



UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN BUCUREȘTI
FACULTATEA DE INGINERIE ELECTRICĂ

**Convertoare triport folosite ca interfețe în sistemele
fotovoltaice de energie**

Rezumatul tezei de doctorat

Autor

Ing. Sarab Jwaid Mousa Al-Chlahawi

Conducător de doctorat

Prof. Dr. Ing. Aurelian CRĂCIUNESCU

București, 2017

Cuprinsul tezei

Rezumat.....	9
1 Introducere.....	11
1.1 Introducere în convertoarele multiport	11
1.2 Convertoare bi-port convenționale	11
1.3 Convertoare multiport	12
1.4 Comparații între convertoarele convenționale și cele multiport	13
1.5 Starea actuală a convertoarelor multiport	14
1.6 Obiectivele cercetării	21
2 Analiza topologiilor convertoarelor tri-port c.c.-c.c.	23
2.1 Introducere	23
2.2 Convertorul Buck	24
2.3 Convertorul Boost	25
2.4 Convertorul Buck-Boost	26
2.5 Topologii ale convertoarelor tri-port	30
2.6 Concluzii	32
3 Gestionarea fluxului de putere în diferite topologii de convertoare tri-port	34
3.1 Introducere	34
3.2 Gestionarea fluxului de putere	34
3.3 Convertorul cu semi punți și separare galvanică	36
3.4 Rezultate și discutarea lor	38
3.5 Convertorul cu punți complete și separare galvanică.....	40
3.6 Convertorul cu două intrări și o singură ieșire, fără separare galvanică	43
3.7 Concluzii	46
4 Studiul comparativ al diferitelor convertoare multiport	48
4.1 Separarea galvanică cu transformator	48
4.2 Convertoare multiport	49
4.3 Convertoare cu două intrări și două ieșiri	50
4.4 Convertoare cu două intrări și o singură ieșire.....	53
4.5 Convertoare cu punți complete și cu semi punți	55
4.6 Concluzii	63

5	Comparații între topologiile existente și cele modificate	64
5.1	Convertorul c.c.-c.c. cu punți complete.....	64
5.2	Concluzii	68
6	Gestionarea energiei cu un convertor triport la un sistem hibrid, cu module fotovoltaice și baterie..	70
6.1	Introducere	70
6.2	Hibridizarea surselor	70
6.3	Modelarea modulelor fotovoltaice	71
6.4	Convertorul multiport cu punți complete	76
6.5	Proiectarea controlerului	76
6.6	Modurile de funcționare	77
6.7	Concluzii	87
7	Modelarea convertorului triport cu punți complete	89
7.1	Introducere	89
7.2	Derivarea convertorului triport	89
7.3	Convertorul triport cu punți complete.....	91
7.4	Proiectarea controlerului	99
7.5	Comanda sistemului fotovoltaic cu metoda perturbă și observă	100
7.6	Rezultate și discutarea lor	102
7.7	Comparații pentru convertorul modelat	107
7.8	Concluzii	108
8	Comanda cu logică fuzzy a puterii la convertorul triport cu punți complete.....	109
8.1	Introducere	109
8.2	Derivation convertorului	109
8.3	Modurile de funcționare ale convertorului	111
8.4	Considerații de proiectare	112
8.5	Comanda cu logică fuzzy	113
8.6	Proiectarea controlerului și analiza comenzii	113
8.7	Rezultate și discutarea lor	115
8.8	Concluzii	123
9	Concluzii generale.....	124
10	Contribuții originale	126
	Publicații proprii	127
	Bibliografie.....	128

Această teză are ca obiect creșterea performanțelor sistemelor fotovoltaice, cu accent pe gestionarea eficientă a fluxurilor de energie. Din cauza caracterului intermitent al captării energiei solare, un sistem de producere a energiei fotovoltaice trebuie să conțină și o unitate de stocare. Ca urmare, între modulele fotovoltaice, unitatea de stocare și sarcină este necesară o interfață de conectare și dirijare a fluxurilor de energie. În această teză, se studiază utilizarea convertoarelor triport ca interfețe ale sistemelor fotovoltaice de producere a energiei, în locul interfețelor echivalente realizate cu convertoare biport.

Capitolul 1 prezintă o trecere în revistă a topologiilor convertoarelor multiport actuale. Fiind un capitol introductiv, aici se precizează deosebiriile dintre convertoarele convenționale și cele multiport apoi se subliniază diferențele dintre diferitele categorii de convertoare multiport. Pentru fiecare categorie se fac referiri la literatura tehnică existentă și la subiectele de cercetare. Cele două categorii principale ale convertoarelor multiport sunt convertoarele cu punți complet comandate și convertoarele cu semi-punți.

În acest capitol sunt discutate, de asemenea, diferitele topologii utilizate și rolul lor în diferite aplicații ca cele ale vehiculelor electrice hibride, în care convertoarele electronice au un rol important în gestionarea puterii. Aceleași considerații sunt valabile și pentru sursele regenerabile de energie, unde convertoarele de putere intervin în asigurarea cerințelor de putere ale sarcinii, indiferent de ofertele de putere ale sursei regenerabile.

Capitolul 2 introduce blocurile constitutive elementare ale convertoarelor triport și prezintă topologiile de bază ale acestora împreună cu topologiile derivate: topologii cu punți complete sau cu semi-punți. Se discută, de asemenea, modurile de funcționare ale convertoarelor multiport, moduri dependente de condițiile impuse din exterior.

Capitolul 3 se ocupă de gestionarea fluxului de putere în convertoare triport cu diverse topologii. În prezentarea gestionării fluxurilor de putere, se evidențiază flexibilitatea gestionării și dependențele modurilor de funcționare. De obicei, convertoarele multiport interfațează unități de stocare a energiei cu surse de putere, ținând seamă în același timp de cerințele sarcinii. Aceasta face ca sarcina realizării gestionării fluxului de putere să fie extrem de importantă. Gestionarea fluxurilor de putere este ilustrată în figura 1.

În sursele regenerabile de energie autonome se întâlnesc trei tipuri de fluxuri de energie:

- I. De la sursa primară de energie la unitatea de stocare
- II. De la sursa primară de energie la sarcină
- III. De la unitatea de stocare la sarcină.

Puterea totală care iese din sistem este egală cu puterea totală care intră în sistem:

$$P_{sarcin\grave{a}} = -(P_{fv} + P_{baterie})$$

Pentru un convertor cu n porți, legea conservării puterii se formulează astfel:

$$\sum_{i=1}^n P_i = 0$$

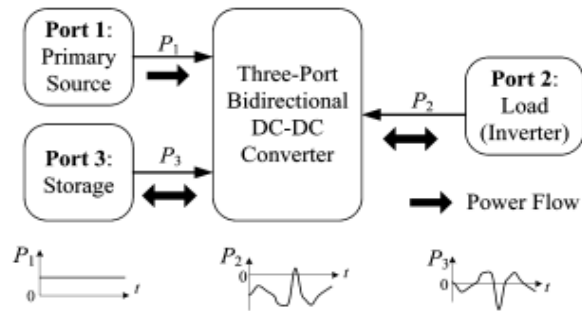


Figura 1-Fluxuri de energie în convertoarele triport

Gestionarea fluxului de putere este analizată pe trei convertoare triport cu două intrări și o singură ieșire, cu topologii derivate din topologiile convertoarelor triport uzuale:

1. Convertor cu semi-punți și izolare galvanică
2. Convertor cu punți complete și izolare galvanică
3. Convertor fără izolare galvanică

Topologia convertorului cu semi-punți, prezentată în figura 2, conține două comutatoare și două condensatoare la fiecare port. Acest convertor este optimizat pentru a fi folosit în sistemele fotovoltaice la care modulele fotovoltaice conțin și blocuri de comandă pentru urmărirea punctului de putere maximă. Convertorul triport cu semi-punți și izolare galvanică a fost simulat în Simulink. Parametrii folosiți în simulare sunt dați în tabelul 1. Variația în timp a tensiunii la portul de ieșire este prezentată în figura 3. După cum se vede din figură, valoarea finală de 20 V se atinge după 0,2 secunde.

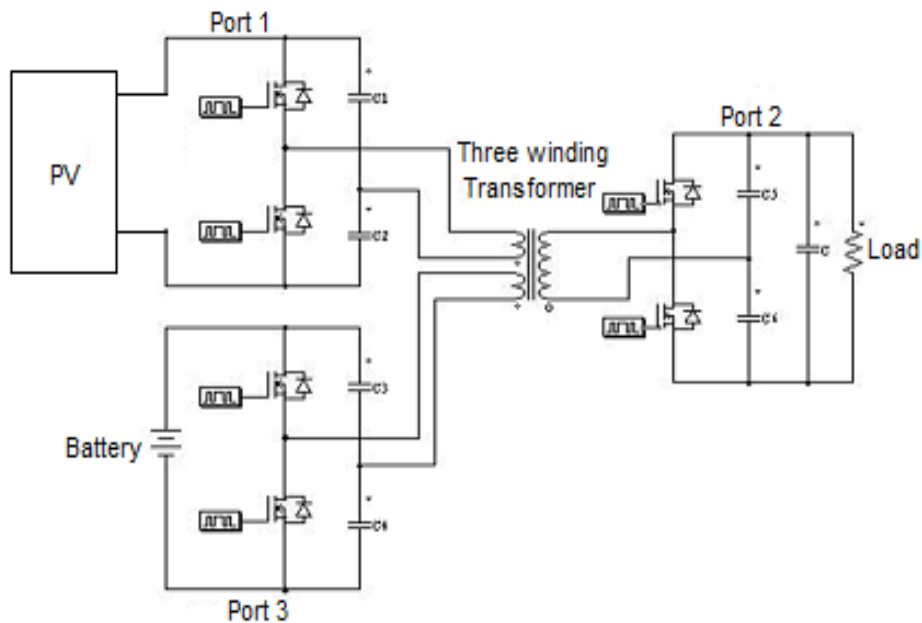


Fig. 2 – Convertorul triport cu semi-punți

Tabelul 1-Parametrii modelului simulat

Parametrii	Valoarea
C1, C2, C3, C4, C5, C6	1.0 mF
Capacitatea de ieşire	4.7 mF
Tensiunea bateriei	50 V
Rezistenţa sarcinii	5.0 Ω
Raportul de transformare	1:4:4
Inductanţa de magnetizare Lm	16 H
Iradianţa solară	1000 W/m ²
Puterea maximă a modului FV	150 Wp

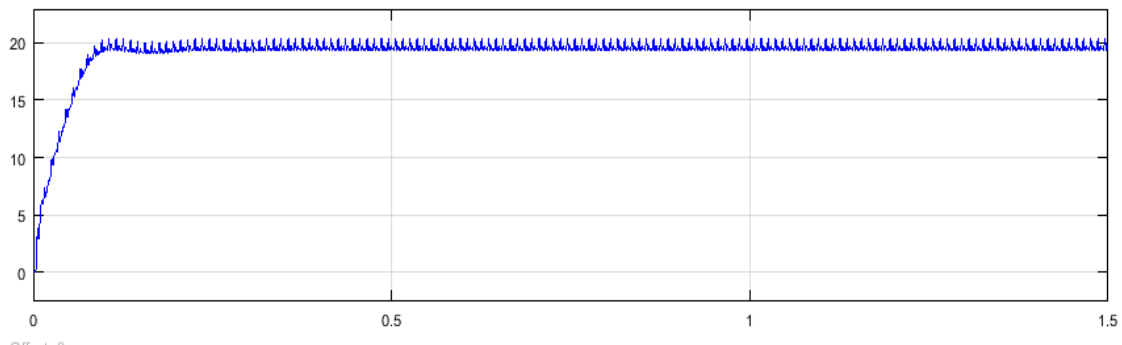


Figura 3- Tensiunea de ieşire la convertorul triport cu semi-punţi

În figura 4 se prezintă topologia unui convertor triport cu punţi complet comandate care foloseşte patru comutatoare (un număr dublu faţă de numărul comutatoarelor folosite de convertoarele cu semi-punţi). O sursă de intrare poate fi un modul fotovoltaic cu sistem de urmărire a punctului de putere maximă. Ca şi în cazul convertorului precedent, convertorul triport cu punţi complete a fost simulat cu programul Simulink. Parametrii consideraţi sunt daţi în tabelul 2. În figura 5 este prezentată tensiunea de ieşire pe sarcină, cu valori cuprinse între 0 şi 180 V.

