

## Raport de Cercetare

**Grant: A2278 - METODE INTELIGENTE DE PROIECTARE SI CONTROL PENTRU CONVERTOARE ELECTRONICE DE PUTERE PERFORMANTE IN VEDEREA ASIGURARII CALITATII ENERGIEI ELECTRICE**

**Autor: Prof.dr.ing. Adriana Sîrbu**

**Universitatea: UNIVERSITATEA TEHNICA "GH. ASACHI" IASI**

### Rezumat

Proiectul și-a propus dezvoltarea de metode și tehnologii de proiectare a unor convertoare de putere performante, care să respecte cerințele de calitate a energiei electrice, folosind algoritmi inteligenți și platforme DSP cu procesoare în virgulă mobilă. Finalizarea sa a condus la dezvoltarea unei platforme de implementare, studiu și testare a sistemelor inteligente, bazată pe procesorul DSP TMS320C6711, precum și la proiectarea unei biblioteci de algoritmi genetici, implementabili DSP, utilizabili în proiectarea și controlul convertoarelor. Deoarece TMS320C6711, superior ca performante celor din familia 2000 actualmente folosiți în electronica de putere, nu este dedicat unor astfel de aplicații, a fost necesară proiectarea unei interfețe adecvate pentru comunicarea cu sistemul controlat. Din categoria algoritmilor inteligenți, s-au studiat algoritmi genetici, ca metode eficiente de optimizare ce deschid noi perspective pentru sinteza și proiectarea optimă a echipamentelor electronice în general, din categoria cărora s-au proiectat convertoare electronice de putere cu topologii originale, propuse de membrii grantului. S-a proiectat, folosind tehnologia orientată obiect, o bibliotecă de programe ce implementează algoritmi genetici, punând la dispoziția utilizatorului, prin intermediul unei interfețe prietenoase, o largă varietate de opțiuni : diverse implementări ale cromozomilor (binar, real), diverși operatori de selecție, încrucișare, mutație, modalități de condiționare a convergenței. Utilizarea algoritmilor evolutivi a îmbunătățit substanțial performanțele convertoarelor, în special în ceea ce privește calitatea energiei absorbite din rețea (factor de putere, conținut în armonici), răspunzând astfel cerințelor standardelor internaționale privind poluarea electromagnetică.

## I. INTRODUCERE

Tema proiectului a necesitat o abordare convergentă atât din punct de vedere al algoritmilor genetici cât și al electronicii de putere, respectiv al acționărilor electrice, prin investigarea unor metode de proiectare performante, cât și din punctul de vedere tehnologic/electronic, al proiectării unor echipamente capabile să implementeze metodele de control propuse, respectiv platformele cu procesoare digitale de semnal.

Considerăm ca domeniul de cercetare abordat constituie o îmbinare complexă atât între diverse domenii ale științei și tehnicii moderne, cât și între teorie și practică, a carui abordare este perfect susținută de preocupările existente actualmente pe plan internațional în cele trei aspecte vizate :

### *1.1. DOMENIUL CONVERTOARELOR ELECTRONICE DE PUTERE AC/DC PERFORMANTE*

În ultimii ani se constată o dezvoltare continuă a redresoarelor de putere folosite atât ca surse propriu-zise de alimentare, cât și la încărcarea bateriilor, ca balasturi electronice, schimbatoare de frecvență etc. Principala motivație a acestei dezvoltări este efortul permanent de a îmbunătăți eficiența procesului de conversie a energiei prin reducerea armonicilor și a puterii reactive generate.

Principiul general al unei strategii de alimentare a unei instalații industriale în condițiile asigurării calității energiei este prezentată în Figura 1, unde AR/PR reprezintă redresorul activ sau pasiv, APF este filtrul activ de putere și uC, microcalculatorul ce controlează sistemul.

Schema prezentată în Figura 1 poate fi comentată sub următoarele patru aspecte care profilează și posibile direcții de cercetare în vederea îmbunătățirii performanțelor sistemului :

✓ Reducerea interferenței armonice generate de convertoarele clasice de putere constituie o preocupare continuă a proiectanților sistemelor electronice de putere. Una dintre soluțiile moderne este utilizarea unui ansamblu de filtre pasive și active ce folosesc invertoare PWM, adecvat proiectate. O alta varianta este folosirea redresoarelor PWM sau SVM ce modelează adecvat forma curentului de intrare. Caracterul neliniar al sistemelor ce lucreaza în comutație, în particular al convertoarelor ce operează cu modulație PWM, determină o interacțiune extrem de intensă cu zgomotul, rezultând : modificarea distribuției acestuia, alterarea secvenței PWM, interferența cu semnalele de măsură și control, etc, [15]. Mai mult, costul unor astfel de echipamente este relativ ridicat. Acesta este motivul pentru care se investighează soluții mai simple pentru creșterea calității energiei electrice.

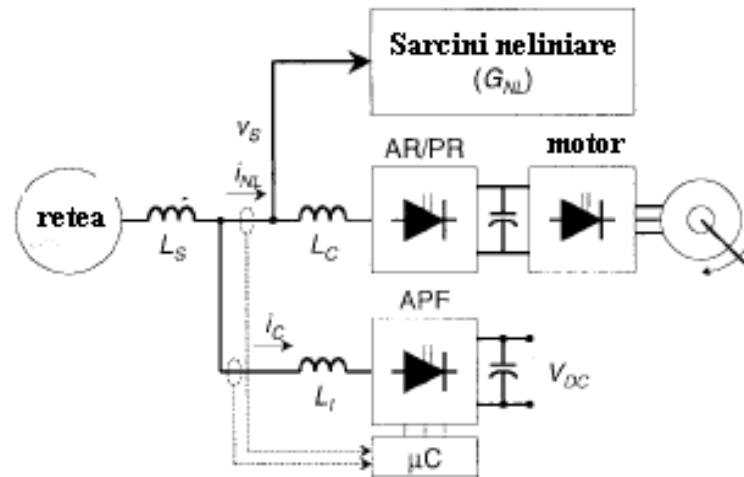


Fig. 1 Sistem de alimentare a unei instalații industriale

De altfel, studiile făcute asupra impactului aplicării standardul IEEE 519 privitor la conversia energiei precizează: “proiectarea echipamentelor electronice cu costuri scăzute, care să satisfacă cerințele impuse de standardele privitoare la armonici și care să nu introducă efecte colaterale sau interacțiuni nedorite cu sistemul, rămâne o provocare pentru specialiștii în electronica de putere”, [16]. Cele de mai sus justifică efortul de a căuta noi topologii pentru filtre de rețea și redresoare de putere.

✓ În literatura de specialitate se constată actualmente o puternică tendință de a utiliza metode moderne de căutare/optimizare, atât în proiectarea filtrelor de rețea, [2]-[4], cât și a convertoarelor de putere, [5] – [7], având în vedere creșterea performanțelor sistemelor de calcul, care nu mai fac prohibitivă utilizarea unor algoritmi complecși, extrem de solicițanți din punctul de vedere al volumului de calcul și al memoriei necesare.

