

**ROBUST AC CHOPPERS WITH IGBT MODULES****Dan Floricău<sup>\*</sup>, Cristian Toma<sup>\*</sup>, Mariana Dumitrescu<sup>\*\*</sup>**<sup>\*</sup>*Polytechnica University of Bucharest, E-mail : [floricau@stat.conv.pub.ro](mailto:floricau@stat.conv.pub.ro)*<sup>\*\*</sup>*„Dunărea de Jos” University of Galați, E-mail : [mariana.dumitrescu@ugal.ro](mailto:mariana.dumitrescu@ugal.ro)*

**Abstract:** *The phase-controlled AC-AC converter using thyristors provides several shortcomings: the output voltage is non - sinusoidal, the converter - absorbed current is non - sinusoidal as well, the voltage factor is reduced and the current harmonics disturb the network (the voltage source). During the latest six years, there have been worldwide developed new topologies and commands of AC choppers provided with two-voltage levels that use fast power transistors. They are provided with significant advantages as compared to the classical AC - AC conversion patterns, such as: they do not need a DC intermediary circuit, increased efficiency, both the output voltage and the absorbed current are non-sinusoidal, better power factor, smaller input/output filters etc. The paper presents a robust AC chopper with two voltage levels witch assure a direct conversion performed by the authors with IGBT modules dedicated to laboratory studies. The power stage of the switch-mode converter has a flexible topology that can be adapted to the necessity of the experiment. There are multiple points for measuring and large possibilities to change the parameters of the PWM strategy. The AC chopper has protection functions when a fault condition occurs. In these fault situations the output of the gate drivers shut down and the IGBT devices are turned off, the fault being memorized and signaled.*

**1. INTRODUCERE**

În ultimele trei decenii s-au făcut progrese remarcabile în domeniul electronicii de putere, care au permis dezvoltarea unor noi convertoare statice de putere performante.

Din punct de vedere al evoluției, domeniul conversiei directe alternativ-alternativ s-a dezvoltat mai puțin decât celelalte tipuri de conversie de energie. Aplicațiile acestor convertoare sunt multiple, iar cea mai mare parte utilizează încă tehnologia tiristorului. Numeroase sarcini funcționează la frecvența rețelei și necesită interfețe pentru reglarea puterii. În cadrul echipamentelor existente, cea mai mare parte a acestor interfețe sunt construite cu tiristoare sau triace, dispozitive semiconductoare robuste, economice și ușor de utilizat. Reglajul puterii se realizează prin modificarea unghiului de întârziere la amorsare. Armonicile curentului absorbit de aceste convertoare sunt de frecvențe joase și au amplitudini mari. Ca urmare, filtrarea pasivă a acestora este foarte dificilă, iar mărimea, greutatea și costurile sunt mari. În consecință, convertoarele directe alternativ-alternativ cu tiristoare sunt plasate în afara noilor norme care limitează perturbațiile admise în rețea. Mai mult, puterea reactivă absorbită de aceste convertoare se modifică odată cu unghiul de întârziere a amorsării. Timpul de reacție este relativ mare, de ordinul perioadelor de rețea. Tensiunea de ieșire prezintă, de asemenea, armonici de amplitudini mari și frecvențe joase, care limitează utilizarea acestor tipuri de convertoare.

Recent, pe plan mondial au fost dezvoltate noi structuri, robuste, de convertoare PWM directe alternativ-alternativ (chopere alternative) [1-6], care utilizează dispozitive semiconductoare de putere rapide (de ex. : tranzistoare de putere IGBT). Acestea au avantaje importante față de schemele clasice de conversie alternativ-alternativ: nu necesită circuit intermediar de curent continuu, eficiență sporită, atât tensiunea de la ieșire, cât și curentul absorbit sunt sinusoidale, factor de putere mai bun, filtre de intrare / ieșire mai reduse, rezolvă problema comutațiilor etc.

