

(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2022 00527

(22) Data de depozit: 30/08/2022

(41) Data publicării cererii:
28/07/2023 BOPI nr. 7/2023

(71) Solicitant:
• UNIVERSITATEA TEHNICĂ DIN
CLUJ-NAPOCA, STR.MEMORANDUMULUI
NR.28, CLUJ-NAPOCA, CJ, RO

(72) Inventatori:
• TEODOSESCU PETRE DOREL,
STR. CÂMPULUI NR. 161, BL. CORP A,
SC. 1, AP. 3, CLUJ-NAPOCA, CJ, RO;

• SUCIU VASILE MIHAI, SAT CĂLĂRAȘI -
GARA, NR.5, COMUNA CĂLĂRAȘI, CJ, RO;
• SZEKELY NORBERT CSABA,
STR.SOMEȘULUI, NR.31H, BL.L, AP.35,
FLOREȘTI, CJ, RO;
• PĂCURARU ALEXANDRU MĂDĂLIN,
CALEA FLOREȘTI, NR.3, BL.T2, AP.53,
CLUJ-NAPOCA, CJ, RO;
• BOJAN MIRCEA, STR. GEORGE ENESCU
NR. 18, TURDA, CJ, RO

(54) MICROINVERTOR ELECTRONIC PENTRU CONVERSIA
ENERGIEI DE LA PANOURI FOTOVOLTAICE

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un microinvertor electronic destinat echipamentelor de extragere a energiei electrice produse din surse regenerabile, cu precădere panouri fotovoltaice, și injectare a acestora într-o rețea, locală sau publică, de tensiune alternativă. Microinvertorul conform invenției este alcătuit dintr-un etaj cuprinzând convertoare ridicătoare de tensiune continuă și dintr-un etaj de conversie din tensiune continuă în tensiune alternativă, în care, pentru că valoarea tensiunii de la sursa de energie regenerabilă este prea mică, se utilizează un convertor ridicător de tensiune în structură intercalată, cu trei niveluri de tensiune la ieșire care sunt utilizate în mod alternativ de un etaj inverter în semi-punte folosit pentru conectarea la rețeaua de tensiune alternativă și în care convertorul ridicător de tensiune continuă realizează și funcția de urmărire a punctului de putere maximă a panourilor fotovoltaice.

Revendicări: 3
Figuri: 4

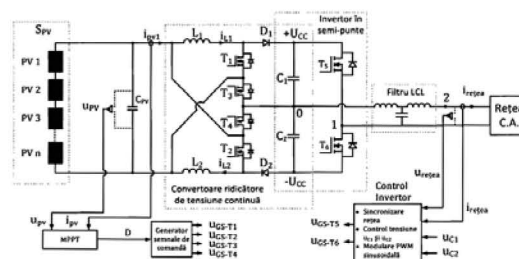


Fig. 1



Microinverter electronic pentru conversia energiei de la panouri fotovoltaice

Descriere

Invenția se referă la o structură de microinverter electronic, compusă dintr-un etaj alcătuit din convertoare ridicătoare de tensiune continuă și un etaj de conversie din tensiune continuă în tensiune alternativă, destinat echipamentelor pentru aplicații cu extragerea energiei electrice de la surse regenerabile de energie, cum sunt panourile fotovoltaice și injectarea acestora în rețeaua locală sau publică de tensiune alternativă, în care:

- Pentru că valoarea tensiunii de la sursa de energie regenerabilă este prea mică se utilizează un convertor ridicător de tensiune în structură intercalată, cu trei niveluri de tensiune la ieșire;
- Cele trei niveluri de tensiune obținute la ieșirea convertorului de curent continuu sunt utilizate în mod alternativ de către etajul inverter în semi-punte, pentru conectarea la rețeaua de tensiune alternativă;
- Convertorul ridicător de tensiune continuă realizează funcția de urmărire a punctului de putere maximă a panourilor fotovoltaice (MPPT).