De exemplu, în [2] se face o comparație între performanțele obținute folosind metode clasice de proiectare a filtrelor de rețea și metode evolutive. Astfel, pentru proiectarea unui filtru clasic, deși la ieșire s-a presupus existența unei inductanțe extrem de mari, factorul de putere obținut a fost de cel mult 0.9. Folosind algoritmi genetici autorii au reușit să obțină, pentru același filtru, în aceleași condiții de proiectare, un factor de putere de 0.97 și o îmbunătățire a factorului total de distorsiuni armonice (THD) de la 154% la 21%.

Plecând de la similitudinea problematicii prezentate în articolul citat, era de așteptat ca, folosind metode de proiectare bazate pe algoritmi evolutivi, să se obțină parametri superiori și pentru topologiile originale de convertoare, [17]-[20], proiectate de membrii colectivului acestui grant, cu metode clasice.

✓ O alta direcție importantă de cercetare pe plan internațional este cea privitoare la utilizarea unor algoritmi de optimizare stohastică, din familia cărora fac parte și algoritmi genetici, în controlul filtrelor active de putere și, mai general, al acționarelor electrice, [3]-[10]. Studii aprofundate au investigat comparativ diverse metode de optimizare neliniară (Levenberg-Marquardt, Gauss-Newton)

cu cele evolutive, demonstrând eficacitatea acestora din urmă, în special în cazul unui spațiu al soluțiilor cu multe minime locale. Posibilitatea de a formula diverse tipuri de cromozomi, crește complexitatea problemelor ce pot fi rezolvate folosind astfel de algoritmi. De exemplu, în [3] se demonstrează posibilitatea folosirii unor filtre de ordine diferite pentru găsirea variantei optime de filtrare activă în rețele de alimentare foarte poluate. Evident astfel de soluții de implementare presupun folosirea unor circuite de procesare extrem de performante, în particular a procesoarelor digitale de semnal.

✓ În ceea ce privește problematica acționărilor electrice, în mod tradițional, problemele de control se soluționează cu ajutorul controlerelor conventionale (PI, PID, precum și controlere adaptive). Aceste tipuri de controlere au limitări datorită faptului că proiectarea acestora depinde de cunoașterea exactă atât a modelului motorului, precum și a parametrilor acestuia. Pe lângă dificultățile legate de obținerea preciza a reactanțelor în sistemul de axe d-q, astfel de controlere sunt foarte sensibile la perturbații. Din considerentele expuse mai sus, se preconizează folosirea unor controlere inteligente în acționările electrice performante. O soluție posibilă pentru un astfel de controler utilizează tehnici fuzzy bazate pe algoritmi genetici, [10].

Cele de mai sus justifică proiectarea și implementarea unui sistem de dezvoltare, testare și analiză care să permită controlul inteligent și flexibil al convertoarelor performante, folosind procesoare digitale de semnal din familia Texas Instruments. Prin implementarea flexibilă, folosirea experienței anterior acumulate de membrii echipei de cercetare (pentru obținerea rezultatelor prezentate în [17]-[19], am dezvoltat un prototip de redresor de tip RNSIC – Rectifier with Near Sinusoidal Input Currents) și folosirea resurselor existente (laborator dotat cu 6 plăci de dezvoltare de tipul TMS320C6711 o placă de dezvoltare TMS320C6416, două plăci de dezvoltare TMS320F240 și un modul de putere ACPM750E, prezentat în anexa 10 ne propunem să construim un sistem de dezvoltare care să permită implementarea unor algoritmi de comandă inteligenți care să valideze acele rezultate care au fost obținute numai prin simulare de către noi în [18],[19] și să ne permită formarea bazei de dezvoltare și cercetare ulterioară a echipei. Nu în ultimul rând acest sistem va fi folosit în cadrul cursurilor: Inteligența Artificială și Sisteme Inteligente cu Aplicații (Sef. lucrări ing. Dan-Marius Dobrea) și Convertoare Moderne de Randament Ridicat (Prof. dr. ing. Dimitrie Alexa) pe care membrii echipei de cercetare le susțin la direcția de master Convertoare Electronice de Putere.

## *1.2. DOMENIUL ALGORITMILOR GENETICI*

Algoritmii genetici, [23], [24], reprezintă metode computaționale de tip evolutiv, ce pot fi totodată considerați ca metode de optimizare. Din categoria metodelor clasice de optimizare cele mai des utilizate sunt:

### ➤ Metode de gradient (Hill Climbing Methods)

Metodele de acest tip sunt în esență metode de căutare a unui optim de-a lungul gradientului local al funcției de optimizat. Ele sunt metode esențialmente deterministe ce generează rezultate succesive exclusiv pe baza rezultatului obținut anterior. Dintre dezavantajele unor astfel de metode amintim: se presupune că spațiul de căutare este de natura continuă, cu alte cuvinte, funcția de optimizat este derivabilă, ceea ce nu întotdeauna poate fi garantat, iar extremul determinat este de multe ori local, metodele esuând în cazul funcțiilor cu mai multe extreme locale.

### ➤ Metode enumerative (Enumerative Methods)

Valoarea optimului se obține în acest caz prin căutare exhaustivă în spațiul de căutare (presupus finit). Metodele sunt extrem de inefficiente, efortul computațional fiind urias în majoritatea cazurilor.

### ➤ Algoritmi de căutare aleatoare (Random Search Algorithms)

Căutarea aleatoare a optimului explorează spațiul de căutare, înregistrând cele mai bune valori obținute până în punctul curent. Complexitatea calculului este comparabilă cu a metodelor enumerative.

### ➤ Metode de căutare probabilistice (Randomized Search Techniques)

Astfel de metode folosesc informațiile obținute din pașii anteriori ai căutării și le combină cu operatori ce introduc și o componentă aleatoare. Astfel de tehnici de căutare nu sunt nedirecționale, ca de exemplu metodele enumerative sau cele de căutare aleatoare, dar nici deterministe, ca metodele de gradient. Rezultatul combinării celor două componente furnizează algoritmi extrem de

puternici care pot opera, câteodată eficient, și în spații de căutare multimodale, eventual afectate de zgomet. Două din cele mai populare astfel de metode sunt:

- algoritmi de tip simulated annealing
- algoritmi genetici

Algoritmi genetici aparțin calculului evolutiv, domeniu în plină ascensiune al inteligenței artificiale. Calculul evolutiv a fost introdus în anii 60 de I. Rechenberg (Evolutionsstrategie). Algoritmi genetici au fost propuși de John Holland (Adaption in Natural and Artificial Systems, 1975).

Un algoritm genetic porneste de la un set de soluții (reprezentate prin cromozomi) ce alcătuiesc o populație. În continuare, soluții dintr-o populație, selectate după un anumit criteriu, denumit fitness, sunt folosite pentru a obține o populație nouă.

