



## INNOVATIVE SOLUTIONS POWER ELECTRONIC CONVERTERS FOR ENERGY

Iurie ERMURACHI, Vladimir BERZAN

Institute of Power Engineering of the Academy Science of Moldova

**Abstract** – Developed new technical solutions realization of semiconductor power converters based on a simple topology that allow you to convert a single-stage energy. This applies to the case of low-voltage circuits (12-48V) into an alternating current of 220 V, proposed a control system based on microcontroller ATMEGA 48, inverter designed key management program for photovoltaic modules when they are connected to the AC 220 V manufactured and tested converters an input current, voltage VAC, 50 Hz efficiency.

**Keywords** – converter, DC/DC, DC/AC, AC/DC, high frequency, efficiency

## SOLUȚII INOVATIVE A CONVERTOARELOR ELECTRONICE DE PUTERE PENTRU ENERGETICĂ

Iurie ERMURACHI, Vladimir BERZAN

Institutul de Energetică al Academiei de Științe a Moldovei

**Rezumat** – Soluțiile de realizare a echipamentelor de conversie elaborate asigură avantaje și performanțe evidente a convertoarelor, care se caracterizează de indici ridicați de eficiență energetică. S-au elaborat soluții de realizare a convertoarelor de tip DC/DC, AC/DC, și DC/AC. Simulările matematice și testarea mosterlor experimentale au confirmat gradul ridicat de eficiență energetică și indicii de masă și volum a acestor vconvertoare, care depășesc cele mai performante echipamente de acest tip. Randamentul convertoarelor se află la nivel de 96-98%. Densitatea de putere constituie cca 140 W/inc<sup>3</sup>

**Cuvinte cheie** – Convertor, DC/DC, DC/AC, AC/DC, frecvență înaltă, randament

## ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИКИ

Ю.В. ЕРМУРАКИ, В.П. БЕРЗАН

Институт энергетики Академии наук Молдовы

**Реферат** – Разработаны новые технические решения реализации полупроводниковых преобразователей энергии на основе простой топологии которые позволяют преобразовывать одноступенчато энергию. Это относится к случаю низковольтных цепей (12-48 В) в переменный ток 220 В, предложены системы управления на основе микроконтроллера ATMEGA 48, разработана программа управления ключами инвертора для фотовольтаических модулей при их подключении к сети переменного тока 220 В. Изготовлены и протестированы лабораторные образцы преобразователей с КПД до 96-98% и удельной мощностью 140 W/inc<sup>3</sup>

**Ключевые слова** – преобразователь, DC/DC, DC/AC, AC/DC, высокочастотный, коэффициент полезного действия

### 1. INTRODUCERE

Tehnologiile de conversie sau transformare a parametrilor energiei electrice se dezvoltă permanent. Dezvoltarea este condiționată de necesitatea asigurării indicilor de calitate a energiei, precum și de extinderea ariei de transformare a surselor de energie primară în energie electrică. Dezvoltarea tehnologiei de conversie directă a radiației solare în baza sistemelor de tip PV a condus la o creștere rapidă a puterii instalate a acestor centrale electrice cu păstrarea tendinței de extindere a ariei lor. Puterea instalată a centralelor electrice fotovoltaiice (CE PV) a fost în anul 2012 la nivel de 31,1 GW [1,2], iar cota CE PV cu capacitatea de peste 50 MW a constituit în 2013 cca. 21 GW putere instalată.

Energia electrică generată de celulele fotovoltaiice nu corespunde indicilor de calitate, deoarece are mari fluctuații în funcție de condițiile mediului înconjurător și a strălucirii soarelui. Totodată, puterea instalată a modulelor PV este relativ mică și pentru a obține volume suficiente de energie aceste module formează unități de generare prin conexiunea modulelor în serie și în paralel. Pentru asigurarea funcționării stabile și racordate a modulelor PV în diferite condiții în componența CE PV se utilizează convertoare de energie electrică. Convertoarele de tip DC/DC au o largă aplicație și în alte domenii cu gama de puteri între zeci de Watt până la unități de kW [3]. În contextual acestor tendințe se prezintă actuală problema sporirii indicatorilor de performanță a convertoarelor care au un impact direct asupra randamentului modulelor PV.

## 2. PRODUCEREA ȘI CONSUMUL ENERGIEI ELECTRICE PE PLAN MONDIAL

Sistemele energetice asigură transformarea transportul și distribuția energiei.

Energia electrică este o formă de energie secundară [4] folosită ca agent energetic și se considerată în prezent ca fiind elementul esențial al dezvoltării ecologice și sociale. Ponderea energiei primare utilizată pentru producerea de energie electrică este de aproximativ 35% [5].

Creșterea producerii de energie electrică pe plan mondial (rata de creștere cca. 532 mlrd kWh/an) în perioada 2000-2011, cotei de generare a instalațiilor eoliene (din surse regenerabile (cca. 58 mlrd kWh/an) pentru 2007-2012 și prin conversia radiației solare (cca. 13 mlrd.kWh/an) pentru perioada 2009-2012, crează noi provocări pentru siguranța funcționării sistemelor electroenergetice și asigurării calității energiei electrice.

În baza analizei bibliografiei se poate constata, că cele mai performante convertitoare de energie electrică de mică putere, care sunt produse ale firmelor cu prestigiu din lume au randamentul sub 92%, iar posibilitățile de sporire a randamentului devin tot mai mici pentru convertitoarele de mică putere.

## 3. UNELE TENDINȚE PRIVIND CONSUMUL DE ENERGIE ELECTRICĂ ÎN REPUBLICA MOLDOVA CU UTILIZAREA ECHIPAMENTELOR DE CONVERSIE

În perioadele precedente principalii consumatori ai energiei electrice au fost întreprinderile mari industriale. , Cu dezvoltarea electronicii și microelectronicii a sporit esențial numărul de echipamente care necesită racordare pentru alimentare prin diverse tipuri de adaptoare - convertitoare de energie electrică. La această categorie de echipamente se indica calculatoarele, telefoanele mobile, frigiderile de noua generație, inclusiv și televizoarele. Datorită creșterii rapide a numărului de astfel de consumatori în Republica Moldova, impactul micilor consumatori devine un factor de influență asupra funcționării sistemelor de alimentare cu energie electrică. Astfel, în 2013 în lume au fost peste 1 miliard de calculatoare cu o creștere așteptată la 2 miliarde în anul 2014 [1.6].