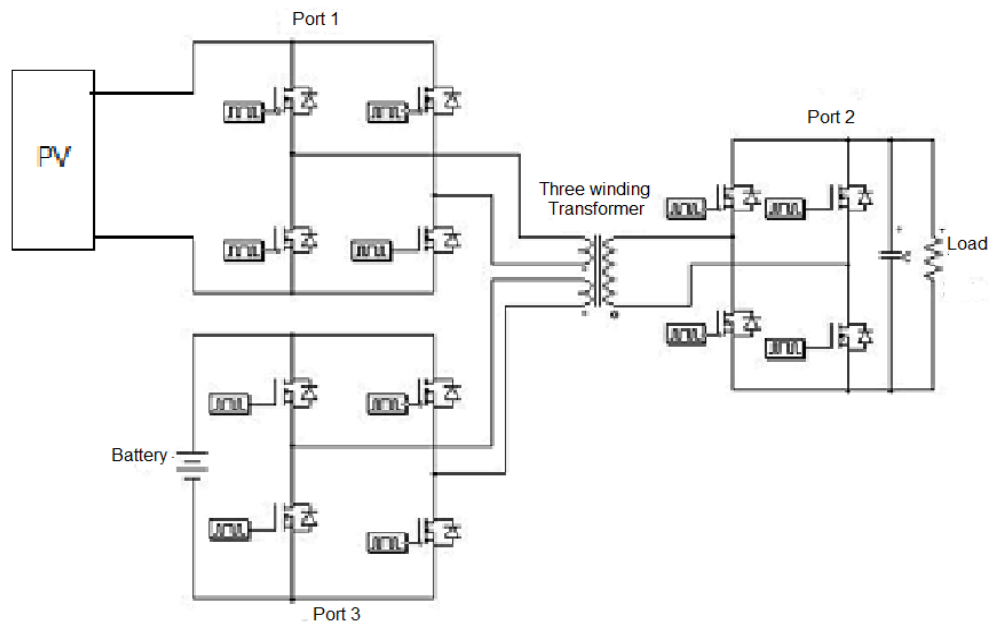


Figura 4- Convertorul triport cu punți complete

Tabelul 2-Parametrii modelului din figura 4

Parametrii	Valorile
Capacitatea de ieșire C	4.7 mF
Bateria	50 V
Rezistența de sarcină	5.0 Ω
Raportul de transformare	1:4:4
Inductanța de magnetizare Lm	16 H
Iradianța solară	1000 W/m ²
Puterea maximă a modulului FV	150 Wp

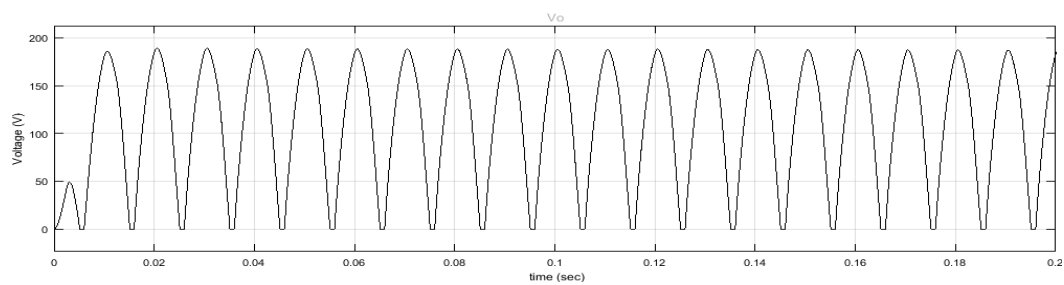


Figura 5 – Tensiunea de ieșire a convertorului triport din figura 4

Folosirea unui transformator este preferată când raportul dintre tensiunile de intrare și de ieșire este mare. Dar prima opțiune la proiectarea convertorului este evitarea folosirii unui transformator care crește pierderile de energie și dimensiunile convertorului. Această primă opțiune de proiectare este exemplificată de convertorul fără separare galvanică, cu două intrări și o singură ieșire, prezentat în figura 6. Acest convertor conține trei comutatoare, un inductor L și două condensatoare $C1$ și $C2$. Ieșirea cu tensiunea V_o se face pe sarcina rezistivă R . Se face presupunerea că $V_{in1} < V_{in2}$. În mod curent, bateria și modulul fotovoltaic furnizează puterii sarcinii rezistive R .

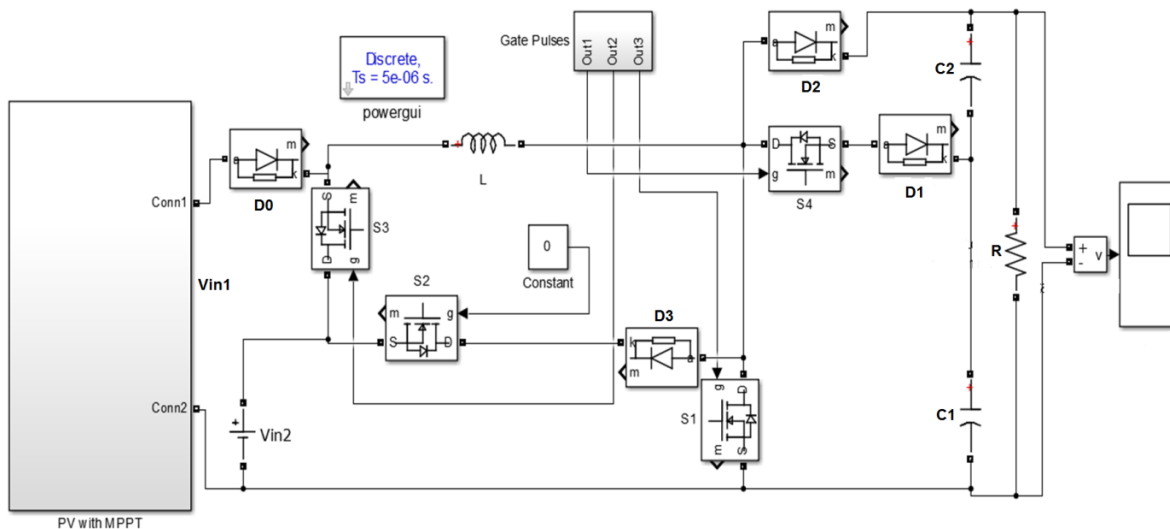


Figura 6 – Convertorul triport fără izolare galvanică

Parametrii modelului simulat sunt dați în tabelul 3.

Tabel 3- Parametrii modelului convertorului din figura 6

Parametrii	Valorile
Condensatoarele $C1$ și $C2$	1 mF
Tensiunea bateriei (V_{in2})	20 V
Rezistența de sarcină	70 Ω
Inductanța L	17 mH
Iradianța solară	1000 W/m ²
Puterea maximă a modulului FV	150 Wp

În figurile 7 și Figura se prezintă variațiile în timp ale curentului și tensiunii pe sarcină. Curentul de sarcină atinge o valoare maximă de 0,6 A după care se stabilizează la valoarea de 0,4 A.

Similar, tensiunea pe sarcină suportă un același regim tranzitoriu, cu o durată de aproximativ 0,1 s, după care se stabilizează la valoarea de 60 V.

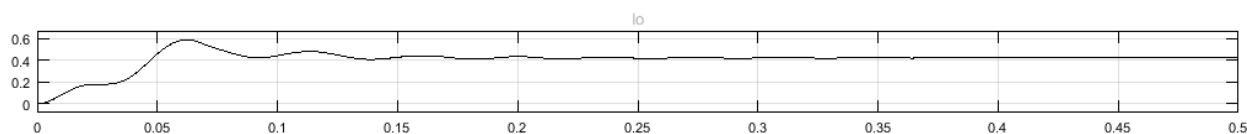


Figura 7- Curentul sarcinii convertorului din figura 6

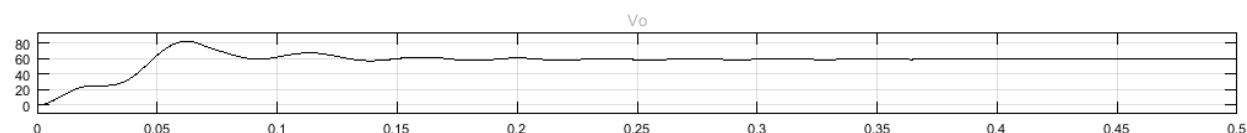


Figura 8-Tensiunea sarcinii convertorului din figura 6

Capitolul 4 prezintă o analiză comparativă a proceselor dinamice care au loc în convertoarele triport cu două intrări și o singură ieșire, realizate cu semi-punți și cu punți complete, discutate în capitolul precedent. Se prezintă, de asemenea, relații ale tensiunilor de intrare și de ieșire în raport cu duratele de conducție ale diferitelor comutatoare. Suplimentar, se discută rolul transformatoarelor în diferite topologii. Scopurile folosirii transformatoarelor pot fi:

- Ridicarea tensiunii de intrare
- Coborârea tensiunii de intrare
- Introducerea separării galvanice între intrări și ieșire
- Obținerea mai multor ieșiri pentru o singură intrare
- Maximizează puterea de ieșire făcând adaptarea impedanțelor
- Reduce pierderile de comutație

Cu toate avantajele menționate pentru folosirea transformatorului, prima opțiune în proiectare este evitarea utilizării lui din cauza următoarelor dezavantaje:

- Crește costul
- Crește greutatea
- Crește volumul
- Reduce randamentul
- Încetinește răspunsul

Capitolul 5 compară convertoare multiport cu topologii cunoscute cu convertoare cu topologii modificate. De asemenea, se compară rezultate experimentale, obținute cu convertoare cu diferite topologii, cu rezultate obținute prin simulări în cadrul tezei de doctorat. Convertorul considerat este cel cu punți complete.

În figura 9 este prezentată forma de undă a tensiunii de ieșire a convertorului cu topologie modificată iar în figura 10 cea a convertorului cu topologie uzuală.

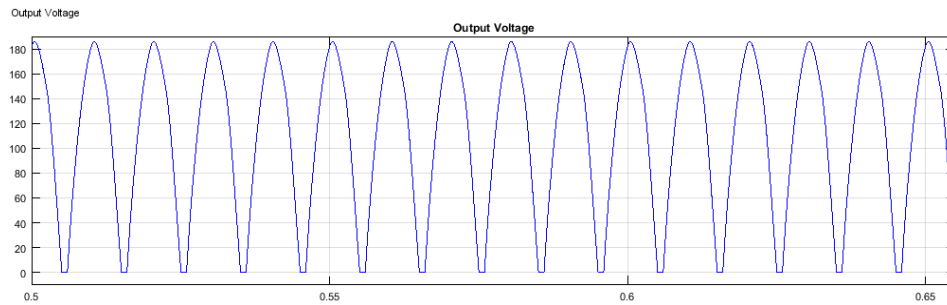


Figura 9-Tensiunea de ieșire la convertorul triport cu punți complete, cu topologie modificată

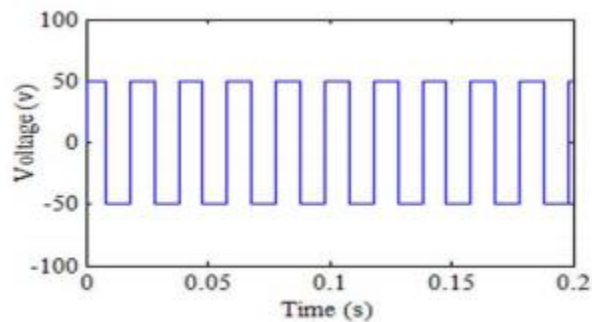


Figura 10-Tensiunea de ieșire a convertorului triport cu punți complete, cu topologie uzuală

Tensiunea de ieșire a convertorului cu topologie modificată variază între 0 V și 180 V, în timp ce tensiunea de ieșire a convertorului cu topologie uzuală variază între -50 V și +50 V. Forme de undă pentru tensiunile de la porturile 1 și 3 ale convertorului cu topologie uzuală sunt prezentate în figura 11. Ele depind de starea convertorului.