Elementele specifice algoritmilor genetici (AG), care îi diferențiază față de alte metode de optimizare, sunt:

- AG operează cu forme codificate ale valorilor funcției de optimizat, și nu cu valorile propriuzise;
- AG folosesc în procesul de căutare a optimului o întreaga populație și nu doar un singur punct din spațiul de căutare, ceea ce conferă avantajul de a putea opera în spații afectate de zgomet și cu mai multe extreme locale.
- AG folosesc doar o singură informație (fitness-ul) pentru a se orienta în spațiul de căutare, spre deosebire de alte metode ce necesită informații mai complexe (de tip gradient de exemplu).
- AG sunt metode de natură probabilistică și nu deterministe.

Implementarea unui algoritm genetic în vederea soluționării unei aplicații date presupune codificarea/reprezentarea indivizilor (cromozomilor) și stabilirea funcției de evaluare pe baza căreia se stabilește fitness-ul. Startarea algoritmului se face prin generarea populației inițiale, după care se aplică operatorii specifici.

Operatorii de bază ai algoritmilor genetici sunt:

- operatorul de selecție
- operatorul de încrucișare (crossover)
- operatorul de mutație

Operatorul de reproducere selectează indivizi (cromozomi) din populație pentru posibilă includere în generația următoare. Șansa ca un individ să fie selectat depinde de fitness-ul său.

Există mai multe tipuri de operatori de:

- selecția de tip ruletă (Roulette Wheel Selection)
- selecția de tip rang (Rank Selection)
- selecția staționară (Steady-State Selection)
- elitismul

Odată selectați indivizii pentru reproducere, se aplică următorul operator, cel de încrucișare. Semnificația acestuia este asemănătoare cu cea din biologie și anume amestecarea cromozomilor părinților pentru a produce noi cromozomi progeniturilor. Încrucișarea se poate face într-un singur punct sau în mai multe puncte. Probabilitatea cu care se face încrucișarea este un parametru important al AG.

Deși selecția și încrucișarea pot crea o largă diversitate de progenituri, există totuși posibilitatea ca, în funcție de populația aleasă inițial, să nu existe o suficient de largă varietate de indivizi care să acopere întreg spațiul de căutare. Acesta este motivul pentru care s-a introdus operatorul de mutație: pentru fiecare individ, cu o anumită probabilitate (parametru al algoritmului) este posibilă modificarea acestuia (în cazul reprezentărilor binare de exemplu bitul 0 se transformă în 1 sau invers). Probabilitatea mutației trebuie menținută foarte scăzută (0.001%) deoarece rate mai mari vor determina degenerarea algoritmului într-o căutare aleatoare.

Studii recente, [25], relevă impactul deosebit al utilizării algoritmilor genetici în domeniul electronicii de putere, subliniind potențialul încă neexplorat al posibilelor aplicații ale calculului evolutiv în acest domeniu. Interesant de semnalat este locul modest, cu o lucrare, pe care îl ocupă România în topul articolelor publicate pe această temă pe plan internațional.

### *1.3. DOMENIUL CIRCUITELOR DE PROCESARE DIGITALĂ A SEMNALELOR*

Prelucrarea numerică a semnalelor este unul dintre cele mai dinamice domenii ale electronicii, atât din punct de vedere tehnologic, cât și economic. Din statisticile publicate rezultă că pe piața cipurilor dedicate acestui domeniu, 45% reprezintă procesoarele numerice de semnal. Acest segment

este dominat de 5 firme : Texas Instruments (57%), Motorola (13%), AT&T(13%), NEC(8%) și Analog Devices(6%).

Poziția dominantă, unanim recunoscută, a firmei Texas nu este întâmplătoare, deoarece aceasta oferă cea mai largă linie de procesoare DSP de uz general într-un singur cip și are cea mai extinsă rețea de utilizatori experimentați. Această poziție este justificată și de aplicarea celor mai avansate arhitecturi și tehnologii, precum și de suportul eficient și complex creat și oferit pentru fiecare procesor DSP, care cuprinde : sisteme de dezvoltare hardware și software de înalta calitate, asistență tehnică permanentă, peste 2000 de pagini de note de aplicații, precum și un volum impresionant de cod sursă oferit gratuit.

Deși procesoarele de semnal pot părea un artificiu exotic, [26], un lux pentru majoritatea specialiștilor angrenați în rezolvarea unor probleme practice în diverse domenii ale electronicii și automatizării, prețul în continua scădere al acestor componente, suportul tehnic și de aplicații oferit de firmele producătoare, le fac din ce în ce mai atractive pentru aplicații uzuale. Utilizarea lor face ca aplicații inabordabile în timp real de către procesoarele clasice fără hardware suplimentar să revină la un preț convenabil cu un minim de circuite externe.

Actualmente familia de procesoare TMS320 constă în 3 platforme importante: TMS320C2000, TMS320C5000 și TMS320C6000. În cadrul platformei C6000 s-au profilat trei generații: TMS320C62x, TMS320C64x și TMS320C67x, cu caracteristici și performanțe ce reflectă poziția de lider a firmei Texas Instruments pe piața soluțiilor DSP, [26]-[28].

În sistemele electronice de putere este raportată în literatură doar utilizarea procesoarelor din familia TMS320C000:

- TMS320C24x™ DSP procesor pe 16 biti, virgulă fixă SCI, SPI, CAN, 10-bit A/D, timere, generare PWM, memorie Flash, on-chip, 20–40 MIPS

- TMS320C28x™ DSP procesor pe 32 biti, virgula fixa, SCI, SPI, CAN, 12-bit A/D, McBSP, timere, generare PWM, on-chip Flash memory, pana la 150 MIPS, a carui structura este prezentată în Figura 2.

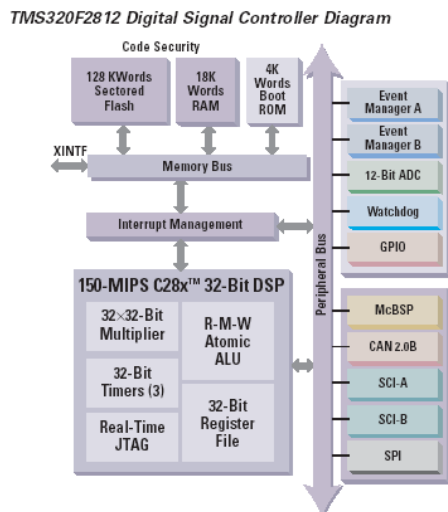


Figura 2. Structura procesorului TMS320F2812

Este unanim recunoscut faptul că aceste procesoare oferă una dintre cele mai bune combinații între integrare, flexibilitate, eficiență și performanță. Cum sistemele de acționări sunt din ce în ce mai complexe și, corespunzător, crește complexitatea metodelor de control (cu orientare după câmp sau de tip formatoare de curent cu reluctanțe comutate), proiectarea unor astfel de sisteme devine o sarcină dificilă în absența unor controllere performante, care să poată fi, la rândul lor, proiectate într-un mediu de dezvoltare prietenos. Și din acest punct de vedere familia de circuite Texas Instruments oferă un suport software extrem de valoros, atât prin facilitățile propriu-zise ale mediului, cât și prin bibliotecile de programe pe care le pune la dispoziția utilizatorilor.