În majoritatea cazurilor cca. 60 % din energia electrică destinată consumului se transformă în altă formă de energie solicitată de consumator cu utilizarea unor convertitoare electronice. Reiese, că sporirea randamentului cu 1% a acestor convertitoare ar fi echivalentă pe plan mondial cu micșorarea consumului, respectiv cel puțin cu 126 mlrd kWh de energie electrică. Concomitent, conform datelor ANRE (2013) în Republica Moldova s-a procurat peste 3,96 mlrd kWh energie electrică cu livrarea consumatorilor a cca. 3,44 miliarde kWh (pierderile au constituit peste 13,2%).

Producerea convertitoarelor specializate a devenit o industrie puternică pe plan internațional, deoarece contribuie la sporirea eficienței energetice și a competitivității economice.

Estimările indică, că numai pe componeta consumului de energie electrică în Republica Moldova de către

calculatoare, potențialul de economisire a energiei la sporirea randamentului convertitoarelor lor cu 1% se estimează la peste 5 mil. kWh pe an.

Concomitent se poate indica la următoare tendință. Pentru a asigura competitivitatea pe piață prin micșorarea costurilor de vânzare a convertitoarelor de mică putere, convertitoarele se realizează cu cicluri de funcționare la frecvență înaltă, chiar dacă și sunt racordate în circuite de curent alternativ cu frecvența de 50 sau 60 Hz. Aceasta asigură o diminuare a consumului de materiale active

## 4. SOLUȚII INOVATIVE DE REALIZARE A CONVERTITORELOE ELECTRONICE A ENERGIEI ELECTRICE

Se poate indica și la următoare tendință în domeniul transformării aramretrilor energiei electrice. Pentru a asigura competitivitatea pe piață ca urmare a micșorării costurilor de vânzare a convertitoarelor de mică putere, aceste echipamente se realizează cu cicluri de funcționare la frecvență înaltă, chiar dacă și sunt racordate în circuite de curent alternativ cu frecvența de 50 sau 60 Hz. Aceasta asigură o diminuare a consumului de materiale active: conductoare din cupru (aluminium), materiale feromagnetice, precum, și a componentelor electronice de putere.

Convertitoarele asigură transformarea parametrilor de curent continuu în curent continuu (convertitoare tip DC/DC), curent continuu în curent alternativ (tip DC/AC), curent alternativ în curent continuu (tip AC/DC) și curent alternativ în curent alternativ (tip AC/AC)

### 4.1. Impactul unor factori asupra indicatorilor de masă și volum a convertitoarelor

Elementul electromagnetic (transformatorul, autotransformatorul, bobina de inductanță) sunt elementele care determină indicatorii de masă și volum ale convertitoarelor energiei electrice.

Dimensiunile echipamentelor electromagnetice sunt o funcție a puterii lor nominale. De exemplu dimensiunea lor liniară este proporțională funcției  $x^{1/4}$ , unde  $x$ - puterea elementelor electromagnetice la înălțimea. Astfel, dacă avem mai multe elemente electromagnetice, pentru mărirea definită ca "*dimensiunea liniară l*" este veridică expresia[6]:

$$l \approx \sqrt[4]{P} \quad (1)$$

Expresia (1) caracterizează valoarea specifică a masei, ce revine la o unitate de putere a echipamentului electromagnetic, care se micșorează cu creșterea puterii unitare a lui. În caz că două echipamente separate se confecționează constructiv ca un element integrat se obține o diminuare a masei cu micșorarea pierderilor în comparație cu confecționarea lor ca elemente separate. Pentru  $m$  echipamente unitare, ce au puterea sumară  $P_{\Sigma} = mP_i$  se poate obține expresii pentru estimarea câștigului de la realizarea elementului feromagnetic ca un element integrat, ce cumulează funcțiile componentelor substituite.

Masa elementului unitar feromagnetic  $M$  este proporțională cu volumul, deci  $M \approx l^3 \approx (\sqrt[4]{P})^3 \approx \sqrt[4]{P^3}$ . Pierderile sumare a puterii active în elementele feromagnetice sunt proporționale cu puterea sumară a echipamentului, și calitativ și cantitativ sunt descrise de următoare funcție :

$$\frac{\sum_{i=1}^m M_i}{M_{unitar}} \approx \frac{\sum_{i=1}^m P_{\Sigma,i}}{P_{unitar.T}} \approx \frac{m \sqrt[4]{P_i^3 / m^3}}{\sqrt[4]{P_{unitar}^3}} \approx \sqrt[4]{m} \quad (2)$$

La substituirea a două elemente feromagnetice cu unul integrat se poate asigura uncâștig privind masa acelor elemente la nivel de cca.  $\sqrt[4]{m} = \sqrt[4]{2} = 1.189$ , deci cu circa 19% în coparare cu executarea lor separată.

Diferența dintre pierderile de putere (energie)  $\Delta P$  în regim de mers în gol în convertorul cu elemente electromagnetice integrate sedetermină de relația  $\Delta P_{MG} = \Delta P_{DR} + \Delta P_T$ , în care  $\Delta P_{DR}$  - pierderile de putere in diodele de returnare excluse din schema funcțională ca urmarea integrării constructive a elementelor electromagnetice respective;  $\Delta P_T$  - micșorarea pierderilor in cazul realizării integrate a mai multe elemnte electromnitice separate utilizte până la moment. În regim de sarcină a convertorului cu elemente electromagnetice integrate pierderea de putere în sarcină  $\Delta P_S$  se va determina din relația  $\Delta P_{MG} = 2\Delta P_{DR} + \Delta P_T$ .