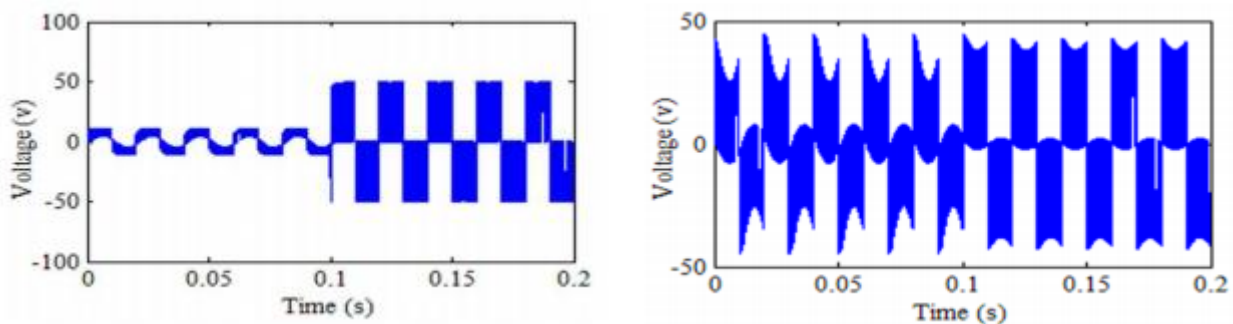
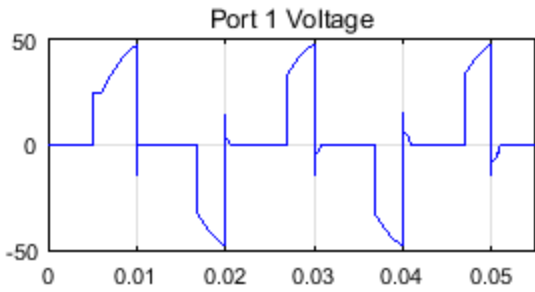
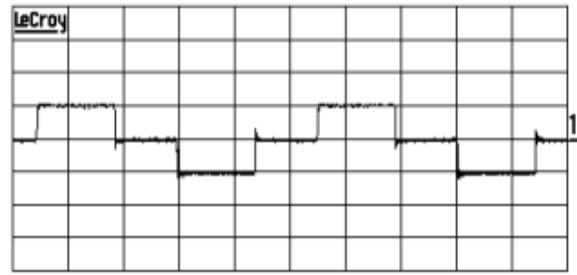


Figura 11-Forme de undă ale tensiunilor de ieșire la porturile 1 și, respectiv, 3, pentru convertorul triport uzual

Formele de undă simulate ale tensiunilor convertorului cu topologie modificată pot fi comparate cu formele de undă obținute pe cale experimentală în lucrarea [1]. Comparații pentru tensiunile de la porturile 1 și 3, obținute prin simulări în prezenta teză, și prin experimentări prezentate în lucrarea [1], sunt prezentate în continuare.

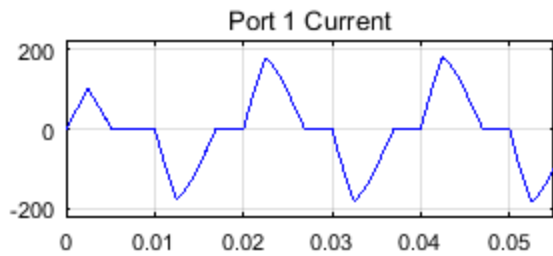


(a) Rezultate obținute prin simulări

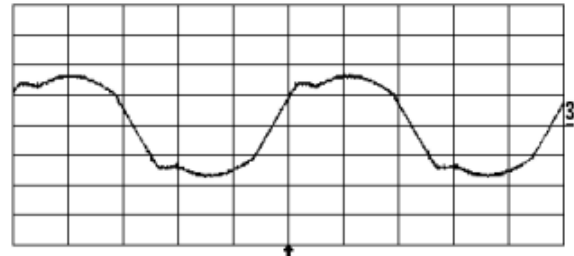


(b) Rezultate experimentale
50V/div [1]

Figura 12-Forma de undă a tensiunii de la portul 1

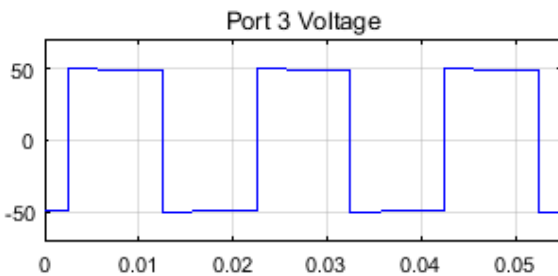


(a) Rezultate obținute prin simulări

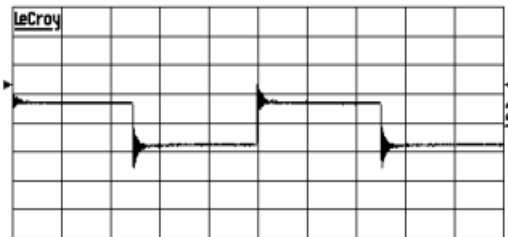


(b) Rezultate experimentale,
4A/div [1]

Figura 13-Forme de undă ale curentului de la portul 1

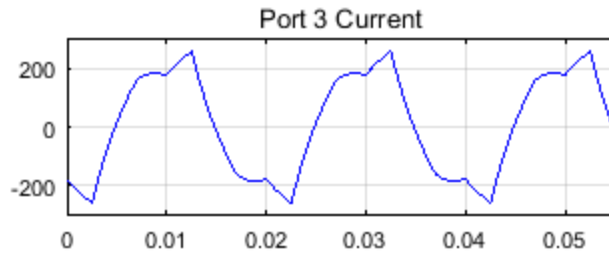


(a) Rezultate obținute prin simulări

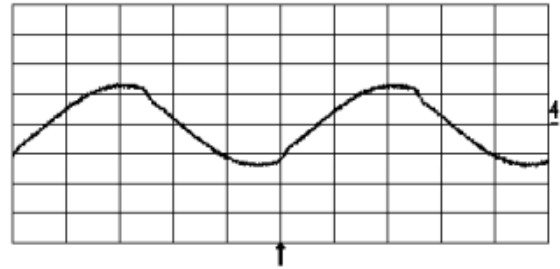


(b) Rezultate experimentale, 50V/div [1]

Figura 14-Forme de undă ale tensiunilor de la portul 3



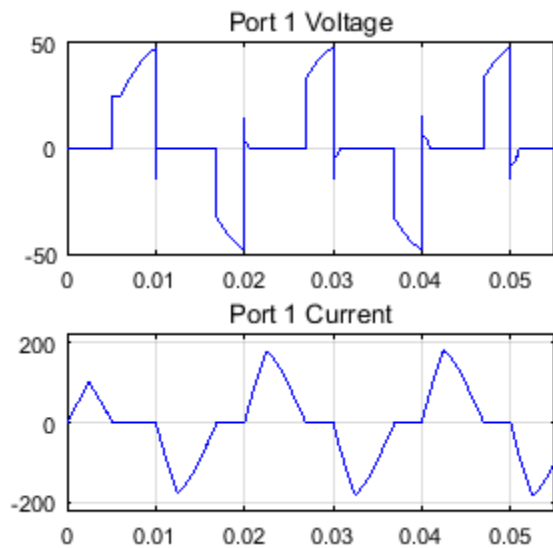
(a) Rezultate obținute prin simulări



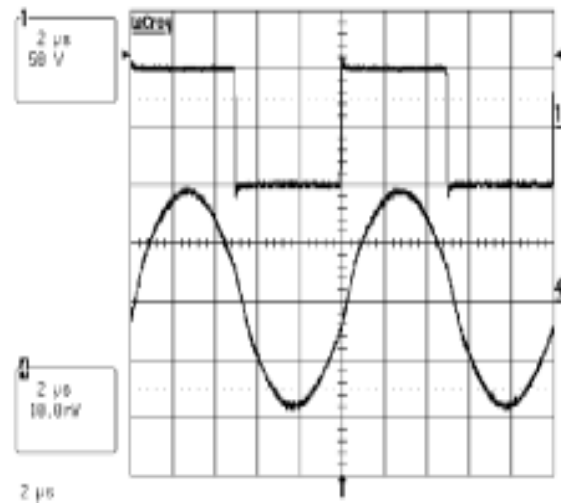
(b) Rezultate experimentale, 10A/div [1]

Figura 15-Forme de undă ale curenților de la portul 3

În lucrarea [2], sunt prezentate rezultate experimentale pentru convertorul triport cu punți complete utilizat în sistemele de energii regenerabile. Comparatii The comparison for Port 1, Port 3 and Port 2 of our simulated and experimental results are shown below.

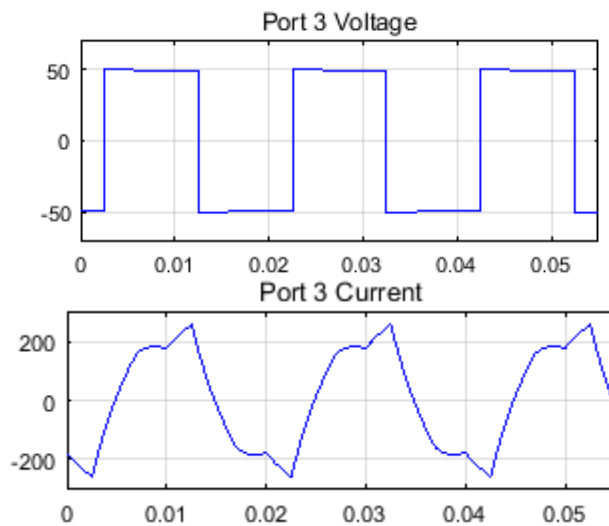


(a) Rezultate obținute prin simulări

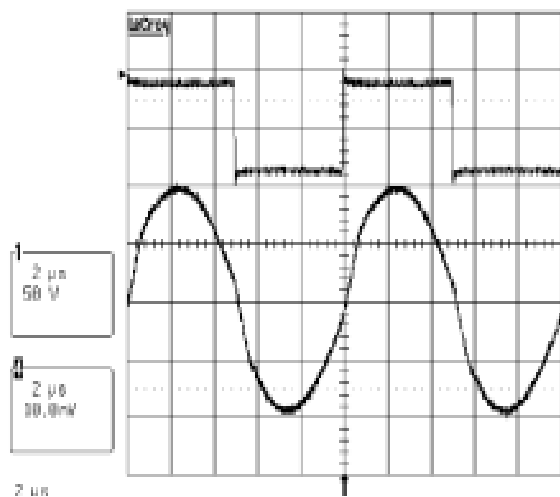


(b) Rezultate experimentale pentru tensiune (sus) 50V/div și pentru curent (jos) with 5A/div [2]

Figura 16-Forme de undă caracteristice portului 1

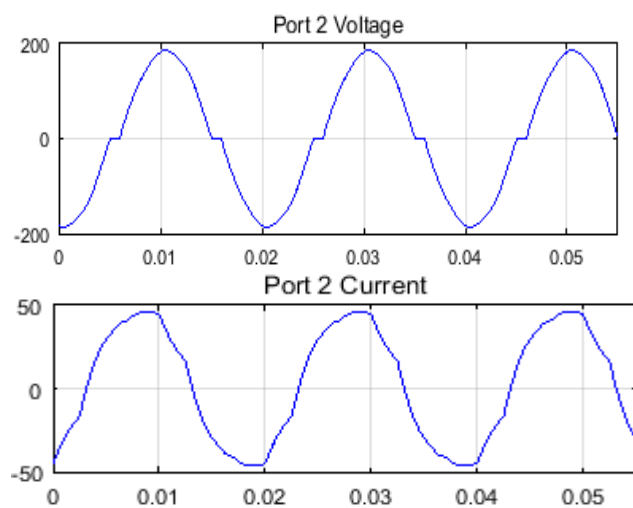


(a) Rezultate obținute prin simulări

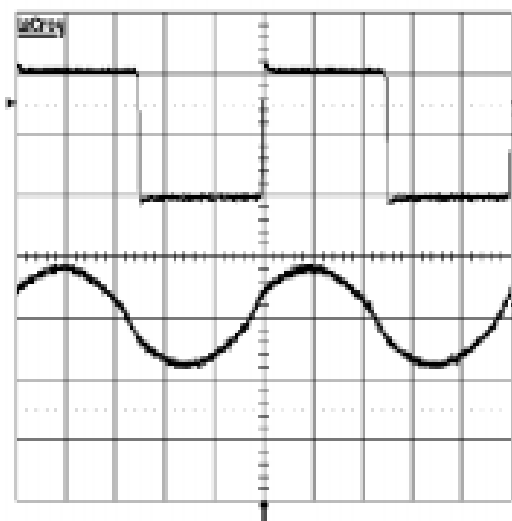


(b) Rezultate experimentale pentru tensiune (sus), 50V/div și pentru curent (jos) 5A/div [2]

Figura 17-Forme de undă caracteristice portului 3



(a) Rezultate obținute prin simulări



(b) Rezultate experimentale pentru tensiune (sus) 200V/div și pentru curent (jos) 5A/div [2]

Figura 18-Forme de undă caractristice portului 2

Rezultatele experimentale prezentate mai înainte sunt apropiate de cele obținute prin simulări

Capitolul 6 tratează utilizarea convertoarelor triport în sistemele fotovoltaice de generare a energiei. La început se face o scurtă prezentare a modelului matematic al unui modul fotovoltaic și a urmării punctului de putere maximă. Apoi, acest modul este introdus ca sursă a unui convertor triport cu separare galvanică între surse și sarcină. Cealaltă sursă interfațată de convertorul triport este o unitate de stocare.