Având în vedere aspectele analizate, ne-am propus să corelăm cele două direcții, electronica de putere și procesarea digitală de semnal, în încercarea de a le dezvolta în paralel și convergent din perspectiva AG.

## II. PROIECTAREA BIBLIOTECII DE ALGORITMI GENETICI

În general, proiectarea convertoarelor electronice de putere este o activitate elaborată, care implică un număr mare de variabile de proiectare, precum și de restricții relativ severe impuse de standarde și respectiv costuri de fabricație/întreținere. Actualmente, abordările tradiționale ocolească această complexitate neglijând o serie de variabile, concentrându-se mai ales asupra aspectelor legate de comportamentul electric/electronic al sistemului proiectat. Dar chiar și în astfel de condiții, există cazuri în care chiar principiile de operare impun adoptarea unui compromis între cerințe conflictuale rezultate din diferite aspecte ale funcționării.

Posibilitatea luării în considerație a celor mai mulți, dacă nu a tuturor, dintre acești parametri impuși în faza de proiectare, ar avea drept efect reducerea substanțială a eforturilor de testare efectivă a diferitelor variante de implementare.

Tehnicile de optimizare moderne pot oferi un instrument valoros în încercarea de a rezolva cerințele impuse de activitatea complexă de proiectare. Printre aceste tehnici, algoritmi genetici (GA) s-au dovedit a fi o soluție alternativă din ce în ce mai agreată. Este de așteptat ca, în special datorită faptului că algoritmi genetici nu necesită evaluarea de derivate, aceștia să permită obținerea de soluții pentru funcții obiectiv sofisticate, având abilitatea de a manevra probleme complexe ce conțin chiar discontinuități.

Există în literatură rezultate notabile ce menționează utilizarea algoritmilor genetici în proiectarea sistemelor electronice de putere, într-o abordare apropiată de cea pe care am avut-o în vedere; chiar mai mult, aceste rapoarte indică obținerea de îmbunătățiri substanțiale ale soluției de proiectare în comparație cu abordările clasice. Acesta este motivul pentru care ne-am propus dezvoltarea unui mediu de proiectare bazat pe tehnicile algoritmilor genetici.

Unul din obiectivele acestui grant a fost acela de a dezvolta un mediu complex de simulare pentru proiectarea asistată de calculator a sistemelor electronice utilizând algoritmi genetici, cu un accent particular privind convertoarele de putere (respectiv obiectivul numărul 1 : Proiectarea unui pachet de programe pentru implementarea algoritmilor genetici folosind tehnologia orientată obiect). Mediul proiectat include un motor de optimizare GA, scris în C++ și nucleul PSPICE de analiză a circuitelor electronice.

Algoritmi genetici reprezintă o familie de modele computaționale adaptive, stohastice, globale inspirate de principiile evoluției biologice. Specific pentru astfel de algoritmi este faptul că în procesul de căutare se manipulează nu numai o soluție potențială a unei probleme, ci o mulțime de astfel de soluții potențiale (indivizi sau cromozomi), care formează o populație. Fiecare individ este o reprezentare codificată a tuturor parametrilor ce caracterizează soluția, având asociată o valoare, numită fitness, care este o măsură a performanțelor sale (gradul de conformanță cu cerințele impuse).

Pentru a asigura evoluția indivizilor cu performanțe superioare, algoritmi genetici utilizează operatori genetici (încrucișare/crossover, mutație și elitism) precum și mecanisme speciale de selecție, care asigură faptul că soluții mai performante au șanse mai mari de a produce urmași, care să moștenească caracteristicile benefice ale părinților. Se pot formula diferite criterii de convergență a algoritmilor ca de exemplu : număr de generații, raport între valoarea minimă și maximă a fitnessului individual comparativ cu un prag impus. Structura de bază a algoritmului genetic este prezentată în figura 1.

Pentru implementarea algoritmului genetic s-a adoptat o abordare inspirată de GALib, o bibliotecă C++ pentru algoritmi genetici, [30]. Proiectarea codului s-a făcut utilizând facilitățile oferite de mediile de dezvoltare Visual C++ 6.0 și respectiv C++ Code Composer Studio al firmei Texas Instruments.

O problemă esențială în proiectarea algoritmului genetic a fost reprezentarea cromozomilor. Am utilizat în acest scop clasa de bază Genome ce definește proprietățile de bază ale cromozomilor, derivând apoi adecvat clase ce implementează diverse tipuri de reprezentare. Pentru a asigura flexibilitate și generalitate bibliotecii, s-au implementat atât reprezentarea ca șir de biți, utilă pentru valori întregi ale caracteristicilor cromozomiale, cât și reprezentarea ca valori reale.

S-a proiectat apoi o clasă adecvată pentru a reprezenta o populație de indivizi.

S-au definit corespunzător operatorii de inițializare, mutație, crossover (încrucișare într-un singur punct, în două și respectiv trei puncte) și elitism.

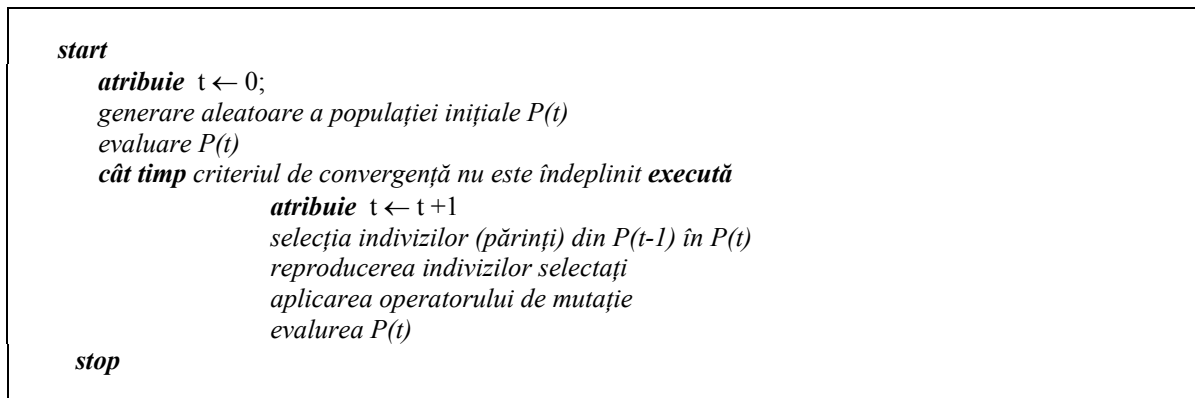


Fig. 1. Reprezentarea schematică a principiului de operare a unui algoritm genetic

S-a implementat o ierarhie de clase care să realizeze operația de selecție, după diverse scheme sugerate în literatură : Rank Selection, Roulette Wheel Selection, Tournament Selection, Stochastic Uniform Sampling Selection, Stochastic Remainder Sampling Selection and Deterministic Sampling Selection.