Un alt element ce are impact asupra indicilor de masă și volum a convertoarelor de energie electrică sunt condensatoarele electrice, care funcționează la curenți alternativi și de impuls. Conensatoarele îndeplinesc în convertoare mai mlte funcții: filtrarea, netezirea tensiunii, compensarea puterii reactive, acumularea p scurtă durtăa energiei și injecția ei la comandă în circuitele convertorului.

Aceste funcții sunt foarte importante pentru asigurarea calității energiei electrice și inclusiv și pentru contribuirea la sporirea performanței convertorului. Puterea instantanee în circuitul de curent alternativ este determinată de relația:

$$p(t) = u(t) * i(t) = U_m I_m \sin^2 \omega t = \frac{U_m I_m}{2} (1 - \cos 2\omega t) \quad (3)$$

Componenhta oscilatorie a puterii instantanee oscilează cu dublă frecvență:  $p_q(t) = \frac{U_m I_m}{2} \cos 2\omega t$ . Valoarea maximală a componentei  $p_q(t)$  se determină din expresia

$|p_q(t)|_{\max} = Q = \frac{U_m}{2} \omega C$  și prezintă puterea reactivă din cadrul procesului de trnsformare a energiei pentru porțiunea de circuit examinată. Doarece această putere este produsul a două mărimi - capacitatea condensatorului și a frecvenței unghiulare  $2\pi f$ , reiese că pentru  $Q = \text{const}$  ridicarea frecvenței conduce la micșorarea capacității a condensatoarelor în convertor, necesare pentru asigurarea echilibrului energie în procesul de transformare a parametrilor energiei electrice. Deoarece, conform legii inducției electromanetice, valoarea tensiunii elecromotoare este de aemenea proporțională frecvenței

evoluției fluxului magnetic din elementele feromgnetice, (ce de fapt se prezintă ca elemente care acumulează energia în câmpul magntic  $W_\phi = \frac{LI_m^2}{2}$ ) majorarea

frecvenței curentului de asemenea contribuie la mcșorarea indicilor de masă și volum a convertoarelor caefuncționează la frecvențe ridicate în comparare cu convrtoarele ce u frecvenț de transformare a energiei e 50-60 Hz , de exemplu a trasfomatorelor de forță. Cele menționate ne suerează direct mai multe posibilități de îmbunătățire a indicilor de performanță a convertoarelor energiei electrice: utilizarea frecvenței înalte, cumularea funcțiilor elementelor de aceeași origine (transformator, autotransformator, elemente inductive), precum și asigurarea regimului de încărcare admsibil a elementelor din punct de vedere a regimului termic și a rigidității electrice a componentelor constructive și excluderea unor componente electronicedin schema convertorului. Cele menționate mai sus asigură obținerea rezultatului tehnic: simplificarea construcției, micșorarea masei elementului feromagnetic și majorarea randamentului de convertizare a tensiuni. În baza principiilor formulate au fost propuse mai multe variante de realizare a convertoarelor energiei electrice de tipul DC/DC, DC/AC, AC/DC, AC/AC.

#### 4.2. Convertoare de tip DC/DC [7]

În fig. 1 se prezintă schema convertorului de tip DC/DC elaborată în corespundere cu nele prevederi expuse în compartimentul 4.1.

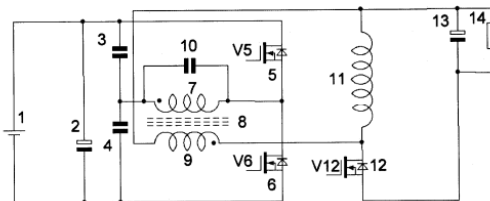


Fig. 1. Schema convertorului DC/DC cu transformator cu între fier

Convertorul de tensiune de curent continuu în tensiune de curent continuu include un condensator (2) de filtrare, două condensatoare (3 și 4) de frecvență, conectate între ele în serie, și două chei electronice (5 și 6), conectate între ele în serie, toate conectate în paralel la ieșirile unei surse de curent continuu (1). Între nodul de conexiune al condensatoarelor (3 și 4) și nodul de conexiune al cheilor electronice (5 și 6) este conectată înfășurarea primară (7) a unui transformator (8) de frecvență înaltă, miezul feromagnetic al căruia este executat cu întrefier. În paralel cu înfășurarea primară (7) a transformatorului (8) este conectat un condensator (10) de comutație. La ieșirile înfășurării secundare (9) a transformatorului (8) este conectată o bobină de inductanță (11). Convertorul mai include un condensator (13) de filtrare, care este conectat în paralel la bobină (11) printr-un element semiconductor (12), totodată bornele condensatorului (13) formează bornele de conectare a sarcinii (14).

În convertor se utilizează un singur transformator de frecvență înaltă cu două înfășurări, pe când în cea mai apropiată soluție se utilizează un transformator de

frecvență cu trei înfășurări [8]. Aceasta asigură micșorarea masei de material conductor al înfășurărilor și masei de materiale feromagnetice, ce, de asemenea, contribuie la micșorarea costului de confecționare a transformatorului și, ca urmare, a convertorului. Micșorarea costului de confecționare a convertorului se datorează, de asemenea, micșorării numărului de legături dintre elementele funcționale. Majorarea randamentului convertorului este o urmare a micșorării numărului de elemente semiconductoare pasive, adică a excluderii a două diode de redresare din schema funcțională a celei mai apropiate soluții[8], și a micșorării numărului de elemente inductive, deoarece în schema funcțională a convertorului se utilizează o singură inductanță, în comparație cu cele trei elemente inductive, utilizate în schema celei mai apropiate soluții.

Astfel de convertoare se pot utiliza ca surse de alimentare a diverselor procese tehnologice moderne, de exemplu a instalațiilor de prelucrare cu metode electrochimice a diferitor metale. Precum și pentru echilibrarea tensiunilor la utilizarea a mai multor surse de alimentare la care există probabilitatea fluctuațiilor aleatoare a tensiunilor de ieșire.

#### 4.3. Convertoare de tip DC/AC [9]

În fig.2 se prezintă schema microinverterului pentru racordarea modulelor fotovoltaice la rețeaua de curent alternativ.