Convertorul considerat are trei moduri de funcționare, configurate de comutatoarele electronice: a) două intrări și o ieșire; b) o intrare și două ieșiri; c) o intrare și o ieșire.

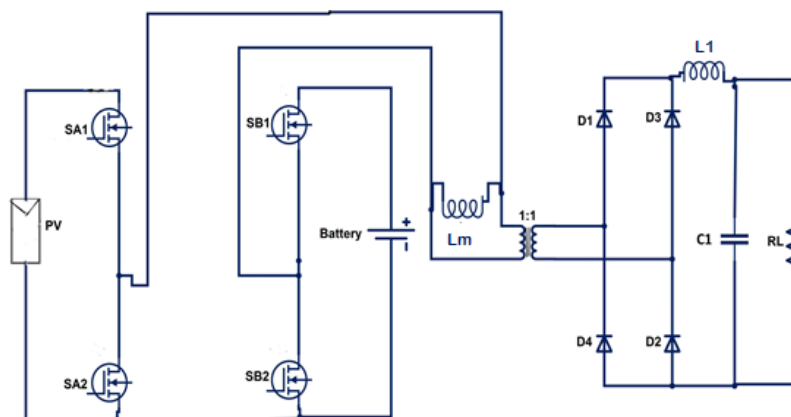


Figura 19-Convertorul triport cu punți complete, cu topologie modificată

Un alt aspect important este conceperea unității de comandă (controlerul) care este folosit pentru gestionarea fluxurilor de putere ale diferitelor porți prin generarea impulsurilor de comandă a comutatoarelor. Controlerul a fost modelat realizat în programul Simulink. În figura 20 este prezentată structura controlerului.

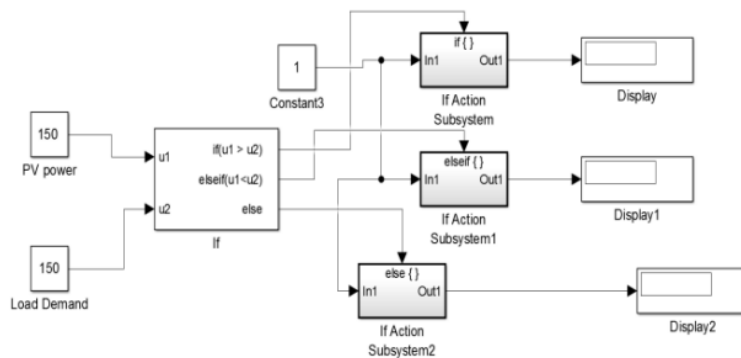


Figura 20 – Structura controlerului pentru comanda fluxurilor de putere

Controlerul generează semnalele de comandă a comutatoarelor în urma comparării cerințelor sarcinii cu oferta modului fotovoltaic în fiecare moment. El generează trei semnale logice în acord cu modul de funcționare care se impune.

Parametrii utilizați în simularea modului fotovoltaic sunt prezentați în tabelul 4 și în figura 21. În scopul aprecierii performanțelor modului fotovoltaic, în condiții tehnice standard (25 °C și 1000 W/m², caracteristicile tipice curent-tensiune și putere-tensiune, obținute prin simulări, sunt prezentate în figura 22.

Tabelul 4- Parametrii modului fotovoltaic

Parametrii	Valoarea
Puterea maximă	150.075 W
Numărul de celule	72
Tensiunea de mers în gol	41.8 V
Tensiunea la puterea maximă	34.5 V
Curentul de scurtcircuit	5.05 A
Curentul la puterea maximă	4.35 A
Curentul generat direct	5.0831 A
Curentul de saturație invers	1.4617e-10 A
Factorul de idealitate al diodei	0.93584
Rezistența paralel	69.2646 Ω
Rezistența serie	0.45367 Ω

Block Parameters: 150 W PV panel

Parameters Advanced

Array data

Parallel strings: 1

Series-connected modules per string: 1

Module data

Module: Advance Solar Hydro Wind Power API-150

Maximum Power (W): 150.075

Cells per module (Ncell): 72

Open circuit voltage Voc (V): 41.8

Short-circuit current Isc (A): 5.05

Voltage at maximum power point Vmp (V): 34.5

Current at maximum power point Imp (A): 4.35

Temperature coefficient of Voc (%/deg.C): -0.356

Temperature coefficient of Isc (%/deg.C): 0.07

Display I-V and P-V characteristics of ...

one module @ 25 deg.C & specified irradiances

Irradiances (W/m2): [1000 750 500 250]

Plot

Model parameters

Light-generated current IL (A): 5.0831

Diode saturation current I0 (A): 1.4617e-10

Diode ideality factor: 0.93584

Shunt resistance Rsh (ohms): 69.2646

Series resistance Rs (ohms): 0.45367

Figura 21- Parametrii modelului modulului fotovoltaic utilizați în simulări

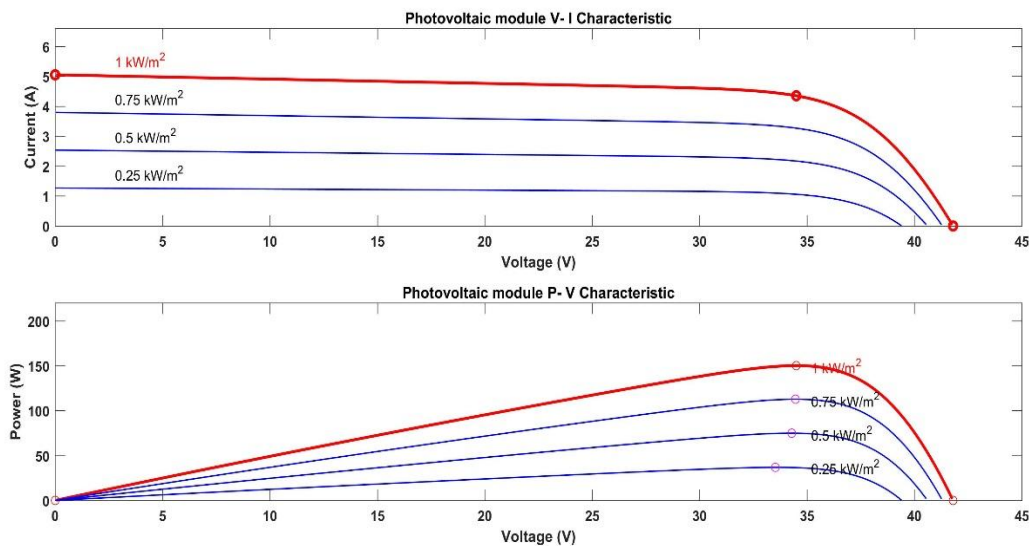


Figure 22– Caracteristicile I-U și P-UPVale modulului fotovoltaic

În cele ce urmează se discută caracteristicile tensiunii de ieșire a convertorului triport în fiecare din cele trei moduri de funcționare.

În figura 23 se prezintă caracteristica tensiunii de ieșire în modul 1 de funcționare (modul cu două ieșiri). În acest mod de funcționare modulul fotovoltaic generează suficientă putere care să asigure cerințele sarcinii și să încarce și bateria. În conformitate cu proiectul realizat, modulul

fotovoltaic produce 150 W iar sarcina consumă 100 W. Controlerul comandă închiderea comutatoarelor SA1 și SB2. După cum se vede din figură, tensiunea de ieșire rămâne constantă la valoarea de 40 V.

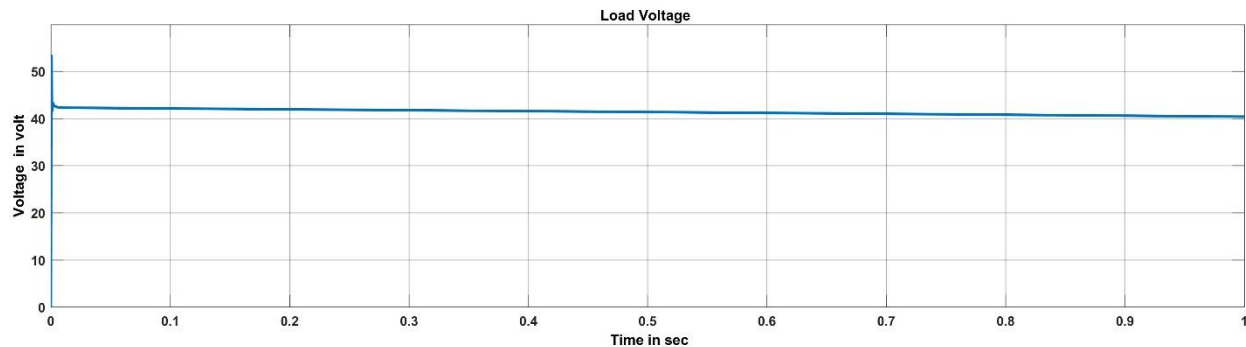


Figura 23 – Tensiunea de ieșire a convertorului în modul 1 de funcționare

Când puterea produsă de modulul fotovoltaic nu este suficientă să acopere cerința sarcinii, bateria intervine să acopere cerința de putere a sarcinii (modul 2 de funcționare, cu două intrări și o singură ieșire). În scenariul considerat, cerința de putere a sarcinii a crescut la 200 W. Controlerul comandă închiderea comutatoarelor SA1 și SB1. Tensiunea de ieșire în modul 2 de funcționare este prezentată în figura 24.

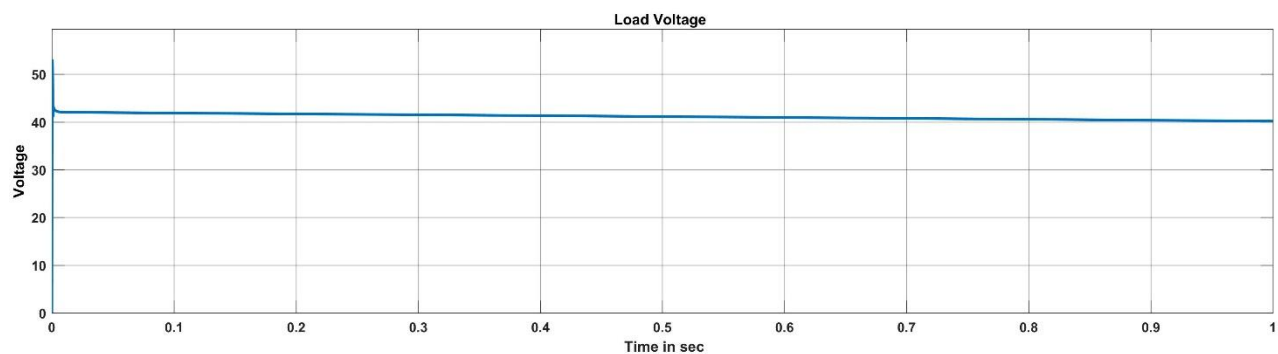


Figura 24 – Tensiunea de ieșire în modul 2 de funcționare

Când puterea generată de modulul fotovoltaic este egală cu puterea cerută de sarcină, se inițiază modul 3 de funcționare. În scenariul considerat, sarcina solicită 150 W. Ca urmare, controlerul va comanda închiderea comutatoarelor SA2 și SB1. Tensiunea de ieșire în modul 3 de funcționare este prezentată în figura 25.