Clasa GeneticAlgorithm, care implementează propriu-zis algoritmul genetic, folosește funcția obiectiv adecvată pentru a rezolva problema de optimizare.

Utilizatorul poate alege criteriul de convergență dorit : fie evoluția pe durata unui număr de generații impus, fie atingerea unei valori de prag impuse de către raportul între valoarea minimă și maximă a fitnessului individual, ca măsură a calității populației.

Pentru generarea de numere pseudo-aleatoare și pentru generarea aleatoare de biți am folosit rutinele descrise în literatura de specialitate.

### III. PROIECTAREA OPTIMALĂ A CONVERTOARELOR RNSIC

În literatură există mențiuni privitoare la optimizarea proiectării convertoarelor de putere folosind algoritmi genetici. Acestea folosesc pentru simularea funcționării circuitului fie soft-uri dedicate, ce reprezentau tendința principală până în prezent, fie, mai nou, mediul MATLAB. Ambele abordări au meritele lor, dar considerăm că soluția propusă de noi și anume aceea de a utiliza pentru co-simulare nucleul PSPICE ca soft dedicat pentru analiza funcționării oferă numeroase detalii pentru analiza specifică de circuit.

În acest context s-a dezvoltat în C++ un mediu de complex de simulare, construit în jurul nucleului PSPICE, pentru a realiza proiectarea optimală a convertoarelor de putere folosind algoritmi genetici. Mediul este astfel conceput încât permite analiza parametrizată pe loturi de experimente (parametric batch analysis), colectarea datelor relevante pentru analiza de regim tranzitoriu, procesarea digitală de semnal, permițând astfel construcția unor funcții obiectiv (necesare în optimizarea cu algoritmi genetici la evaluarea fitnessului) extrem de complexe. În esență, se intervine în funcția de evaluare a populației - evaluarea  $P(t)$ , menționată în figura 1, proiectând adecvat o funcție obiectiv capabilă să proceseze, în conformitate cu criteriile de proiectare impuse, rezultatele oferite de analiza PSPICE asociată și să ofere o măsură a fitnessului individual. Astfel, evaluarea funcției obiectiv implică lansarea nucleului PSPICE urmată, după încheierea analizei dorite, de extragerea valorilor de interes din fișierul out și calculul propriu-zis al fitnessului.

Având în vedere platformele de calcul moderne ce operează la frecvențe ce au ajuns deja la ordinul giga hertz-ilor, co-simularea propusă, mixajul dintre execuția unui algoritm genetic și o simulare în PSPICE a funcționării circuitului, poate constitui o alternativă fezabilă de obținere a unei soluții aproape optimale într-un timp de execuție rezonabil.

Algoritmul utilizat pentru evaluarea funcției obiectiv, care supervizează și procesează simularea în vederea analizei funcționării convertoarelor de putere (ce au parametrii de proiectare asigurați ca urmare a evoluției procesului de optimizare) este prezentat în figura 2.

**funcție Obiectiv (Genome & g)**

atribuirea valorilor rezultate pentru genom parametrilor circuitului;  
crearea fișierului PSPICE .cir  
execuția nucleului PSPICE pentru simularea funcționării convertorului  
extragerea rezultatelor relevante pentru analiză  
calcularea fitnessului  
**return fitness**

Fig. 2. Rutina de calcul al fitnessului

Al doilea obiectiv al grantului a fost proiectarea optimă a convertoarelor RNSIC folosind algoritmi genetici. În acest scop am utilizat mediul de proiectare propus pentru proiectarea redresoarelor cu curenți aproape sinusoidali (RNSIC). Circuitul primului convertor proiectat, în varianta cu condensatoare pe partea de curent alternativ, este prezentat în figura 3.

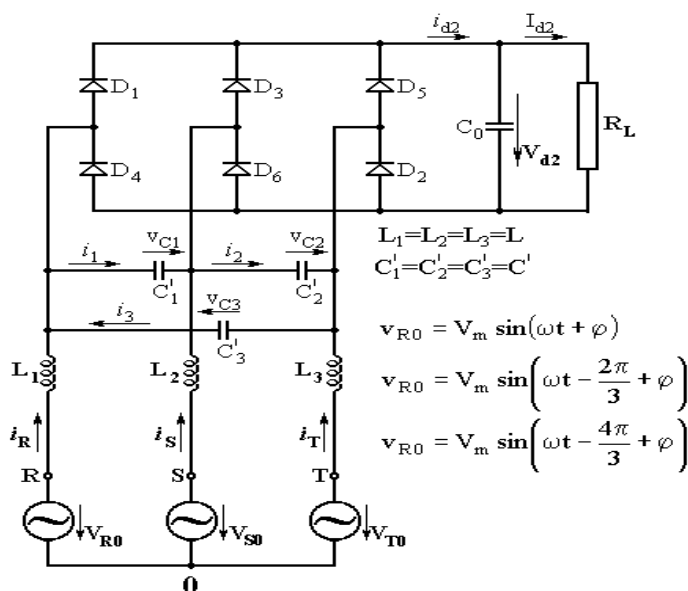


Fig.3. Convertor RNSIC cu capacități pe partea de curent alternativ (RNSIC-2)

Anterior am utilizat diferite tehnici pentru a verifica soluția de proiectare propusă. Am exploatat intensiv diferite medii de simulare ca PSPICE, Saber sau MATLAB. Practic, am explorat quasi-exhaustiv spațiul de căutare și am evaluat comportarea convertorului, alegând cea mai bună soluție.

Cerințele de proiectare sunt însă contradictorii : pentru a crește raportul dintre valoarea maximă și valoarea minimă a fundamentalei curentului de linie, în plaja de valori posibilă pentru rezistența de sarcină, parametrul  $\omega^2 LC'$  trebuie să aibă valori cât mai mici, dar pentru a minimiza factorul total de distorsiuni (THD), același parametru trebuie să aibă valori cât mai mari, satisfăcând în permanență condiția:  $n \cdot 0.05 \leq LC' \omega^2 \leq 0.10$ .

În plus, s-a constatat că ar fi extrem de util să existe posibilitatea de a optimiza proiectarea luând în considerație și aspecte ne-electrice, ca de exemplu costul și/sau volumul/greutatea echipamentului. De exemplu, în cazul nostru, pentru volum și costuri mai mici, parametrul menționat trebuie să aibă valori minime.



Am adoptat pentru început reprezentarea de tip zecimal codificat binar și am utilizat varianta standard de algoritm genetic, descrisă de Goldberg. Acest tip de algoritm utilizează populații nesuprapuse și elitism. Pentru fiecare generație se crează o populație în întregime nouă, prin selecția adecvată a indivizilor pentru reproducere, păstrând doar cel mai bun exemplar din populația precedentă.