Stadiului actual al tehnicii mondiale

În stadiul actual sunt cunoscute multe structuri de microinvertoare, iar brevetul US10848057B2 exemplifică o astfel de structură cu două etaje de conversie, în care primul etaj este utilizat ca un convertor de curent continuu și un al doilea etaj de conversie din tensiune continuă în tensiune alternativă. Cele două etaje sunt cuplate la nivelul unei tensiuni continue intermediare ($V_{DC \text{ link}}$) ce poate fi unipolară sau bipolară. Astfel, brevetul US10848057B2 propune tehnici de control a riplului tensiunii la nivelul condensatoarelor intermediare, fără a oferi detalii privitoare la structurile electronice ce pot fi utilizate. Astfel, cererea de brevet propune o structură simplă și ușor de implementat, în care tehnicile de control clasice se pot utiliza cu succes.

De asemenea, brevetul WO2014192014A2 oferă o soluție de microinverter în două etaje de conversie, doar că structura electronică propusă este mai complexă și utilizează un transformator în lanțul de conversie. De asemenea, structura propusă în brevetul WO2014192014A2 pentru etajul de intrare este un convertor de tensiune continuă fără funcționare intercalată, astfel, riplul curentului de intrare este mai mare.

Scopul invenției este de a crește cantitatea de energie extrasă de la un număr redus de panouri fotovoltaice prin creșterea randamentului de conversie a energiei, respectiv prin optimizarea punctului de funcționare al panourilor fotovoltaice.

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția este necesitatea creșterii cantității de energie extrasă de la surse regenerabile, cu precădere de la panouri fotovoltaice.

Microinverterul electronic conform invenției, **rezolvă problema menționată prin aceea că** utilizează un șir redus de panouri fotovoltaice cu sistem de urmărire a puterii maxime reducându-se astfel pierderile datorate umbririlor parțiale, respectiv prin creșterea randamentului de conversie din tensiune continuă în tensiune alternativă prin utilizarea unui convertor de curent continuu cu trei niveluri de tensiune și un inverter în semi-punte.

Invenția prezintă următoarele **avantaje**: randament ridicat în conversia energiei, structură electronică simplă, un factor mare de multiplicare în tensiune, control independent al celor trei niveluri intermediare de tensiune, funcționarea comutatoarelor electronice din structura convertorului de curent continuu la o tensiune mai redusă față de tensiunea de la ieșire.

Se dă în continuare **un exemplu de realizare a invenției** în legătură și cu figurile 1 4, care reprezintă:

- Figura 1. Schema de bază a convertorului
- Figura 2. Exemple de realizare a comutatoarelor electronice
- Figura 3. Formele de undă specifice pentru convertoarele ridicătoare de tensiune
- Figura 4. Formele de undă pentru etajul inverter

Conform invenției, prin exemplul de realizare prezentat în Figura 1, microinverterul este alimentat de la sursa de energie S_{PV} , alcătuită dintr-un șir redus de panouri fotovoltaice ($PV1, PV2, PV3, PVn$), iar acesta transferă energia consumatorului, reprezentat de către **Rețeaua C.A.**. Microinverterul, conform invenției, este alcătuit din două etaje de conversie a energiei: primul fiind un etaj de conversie în tensiune continuă, reprezentat de **Convertoarele ridicătoare de tensiune continuă**, ce permite trei niveluri de tensiune la ieșire (regăsite la nivelul punctelor de conexiune $+U_{cc}$, $-U_{cc}$ și 0); respectiv cel de al doilea etaj fiind un **inverter în semi-punte**, care transformă tensiunea continuă aferentă celor trei niveluri de tensiune ($+U_{cc}$, $-U_{cc}$ și 0) în tensiune alternativă modulată. Prin intermediul **filtrului LCL** de rețea, tensiunea alternativă modulată de etajul **inverter în semi-punte** este conectată la **rețeaua C.A.**, pentru transferul către aceasta a energiei vehiculate de la panourile fotovoltaice.