În aceasta lucrare se prezintă un model experimental al unui convertor PWM

alternativ-alternativ care asigura o conversie directa cu 2 niveluri de tensiune, fiind destinat analizelor de laborator. Etajul de putere al convertorului are o topologie flexibila care poate fi adaptat necesitații experimentelor în funcție de modul de transmitere a continuității firului neutru. Modelul experimental are multiple puncte de masura și posibilitatea modificării cu ușurința a parametrilor strategiei PWM (frecvența de comutație, interval de garda). De asemenea, convertorul dispune de funcții de protecție integrate pentru situațiile când apar defecte de funcționare.

## 2. STRUCTURA ȘI COMANDA CHOPPERULUI ALTERNATIV

Cele mai răspândite structuri robuste de conversie a energiei cu comandă PWM utilizează celule de comutație în două cadrane. Punerea lor în practică în cadrul convertoarelor continuu-continuu (chopere continue) și a celor continuu-alternativ (invertoare) este bine cunoscută. În ultimii ani chopperile alternative cu celule de comutație standard (în 2 cadrane) au constituit obiectul a numeroase studii teoretice și practice. Aceste convertoare pot fi clasificate după modul de transmitere a firului neutru în: structuri diferențiale și nediferențiale [7, 8]. În fig.1 se prezintă structura de principiu a chopperului alternativ diferențial realizat experimental.

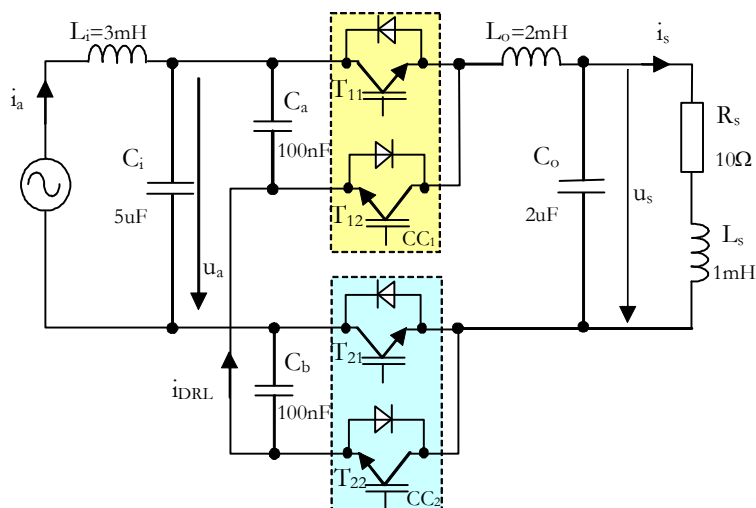


Fig. 1 Structura de principiu a chopperului alternativ diferențial.

Convertorul este alcătuit din 2 celule elementare de comutație în 2 cadrane  $CC_1$  și  $CC_2$ . Pe alternanțele pozitive ale tensiunii de alimentare  $u_a$  celula  $CC_1$  este activă și tranzistoarele  $T_{11}$  și  $T_{12}$  sunt comandate complementar pe principiul PWM cu un raport de conducție  $\tau$  constant (rel.1), iar celula  $CC_2$  este pasivă, tranzistoarele  $T_{21}$  și  $T_{22}$  fiind comandate să conducă (fig.2). Pe alternanțele negative rolul celulelor de comutație se inversează. Condensatoarele  $C_a$  și  $C_b$  sunt condensatoare de decuplaj și asigură o cale de circulare a curentului de sarcină atunci când toate tranzistoarele sunt blocate. Astfel de situații apar la fiecare trecere a tensiunii de alimentare prin zero pe durata intervalului de gardă  $t_d$ . Riscul apariției unor supratensiuni de comutație este, în acest fel, în totalitate eliminat.