Pentru a testa mediul dezvoltat am creat, pentru început, o funcție obiectiv simplă pentru evaluarea factorului total de distorsiuni (THD). În vederea simulării funcționării circuitului în domeniul timp, având în vedere constantele de timp ale circuitului, se poate estima că regimul permanent se atinge în mai puțin de 4 secunde. Fișierul .out generat de simularea PSPICE este procesat și se extrage valoarea THD-ului calculat, care este returnată de funcția obiectiv. Experimentele efectuate au vizat minimizarea THD-ului pentru o valoare dată a rezistenței de sarcină.

După mai multe testări, am ales o populație de 20 de indivizi, probabilitatea de crossover de 0.6 și probabilitatea mutației 0.01. Maparea fenotipului a fost astfel definită încât să reprezinte valorile reale cu 24 de biți, în domeniul de valori explorat pentru valoarea capacității și respectiv a inductanței. Criteriul de convergență a fost ales cel al evoluției pe un număr prescris de generații (10).

Pentru setul de date de simulare și de parametri ai algoritmului de optimizare ales, execuția programului pe un sistem de calcul dotat cu un procesor Pentium II la 400 MHz (performanțe relativ modeste!) a fost de mai puțin de 20 de minute.

În Tabelul 1 prezentăm rezultate comparative ale performanțelor convertorului RNSIC-2 din figura 3 pentru două seturi de valori ale parametrului  $\omega^2 LC$ , 0.0782 ( $L = 18\text{mH}$ ,  $C = 44\mu\text{F}$ ), valoare obținută anterior, folosind metode clasice de proiectare și 0.089420 ( $L = 28\text{mH}$ ,  $C = 32\mu\text{F}$ ) valoare obținută utilizând abordarea cu algoritmi genetici.  $V_{d2}$  reprezintă tensiunea la ieșire, iar  $I(1)$  – fundamentala curentului de linie,  $\varphi$  - defazajul dintre tensiunea de fază și fundamentala curentului de fază, THD este factorul total de distorsiune și raportul  $I(5)/I(1)$  specifică valoarea relativă a celei mai importante armonici și anume a cincea. Se poate observa că, odată cu reducerea factorului THD, s-a obținut și o valoare mai mică a defazajului  $\varphi$ .

TABELUL 1

COMPARATIE INTRE METODA CLASICA SI CEA BAZATA PE GA PENTRU CONVERTORUL RNSIC-2

$$K_1 = LC \omega^2 = 0.0782 \quad (L = 18 \text{ mH}, C = 44 \text{ uF}) \quad K_2 = LC \omega^2 = 0.089420 \quad (L = 28 \text{ mH}, C = 32 \text{ uF})$$

$R_L$ [ $\Omega$ ]	$V_{d2}$ [V]		$I(1)$ [A]		$\varphi$ [ $^\circ$ ]		THD [%]		$I(5)/I(1)$ [%]	
	$K_1$	$K_2$	$K_1$	$K_2$	$K_1$	$K_2$	$K_1$	$K_2$	$K_1$	$K_2$
20	611	532	40.7	33.24	+10.2	+22.0	3.92	3.15	3.7	3.0
40	661	660	27.2	24.1	-30.4	+11.7	3.92	3.5	3.8	3.4
60	676	686	22.9	19.61	-45.3	-29.7	3.91	3.43	3.7	3.3
80	671	697	21.2	17.52	-54.8	-41.4	3.68	3.36	3.57	3.2
100	677	703	20.2	16.43	-61.0	-49.5	3.72	3.33	3.6	3.2
150	678	707	19.0	15.17	-69.9	-61.67	3.39	3.22	3.26	3.1
200	675	708	18.4	14.53	-74.4	-68.15	3.01	3.0	2.86	2.3

În continuare, am testat validitatea metodei propuse pentru convertorul a cărei schemă este prezentată în figura 4.

Am investigat diferite reprezentări pentru cromozomi : zecimal codificat binar și respectiv șir de biți într-o reprezentare obținută prin concatenarea reprezentărilor binare (byte per bit) ale inductanței L (exprimată în  $\mu\text{H}$ ) și a capacității C (exprimată în  $\mu\text{F}$ ). Așa cum era de așteptat, varianta BCD este mai mare consumatoare de timp de execuție, fără a aduce un plus de precizie.

După un număr relativ mare de experimentări, am ajuns la concluzia că cel mai eficient operator crossover pentru aplicația dată este cel în două puncte, iar cea mai eficientă metodă de selecție, metoda Stochastic Remainder Sampling Selection. O populație de 10 indivizi s-a dovedit a fi satisfăcătoare. Cât despre criteriul de convergență, evoluția pe 7 generații s-a dovedit a fi cel mai bun compromis între precizie și timpul de execuție.

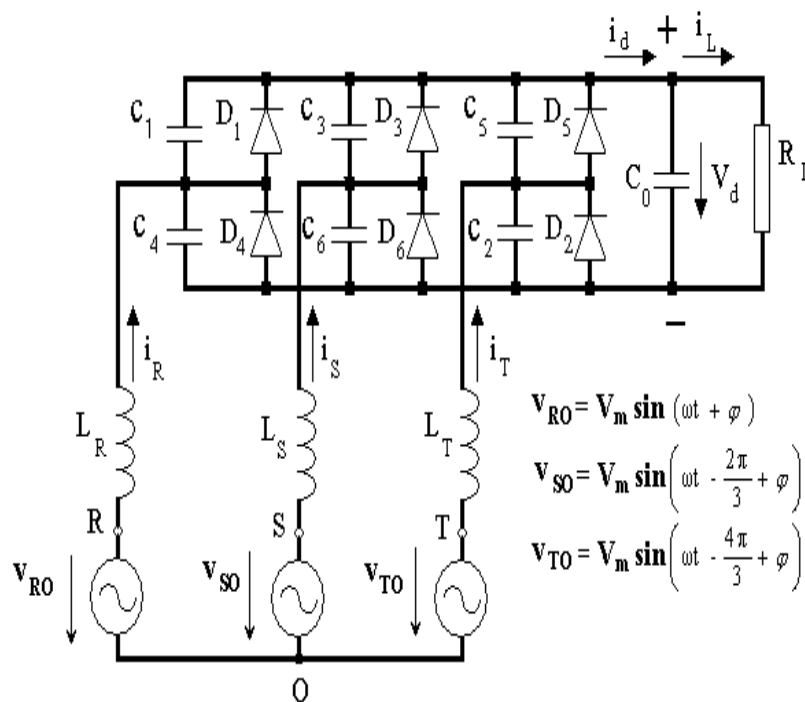


Figura 4. Convertorul RNSIC-1

Pentru setul de date de simulare și de parametri ai algoritmului de optimizare ales, execuția programului pe un sistem de calcul dotat cu un procesor Pentium II la 400 MHz (performanțe relativ modeste!), a fost de mai puțin de 30 de minute.

În Tabelul 2 se prezintă performanțele convertorului RNSIC-1 utilizând metoda clasică de proiectare și respectiv pe cea bazată pe algoritmi genetici ( $V_d$  este valoarea medie a tensiunii pe sarcină,  $I_{(1)}$  reprezintă valoarea efectivă a fundamentalei curentului de linie și  $I_{(5)}$  este valoarea efectivă a celei de a cincea armonici).