Primul etaj de conversie a tensiunii continue (**Convertoare ridicătoare de tensiune continuă**) este alcătuit din două circuite electronice ridicătoare de tensiune. Primul circuit este format din bobina L_1 , dispozitivele electronice T_1, T_3 și D_1 , respectiv condensatorul C_1 . Al doilea circuit este compus din bobina L_2 , dispozitivele electronice T_2, T_4 și D_2 , respectiv condensatorul C_2 . Condensatorul C_{PV} este utilizat ca filtru de tensiune pe partea de intrare pentru ambele circuite electronice ridicătoare de tensiune. În legătură cu primul circuit ridicător, ansamblul format din condensatorul C_{PV} și sursa S_{PV} este conectat în serie cu bobina L_1 și dispozitivul electronic T_1 , formând un ochi de circuit ce permite înmagazinarea de energie în circuitul magnetic al bobinei atunci când dispozitivul electronic T_1 este în stare de conducție. În mod similar, pentru al doilea circuit ridicător de tensiune, ansamblul format din condensatorul C_{PV} și sursa S_{PV} este conectat în serie cu bobina L_2 și dispozitivul electronic T_2 , formând un ochi de circuit ce permite înmagazinarea de energie în circuitul magnetic al bobinei atunci când dispozitivul electronic T_2 este în stare de conducție. În legătură cu primul

circuit ridicător de tensiune, ansamblul format din condensatorul C_{PV} și sursa S_{PV} este conectat în serie cu bobina L_1 , dispozitivul electronic T_3 , dispozitivul electronic D_1 și condensatorul C_1 . Aceste elemente formează un ochi de circuit care permite descărcarea energiei din bobina L_1 atunci când dispozitivele electronice T_3 și D_1 sunt în stare de conducție. În mod similar, pentru al doilea circuit ridicător de tensiune, ansamblul format din condensatorul C_{PV} și sursa S_{PV} este conectat în serie cu bobina L_2 , dispozitivul electronic T_4 , dispozitivul electronic D_2 și condensatorul C_2 . Aceste elemente formează un ochi de circuit ce permite descărcarea energiei din bobina L_2 atunci când dispozitivele electronice T_4 și D_2 sunt în stare de conducție. Cele două circuite electronice ridicătoare de tensiune funcționează intercalat (defazat) preluând energie de sursa S_{PV} , iar pe partea de ieșire cele două condensatoare C_1 și C_2 formează un divizor capacitiv cu punctul median (0).

Al doilea etaj de conversie a tensiunii continue în tensiune alternativă (**Invertor în semi-punte**) este alcătuit din circuite electronice utilizate pentru realizarea celor două alternanțe ale tensiunii alternative. Astfel, primul circuit este alcătuit din dispozitivul electronic T_5 , condensatorul C_1 , **filtrul LCL** și **Rețea C.A.**, iar prin comandă PWM sinusoidală (modulare în durată a impulsului) a dispozitivului electronic T_5 se formează alternanța pozitivă a tensiunii sinusoidale de la ieșirea etajului invertor. În mod similar, cel de al doilea circuit este alcătuit din dispozitivul electronic T_6 , condensatorul C_2 , **filtrul LCL** și **Rețea C.A.**, iar prin comandă PWM sinusoidală (modulare în durată a impulsului) a dispozitivului electronic T_6 se formează alternanța negativă a tensiunii sinusoidale de la ieșirea etajului invertor.

Așa cum s-a subliniat mai sus condensatoarele C_1 și C_2 au un rol dublu în cadrul invenției, deoarece acestea reprezintă elemente de filtrare pentru etajul **convertoarele ridicătoare de tensiune** și surse de energie pentru etajul **invertor în semi-punte**.

În corespondență cu Figura 1 și Figura 2, dispozitivele electronice T_1 , T_2 , T_3 , T_4 , T_5 și T_6 sunt dispozitivele electronice cu comandă prin câmp, de tip FET (Field Effect Transistor), T_3 și T_6 pot fi înlocuite cu orice tip de dispozitiv electronic comandat, dintre care în Figura 2, sunt exemplificate dispozitivul de tip FET (MOSFET) cu diodă și condensator în paralel 4 , de tip IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) cu diodă în paralel 5 , respectiv de tip IGBT cu diodă și condensator în paralel 6 .