$$\tau = \frac{t_c}{T_p} \quad (1)$$

Din punct de vedere al dimensionării dispozitivelor semiconductoare de putere, acestea trebuie să suporte o tensiune inversă maximă egală cu cel puțin valoarea maximă a tensiunii alternative de alimentare. Reglarea tensiunii la bornele sarcinii  $u_s$  se poate face cu o precizie

foarte bună prin modificarea raportului de conducție  $\tau$  (rel.2).

$$u_s = \tau \cdot u_a \quad (2)$$

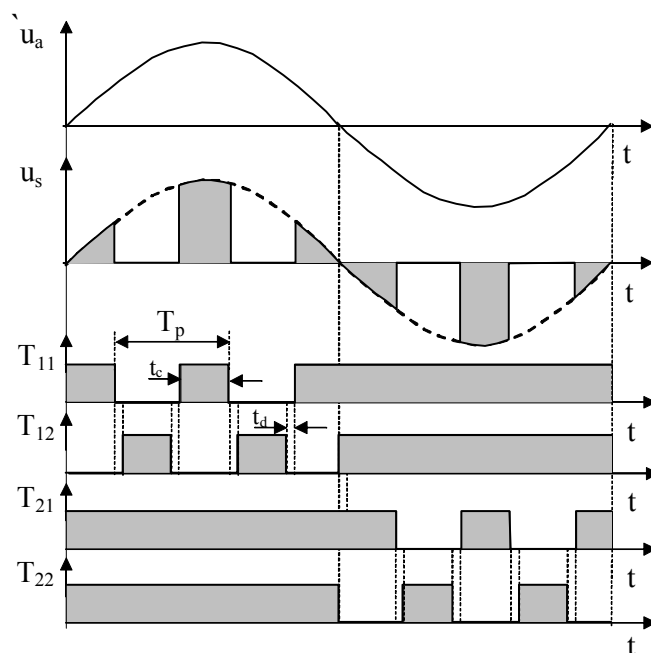


Fig. 2 Comanda PWM a convertorului.

### 3. REZULTATE EXPERIMENTALE

În fig.3 s-a prezentat modelul experimental realizat pentru structura chopperului alternativ diferențial cu 2 niveluri de tensiune pentru o putere de 2kVA. Comanda PWM este realizată cu un microprocesor din familia Microchip PIC18F1320, utilizându-se cartela demonstrativă PIC DEM4 PLUS. Aceasta este programată să furnizeze 2 semnale PWM complementare (PWM 1, PWM 2) cu o frecvență de 8kHz. Intervalul de gardă  $t_d$  este programabil și a fost fixat la 1.5 $\mu$ s.

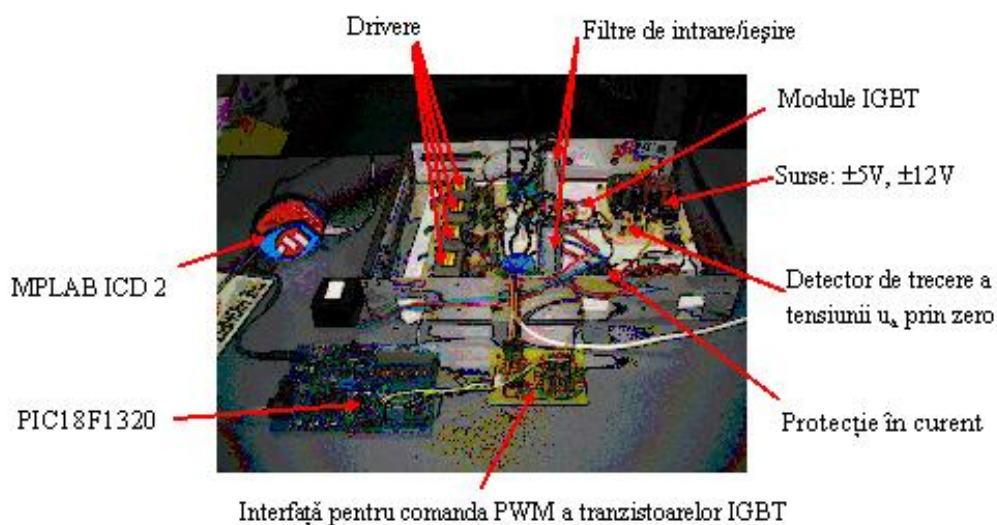


Fig. 3 Model experimental – chopper alternativ diferențial cu 2 niveluri de tensiune.