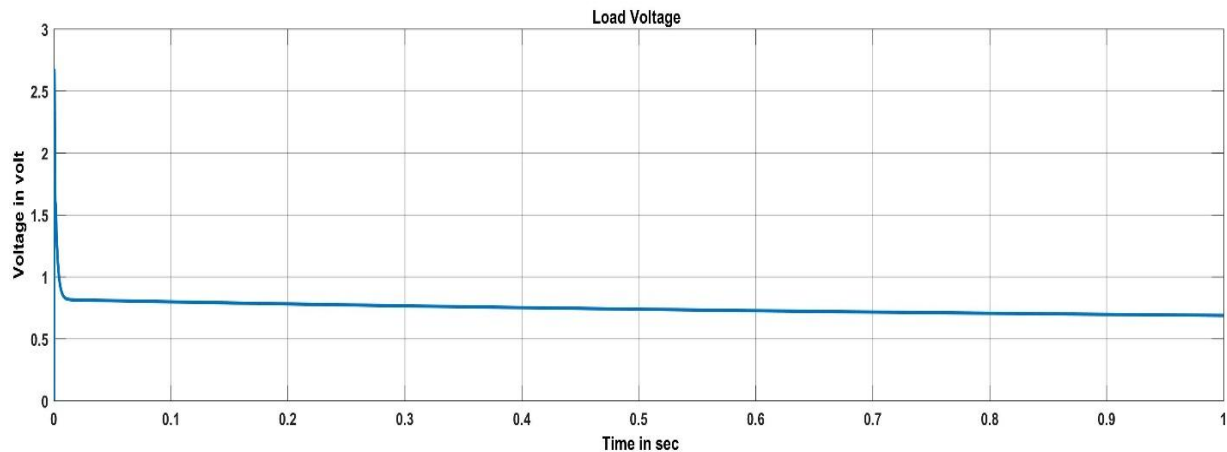


Figura 25 – Tensiunea de ieșire în modul 3

Pentru a observa răspunsurile sistemului la diverse valori ale iradianței solare, au fost impuse diferite valori ale iraduației solare și s-au înregistrat valorile corespunzătoare ale puterilor generate. Scenariul de variație a iradianței solare este prezentat în figura 26. Valorile considerate sunt: 100 W/m^2 , 250 W/m^2 , 500 W/m^2 , 750 W/m^2 și 1000 W/m^2 . Tensiunile de ieșire corespunzătoare iradianțelor solare considerate sunt prezentate în figura 27. În figura 28 se prezintă efectul valorilor diferite ale iradianței solare asupra puterii, tensiunii și curentului de la ieșirea convertorului triport.

Parametrii convertorului triport simulat sunt dați în tabelul 5.

Tabelul 5 – Parametrii utilizați în simulare

Parametrii	Valoarea
Condensatorul de ieșire C1	1 μF
Inductorul de ieșire L1	1 mH
Bateria (V_{in2})	42 V
Rezistența de sarcină (R_L)	150 Ω
Inductanța de magnetizare (L_m)	50 mH
Iradianța solară	1000 W/m^2
Puterea maximă a modului FV	150 W

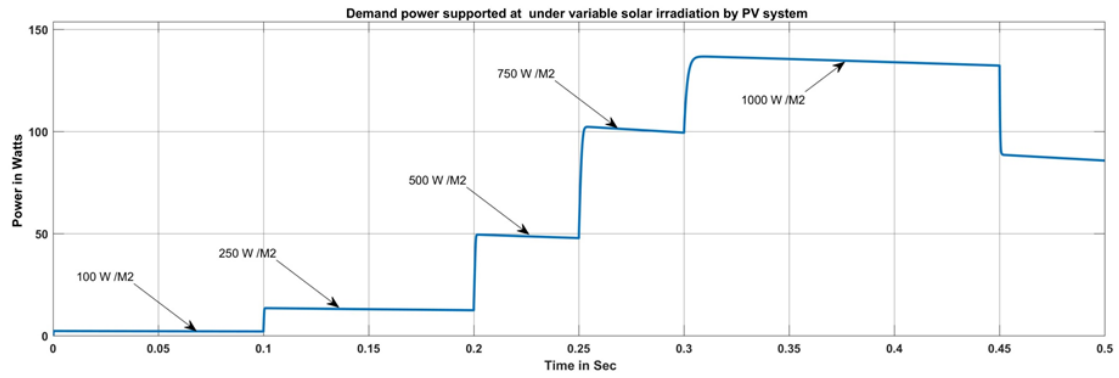


Figura 26 – Scenariul de variație a iradianței solare

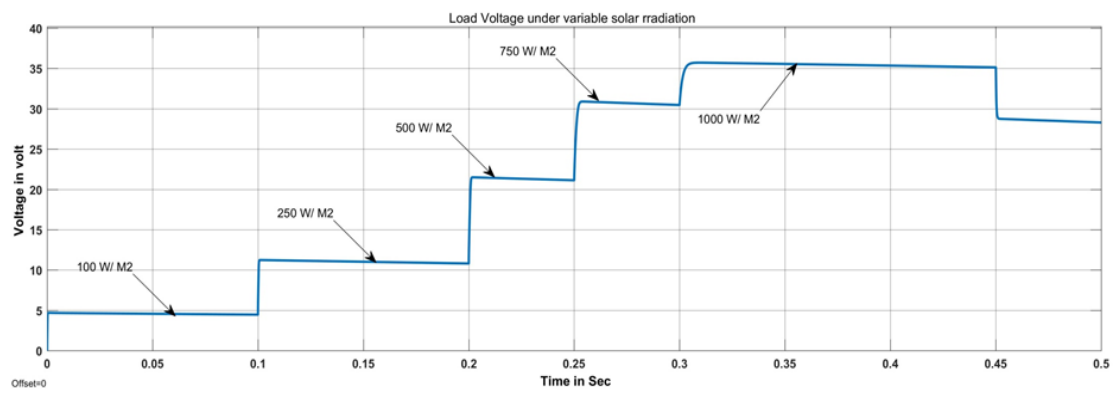


Figura 27– Tensiunea de ieșire pentru diverse valori ale iradianței solare

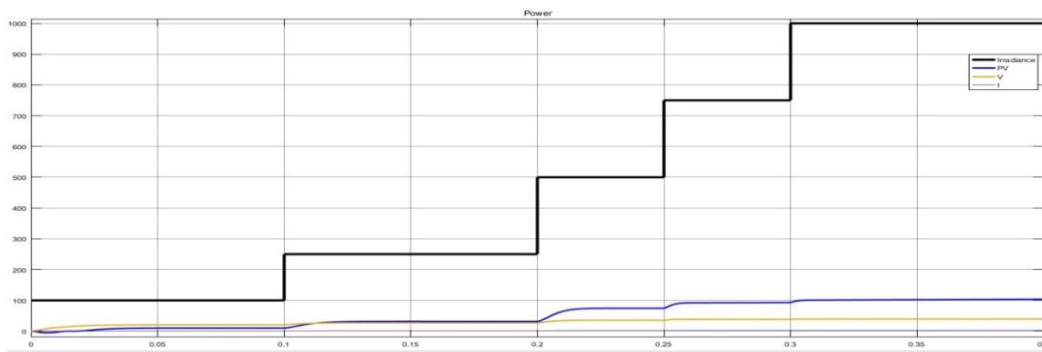


Figura 28 – Efectul iridianței solare asupra valorilor puterii, tensiunii și curentului modulului fotovoltaic

Pentru a aprecia performanțele modulului fotovoltaic, în figura 29 se prezintă variația în timp a tensiunii modulului fotovoltaic la o valoare constantă de 800 W/m^2 a iradianței solare, la o cerință de putere a sarcinii de 100 W (modul 1 de funcționare).

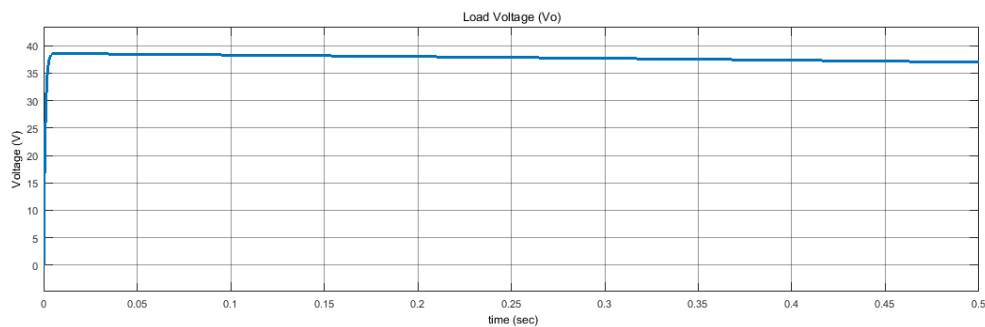


Figura 29 – Tensiunea modulului fotovoltaic la o iradianță solară de 800 W/m^2

Un aspect important pus în evidență în lucrare este comportarea convertorului la schimbarea cerințelor de putere ale sarcinii sau la schimbări ale valorilor iradianței solare, schimbări care impun diferite moduri de funcționare. În figura 30 se prezintă modurile de funcționare ale convertorului la diverse cerințe de putere ale sarcinii, când iradianța solară se menține constantă, la valoarea de 1000 W/m^2 .

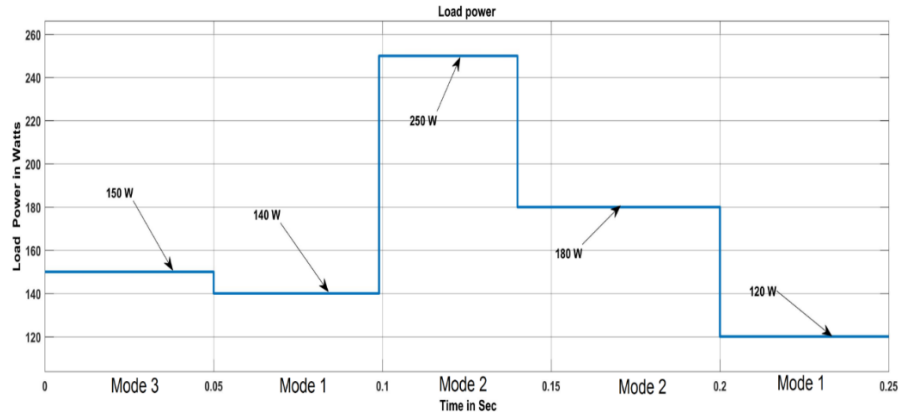


Figura 30 – schimbarea modurilor de funcționare pentru diverse cerințe de putere ale sarcinii

Capitolul 7 extinde studiul convrtoarelor triport cu analiza unei topologii derivate din convertorul biport cu punte completă. La convertorul considerat, orice putere primită poate fi transferată la ieșire într-o singură etapă de conversie. Pentru a minimiza pierderile de comutație, convertorul poate funcționa cu comutări la tensiune nulă pentru toate comutatoarele folosind inductanța L_m ca unitate de stocare a energiei. Parametrii modelului folosit pentru simularea în Simulink sunt dați în tabelul 6.

Tabelul 6 – Parametrii convertorului cu topologie modificată

Componenta	Valoarea
Frecvența de transformare	10 kHz
Raportul de transformare	1:1
Capacitatea de ieșire (C1)	0.01 F
Condensatorul (Buck-boost)	4700 μ F
Inductorul (Buck-boost)	47 mH
Condenstorul paralel cu modulul FV	100 μ F
Inductanța de magnetizare (L_m)	50 H
Tensiunea bateriei	12 V
Puterea sarcinii	100 W
Iradianța solară	500 W/m ²
Puterea maximă a modului FV	150 W

Any input power can be transferred to output load in a single-stage. In order to eliminate switch losses, the converter can be operated with Zero-Voltage Switching for all switches by using primary inductance L_m as energy storage component. The chapter also intends to find volt-second and capacitor-charge balance equations and works on small-signal approximation and

linearization of the converter model. The parameters of the Simulink model are presented in Tabelul .

Controlerul convertorului triport cu topologie modificată realizat în Simulink este prezentat în figura 31. El generează trei semnale de comandă, pe baza semnalelor primite la cele două intrări. Două din semnalele de ieșire sunt pentru cele două coloane cu comutatoare iar cel de al treilea comandă întârzierea pulsurilor SA și SB.