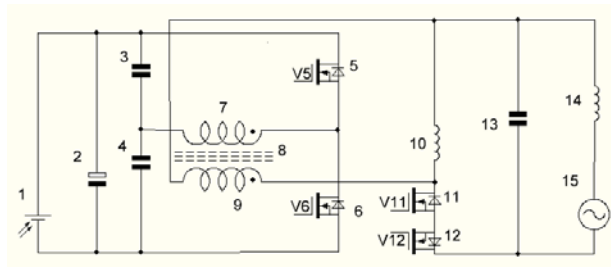


Fig. 2. Microconvertoare pentru module fotovoltaice

Microinverterul pentru panouri fotovoltaice include un condensator (2) de filtrare, două condensatoare (3 și 4) de frecvență, conectate între ele în serie, și două chei electronice (5 și 6), conectate între ele în serie, toate conectate în paralel la ieșirile unui panou fotovoltaic (1). Între nodul de conexiune al condensatoarelor (3 și 4) și nodul de conexiune al cheilor electronice (5 și 6) este conectată bobina primară (7) a unui transformator (8) de frecvență înaltă, miezul feromagnetic al căruia este executat cu întrefier. La ieșirile bobinei secundare (9) a transformatorului (8) este conectată o inductanță (10). Micro-inverterul mai include un condensator (13) de filtrare, care este conectat în paralel la inductanța (10) prin două chei electronice (11 și 12), conectate în contrafază. La o bornă a condensatorului (13) este conectată o inductanță (14) de filtrare, totodată borna liberă a condensatorului (13) și borna liberă a inductanței (14) formează ieșirile microinverterului pentru unirea cu rețeaua (15) de curent alternativ.

Micșorarea costului de confecționare a microinverterului se asigură prin înlocuirea blocului funcțional separat din cea mai apropiată soluție[11], care include două diode de redresare și un convertor de curent continuu în curent alternativ, format din patru chei electronice, cu două chei

electronice conectate în contrasens, ceea ce asigură micșorarea numărului de elemente. De asemenea, schema funcțională a microinverterului conține un singur transformator de frecvență înaltă, pe când cea mai apropiată soluție[11] conține două transformatoare de frecvență înaltă. Utilizarea unui transformator asigură micșorarea masei totale a elementelor electromagnetice, a costului de confecționare și a pierderilor de energie a microinverterului. Micșorarea costului de confecționare a microinverterului se datorează, de asemenea, și micșorării numărului de legături dintre elemente și utilizării unei scheme de comandă mai simple. Majorarea randamentului microinverterului este o urmare a micșorării numărului de elemente necesare și, ca urmare, a micșorării pierderilor de energie.

Trebuie de menționat faptul, că există o diferență principală în modalitatea de efectuare a schimbului de energie în regimul „fly-back” și în regimul „forward”. În primul caz, cantitatea de energie injectată în rețeaua 15 la un pas al procesului de comutație este determinată de mărimea întrefierului transformatorului 8 și de valoarea inductanței 10. În regimul „forward”, cantitatea de energie injectată în rețeaua 15 la un pas al procesului de comutație este determinată de valoarea inductanței de scăpări ale transformatorului 8. Capacitatea condensatoarelor 3 și 4 și inductanța de scăpări ale transformatorului 8 se selectează astfel încât transferul de energie în convertorul de tip „forward” să fie în regim de rezonanță a curentului. Microinverterul pentru panouri fotovoltaice se confecționează în baza componentelor electronice industriale, iar transformatorul de frecvență înaltă se confecționează în baza utilizării tipurilor standard ale miezurilor feromagnetice. Tehnologia de producere a plăcilor imprimate este accesibilă pentru realizare atât în condiții de laborator, cât și la fabricarea la uzinele cu profil de producere a echipamentelor electronice de diferită destinație. Micșorarea costului de confecționare a microinverterului este o urmare a excluderii din schema funcțională a două diode de redresare și a două chei electronice, prin ce se asigură micșorarea numărului de elemente.

#### 4.4. Convertoare de tip DC/AC [10]

Schema convertorului este prezentată în fig. 3.

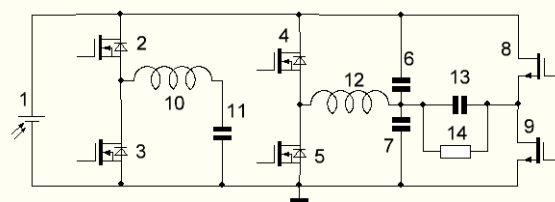


Fig. 3. Inverterul DC/AC cu condensatoare de acumulare și injecție a energiei electrice

Inverterul pentru modulul fotovoltaic conține modulul (1), la ieșirea căruia sunt conectate în paralel prima ramură formată din două chei electronice (2, 3), a doua ramură formată din două chei electronice (4, 5), a treia ramură formată din două condensatoare (6, 7) și a patra ramură formată din două chei electronice (8, 9), elementele

fiecărei ramuri sunt legate între ele în serie. În paralel cu o cheie electronică (3) sunt conectate o inductanță (10) și un condensator (11), legate între ele în serie. Între punctul de conexiune a cheilor electronice (4, 5) și punctul de conexiune a condensatoarelor (6, 7) este conectată o inductanță (12). Între punctul de conexiune a condensatoarelor (6, 7) și punctul de conexiune a cheilor electronice (8, 9) este conectat un condensator (13), bornele căruia formează ieșirile inverterului pentru conecta-rea sarcinii (14) la acesta.

La funcționarea inverterului, alimentat de la module fotovoltaice, este dificil de asigurat echilibrul valorilor instantanee ale puterii generate și puterii consumate de sarcină, inclusiv, ca urmare a valorii limitate a puterii generate și devierea punctului real de generare de la punctul puterii maxime de generare a modulului fotovoltaic. Deoarece, în inverter are loc transformarea curentului continuu în curent alternativ, puterea activă instantanee consumată de sarcină prezintă o funcție armonică ce oscilează cu frecvență dublă în comparație cu frecvența fundamentală a curentului și tensiunii sarcinii. Banda de fluctuație a puterii instantanee în sarcină variază de la zero până la valoarea dublă a puterii generate de modulul fotovoltaic. Acest fapt și condiționează necesitatea dotării inverterului cu condensatoare destinate pentru acumularea și injectarea puterii în circuitul de curent alternativ pentru a asigura echilibrul instantaneu al puterii generate de modulul fotovoltaic și puterii instantanee consumate de sarcină.