În cadrul figurii 3 sunt ilustrate formele de undă reprezentative pentru etajul **convertoarelor ridicătoare de tensiune**, respectiv în figura 4 formele de undă pentru etajul **invertor în semi-punte**. Semnalele reprezentate sunt:

U_{GS-T1} – Tensiunea de comandă Grilă-Sursă a tranzistorului T_1

U_{GS-T2} - Tensiunea de comandă Grilă-Sursă a tranzistorului T_2

U_{GS-T3} - Tensiunea de comandă Grilă-Sursă a tranzistorului T_3

U_{GS-T4} - Tensiunea de comandă Grilă-Sursă a tranzistorului T_4

I_{L1} – Curentul prin bobina L_1

I_{L2} – Curentul prin bobina L_2

U_{DS-T1} – Tensiunea Drenă -Sursă a tranzistorului T_1

U_{DS-T2} – Tensiunea Drenă -Sursă a tranzistorului **T₂**

U_{DS-T3} – Tensiunea Drenă -Sursă a tranzistorului **T₃**

U_{DS-T4} – Tensiunea Drenă -Sursă a tranzistorului **T₄**

$U_{re\eta ea}$ – Tensiunea de la ieșirea microinverterului la nivelul **Rețea C.A.**

$I_{re\eta ea}$ – Curentul de la ieșirea microinverterului la nivelul **Rețea C.A.**

Undă modulatoare + undă purtătoare – Reprezentare la frecvență ridicată și frecvență redusă pentru metoda de modulare sinusoidală

Semnale de comandă tranzistor inverter – Reprezentare la frecvență ridicată și frecvență redusă a semnalului de comandă pentru tranzistorul **T₅**

Deși în acest material sunt redate doar anumite forme specifice de materializare sau condiții de punere în aplicare ale invenției, din punct de vedere al personalului instruit la un nivel de bază în acest domeniu, se va avea în vedere faptul că există o multitudine de variante aplicative de implementare și / sau materializare a invenției propuse. Se va avea în vedere, de asemenea, faptul că formele de reprezentare sau alte moduri de punere în aplicare redate în acest document au caracter pur explicativ și constituie doar un exemplu de implementare, fără a restrânge domeniul de aplicabilitate sau de complexitate al ideii propuse într-o oarecare măsură. Mai degrabă, rezumatul succint al inovației formulat anterior și descrierea detaliată, va oferi personalului calificat în domeniu, un ghid de implementare pentru cel puțin un exemplu de realizare. Astfel, se va înțelege că pot fi făcute diverse modificări în funcția și aranjarea elementelor descrise în exemplul de realizare fără a se îndepărta de domeniul de aplicare, așa cum este prevăzut în revendicările anexate și echivalențele lor legale. În general, această aplicație este destinată să acopere orice adaptări sau variații ale realizărilor specifice discutate în prezentul document.

De asemenea, se va avea în vedere faptul că, în acest document, termenii precum: "cuprinde", "constă în", "include", "incluzând", "conține", "conținând", "are", "având", sau orice construcție lexicală în baza acestor termeni, trebuie înțeleasă ca și mod de apartenență inclusiv (adică neexclusiv), astfel încât procesul, metoda, dispozitivul, aparatura sau instalația / sistemul descris în cadrul acestui document nu se limitează doar la specificațiile, dotările, elementele constructive sau metode și etape de implementare specificate în cadrul acestui document. Dimpotrivă, respectiva reprezentare poate include și alte dotări, componente sau etape și metode care nu au fost specificate în mod explicit în cadrul acestui document, sau preluate în cadrul unui astfel de proces, metodă, articol, sau aparatură. În plus, termenii "un" și "o" utilizați în acest document au scopul de a fi înțeleși ca și entitate singulară sau mai multe entități atâta timp cât nu a fost specificat alt sens în prealabil pentru acești termeni. Mai mult, termenii precum "primul", "al doilea", "al treilea", etc. sunt utilizați pur și simplu ca și indicatori, și nu au scopul de a defini vreo prioritate numerică sau un algoritm de sortare în așa fel încât ar impune vreo ordine de prioritate.