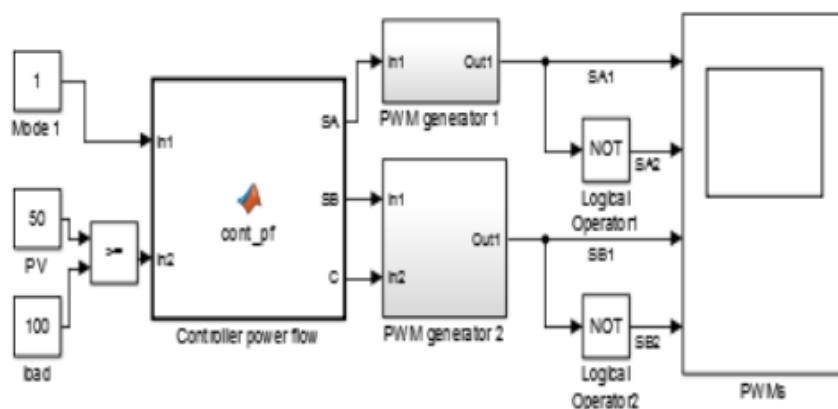


Figura 31- Structura controlerului pentru generarea impulsurilor de comandă

Funcționarea controlerului este reprezentată de diagrama din figura 32.

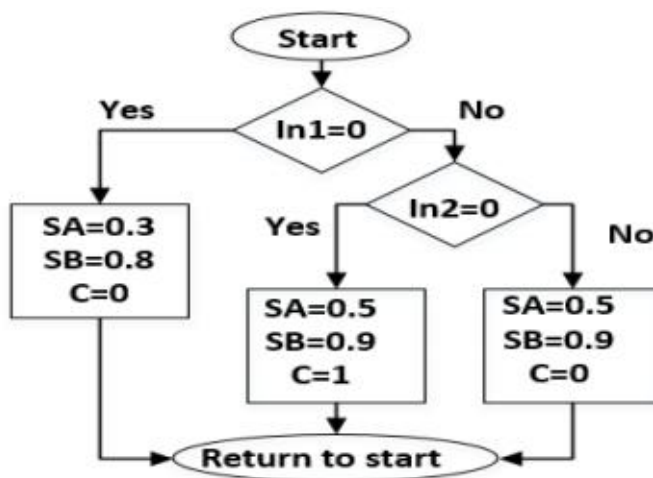


Figura 32- Diagrama de funcționare a controlerului

Pentru cele trei moduri de funcționare ale convertorului, controlerul generează semnale de comandă pentru comutatoarele electronice. Tensiunile aplicate sarcinii și puterile primite de aceasta, în cele trei moduri de funcționare, sunt prezentate în figurile 33 – 38.

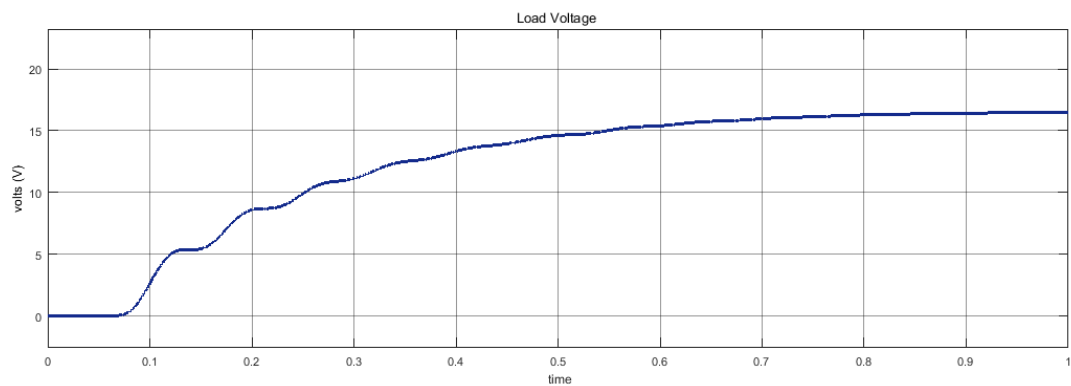


Figura 33 – Tensiunea pe sarcină, în modul 1

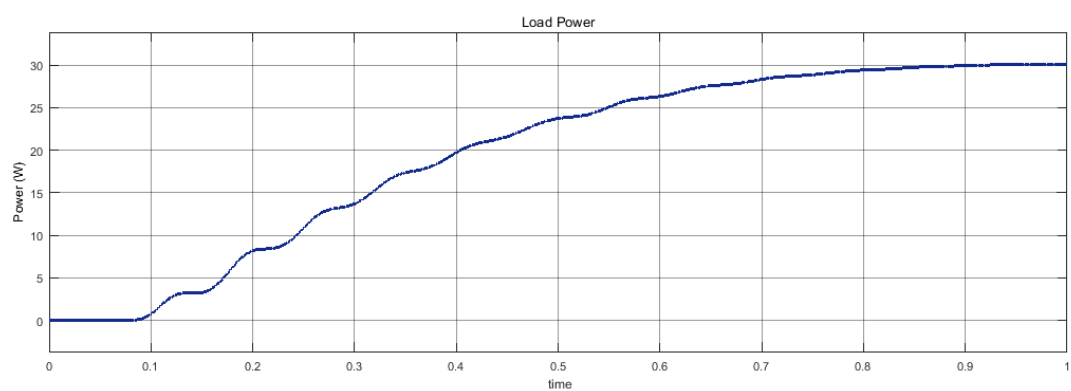


Figura 34 – Puterea sarcinii, în modul 1

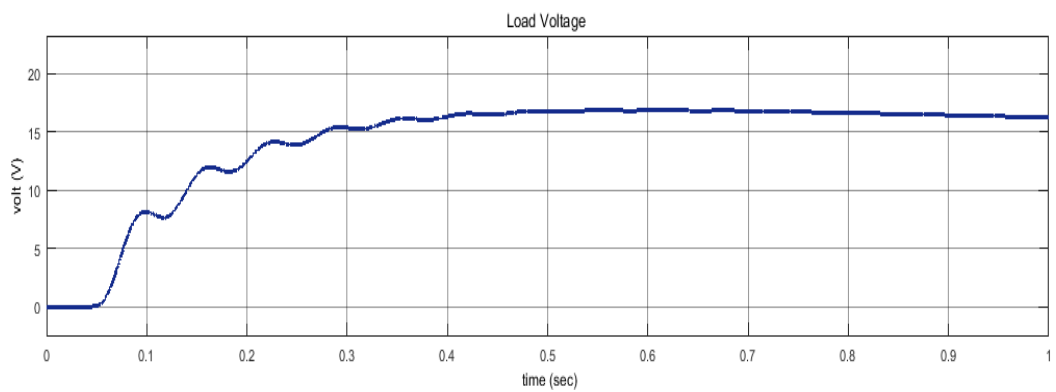


Figura 35- Tensiunea pe sarcină, în modul 2

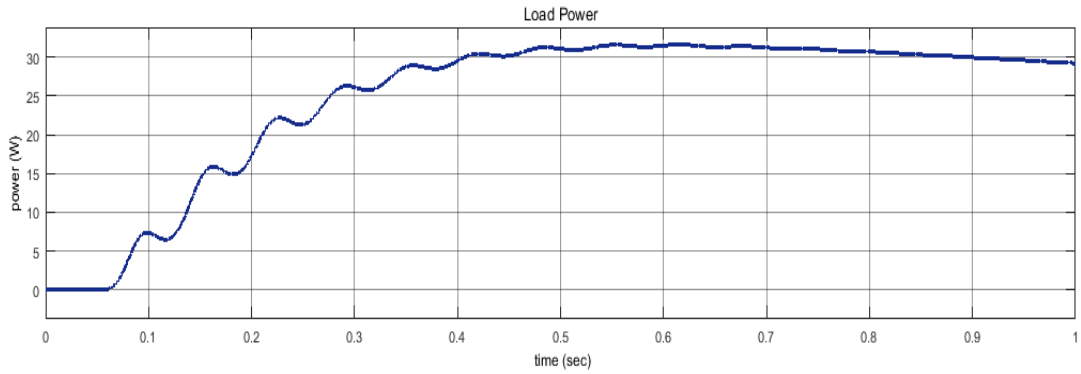


Figura 36 – Puterea sarcinii, în modul 2

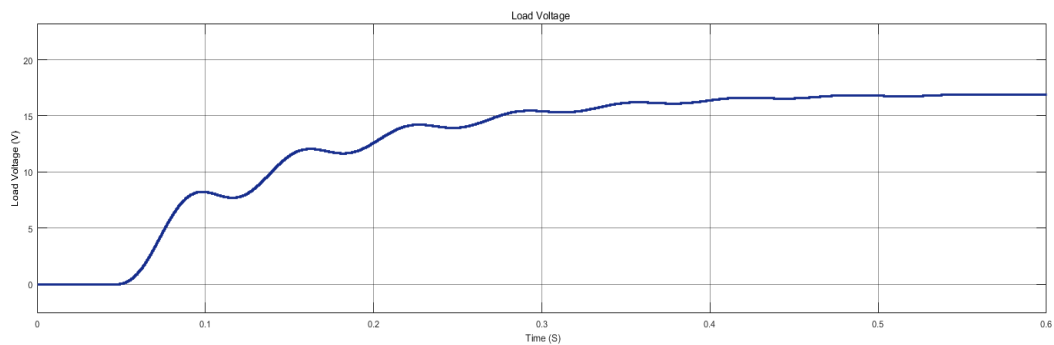


Figura 37 – Tensiunea pe sarcină, în modul 3

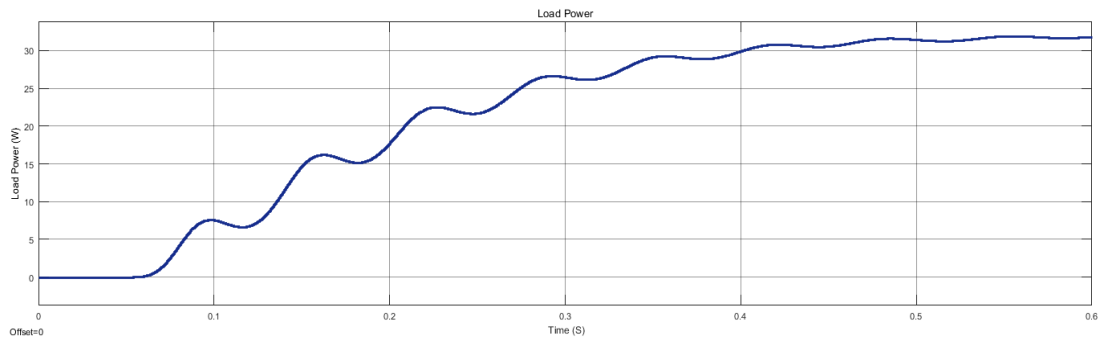


Figura 38 – Puterea sarcinii, în modul 3,

Capitolul 8 prezintă o nouă topologie de convertor triport cu punți complete, derivată prin splitarea topologiei în două celule A și B, celule utilizate ca intrări pentru surse cu tensiuni diferite, cum ar fi un modul fotovoltaic și o baterie. Principala temă a acestui capitol este comanda cu logică fuzzy a fluxurilor de putere ale convertorului triport.

Ca și în cazurile precedente, convertorul considerat are trei moduri de funcționare distincte. Prezența acestor moduri determină valorile duratelor de conducție ale comutatoarelor electronice. Aceste moduri de funcționare sunt sumarizate în tabelul 7.

Tabelul 7- Modurile de funcționare ale convertorului

Modul de operare	SA1	SA2	SB1	SB2
Puterea modulului FV este în exces	Durată de comandă mare	Durată de comandă mică	Durată de comandă mare	Durată de comandă mică
Puterea modulului FV este deficitară	Durată de comandă mică	Durată de comandă mare	Durată de comandă mare	Durată de comandă mică
Puterea modulului FV este egală cu cerința	Durată de comandă mare	Durată de comandă mică	Durată de comandă mică	Durată de comandă mare

Din tabelul 7 se poate constata că în cursul modului cu o singură intrare, contactorul SA1 rămâne închis o durată mare de timp pentru a asigura conectarea cu modulul fotovoltaic. În intervalul de timp în care bateria ori se încarcă ori se descarcă, contactorul SB1 rămâne, de asemenea, închis o durată mare de timp pentru a asigura conectarea bateriei.

Controlerul elaborează două semnale de comandă pentru contactoare în funcție de diferența dintre puterea generată de modulul fotovoltaic și cerințele de putere ale sarcinii. Pentru verificarea realizării corecte a structurii controlerului, au fost efectuate simulări în Simulink.

Comanda pe baza logicii fuzzy a fost aleasă datorită simplității și eficienței ei. Funcțiunile de apartenență alese sunt de tip triunghiular, așa cum se prezintă în figura 39. Domeniul de variație al puterii a fost ales între minus 150 W și plus 150 W, ținând seamă de puterea maximă a modulului fotovoltaic.

