

**UNIVERSITATEA DIN PETROȘANI**

**FACULTATEA DE INGINERIE MECANICĂ ȘI ELECTRICĂ**

**CREȘTEREA PERFORMANȚELOR CONVERSIEI ENERGIEI  
SOLARE CU PANOURI FOTOVOLTAICE ORIENTATE BIAxIAL**

**Drd. ing. Răzvan Ioan SLUSARIUC**

*Cuvinte cheie: energie solară, conversie, simulare, celulă fotovoltaică, biaxial.*

Teza este structurată în șase capitole și aduce contribuții la studiul creșterii performanțelor conversiei energiei solare cu panouri fotovoltaice. Sunt prezentate 84 relații, 138 figuri, 14 tabele și 118 poziții bibliografice.

În capitolul 1 am prezentat evoluția și provocările globale în sectorul energetic, în contextul schimbărilor climatice și a creșterii cererii de energie electrică, am prezentat potențialul energiei solare din România în cadrul surselor energetice regenerabile de pe teritoriul țării noastre și am realizat topologia generală a unui sistem fotovoltaic cuprinzând elementele componente ale acestuia.

În capitolul 2, pe baza unei cercetări aprofundate a literaturii din domeniu, am realizat o descriere a proceselor fizice care au loc în atmosferă legat de diferențierea radiației solare în radiație directă, difuză și reflectată, am realizat o clasificare a tipurilor de celule fotovoltaice și a făcut o ierarhizare a acestora în funcție de randamentul lor.

Tot în acest capitol am descris principiul de funcționare al celulei fotovoltaice prezentând efectul fotoelectric și absorbția radiației solare.

În capitolul 3 am realizat modelarea matematică și simularea celulei fotovoltaice în model simplă dioda și dublă diodă.

Tot în acest capitol am modelat și simulat radiația solară pentru fiecare dintre componentele sale.

În capitolul 4 am studiat convertorul DC/DC de tip buck, de tip boost, și de tip buck-boost în cadrul sistemelor fotovoltaice.

În capitolul 5 am studiat influența climatului solar asupra conceperii unui sistem fotovoltaic iar pentru realizarea practică a sistemului solar am folosit un acumulator plumb acid cu ciclu adânc de descărcare, un panou fotovoltaic din siliciu policristalin, un regulator de încărcare cu funcție de urmărire a punctului de maximă putere și un invertor de tensiune.

Am realizat schema de conexiune a elementelor sistemului fotovoltaic, și am prezentat rezultate ale măsurătorilor efectuate asupra panoului fotovoltaic în condiții de cer senin, condiții de cer înnorat, în condiții de cer variabil și măsurători comparative pentru diferite poziții ale panoului fotovoltaic.

Capitolul VI cuprinde sintetizarea concluziilor și contribuțiile personale.

În cadrul tezei au fost analizate lucrări științifice, manuale, teze de doctorat și cărți tehnice referitoare la conversia energiei solare în energie electrică.

Efectuarea studiilor și cercetărilor experimentale au condus la o serie de contribuții personale, printre care:

- Sistematizarea ecuațiilor de funcționare a celulei fotovoltaice prin folosirea a cât mai puține ipoteze simplificatoare, astfel încât rezultatele simulării să fie cât mai apropiate de funcționarea reală a sistemului;
- Simularea celulei fotovoltaice în model simplă diodă și compararea rezultatelor cu simularea celulei fotovoltaice în model dublă diodă;
- Realizarea modelului matematic reprezentând radiația solară incidentă pe o suprafață plană cu o anumită înclinație față de orizontală;
- Simularea radiației solare caracterizată de coordonate geografice în Matlab/SIMULINK pentru 4 locații din România;
- Realizarea de algoritmi pentru procedurile de lucru în cadrul funcției convertorului de urmărire a punctului de maximă putere.
- Prelucrarea rezultatelor obținute în urma simulărilor cu ajutorul pachetului de programe MATLAB și interpretarea rezultatelor simulărilor.
- Efectuarea de măsurători în condiții reale prin montarea în sistemul fotovoltaic a echipamentului de măsură, contribuțiile referindu-se la:

- montajul și punerea în funcțiune a echipamentului de măsură;
- înregistrarea mărimilor măsurate;
- selectarea perioadelor de funcționare reprezentative;
- analiza măsurătorilor efectuate;
- prelucrarea datelor și trasarea curbelor de variație pentru parametrii mășurați.