Protecția în curent (fig.4) utilizează un traductor cu efect Hall de tipul LEM LA 25 NP. Acesta furnizează la ieșire un curent cu un raport fixat, în funcție de valoarea maximă a

curentului absorbit de convertor de la rețea. Curentul furnizat la ieșirea traductorului este transformat într-o tensiune prin intermediul unei rezistențe. Semnalul rezultat urmărește la o altă scară forma de undă a curentului  $i_a$  și se aplică unui etaj redresor bialternanță format dintr-un amplificator operațional. Tensiunea continuă cu 2 pulsuri se aplică unui comparator (LM339) care generează impulsuri de scurtă durată atunci când curentul  $i_a$  depășește un anumit prag impus de utilizator. Ieșirea acestui modul de protecție este conectată la interfața pentru comanda PWM a tranzistoarelor IGBT SKM 50GB 101D (fig.5).

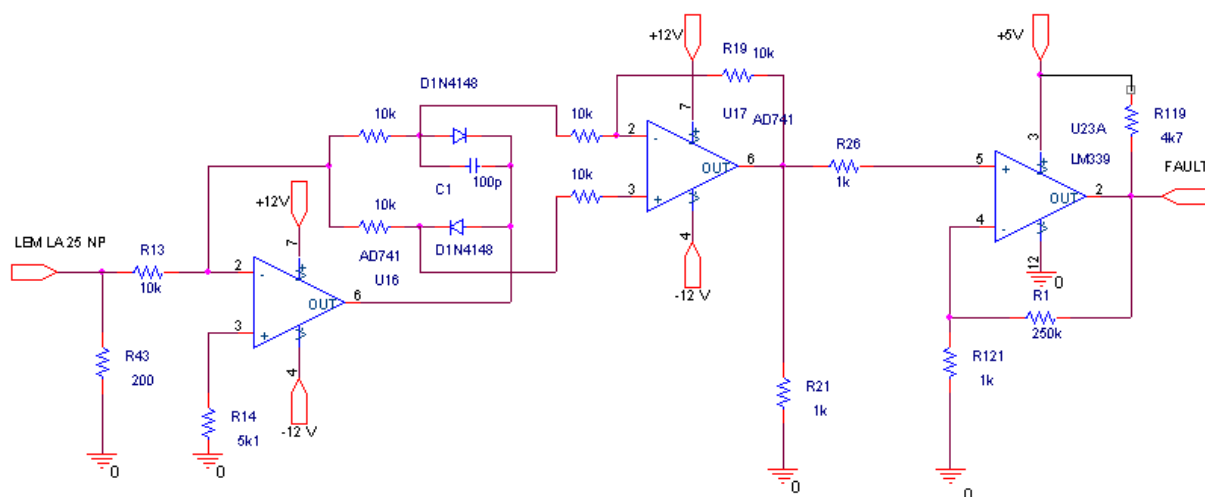


Fig. 4 Protecția în curent.