În soluția propusă pierderile de energie sunt mult mai mici în condensatoarele de netezire a fluctuațiilor de putere în comparație cu cea mai apropiată soluție [12]. Totodată, masa condensatoarelor K50-37-250V -4700  $\mu$ F la 1000 W putere constituie 3,4 kg, pe când masa condensatoarelor K75-10-250V -10  $\mu$ F pentru aceeași putere este egală cu 0,78 kg. Ca urmare, se asigură economisirea consumabilelor la confecționarea inverterului. Deoarece compensația fluctuațiilor de putere se face în dinamică, practic acestea se exclud, ca rezultat se exclud și devierile regimului modulului fotovoltaic de la punctul de lucru - numit punctul de putere maximă, ceea ce asigură sporirea eficienței și randamentului inverterului. Deoarece numărul bobinelor în inductanțele parcurse de curenți s-a micșorat de la cinci la două, se micșorează, de asemenea, și această componentă a pierderilor inverterului. Ca urmare a acumulării în soluția propusă a funcției de netezire a fluctuațiilor de putere în sarcină și a funcției de atenuare a pulsațiilor electromagnetice, efectuate de unele și aceleași condensatoare, de asemenea se contribuie la micșorarea consumului total de materiale la confecționarea inverterului. Micșorarea pierderilor în condensatoarele și inductanțele inverterului asigură majorarea randamentului lui, iar cumulara funcțiilor și utilizarea regimului de compensare în timp real a fluctuațiilor de putere asigură economisirea consumabilelor la confecționarea inverterului.

#### 4.5. Convertizarea tensiunii alternative în tensiune de curent continuu

##### 4.5.1. Convertor de tip AC/DC [13]

Schema convertorului de tip DC/AC este prezentată în fig. 4.

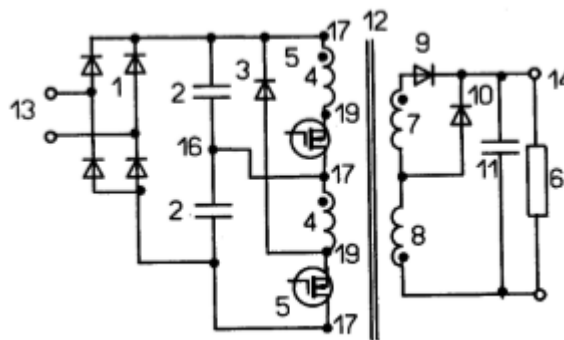


Fig. 4. Convertor de tip AC/DC cu masa elementelor electromagnetice redusă

Convertizarea tensiunii alternative în tensiune de curent continuu include o punte de redresare (1), intrarea căreia este conectată la bornele de alimentare (13), la ieșirea căreia sunt conectate n condensatoare de filtrare elementare (2), conectate în serie, un transformator de frecvență înaltă, bobina primară a căruia este formată din n secții (4), fiecare secție fiind conectată consecutiv cu un tranzistor de comutare (5), formând o ramură. Fiecare ramură este unită consecutiv cu următoarea, totodată toate sunt conectate la ieșirea punții (1). Nodurile de conexiune (16) ale condensatoarelor (2) sunt unite cu nodurile de conexiune (17) ale ramurilor bobinei primare a transformatorului. Fiecare nod de conexiune (19) a unei secții (4) cu tranzistorul (5), cu excepția primului nod, este unit printr-o diodă de returnare (3) cu nodul de conexiune a începutului secției (4) precedente cu condensatorul (2). Instalația mai include un redresor, format dintr-o bobină de inductanță (8), confecționată pe același miez feromagnetic (12) cu bobina secundară (7) a transformatorului și conectată consecutiv cu aceasta, dar în contrafază cu secțiile (4) bobinei primare a transformatorului. Nodul de conexiune a bobinei secundare (7) a transformatorului și bobinei de inductanță (8) este unit printr-o diodă de redresare (10) cu o diodă de redresare (9), unită consecutiv cu începutul bobinei secundare (7) a transformatorului. Nodul de conexiune a diodelor (9) și (10) și începutul bobinei de inductanță (8) sunt unite cu bornele (14) de conectare a sarcinii (6), între care este conectat un condensator de filtrare (11). În instalație, conform variantelor doi și trei, toate secțiile, cu excepția primei, sunt executate cu câte o priză.

Simplificarea construcției instalației se asigură prin excluderea a unei diode de returnare din schema convertorului de tip forward și utilizarea unui singur dispozitiv, care îndeplinește două funcții: funcția transformatorului și funcția bobinei de inductanță. Micșorarea masei elementului feromagnetic se datorează faptului folosirii unui singur dispozitiv efectuat pe un singur miez feromagnetic pentru realizarea funcției de transformare a parametrilor tensiunii și curentului și funcția de netezire a curentului în sarcină 6,11 de către bobina de inductanță 8. Majorarea randamentului de conversie a energiei în instalație este condiționată de excluderea componetei pierderilor care au loc în diodele

de returnare, deoarece în regim de sarcină aceste diode sunt închise și prin aceasta se exclude scurgerea curentului cu degajarea energiei (pierderi) în circuitul de returnare. De asemenea, micșorarea pierdirilor de energie sunt o urmare a micșorării masei elementului feromagnetic la nivel de 19% pentru aceiași sarcini electromagnetice a elementului prototipului [14] și pentru cazul soluției propuse. La executarea transformatorului și bobinei de inductanță ca un element integrat persista efectul în ciclul de lucru de transfer a energiei de magnetizare a elementului feromagnetic în circuitul sarcinii cu excluderea fazei procesului de returnare a acestei energii în sursă, ce este normal pentru procesul de funcționare a prototipului. Prin aceasta se asigură sporirea randamentului instalației de conversie după schema propusă și atingerea unui din scopurile invenției- sporirea randamentului ca urmare a micșorării masei elementului feromagnetic și sporirea cotei energiei transferate în sarcină (energia de magnetizare a miezului) fără returnarea ei în sursă.