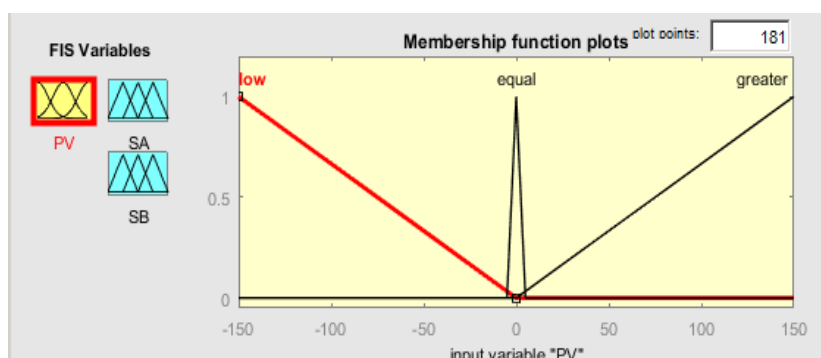


Figura 39– Funcțiile de apartenență pentru modulul fotovoltaic

Funcțiunile de apartenență alese au trei parametrii care definesc limitele lor inferioară și superioară cum și valoarea funcției. Limita inferioară este simbolizată cu "i", cea superioară este simbolizată cu "h" iar valoarea funcție este simbolizată cu "v".

Controlerul cu logică fuzzy generează comenzile pentru contactoarele SA și SB, funcțiuni prezentate în figurile 40 și 41.

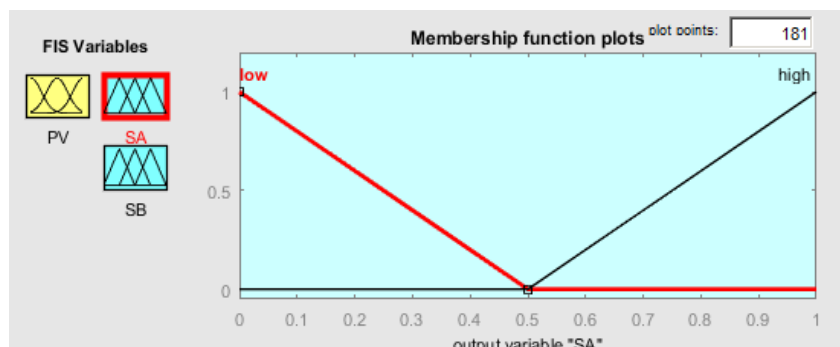


Figura 40 – Funcțiunea de apartenență pentru contactorul SA

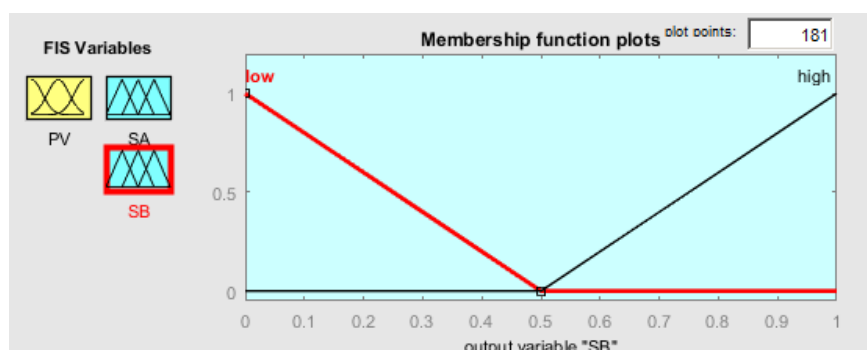


Figura 41 – Funcțiunea de apartenență pentru contactorul SB

În cazul funcționării convertorului în modul 1, în figura 42 este prezentată tensiunea de ieșire iar în figura 43 este prezentată puterea generată de modulul fotovoltaic.

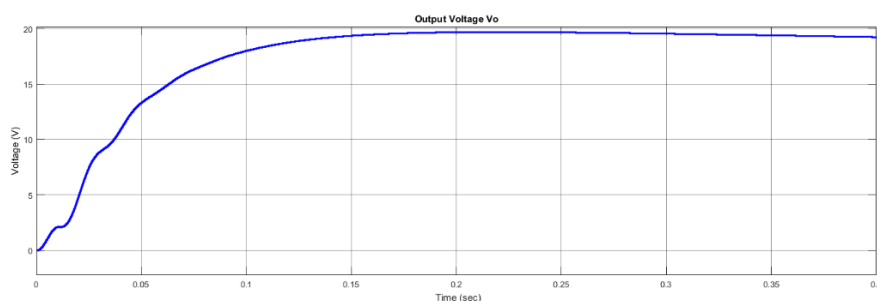


Figura 42 – Tensiunea de ieșire, în modul 1 de funcționare

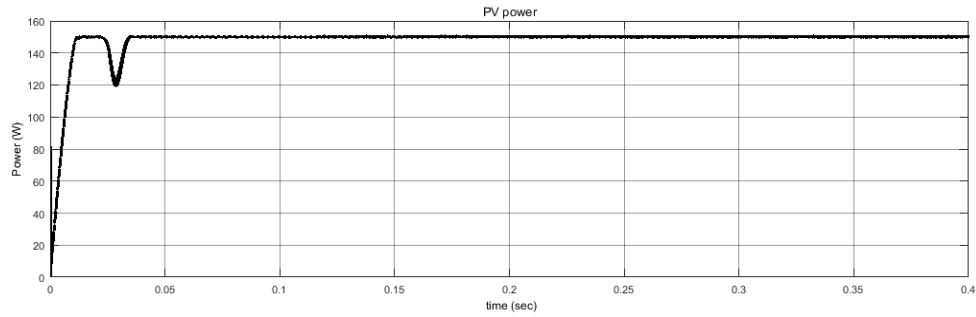


Figura 43 – Puterea generate de modulul fotovoltaic, în modul 1 de funcționare

Pentru modul 2 de funcționare, când modulul fotovoltaic împreună cu sarcina alimentează sarcina, tensiunea de ieșire este prezentată în figura 44.

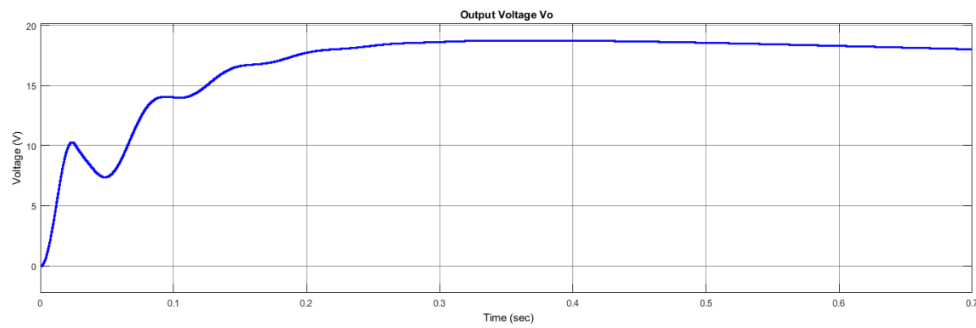


Figura 44 – Tensiunea de ieșire în modul 2 de funcționare

În mode 3 de funcționare, puterea generată de modulul fotovoltaic este egală cu cerința de putere a sarcinii. Tensiunea de ieșire în acest caz este prezentată în figura 45.

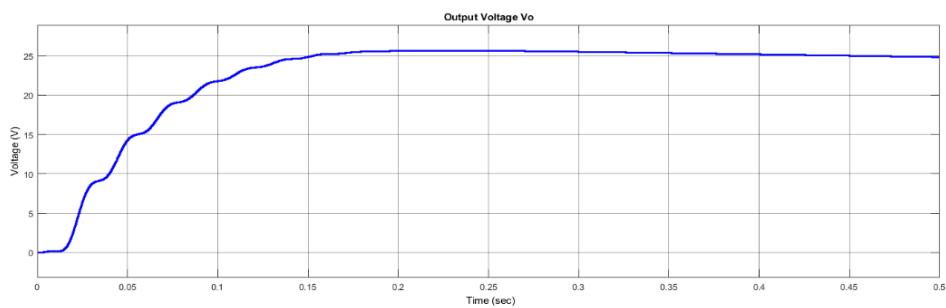


Figura 45- Tensiunea de ieșire în modul 3 de funcționare

Contribuții originale

Teza a urmărit creșterea eficienței utilizării convertoarelor triport utilizate în sursele autonome hibride de energie, care conțin o sursă regenerabilă și o baterie. Sunt prezentate analize ale topologiilor convertoarelor triport. Au fost dezvoltate scheme de gestionare a fluxurilor de putere din convertoarele triport utilizate în sistemele fotovoltaice de producere a energiei, prevăzute cu controlere de comandă a urmării punctului de putere maximă. Folosind simulări în Simulink, au fost analizate comportările convertoarelor triport și ale unităților de comandă ale lor în condiții de variație în timp a mărimilor de intrare. În aceleași condiții, au fost analizate impacturile asupra sarcinilor convertorului triport.

Plecând de la topologia convertorului realizat cu punți complete și cu transformator de izolare galvanică, a fost derivată o topologie de convertor prin splitarea punților complete în două celule folosite ca intrări pentru două surse cu tensiuni diferite; înfășurarea unui transformator conectată între cele două celule este folosită pentru conectarea lor cu ieșirea convertorului. Inductanța de magnetizare a transformatorului este folosită și ca inductor al unui convertor buck-boost. Convertorul derivat prin splitarea punților complete, are două porturi de intrare, unul bidirecțional și unul monodirecțional, și un al treilea port care este izolat galvanic de porturile de intrare.

O altă contribuție este conceperea unui controler pentru comanda fluxurilor de putere ale convertorului triport folosit într-un sistem fotovoltaic autonom. Controlerul conceput, modelat în Simulink, utilizează logica fuzzy cu funcții de apartenență triunghiulare. El poate comanda cele trei moduri de funcționare ale convertorului triport. Determinarea modurilor de funcționare ale convertorului se face pe baza diferenței dintre puterea generată de modulul fotovoltaic și cerințele de putere ale sarcinii. Prin simulări s-a constatat că fluxul de putere furnizat sarcinii, în modurile de funcționare comandate de controlerul cu logică fuzzy, este constant și stabil.

O altă contribuție este conceperea unui algoritm de gestionare a fluxurilor de putere dintre cele trei porturi ale convertorului triport. Algoritmul, realizat în Matlab/Simulink, decide modurile de funcționare ale convertorului pe baza semnalelor primite de la modulul fotovoltaic și de la sarcină. Rezultatele obținute prin simulări au dovedit eficiența acestui algoritm de gestionare a fluxurilor de putere ale convertorului triport.

O contribuție este și studiul comparativ al unor convertoare triport cu topologii diferite: convertorul realizat cu semi-punți și convertorul realizat cu punți complete, ambele având și transformator pentru izolare galvanică, și convertorul fără transformator, având două intrări și o singură ieșire.

Articole prezentate la conferințe internaționale și publicate în volumele de comunicări

- 1- **S. J. AL-Chlaihawi** and A. G. Al-GIZI, "A Survey of Multiport Converters used in Renewable Energy," 2016 *International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering (ISFEE)*, Bucharest, Romania, 30 June- 2 July, 2016, pp. 1-4, doi:10.1109/ISFEE.2016.7803185
- 2- A. G. Al-Gizi and **S. J. Al-Chlaihawi**, "Study of FLC based MPPT in comparison with P&O and InC for PV systems," 2016 International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering (ISFEE), Bucharest, Romania, 30 June -2 July, 2016, pp. 1-6, doi: 10.1109/ISFEE.2016.7803187
- 3- **S. J. Al-Chlaihawi**, "Comparative study of the multiport converter used in renewable energy systems," 2016 *International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE)*, Craiova, Romania, October 6-8, 2016, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICATE.2016.7754650
- 4- **S. Al-Chlaihawi** and M. Louzazni, "Hybrid Photovoltaic – Battery Energy Management System Using Multiport DC-DC Converter," 2016 *International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC'16)*, November 14-17, 2016, Marrakech-Morocco.
- 5- **S. J. AL-Chlaihawi**, A. Craciunescu and A. G. Al-Gizi, "Power Flow Management in Three Port Converter Using PV Panel with Maximum Power Point Tracker," 2017 *10th IEEE International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE 2017)*, Bucharest, Romania, March 23-25, 2017, pp. 585-590, doi: 10.1109/ATEE.2017.7905136
- 6- A. G. Al-Gizi, A. Craciunescu, and **S. J. Al-Chlaihawi**, "The use of ANN to supervise the PV MPPT based on FLC," 2017 *10th IEEE International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE 2017)*, Bucharest, Romania, March 23-25, 2017, pp. 703-708, doi: 10.1109/ATEE.2017.7905128
- 7- A. Al-Gizi, A. Craciunescu, and **S. Al-Chlaihawi**, "Improving the performance of PV system using genetically-tuned FLC based MPPT," 2017 *International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM) & 2017 Intl Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics (ACEMP)*, Brasov, Romania, May 25-27, 2017, pp. 642-647, doi:10.1109/OPTIM.2017.7975041
- 8- **S. J. Al-Chlaihawi**, A. Craciunescu, M. Louzazni, A. G. Al-Gizi, "Full bridge three port converter power flow control using fuzzy logic controller," 17th *IEEE International Conference on Environmental and Electrical Engineering 1st Industrial and Commercial Power Systems Europe*, Milan, Italy, June 6-9, 2017, pp. 2694-2699, doi: 10.1109/EEEIC.2017.7977868

- 9- A. Al-Gizi, **S. Al-Chlaihawi**, and A. Craciunescu, "Comparative study of some FLC-based MPPT methods for photovoltaic systems," *19th International Conference on Researches in Science & Technology (ICRST)*, Barcelona, Spain, July 27-28, 2017.