Bibliografie

1. Brevet US10848057B2 – Synchronous sampling DC link voltage control for microinverters
2. Brevet WO2014192014A2 - Method and system for a low cost bi-directional grid tied photovoltaic (pv) micro inverter

Revendicări

1. Microinvertor electronic cuprinzând:

- o sursă de tensiune (S_{PV}) realizată prin înserierea unui număr de n panouri fotovoltaice (PV 1, PV 2, PV 3, PV n);
- o rețea de tensiune alternativă (Rețea C.A.) ce reprezintă consumatorul de energie;
- un filtru capacitiv format din condensatorul C_{PV} ce este conectat cu primul terminal la potențialul pozitiv al sursei (S_{PV}) și cu al doilea terminal la potențialul negativ al sursei (S_{PV});
- un divizor capacitiv compus din condensatorul (C_1) ce este conectat cu primul terminal la punctul cu potențialul pozitiv ($+U_{CC}$) și condensatorul C_2 ce este conectat cu al doilea terminal la punctul cu potențialul negativ ($-U_{CC}$), unde al doilea terminal al condensatorului (C_1) este conectat la primul terminal al condensatorului (C_2) formând punctul median (0);
- un circuit ridicător de tensiune compus dintr-o bobină (L_1) conectată cu primul terminal la potențialul pozitiv al sursei (S_{PV}), un dispozitiv electronic (T_1) conectat între al doilea terminal al bobinei (L_1) și potențialul negativ al sursei (S_{PV}), un dispozitiv electronic (D_1) conectat între al doilea terminal al bobinei (L_1) și potențialul pozitiv ($+U_{CC}$), un condensator (C_1) conectat cu primul terminal la potențialul pozitiv ($+U_{CC}$) și cu al doilea terminal la punctul median (0);
- un circuit ridicător de tensiune compus dintr-o bobină (L_2) conectată cu primul terminal la potențialul negativ al sursei (S_{PV}), un dispozitiv electronic (T_2) conectat între al doilea terminal al bobinei (L_2) și potențialul pozitiv al sursei (S_{PV}), un dispozitiv electronic (D_2) conectat între al doilea terminal al bobinei (L_2) și potențialul negativ ($-U_{CC}$), un condensator (C_2) conectat cu primul terminal la potențialul negativ ($-U_{CC}$) și cu al doilea terminal la punctul median (0);
- un circuit invertor compus din dispozitivul electronic (T_5) conectat între potențialul pozitiv ($+U_{CC}$) și punctul (1), dispozitivul electronic (T_6) conectat între potențialul negativ ($-U_{CC}$) și punctul (1), condensatorul (C_1) și condensatorul (C_2);
- un filtru de rețea (Filtru LCL) ce este conectat la punctul median (0), punctul (1) și punctul (2), unde punctele de conexiune (1) și (2) sunt comune cu rețeaua de tensiune alternativă (Rețea C.A.);
- un bloc de măsură și control (MPPT) ce măsoară tensiunea (u_{PV}) și curentul (i_{PV}) de la sursa (S_{PV}) și generează o mărime (D) calculată pentru puterea maximă posibilă generată de sursa (S_{PV}), pe baza căreia se generează cu blocul (Generator semnale de comandă) tensiunile de comandă (u_{GS-T1} , u_{GS-T2} , u_{GS-T3} , u_{GS-T4}) pentru dispozitivele electronice (T_1), (T_2), (T_3) și (T_4);
- un bloc (Control Invertor) ce măsoară tensiunea de la rețea ($u_{rețea}$), curentul de la rețea ($i_{rețea}$), tensiunea de la condensatorul (u_{C1}), tensiunea de la condensatorul (u_{C2}) și realizează funcțiile de sincronizare cu (Rețea C.A.), controlul tensiunilor (u_{C1}) și (u_{C2}),

respectiv generează tensiunile de comandă (u_{GS-T5}) și (u_{GS-T6}) pentru dispozitivele electronice (T_5) și (T_6) pe baza tehnicilor de modulare PWM sinusoidală;