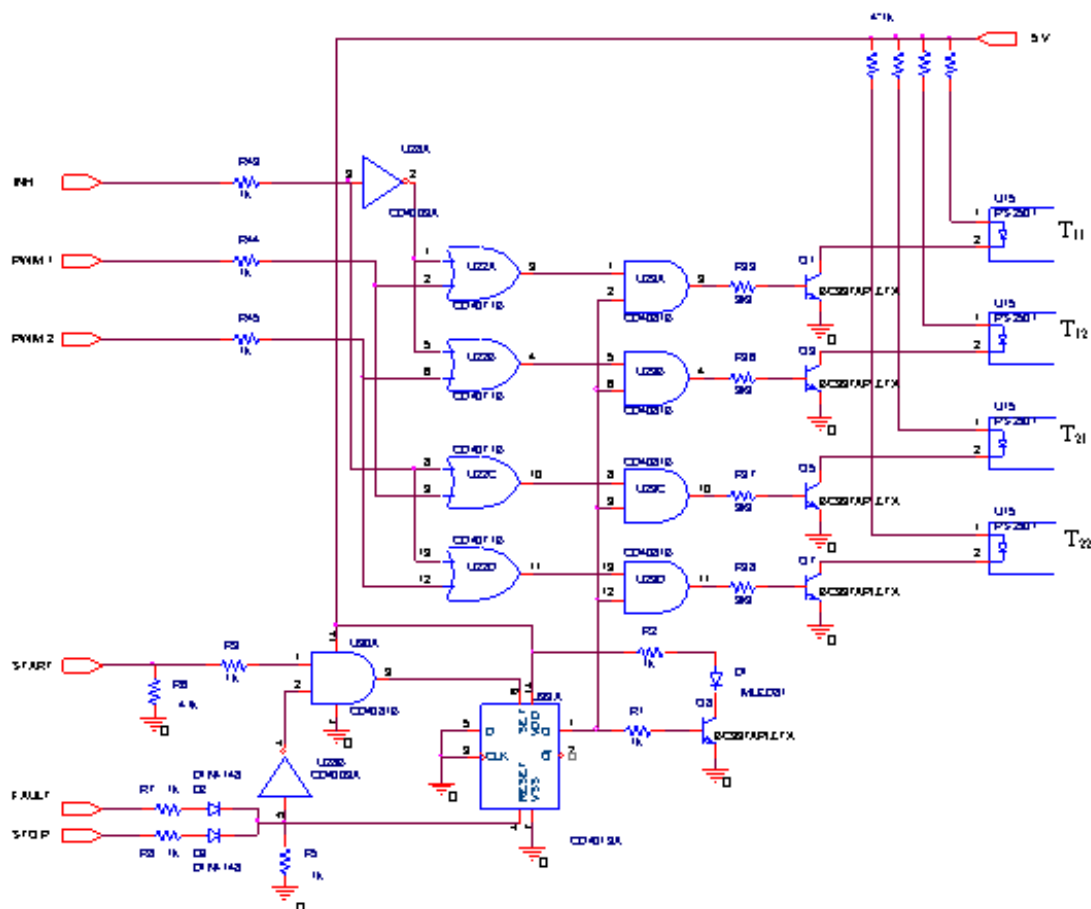


Fig. 5 Interfață pentru comanda PWM a tranzistoarelor IGBT.

Modulul de surse ( $\pm 5V$ ,  $\pm 12V$ ) conține și un detector de polaritate a tensiunii alternative de alimentare [9]. Acesta urmărește forma tensiunii de intrare în convertor

obținându-se un semnal digital cu o frecvență egală cu cea de la intrare ( $INH$ ) Pe alternanțele pozitive semnalul  $INH$  este 0V, iar pe alternanțele negative este 5V (fig.6). Pentru asigurarea unei separări galvanice a fost utilizat un optocuplor HP2601.

Semnalele PWM sunt prelucrate prin intermediul unei interfețe pentru separarea comenzilor celulelor de comutație în funcție de polaritatea tensiunii de alimentare.  $INH$  și  $\overline{INH}$  se aplică împreună cu semnalele PWM complementare unor porți SAU pentru a obține comenzile celor 2 celule de comutație. Interfața de comandă mai conține 3 semnale de intrare : START pentru validarea comenzilor PWM, STOP pentru inhibarea lor și semnalul FAULT care provine de la protecția în curent. Comenzile START/STOP utilizează un bistabil (U33A) de tipul Set-Reset cu ajutorul căruia se pot porni sau bloca impulsurile PWM. Punerea în funcțiune a comenzilor se poate face atât automat după dispariția defectului cât și manual la intervenția utilizatorului.

