și fără (fig. 6,*b*) trafo de izolare.

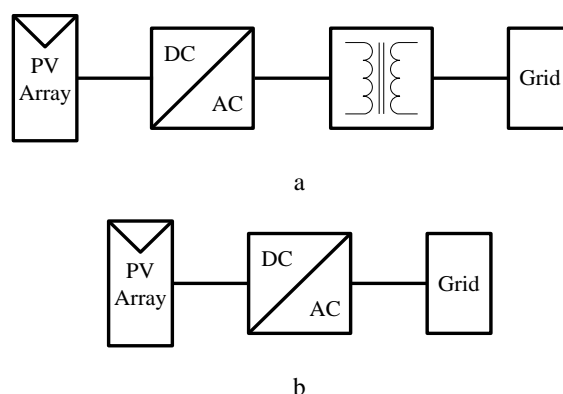


Fig. 6. Inverter fotovoltaic cu izolare și fără convertor cc-cc (*a*), fără convertor cc-cc și fără izolare galvanică (*b*).

Soluția prezentată în figura 6,*a* are dezavantajul unui gabarit ridicat și al unui volum mare, din cauza transformatorului de rețea.

În figura 7 sunt prezentate soluțiile detaliate pentru inverterul fotovoltaic fără convertor cc-cc, cu trafo de rețea (fig. 7,*a*) și fără izolare (figura 7,*b*).

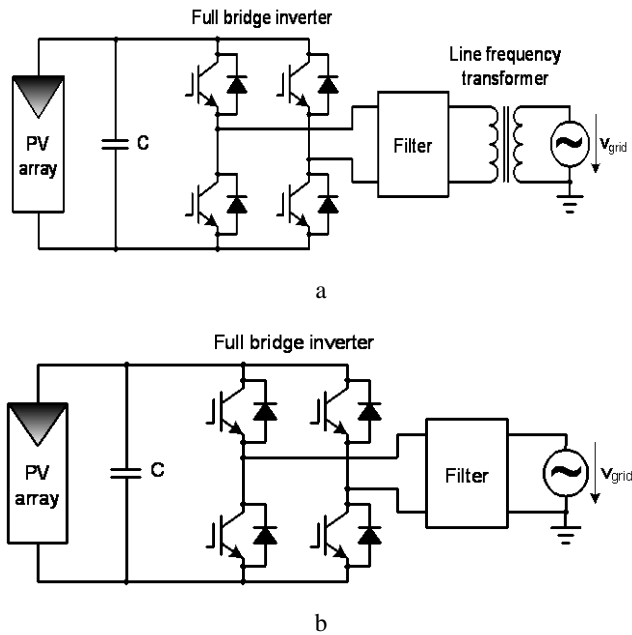


Fig. 7. Schemele detaliate ale celor două topologii de invertare fotovoltaice, prezentate schematic în figura 6.

Soluția prezentată în figura 7,a este avantajoasă deoarece utilizează aceeași putere ca invertorul de rețea.

#### 4. CONCLUZII

Energia solară este o sursă de energie promițătoare, cu un potențial imens. Puterea instalată până în 2005 a fost de peste 3 GW. Prețul panourilor solare se estimează că va scădea la jumătate până în 2020.

Datorită gradului de poluare, costului tot mai mare și resurselor tot mai limitate se impune înlocuirea surselor clasice de producere a energie electrică cu diferite surse alternative regenerabile (nepoluante).

Lucrarea prezintă principalele configurații ale sistemelor fotovoltaice cu panouri solare, alături de cele mai utilizate topologii de invertare fotovoltaice. Cele mai utilizate topologii de invertare sunt cele care au în componență convertoare cc-cc ridicătoare și transformatoare de înaltă frecvență pentru izolare galvanică. De asemenea, topologia fără transformator de izolare a devenit foarte atractivă, datorită eficienței ridicate, în special în țări ca Japonia sau Germania (primele două în lume ca putere instalată), unde izolarea galvanică nu este necesară.

#### BIBLIOGRAFIE

1. **F. Blaabjerg, Z. Chen and S.B. Kjaer**, *Power electronics as efficient interface in dispersed power generation systems*, IEEE Transaction on Power Electronics, vol. 19, pp. 1189-1194, Sept. 2004.
2. **J.M.A. Myrzik and M. Calais**; *String and Module Integrated Inverters for Single-Phase Grid Connected Photovoltaic Systems - A Review*; 2003 Bologna PowerTech Conference, 23-26 June, Bologna, Italy.
3. **N. Mohan, T. Undeland, P.W. Robbins**, *Power Electronics. Converters, Applications and Design*, John Wiley & Sons, 2003, ISBN:0471226939
4. \*\*\* <http://www.iea-pvps.org>, IEA Photovoltaic Power Systems Programme.
5. \*\*\* [www.enerdata.fr/enerdatauk/](http://www.enerdata.fr/enerdatauk/), World energy statistics databases, forecasts and analyses.
6. \*\*\* [www.sunlight.gr](http://www.sunlight.gr), Systems Sunlight S.A.
7. \*\*\* [www.solarbuzz.com](http://www.solarbuzz.com), World Solar Energy news center.