- caracterizat prin aceea că se utilizează un dispozitiv electronic (T_3) care este conectat cu primul terminal la potențialul negativ al sursei (S_{PV}) și cu al doilea terminal la punctul median (0), se utilizează un dispozitiv electronic (T_4) care este conectat cu primul terminal la punctul median (0) și cu al doilea terminal la potențialul pozitiv (S_{PV}), nodul comun de conexiune al dispozitivelor (T_3) și (T_4) este conectat la punctul median (0) și la filtrul de rețea (Filtru LCL), nodul comun de conexiune al dispozitivelor (T_1) și (T_3) este conectat la potențialul negativ al (S_{PV}), iar nodul comun de conexiune al dispozitivelor (T_2) și (T_4) este conectat la potențialul pozitiv al (S_{PV}).
- 2. Microinverter electronic, conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că divizorul capacitiv realizat prin intermediul condensatoarelor (C_1) și (C_2) are dublă funcționalitate, funcționând ca elemente de filtrare pentru ieșirea (Convertoare ridicătoare de tensiune continuă), respectiv ca surse de energie pentru (Inverter în semi-punte).
- 3. Microinverter electronic, conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că controlul tensiunilor (u_{C1}) și (u_{C2}) se poate realiza în mod independent atât prin intermediul (Inverter în semi-punte), cât și prin intermediul (Convertoare ridicătoare de tensiune continuă).