Articole publicate în reviste științifice internaționale

- 1- **S. J. M. AL-Chlaihawi**, "Multiport Converter in Electrical Vehicles-A Review," *International Journal of Scientific and Research Publications*, vol. 6, no. 5, May 2016, pp. 378-382.
- 2- **S. Al-Chlaihawi**, A. Al-Gizi, and A. Craciunescu, "The analysis and comparison of multiport converter used for renewable energy sources" *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal (ASTESJ)*, vol. 2, no. 3, pp. 906-912, 2017.
- 3- A. Al-Gizi, **S. Al-Chlaihawi**, and A. Craciunescu, "Efficiency of photovoltaic maximum power point tracking controller based on a fuzzy logic," *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal (ASTESJ)*, vol. 2, no. 3, pp. 1245-1251, 2017.
- 4- A. Al-Gizi, **S. Al-Chlaihawi**, and A. Craciunescu, "Comparative study of some FLC-based MPPT methods for photovoltaic systems," *MATTER: International Journal of Science and Technology*, vol. 3, no. 3, pp. 36-50, 2017. doi: <https://dx.doi.org/10.20319/mijst.2017.32.3650>
- 5- A. Al-Gizi, **S. Al-Chlaihawi**, M. Louzazni, and A. Craciunescu, "Genetically optimization of an asymmetrical fuzzy logic based photovoltaic maximum power point tracking controller," *Advances in Electrical and Computer Engineering*, vol. 17, no. 4, pp. 69 -76, 2017. doi: 10.4316/AECE. 2017.04009
- 6- **S. Al-Chlaihawi**, and A. Craciunescu, "Fuzzy logic power flow control in split full bridge three-port converter," *U. P. B. Sci. Bull., Series C*, vol. , no. , pp. - , 2018. (submitted for publication)

Bibliografie selectată

1. H. Krishnaswami and N. Mohan, "Constant switching frequency series resonant three-port bi-directional DC-DC converter," in *Power Electronics Specialists Conference*, 2008.
2. H. Krishnaswami and N. Mohan, "Three-Port Series-Resonant DC–DC Converter to Interface Renewable Energy Sources With Bidirectional Load and Energy Storage Ports," *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 24, pp. 2289-2297, 2009.
3. M. Mihai, "Multiport Converters – a brief review," in *ECAI 2014- International Conference – 7th Edition Electronics, Computers and Artificial Intelligence*, Bucharest, 2014.
4. C. Zhao, "Isolated Three-port bidirectional dc-dc converter," Zhejiang University, China,

2010.

5. H. Tao, J. L. Duarte and M. A. M. Hendrix, "Multiport converters for hybrid power sources," in *IEEE Proc. Power Electron. Spec. Conf.*, 2008.
6. H. Wu, Y. Xing, R. Chen, J. Zhang, K. Sun and H. Ge, "A three-port half-bridge converter with synchronous rectification for renewable energy application," in *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), IEEE*, 2011.
7. N. Vázquez, C. M. Sanchez, C. Hernández, E. Vázquez, L. d. C. García and J. Arau, "A Different Three-Port DC/DC Converter for Standalone PV System," *International Journal of Photoenergy*, 2014.
8. Z. Qian, O. Abdel-Rahman, H. Al-Atrash and I. Batarseh, "Modeling and Control of Three-Port DC/DC Converter Interface for Satellite Applications," *IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS*, vol. 25, no. 3, 2010.
9. K. Pradeepkumar and J. S. Johny, "An Isolated Multiport DC-DC Converter for Different Renewable Energy Sources," *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, vol. 3, no. 12, 2014.
10. J. Zeng, W. Qiao, L. Qu and Y. Jiao, "An Isolated Multiport DC–DC Converter for Simultaneous Power Management of Multiple Different Renewable Energy Sources," *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, vol. 2, no. 1, 2014.
11. J. T. Hawke, H. S. Krishnamoorthy and P. N. Enjeti, "A Multiport Power Sharing Converter Topology for Renewable-to-Grid Interface," in *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE).*, 2014.
12. B. Dhivya and S. Dhamodharan, "Analysis of Multiport DC-DC Converter in Renewable Energy Sources," *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2013.
13. S. Poovithal, S. E. Rajan and R. P. Vengatesh, ""Performance Evaluation of Multiport DC-DC Converter for Simultaneous Power Management of Multiple PV-Modules Application,"," in *International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies*, 2015.
14. H. Wu, Y. Xing, R. Chen, J. Zhang, K. Sun and H. Ge, "A Three Port Half-Bridge Converter with Synchronous Rectification for Renewable Energy Applications," *IEEE*, 2011.
15. L. Solero, F. Caricchi, F. Crescimbeni, O. Honorati and F. Mezzetti, "Performance of a 10 kW power electronic interface for combined wind/PV isolated generating systems," in " *Proc. IEEE Power Electronics Specialists Conf. (PESC)*, 1996.

16. A. Khaligh, J. Cao and Y.J. Lee, " "A Multiple-Input DC–DC Converter Topology," *IEEE Trans. On Power Electronics*, vol. 24, no. 3, 2009.
17. Z. Wang and H. Li, "An Integrated Three-Port Bidirectional DC–DC Converter for PV Application on a DC Distribution System," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 28, no. 10, pp. 4612 - 4624, 2013.
18. L. Wang, Z. Wang and H. Li, "Asymmetrical Duty Cycle Control and Decoupled Power Flow Design of a Three-port Bidirectional DC-DC Converter for Fuel Cell Vehicle Application," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 27, no. 2, pp. 891 - 904, 2012.
19. H. Wu, K. Sun, R. Chen, H. Hu and Y. Xing, "Full-Bridge Three Port Converters With Wide Input Voltage Range for Renewable Power Systems," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 27, no. 9, 2012.
20. W. Li, J. Xiao, Y. Zhao and X. He, "PWM Plus Phase Angle Shift (PPAS) Control Scheme for Combined Multiport DC/DC Converters," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 27, no. 3, pp. 1479 - 1489, 2012.
21. M. R. Rashmi, A. Suresh and S. Kamalakkannan, "A Four Port DC-DC Converter for Renewable Energy Systems," *Journal of Electrica Engineering*.
22. H. Behjati and A. Davoudi, "A Multiple-Input Multiple-Output DC–DC Converter," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 49, no. 3, pp. 1464 - 1479, 2013.
23. A. D. Napoli, F. Crescimbeni, S. Rodo and L. Solero, ""Multiple input dc dc power converter for fuel-cell powered hybrid vehicles,"," in *Proc. IEEE Power Electronics Specialists Conf. (PESC)*,, 2002.
24. F. Nejabatkhah, S. Danyali, S. H. Hosseini, M. Sabahi and S. M. Niapour, "Modeling and Control of a New Three-Input DC–DC Boost Converter for Hybrid PV/FC/Battery Power System," *IEEE Transactions on Power Electronics (Volume: 27, Issue: 5, May 2012)*, vol. 27, no. 5, pp. 2309 - 2324, 2012.
25. H. Matsuo, W. Lin, F. Kurokawa, T. Shigemizu and N. Watanabe, ", "Characteristics of the multiple-input DC-DC converter,"," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 51, no. 3, 2004.
26. H. Krishnaswami and N. Mohan, "Three-port series-resonant dc-dc converter to interface renewable energy sources with bi-directional load and energy storage ports,"," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 24, no. 10, 2009.
27. C. Zhao and J. W. Kolar, ""A novel three-phase three-port ups employing a single high-frequency isolation transformer,"," in *Proceedings of IEEE Power Electron. Specialists Conf.*,, 2004.

28. Y. Chen, Y.C. Liu and F.Y. Wu, "'Multi-input DC/DC converter based on the multiwinding transformer for renewable energy applications,'" *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 38, no. 4, 2002.
29. S. Y. Kim, H.-S. Song and K. Nam, "Idling Port Isolation Control of Three-Port Bidirectional Converter for EVs," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 27, no. 5, 2012.
30. C. Zhao, S. D. Round and J. W. Kolar, "An Isolated Three-Port Bidirectional DC-DC Converter With Decoupled Power Flow Management," *IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS*, vol. 23, no. 5, 2008.
31. L. Solero, A. Lidozzi and J. A. Pomilio, "'Design of multiple-input power converter for hybrid vehicles,'" *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 20, no. 5, 2005.
32. H. Tao, A. Kotsopoulos, J. Duarte and M. Hendrix, "Triple-half-bridge bidirectional converter controlled by phase shift and PWM," in *Applied Power Electronics Conference and Exposition, . APEC '06*, 2006.
33. H. Tao, A. Kotsopoulos, J. L. Duarte and M. A. M. Hendrix, "'Transformer Coupled Multiport ZVS Bidirectional DC–DC Converter With Wide Input Range,'" *IEEE Trans. Power Electronics*, vol. 23, 2008.
34. Y. Chen, A. Huang and X. Yu, "A High Step-Up Three-Port DC-DC Converter for Stand-Alone PV/Battery Power Systems".
35. W. Li and X. He, "Review of nonisolated high-step-up DC/DC converters in photovoltaic grid-connected applications," *IEEE Trans. Ind. Electron*, vol. 58, no. 4, pp. 1239 - 1250, 2011.
36. S. Hazra, S. Bhattacharya and C. Chakraborty, "A novel control principle for a high frequency transformer based multiport converter for integration of renewable energy sources," in *39th Annual Conference of Industrial Electronics Society, IECON*, 2013.
37. C. Priyatharshini, P. Kathiravan and C. Govindaraju, "Power management by using multiport Dc-Dc converter for renewable energy," in *International Conference: Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS)* , 2015.
38. A. D. Napoli, F. Crescimbeni, L. Solero, F. Caricchi and F. Capponi, "Multiple-input DC-DC power converter for power-flow management in hybrid vehicles," in *Industry Applications Conference, 2002. 37th IAS Annual Meeting. Conference Record of the*, 2002.
39. R. D. MIDDLEBROOK and S.Ćuk, "Isolation and Multiple Outputs of a New Optimum Topology Switching Dc-to-Dc Converter," in *IEEE Power Electronics Specialists*

Conference, 1978.

40. R. W. Erickson and D. Maksimovic, "Converter Circuits," in *Fundamentals of Power Electronics*, New York, KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, 2001.
41. J. L. Duarte, M. Hendrix and M. G. Simões, "Three-Port Bidirectional Converter for Hybrid Fuel Cell Systems," *IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS*, vol. 22, no. 2, 2007.
42. H. Wu, K. Sun, R. Chen and H. Hu, "Full-Bridge Three-Port Converters With Wide Input Voltage Range for Renewable Power Systems," *IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS*, vol. 27, no. 9, 2012.
43. M. L. FLOREA and A. BĂLTĂȚANU, "Modeling Photovoltaic Arrays with MPPT Perturb & Observe Algorithm," in *The 8th international symposium on advanced topics in electrical engineering (ATEE)*, Bucharest, Romania, 2013.
44. Parthiban.R and Rajambal.K, "Performance Investigation of Three-Port Converter for Hybrid Energy Systems," in *IEEE 2nd International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES)*, 2014.