Deși sunt mult studiate și implementate, panourile fotovoltaice prezintă încă aspecte ce merită să fie luate în considerare. În această lucrare am încercat să aduc contribuții la creșterea productivității lor energetice. Pentru a realiza acest lucru le-am studiat funcționarea din punct de vedere electric, am simulat caracteristicile electrice și am conceput un sistem fotovoltaic pentru testări.

Sistemul fotovoltaic orientat biaxial este un ansamblu de componente hardware și software, reunite și conectate pentru a prelucra date legate de energia electrică generată de panoul fotovoltaic și poziționarea panoului fotovoltaic raportată la Soare, cu scopul de a îndeplini sarcina de creștere a performanțelor conversiei energiei solare.

Unitatea de procesare a energiei electrice realizează 2 funcții: urmărește punctul de maximă putere a generatorului fotovoltaic și realizează încărcarea acumulatorilor utilizând stagii de încărcare și optimizare a stocării energiei. Noile reglatoare de încărcare a bateriilor folosesc stagii complexe de încărcare cu 3 sau 4 stagii pentru a asigura o durată de viață cât mai mare a acumulatorilor solari. Durata de viață a unei baterii de acumulatori este dependentă de adâncimea de descarcare și de temperatura de lucru.

Bateriile plumb-acid continuă să reprezinte în prezent principala opțiune pentru stocarea energiei electrice în cadrul sistemelor fotovoltaice independente, având avantajul prețului, iar pe lângă faptul că pot elibera o cantitate foarte mare de energie într-un interval foarte scurt de timp pot suporta curenți foarte mari.

Rezultatele obținute în software-ul METEONORM, arată că, în ciuda existenței unei balanțe energetice complete, există o diferență între sursa de energie și sarcină pentru anumite ore din zi când sarcina consumă mai multă energie decât energia furnizată de generatorul fotovoltaic. Dacă are loc aceasta neconcordanță într-un sistem independent, diferența necesară trebuie furnizată de acumulatori sau un generator de rezervă.

Am abordat funcționarea unui modul PV ca generator electric din mai multe perspective. Posibile modelări, cele analitice, utilizează modelele simplă și dublă diodă, bazate pe proprietățile semiconductoarelor. Aceste modele sunt larg studiate în literatură, au o foarte bună acuratețe, dar necesită metode numerice de rezolvare, întrucât se prezintă sub formă de ecuații implicite.

Din analiza matematică și modelarea panoului fotovoltaic a rezultat necesitatea utilizării de informații și specificații tehnice puse la dispoziție de producătorul panoului fotovoltaic.

În acest sens au fost utilizate valorile curentului invers de saturație al diodei, sarcina electronului, constanta Boltzmann, temperatura joncțiunii, factorul de idealitate a diodei, rezistența serie respectiv rezistența de shunt, curentul de scurtcircuit și coeficientul de temperatură la scurtcircuit.

Prin analiza și simularea generatorului fotovoltaic s-a creat o imagine corectă asupra modului de funcționare a acestuia. Pe baza graficelor obținute în Matlab/SIMULINK este mult mai facilă o interpretare a rezultatelor schemei și funcției echivalente a celulei fotovoltaice.

Se poate observa, în urma cercetărilor, că urmărirea punctului de maximă putere este imperios necesară în a crește randamentul conversiei energiei solare.

Pentru determinarea radiației solare am dezvoltat în Matlab/SIMULINK un model care ne permite să facem o prognoză a nivelului radiației solare la o anumită înclinare a panoului fotovoltaic și într-o anumită locație de pe glob caracterizată de coordonate geografice exacte – latitudine și longitudine.

Au fost simulate și obținute valori ale nivelului radiației solare în zone precum orașele Petroșani, București, Timișoara și Constanța.

Acest model face mult mai ușoară determinarea radiației solare cu cer senin fără a mai fi necesare date meteorologice statistice legate de nivelul radiației.

În cadrul studiului sistemului fotovoltaic fizic am prezentat că există câteva metode de a conecta un panou solar. Panoul solar poate fi conectat direct la rețea sau la sarcina însăși. Topologia unui sistem fotovoltaic determină tipul de interfață a convertorului care trebuie folosit, iar acesta epinde de configurație, costuri și randament.

Funcțiile convertorului DC/DC sunt de a mări tensiunea panoului fotovoltaic, de a urmări MPP (Maximum Power Point) sau punctul de maximă putere și să controleze injectarea de curent în acumulator.