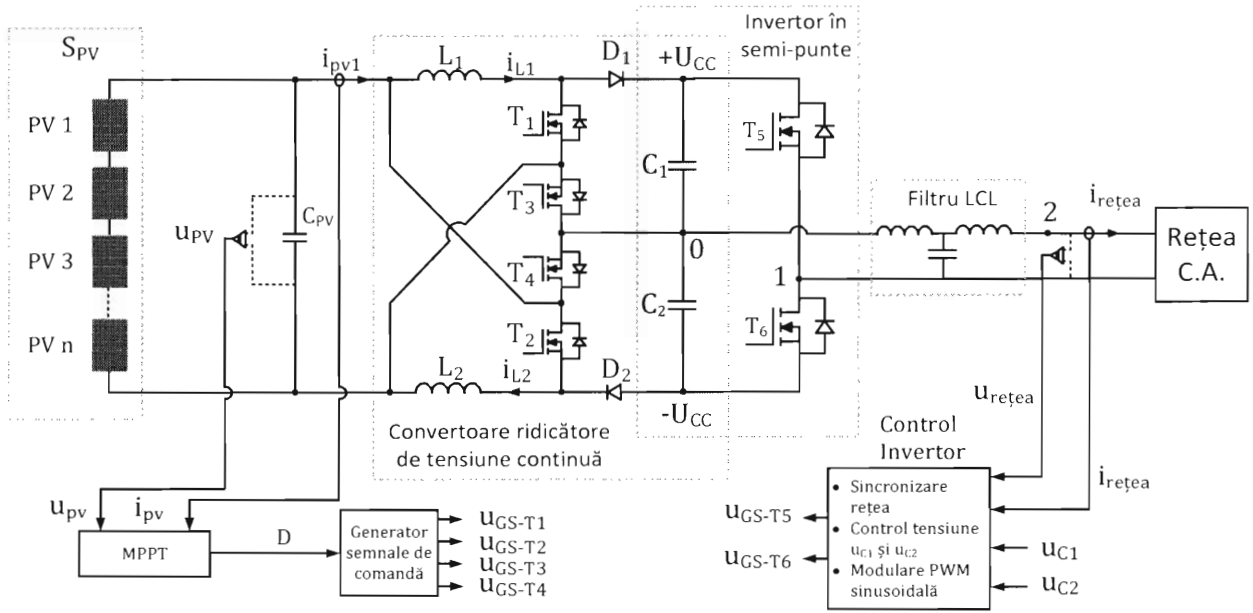


Figura 1. Schema de bază a convertorului

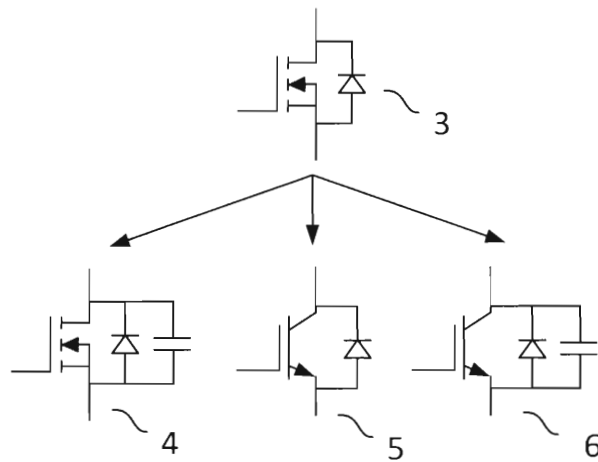


Figura 2. Exemple de realizare a comutatoarelor electronice