Se observă că soluția bazată pe algoritmi genetici are performanțe superioare celor proiectate folosind abordări clasice.

TABELUL 2  
COMPARATIE INTRE METODA CLASICA SI CEA BAZATA PE GA PENTRU CONVERTORUL  
RNSIC-1

$$K_1 = LC \omega^2 = 0.0987 \quad (L = 25\text{mH}, C = 40\mu\text{F}) \quad K_2 = LC \omega^2 = 0.0207 \quad (L = 6\text{mH}, C = 35\mu\text{F})$$

$R_L$ [ $\Omega$ ]	$V_d$ [V]		$I_{(1)}$ [A]		THD [%]		$I_{(5)}/I_{(1)}$ [%]	
	$K_1$	$K_2$	$K_1$	$K_2$	$K_1$	$K_2$	$K_1$	$K_2$
25	505	429	3.92	22.50	40.7	1.94	3.92	1.8
40	553	430	3.92	16.41	27.2	2.74	3.92	2.17
60	565	437	3.91	12.77	22.9	2.27	3.91	2.16
80	566	446	3.68	10.70	21.2	2.43	3.68	2.27
100	567	452	3.72	9.12	20.2	2.66	3.72	2.4

#### IV. PROIECTAREA INTERFEȚEI CONVERTOR DE PUTERE/PLATFORMĂ DSP

Considerăm că dezvoltarea unor aplicații sofisticate de comandă și control ale convertoarelor de putere în sistemele electronice de putere complexe va impune folosirea unor procesoare de semnal cu performanțe superioare. De exemplu, procesorul TMS230C6711 operează în virgulă mobilă la 150 MHz, dar nu este prevăzut cu o interfață generală de porturi I/O (GPIO) care să faciliteze interfațarea cu alte sisteme electronice complexe.

De aceea, al treilea obiectiv al grantului a fost acela de a proiecta o interfață convertor de putere/platforma DSP TMS320C6711 care să permită utilizarea procesorului în controlul sistemelor electronice complexe (obiectivul numărul 3 : Proiectarea și realizarea interfeței GPIO cu platforma DSP cu TMS320C6711).

În acest context am construit un dispozitiv de interfațare pe care îl vom denumi global modul de comunicație (MC), a cărui schemă bloc este prezentată în Fig. 5. Acest modul de comunicație oferă suport pentru un port bidirecțional pe 8 biți, un port de ieșire pe 7 biți și un port de intrare pe 8 biți.

Interfața EMIF (*External Memory Interface*) a DSP-ului permite conectarea unei largi serii de dispozitive precum: memorii *pipelined synchronous-burst* SRAM, memorii sincrone DRAM și dispozitive asincrone precum memorii SRAM, ROM și memorii FIFO.

Modulul construit în cadrul acestui grant lucrează asincron și utilizează următoarele semnale pentru interfațarea cu bus-ul EMIF al DSP-ului: liniile de date (de la  $D_{15}$  la  $D_0$ ), liniile de adresă ( $A_{21...7}$ ), ARE (*Asynchronous Read Enable*), AWE (*Asynchronous Write Enable*) și CEx (*Chip Enable* pentru bancul x). DSP-ul TMS320C6711 poate lucra cu până la 4 bancuri de memorie (controlate de liniile CE0, CE1, CE2 și CE3) ce pot fi configurate să lucreze în mod independent cu diferite tipuri de dispozitive (sincrone sau asincrone). Deoarece primele două zone de memorie sunt utilizate intern de către DSP, modulul de comunicație poate fi configurat cu ajutorul unor jumpere pentru a lucra fie în bancul de memorie doi, fie în trei. Portul bidirecțional utilizează în plus și o ieșire a *latch*-ului 1 (figura 5) pentru configurarea corectă a sensului comunicației.

În figura 6 se prezintă prototipul modulului de comunicație. Pentru cuplarea acestuia la conectorii plăcii de dezvoltare am utilizat placa adaptor SPRA711 (*Adapter Board*).