#### 4.5.2. Conversor de tip AC/DC [15]

Schema convertorului este prezentată în fig.5.

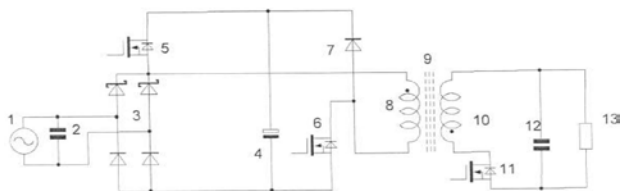


Fig.5. Conversorul AC/DC cu număr redus de componente active

Convertorul conține trei ramuri, conectate în paralel, prima dintre care este formată dintr-o cheie electronică (5) și o punte de redresare (3), conectate în serie, totodată la bornele punții (3) sunt conectate în paralel o sursă de curent alternativ (1) și un filtru al armonicilor superioare (2). A doua ramură este formată dintr-un condensator (4), iar a treia - dintr-o diodă (7) și o cheie electronică (6), conectate în serie. Convertorul de asemenea conține un transformator de frecvență înaltă (9), miezul feromagnetic al căruia este executat cu întrefier. Bobina primară (8) a transformatorului (9) este conectată cu un capăt la punctul de conexiune a cheii electronice (5) cu puntea de redresare (3) și cu celălalt capăt - la punctul de conexiune a diodei (7) cu cheia electronică (6). Bobina secundară (10) a transformatorului (9) este conectată în serie cu o cheie electronică (11), în paralel la acestea fiind conectate un filtru al armonicilor superioare (12) și sarcina (13).

Convertorul de tensiune de curent alternativ în tensiune de curent continuu se confecționează în baza componentelor electronice industriale, iar transformatorul de frecvență înaltă, executat cu întrefier, este utilizat și pentru stocarea intermediară a unei porțiuni de energie în cadrul procesului de conversie. Transformatorul se confecționează în baza tipurilor standard ale miezurilor feromagnetice. Micșorarea costului de confecționare a instalației se asigură prin excluderea mai multor elemente funcționale în comparație cu cea mai apropiată soluție

[16], de exemplu sunt excluse o cheie electronică, o inductanță pentru limitarea curenților de comutație, un condensator și două diode de returnare, prin care se asigură micșorarea numărului de elemente în convertor.

#### 4.6. Conversoare de tip AC/AC

##### 4.6.1. Dispozitiv pentru reglarea tensiunii alternative [17]

Dispozitivele de stabilizare a tensiunii alternative se prezintă ca o grupă de instalații cu o largă utilizare în diferite domenii. Caracterul oscilator al tensiunii și curentului creează dificultăți în confecționarea acestui tip de echipament. În fig. 5 se preintă schema unei variante de realizare a stabilizatorului tensiunii alternative în baza convertorului de tip AC/AC.

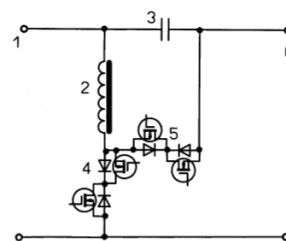


Fig. 5. Schema dispozitivului de reglare a tensiunii alternative (variant)

Dispozitivul pentru reglarea tensiunii alternative, conform primei variante, include un element feromagnetic (2) de frecvență înaltă, format dintr-o bobină și un miez feromagnetic, executat cu întrefier. Bobina elementului feromagnetic (2) este unită cu o cheie electronică (4) de frecvență înaltă într-un nod de conexiune, celelalte capete ale acestora fiind conectate la bornele de conectare la sursa de alimentare (1). Între nodul de conexiune menționat și o bornă de conectare a sarcinii (6) este conectată o cheie electronică (5) la frecvența sursei de alimentare (1). Între bornele de conectare la sursa de alimentare (1) și a sarcinii (6) este conectat un condensator de filtrare (3). În dispozitivul pentru reglarea tensiunii alternative, conform variantei a doua, elementul feromagnetic este executat ca un auto-transformator.

Dispozitivul pentru reglarea tensiunii alternative, conform primei variante, înlătură dezavantajele menționate mai sus prin aceea că include un element feromagnetic de frecvență înaltă, format dintr-o bobină și un miez feromagnetic, executat cu întrefier; bobina elementului feromagnetic este unită cu o cheie electronică de frecvență înaltă într-un nod de conexiune, celelalte capete ale acestora fiind conectate la bornele de conectare la sursa de alimentare; între nodul de conexiune menționat și o bornă de conectare a sarcinii este conectată o cheie electronică cu frecvența sursei de alimentare; între bornele de conectare la sursa de alimentare și a sarcinii este conectat un condensator de filtrare.

Dispozitivul pentru reglarea tensiunii alternative, conform variantei a doua, înlătură dezavantajele menționate mai sus prin aceea că include un element feromagnetic de frecvență înaltă, executat ca un autotransformator, miezul feromagnetic al căruia este executat cu întrefier; bobina autotransformatorului este unită cu o cheie electronică de

frecvență înaltă, celelalte capete ale acestora fiind conectate la bornele de conectare la sursa de alimentare; între priza de bobină a autotransformatorului și o bornă de conectare a sarcinii este conectată o cheie electronică cu frecvența sursei de alimentare; între bornele de conectare la sursa de alimentare și a sarcinii este conectat un condensator de filtrare. Rezultatul tehnic constă în micșorarea pierderilor de putere activă prin mărirea frecvenței de lucru datorită dotării dispozitivului cu miezul feromagnetic, care conduce la micșorarea masei conductorului și materialelor feromagnetice, în micșorarea procentului de armonici în tensiunea de ieșire a dispozitivului prin introducerea unui condensator de filtrare de capacitate mică și în mărirea frecvenței de modulare a cheii electronice de frecvență înaltă de circa 16 kHz și mai mult.