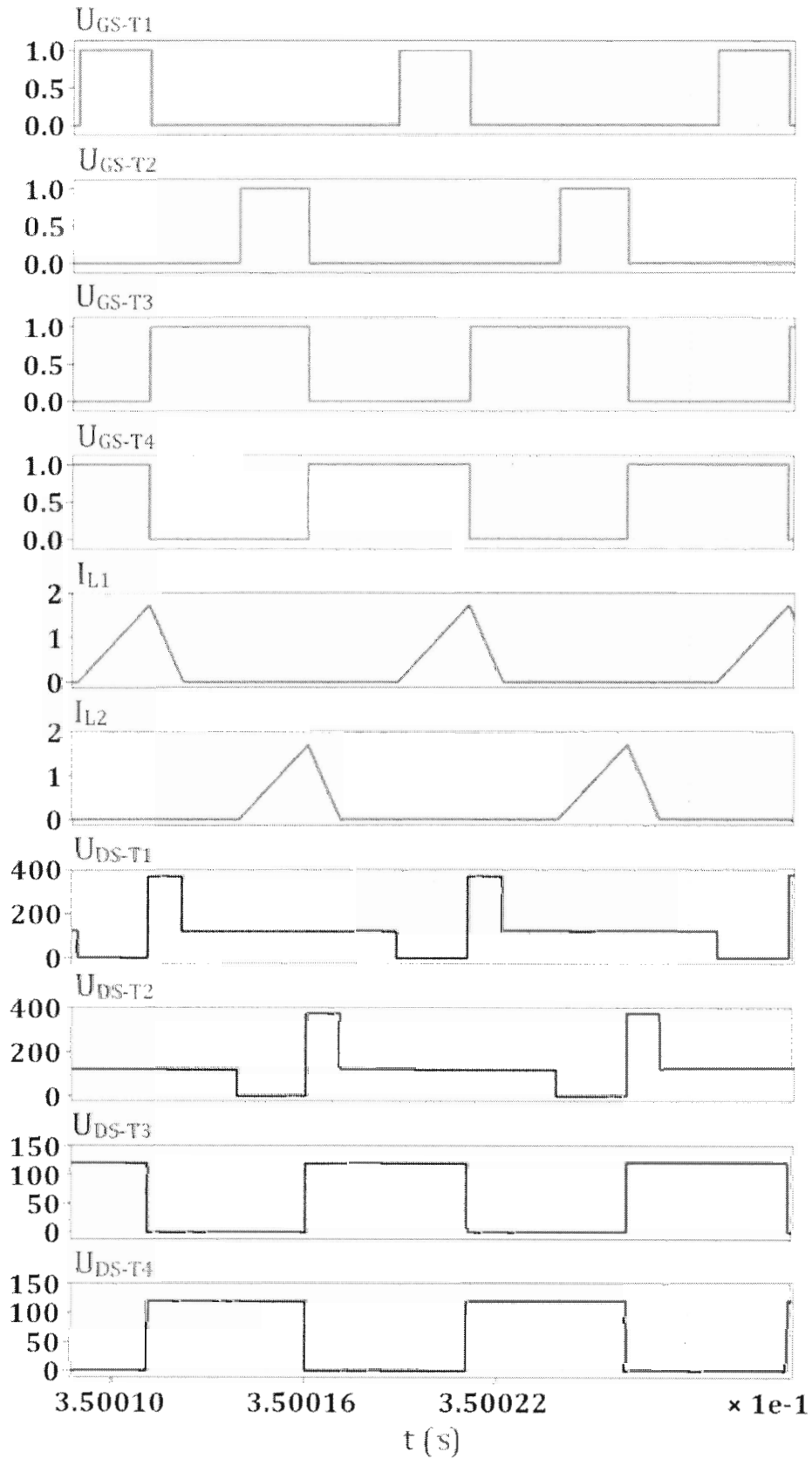


Figura 3. Formele de undă pentru convertoarele ridicătoare de tensiune

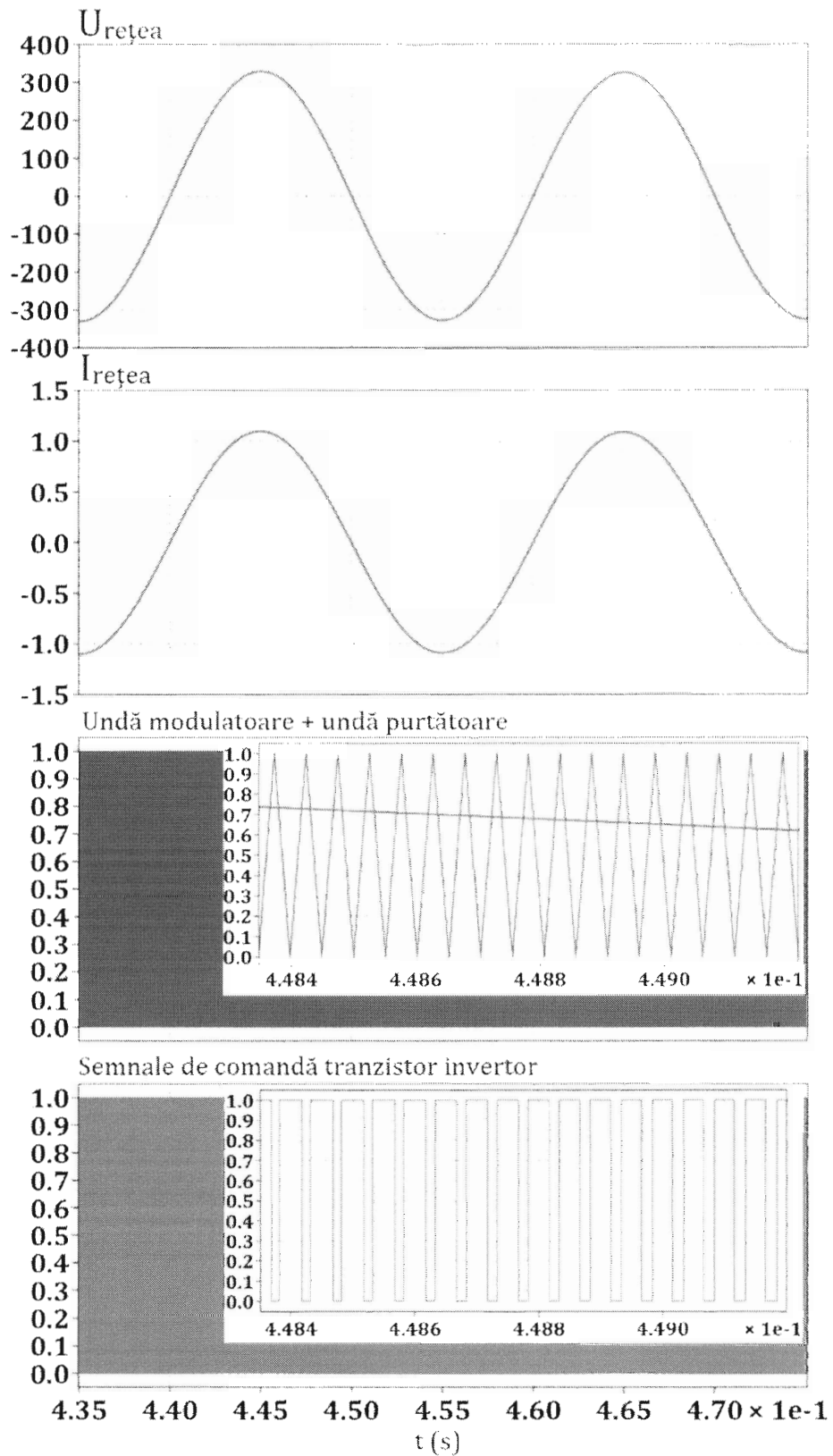


Figura 4. Formele de undă pentru etajul Inverter în semi-punte