Pentru utilizarea algoritmului MPPT în sistemele fotovoltaice când intensitatea radiației solare este variabilă, există o creștere a colectării energiei cu aproximativ 30 de procente față de controlerele PWM, ceea ce îndeplinește dezideratul de îmbunătățire a conversiei energiei solare.

Pentru reprezentarea schematică a poziției Soarelui au fost folosite elevația (altitudinea) solară, unghiul de înclinare a suprafeței față de orizontală, unghiul de incidență, azimutul suprafeței și azimutul solar care au fost introduse în simulările efectuate în Matlab. Aceste date au fost folosite pentru poziționarea exactă a panoului fotovoltaic pentru a realiza măsurători la diferite declinații și orientări.

Deplasarea Soarelui cu o viteză orară de  $15^\circ/\text{h}$ , pasul unghiului diurn, efectuat de sistemul de orientare biaxial, realizează cu aproximație un unghi de incidență de  $1^\circ$  dacă are durata de aproximativ  $1\text{h}/15^\circ = 60\text{min}/15^\circ = 4 \text{ min}/^\circ$ . Declinația  $\beta$  are valori aproximativ constante pe durata unei zile, ceea ce duce la o variație sezonieră pentru acest unghi. Sistemul biaxial este acționat de 2 actuatore comandate printr-un automat programabil de tip OMRON CMP1A-20CDR-A-V1 iar măsurătorile au fost făcute la un interval de 5 minute pentru a facilita compararea rezultatelor diferitelor tipuri de orientare.

Zona analizată este Petrosani, județul Hunedoara – România, cu următoarele caracteristici geografice și meteorologice:

- latitudine  $45.4$  la nord;
- longitudine  $23.3$  la est;
- indice de claritate medie anuală este de  $0,464$ .

Sunt prezentate rezultatele măsurătorilor și evaluărilor efectuate în zona analizată, în perioada 01.09 – 28.09. 2014.

Unghiurile importante:  $\gamma_s$ - elevația (altitudinea) solară,  $\beta$  - unghiul de înclinare a suprafeței față de orizontală (între  $0 - 90^\circ$ ),  $\theta_{AOI}$  - unghiul de incidență,  $\theta_{Az}$  – azimutul

suprafeței,  $\alpha_s$  – azimutul solar au rol important în reprezentarea schematică a Soarelui și care intervin în simulările efectuate în Matlab.

Concluzii privind orientarea panoului solar:

Au fost studiate sistemele de poziționare după soare de tip fixat la  $30^\circ$ ,  $35^\circ$ ,  $45^\circ$ , precum și sistemul biaxial. Din cercetarile realizate rezultă:

1. cantitatea energiei electrice produse de sistemul fixat la  $45^\circ$  orientare sudică este mai mare cu 9% față de cantitatea energiei produse de sistemul fixat la  $30^\circ$ ;
2. cantitatea energiei electrice produse de sistemul fixat la  $35^\circ$  orientare sudică este mai mare cu 4% față de cantitatea energiei produse de sistemul fixat la  $30^\circ$ ;
3. cu sistemul de poziționare biaxial energia electrică obținută este cu 61 % mai mare decât cantitatea energiei produse cu sistem fixat la  $45^\circ$ ;
4. din punct de vedere al obținerii energiei electrice cel mai favorabil sistem de poziționare este sistemul biaxial.

S-a putut trage concluzia că, utilizarea sistemelor de orientare uniaxială prezintă avantaje superioare față de cele fixe având un aport sporit în îmbunătățirea randamentului anual al sistemelor fotovoltaice, însă creșterea cea mai mare a performanțelor de conversie o prezintă sistemul de orientare biaxială, acesta realizând o transformare a energiei solare pe întreg parcursul unei zile la capacitate maximă a panoului fotovoltaic.

Asigurarea unei bune conversii a energiei solare în energie electrică depinde atât de utilizarea unor componente cu randament ridicat în sistemul fotovoltaic cât și de planificarea și proiectarea sistemului de conversie astfel încât pe parcursul fiecărei zile din an, generatorul fotovoltaic, în speță panoul fotovoltaic să aiba o poziție perpendiculară pe fasciculul de raze solare.

Utilizarea unor metode neperformante de urmărire a punctului de maximă putere a modulului fotovoltaic, temperatura ridicată la nivelul joncțiunii celulei fotovoltaice provoacă înrăutățirea conversiei energiei solare ceea ce se repercutează în scăderea randamentului global al sistemului fotovoltaic.