Analizând funcționarea convertorului se observă că oricare ar fi secvența de comandă se evită orice risc de apariție a supratensiunilor de comutație, asemănător cu chopperul unidirecțional (variator de tensiune continuă comandat pe principiul PWM) sau cu invertorul de tensiune clasic.

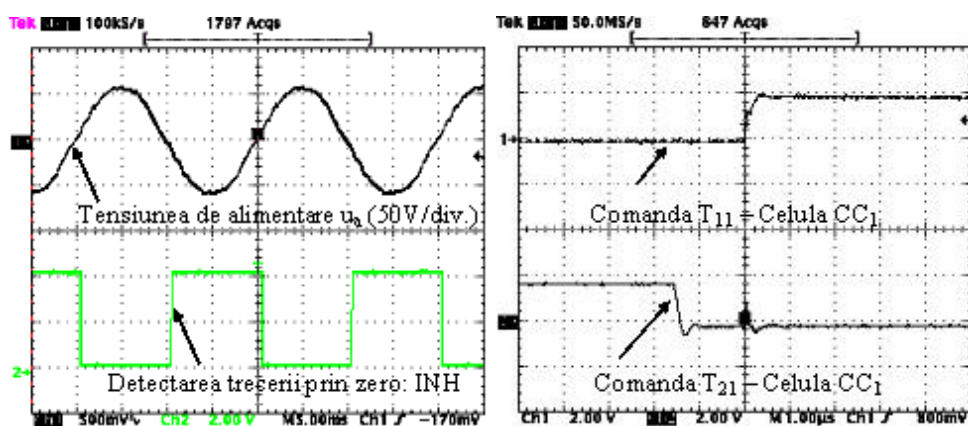


Fig. 6 a) Detectarea trecerii tensiunii prin zero; b) comanda PWM – celula  $CC_1$ .

Convertorul funcționează la o frecvență de comutație ridicată, filtrele pasive asociate au dimensiuni și valori reduse, iar curentul absorbit de la rețea și tensiunea furnizată sarcinii sunt sinusoidale (fig.7).

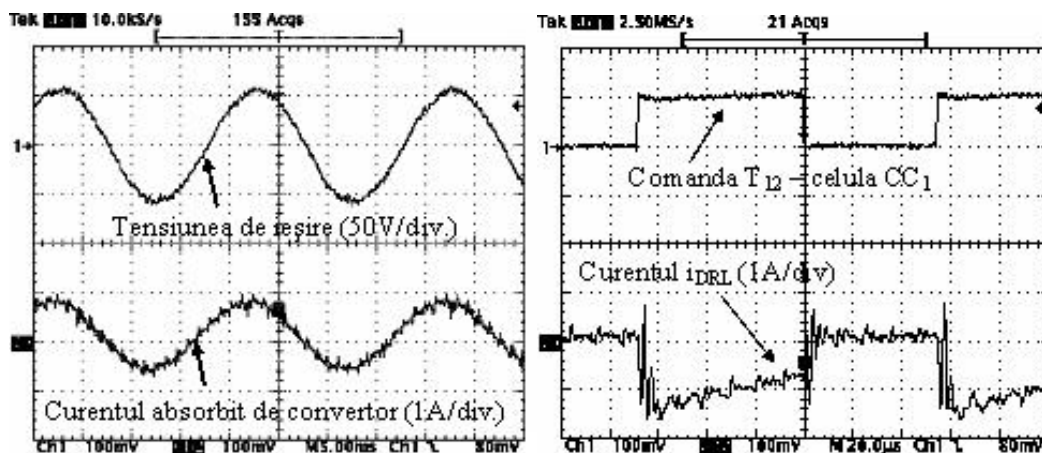


Fig. 7 Forme de unda: a)  $u_s$ ,  $i_{ab}$  b)  $i_{DRL}$ .