#### 4.6.2. Convertor bidirecțional de tensiune de curent alternativ [18]

Schema echivalentă a convertorului este prezentată în fig. 6.

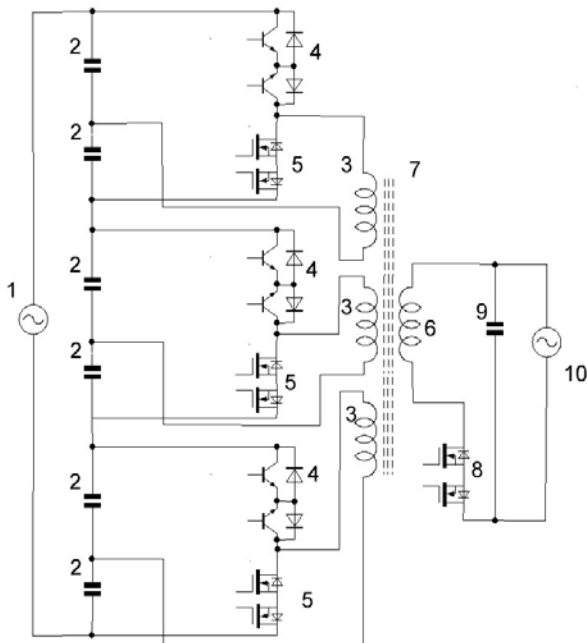


Fig.5. Convertorul de tip AC/AC cu transfer bidirecțional al energiei în circuitul de curent alternativ

Convertorul bidirecțional de tensiune de curent alternativ în tensiune de curent alternativ include o sursă de curent alternativ (1), conectată în serie cu n contururi unite consecutiv. Fiecare contur conține câte două ramuri: prima – formată din două condensatoare de filtrare (2) a armonicilor superioare, conectate în serie, și a doua – formată din două chei electronice (4 și 5) de curent alternativ, conectate în serie. Convertorul mai conține un transformator (7) de frecvență înaltă, format dintr-un miez feromagnetic cu întrefier, o bobină primară, formată din n secții (3), fiecare fiind conectată între punctul de conexiune a două condensatoare de filtrare (2) și punctul de conexiune a două chei electronice (4 și 5) din fiecare contur, și o bobină secundară (6). Bobina secundară (6) a transformatorului (7) este conectată în serie la o cheie

electronică (8) de curent alternativ, ultimele fiind conectate în paralel la un condensator de filtrare (9) a armonicilor superioare și la a doua sursă de curent alternativ (10). Fiecare din cheile electronice (4, 5 și 8) de curent alternativ este formată din două tranzistoare unite între ele în serie în contrasens, totodată fiecare tranzistor este șuntat printr-o diodă.

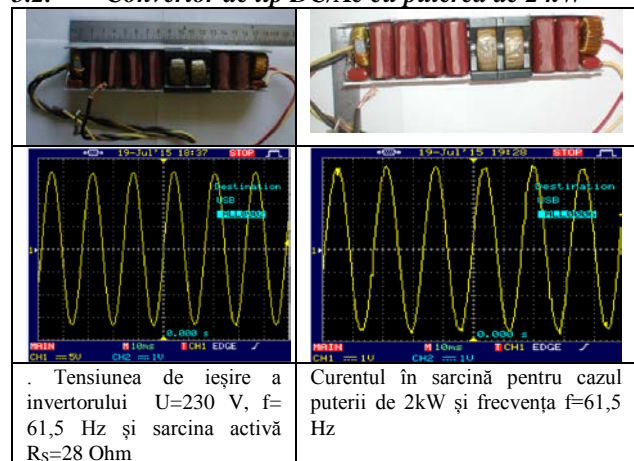
Micșorarea cheltuielilor de confecționare a instalației se asigură prin excluderea mai multor elemente funcționale în comparație cu cea mai apropiată soluție, de exemplu sunt excluse o cheie electronică de curent alternativ și o inductanță pentru limitarea valorilor curenților de comutație, prin aceasta se asigură micșorarea numărului de elemente în convertorul propus. De asemenea, în convertorul propus se utilizează un singur transformator de frecvență înaltă cu o realizare constructivă simplificată cu două înfășurări, pe când în cea mai apropiată soluție se utilizează un transformator de frecvență înaltă, a cărui bobină secundară este confecționată cu două secții. Utilizarea unui transformator cu numai două înfășurări asigură diminuarea consumului de materiale și o utilizare mai eficientă a transformatorului de frecvență (se micșorează masa de material conductor necesar pentru asigurarea robusteții convertorului propus, se mărește coeficientul mutual al bobinelor).

## 5. DISPOZITIVE REALIZATE

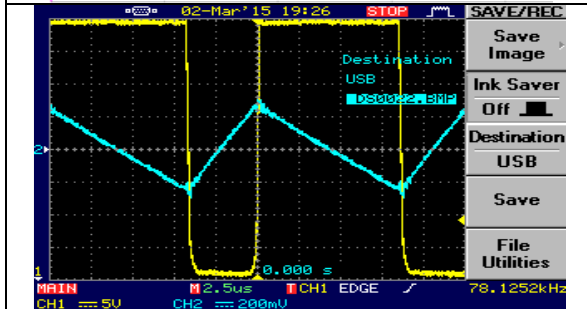
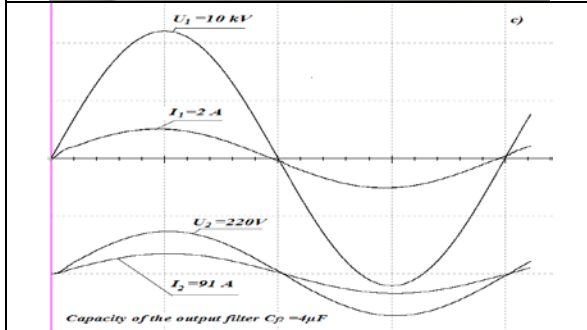
### 5.1. Convertorul de tip DC/DC pentru acționări electrice de mică putere (până la 200 W)



### 5.2. Convertor de tip DC/AC cu puterea de 2 kW



### 5.3. Transformator de tensiune înaltă a convertorului bidirecțional de transmisie a energiei



Transformatorul de tensiune înaltă a convertorului bidirecțional, curbele de tensiune și curent în primarul și secundarul transformatorului, diagrama experimentală a tensiunii și curentului cheii electronice de putere a convertorului

## 6. CONCLUZII

1. S-au elaborat soluții de realizare a diferitor variante de realizare a convertorelor de tip DC/DC, DC, AC, AC/DC, AC/AC protejate de brevete de invenții cu inici de performanță ridicată. Soluțiile tehnice sunt inovative, deoarece convertorul este realizat în baza unei topologii simple în care se asigură transformarea parametrilor energiei electrice din curent continuu în curent alternativ într-o singură treaptă. Circuitele de curent continuu de joasă tensiune generat de modulele PV (de obicei cu tensiunea 12-48 V) și curent alternativ sunt electric izolate, deoarece nu au legătură galvanică.
2. S-a propus și elaborat sistemul inteligent de comandă a convertorului în baza microcontrolerului de tip ATMEGA 48. Soft-ul elaborat este original, are și funcția de menținerea a regimului de funcționare a sistemului: modul PV-convertorul-rețeaua de curent alternativ în punctul maxim de putere a modului prin ce se asigură producerea maximă a energiei în condiții variabile a intensității radiației solare.
3. S-a elaborat modelul matematic al sistemului în mediul MULTISIM cu efectuarea unui set de simulări matematice a regimurilor de funcționare. Aceasta a

permis optimizarea schemei și sistemului de comandă a convertorului.

4. S-a executat și verificat mostre de laborator a convertoarelor elaborate cu parametrii: tensiunea de alimentare de CC  $U_{CC} = 24V$ , curent intrare  $I_{CC} = 90A$ , puterea nominală a convertorului  $P_{nom} = 2,0kW$ , tensiunea de ieșire de curent alternativ cu frecvența de 50 Hz  $U_{CA} = 220V$ , randamentul  $\eta = 98\%$ .

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Listă cu centrale electrice fotovoltaice în lume. [https://ro.wikibooks.org/wiki/List%C4%83\\_](https://ro.wikibooks.org/wiki/List%C4%83_)
- [2] Topul 10 a celor mai mari centrale fotovoltaice din lume în anul 2011. <http://ecology.md/md/page/topul-10-a-celor-mai-mari-centrale-electrice-fotovoltaice-din-lume-in-2011>
- [3] Sisteme complexe de alimentare. <http://www.mdmelsis.ro/id145.htm>
- [4] Berzan V. *Electrofizica și energetică*. Universitatea Academiei de Științe a Moldovei; IE, 2014, -262 p
- [5] Marinescu Corneliu, Șerba Ioan *Rețele hibride cu surse regenerabile de energie: evoluții moderne*. Luminița Cloșea, etc. – Brașov: Editura Universității Transilvania, 2011. 380p. ISBN 978 – 973 – 598 – 949 – 1. portal.unitbv.ro/.../Rețele\_hibride\_cu\_SRE...Ev..
- [6] Кацман М.М. Расчет и конструирование электрических машин. М.: Энергоатомиздат, 1984.-360с/
- [7] Ermurachi Iu., Berzan V., Moraru L., Ermurachi Iurie. Convertor de tensiune de curent continuu în tensiune de curent continuu. MD 841Z din 2015.06.30.
- [8] US 20090196075 A1 2009.08.06
- [9] Ermurachi Iu., Berzan V., Moraru L. Microinverter pentru panouri fotovoltaice MD 842Z din 2015.06.30
- [10] Ermurachi Iu., Berzan V., Ermurachi Iurie. Inverter pentru modul fotovoltaic. MD 944 din 2016.03.31
- [11] AN1444 Grid-Connected Solar Microinverter Reference Design by Alex Dumais and Sabarish Kalyanaraman, 2012, 54p. Regăsit în Internet la 16.09.2014, url: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/01444A.pdf>
- [12] Micro Inverter Solutions. 12.02.1999, Regăsit în Internet la 08.06.2015, url: <<http://www.infineon.com/cms/en/applications/solar-energy-systems/micro-inverter-solutions/>>
- [13] Ermurachi Iu., Berzan V. Instalație pentru convertizarea tensiunii alternative în tensiune de curent continuu (variante). MD 742Z din 2014.09.30.
- [14] Guen, Kim. Design Considerations for a Two Transistor, Current Mode Forward Converter. Motorola Semiconductor application note, 1991. Regăsită în Internet la 2013.12.20, url: <http://pdf.datasheetarchive.com/datasheetsmain/Datasheets-23/DSA-457032.pdf>
- [15] Ermurachi Iu., Berzan V., Ermurachi Iurie. Convertor de tensiune de curent alternativ în tensiune de curent continuu MD1040Y din 2016.05.31
- [16] AN-6920MR. Integrated Critical-Mode PFC / Quasi-Resonant Current-Mode PWM Controller FAN6920, 2013.22.02, p. 1, fig. 1, <URL:<https://www.fairchildsemi.com/application-notes/AN/AN-6920MR.pdf>> (regăsit în internet la 2016.03.22)
- [17] Ermurachi Iu., Berzan V. Dispozitiv pentru reglarea tensiunii alternative (variante). MD 727Z din 2014.08.31
- [18] Ermurachi Iu., Berzan V., Ermurachi Iurie. Convertor bidirecțional de tensiune de curent alternativ în tensiune de curent alternativ MD1058Y din 2016.07.31



**Iu. Ermurachi.** Cercetător științific al Institutului de Energetică al AȘM. Domeniul intereselor științifice: electromecanica și sisteme electromecanice și electronice de putere de conversie a energiei, electronica de putere. Autor a 45 de lucrări științifice, 22 brevete de invenție