Limitele aplicării acestei comenzi în funcție de semnul tensiunii de alimentare sunt:

- precizia cu care se detectează semnul tensiunii de alimentare;
- întârzierea dintre detectarea semnelui tensiunii și schimbarea efectivă a stării

tranzistoarelor; facem precizarea că această întârziere se datorează circuitelor de comandă a tranzistoarelor, regimului dinamic al dispozitivelor semiconductoare și logicii de comandă.

#### 4. CONCLUZII

În aceasta lucrare s-a prezentat un model experimental al unui convertor PWM alternativ-alternativ care asigura o conversie directă cu 2 niveluri de tensiune, fiind destinat analizelor de laborator. Etajul de putere al convertorului are o topologie flexibilă care poate fi adaptat necesității experimentelor, în funcție de modul de transmitere a continuității firului neutru. Astfel, se poate configura atât o structură de putere diferențială, cât și una de tip nediferențial, ambele cu 2 niveluri de tensiune. Comanda tranzistoarelor IGBT se bazează pe principiul modulării impulsurilor în durată (PWM) și depinde de polaritatea tensiunii de alimentare. Aceasta se poate realiza prin utilizarea unui singur detector de semn a tensiunii de intrare. Modelul experimental are multiple puncte de măsură și posibilitatea modificării cu ușurință a parametrilor strategiei PWM (frecvența de comutație, interval de gardă). Interfața software MPLAB IDE furnizată de Microchip se conectează la programatorul MPLAB ICE2 și permite reprogramarea rapidă a procesorului PIC18F1320. De asemenea, convertorul dispune de funcții de protecție integrate pentru situațiile când apar defecte de funcționare.

Structura prezentată are o arie de aplicabilitate foarte largă. În general, aceste convertoare pot fi utilizate pentru reglarea puterii sarcinilor alimentate în alternativ la frecvența rețelei. Convertoarele funcționează la o frecvență de comutație ridicată, iar filtrele pasive asociate au dimensiuni și valori reduse. Astfel, curentul absorbit de la rețea și tensiunea furnizată sarcinii sunt sinusoidale.

#### 5. REFERINȚE

- [1] B.H.Kwon, B.D.Min, J.H.Kim, *Novel topologies of AC choppers*, IEE Proc.-Electr. Power Appl. Vol.143, No.4, July 1996.
- [2] B.D. Min, B.H.Kwon, *Novel PWM line conditioner with fast output voltage control*, IEE Proc.-Electr. Power Appl. Vol.145, No.2, March 1998.
- [3] B.H.Kwon, B.D.Min, J.H.Kim, *Novel commutation technique of AC-AC converters*, IEE Proc.-Electr. Power Appl. Vol.145, No.4, July 1998.
- [4] E.Lefevre, T.Meynard, P. Viarouge, *Robust two-level and multilevel PWM AC Choppers*, EPE Graz, 2001.
- [5] E.Lefevre, *Convertisseurs alternatif-alternatif directs à base de cellules de commutation deux quadrants*, Doctorate thesis, ENSEEIHT Toulouse, 2001.
- [6] D.Floricau, J.C.Hapiot, *Novel Topologies of DPWM multi-cells AC Choppers*, 11<sup>th</sup> National Conference on Electrical Drives, Galați, pg.73-78, 2002.
- [7] D.Floricau, B.Dagues, J.C.Hapiot, F.Ionescu, *Multilevel Differential PWM AC Choppers for High Voltage Applications*, ATEE, Bucharest, 2002.
- [8] D.Floricau, B.Dagues, M.Fadel, *Structuri Robuste de Convertoare PWM Directe Alternativ-Alternativ*, Conferința Internațională Energie-Mediu - CIEM, București, 2003.
- [9] D.Floricau, B.Dagues, M.Fadel, J.C.Hapiot, M.Dumitrescu, *PWM AC Choppers for high voltage applications*, ICATE 2004, Băile Herculane, 2004.