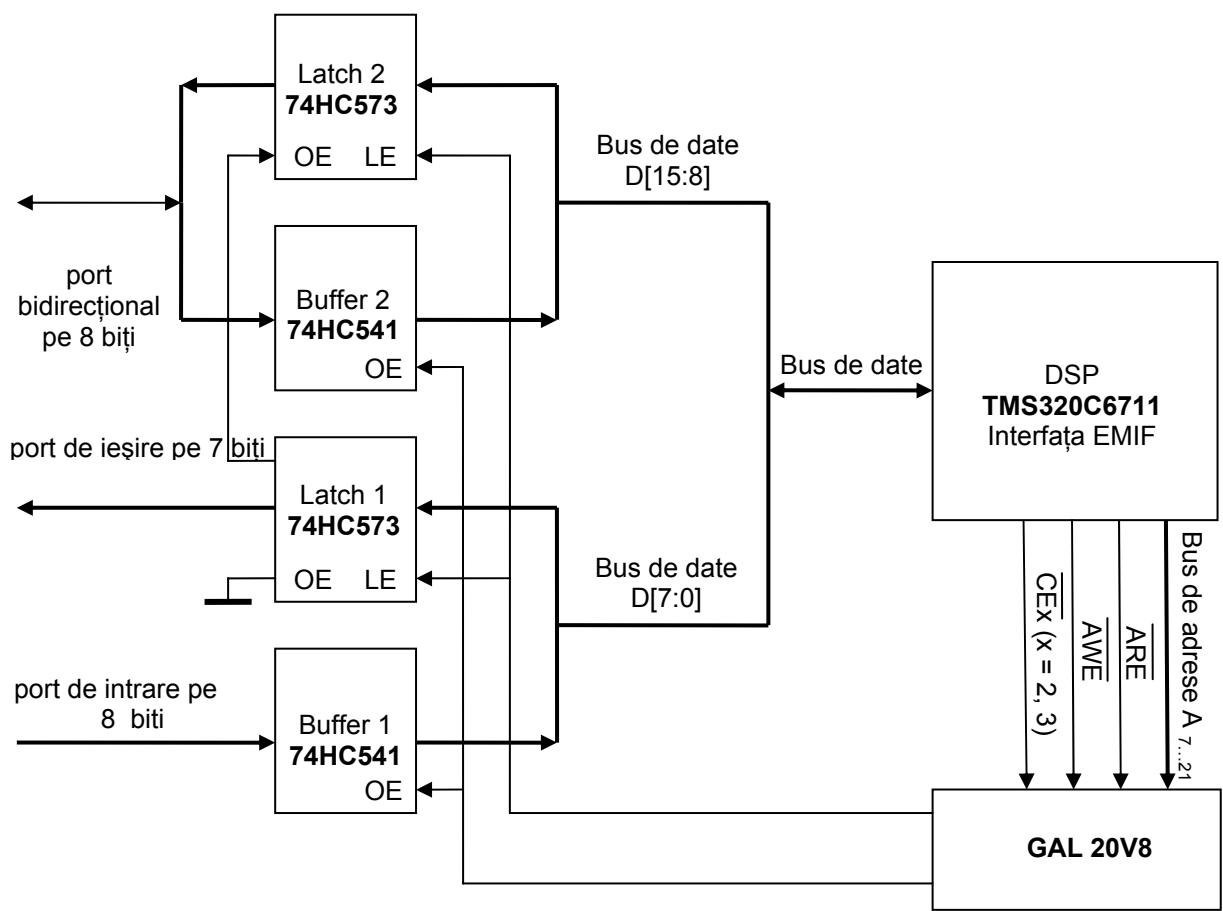


Figura 5. Schema bloc a modulului de comunicație realizat

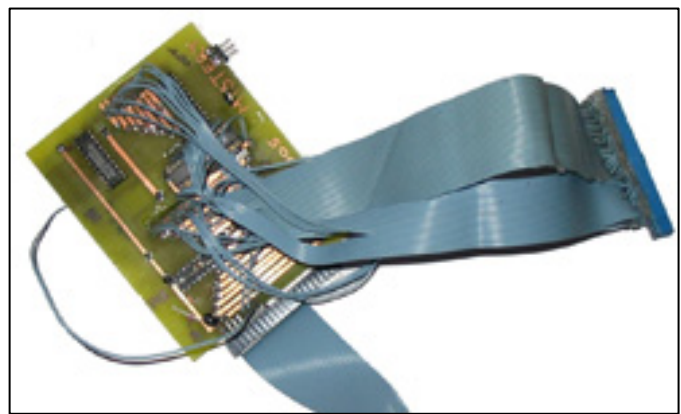


Figura 6. Prototipul modulului de comunicație

Testările efectuate au evidențiat funcționarea conformă cu scopul propus. De asemenea s-a cuplat interfața GPIO cu modulul de putere ACPM750E, testându-se diverși algoritmi de comandă.

## V. CONCLUZII

Considerăm că obiectivele acestui grant au fost îndeplinite pe deplin, cercetarea desfășurată deschizând noi perspective în aplicarea implementării unor noi instrumente și tehnologii (GA și DSP-uri) pentru aplicații specifice, în particular în electronica de putere. Rezultatele obținute au fost validate de comunitatea științifică internațională prin publicarea a două articole ce sintetizează cercetările desfășurate în cadrul grantului.

Faptul că în 2005 au continuat să apară lucrări în reviste și conferințe de prestigiu, [31] – [33], confirmă faptul că tema de cercetare abordată suscită în continuare interes și că merită a fi continuată.

## Bibliografie

- [1] H. Szczerbicka, M. Becker, M. Syrjakow, Genetic Algorithms: A Tool For Modelling, Simulation And Optimization Of Complex Systems, Cybernetics & Systems Vol. 29, 7/1998
- [2] Y.-M. Chen – Passive Filter Design Using Genetic Algorithms, IEEE Trans. On Industrial Electronics, vol. 50. no. 1, Feb. 2003, pp. 202-207.
- [3] M. Liserre, a. Dell'Aquila, F. Blaabjerg, Genetic Algorithm-Based Design of the Active Damping for an LCL-Filter Three-Phase Active Rectifier., IEEE Trans on Power Electronics, vol. 19, no. 1, Jan. 2004
- [4] M. El-Habruk, M.K. Darwish, A New Control Technique for Active Power Filters Using a Combined Genetic Algorithm/Conventional Analysis, IEEE Trans. On Industrial Electronics, vol. 49. no. 1, Feb. 2002
- [5] Busquets-Monge, S, Soremekun, G., Hefiz, E., Crebier, C., Ragon, S., Boroyevich, D.; Gurdal, Z., Arpilliere, M., Lindner, D.K.: Power converter design optimization, IEEE Industry Applications Magazine, Vol: 10, Issue: 1, Jan-Feb 2004, pp:32 – 38
- [6] K. Sundareswaran, M. Chandra, Evolutionary Approach for Line Current Harmonic Reduction in AC/DC Converters, IEEE Trans. On Industrial Electronics, vol. 49. no. 3, Jun. 2002
- [7] B. Ozpineci, J. Pinto, L. Tolbert, Pulse-Width Optimization in a Pulse Density Modulated High Frequency AC-AC Converter using Genetic Algorithms, Proceedings of the 2001 IEEE Systems Man. and Cybernetics Conference.
- [8] J. Zhang, H. Shu-Hung et. Al, Implementation of Decoupled Optimization Technique for Design of Switching Regulators Using Genetic Algorithms, IEEE Trans on Power Electronics, vol. 16, no. 6, Nov. 2001
- [9] Zhang, J.; Wu, A.K.M.; Chung, H.S.H.; On the use of pseudo-coevolutionary genetic algorithms with adaptive migration for design of power electronics regulators, Circuits and Systems, 2001. ISCAS 2001. The 2001 IEEE International Symposium on, Volume: 3, 6-9 May 2001, pp:297 - 300 vol. 2
- [10] M. Nasir Uddin, Development and Implementation of a Genetic Algorithm Based Novel Fuzzy Logic Controller for IPM Motor Drives, Electrical Eng. Research Seminar Series, Dept. of Electrical Engineering, Lakehead University, Ontario, Canada.
- [11] Boris Benedičič, Tomaž Kmecl Gregor Papa, Barbara Koroušič-Seljak, Evolutionary Optimization of a Universal Motor, IECON'01: The 27th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society
- [12] M. Lankhorst, M. van der Laan, W. A. Halang Wavelet-Based Signal Approximation with Genetic Algorithms, Systems Analysis Modelling Simulation, Vol. 43, 11 / 2003, pp. 1503 - 1528
- [13] S. Loyka, Applying Genetic Algorithm to Modeling Nonlinear Transfer Functions, Electronics Letters, vol. 35, No. 10, 13th May 1999, pp.789-791.
- [14] Roberto Rossi, Valentino Liberali, and Andrea G. B. Tettamanzi, An Application of Genetic Programming to Electronic Design Automation: from Frequency Specifications to VHDL Code, 2001
- [15] P. Midya, P. Krein, Noise Properties of PWM Power Converters: Open Loop Effects, IEEE Trans. On Power Electronics, vol. 15, No. 6, Nov. 2000, pp. 1134-1143.

- [16] T S. Key, Jih-Sheng Lai, IEEE and International Harmonic Standards Impact on Power Electronic Equipment Design, IEEE IECON, New Orleans, LA, Nov. 1998, pp. 430-436.
- [17] D. Alexa, Adriana Sirbu - "Optimized Combined Harmonic Filtering System", IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 48, no. 6, 2001, pp. 1210-1218
- [18] D. Alexa, Adriana Sirbu and D.- M. Dobrea – "An Analysis of Three-Phase Rectifiers with Near Sinusoidal Input Currents", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Volume 51, Number 4, August 2004, pp. 884-891.
- [19] D. Alexa, Adriana Sirbu and T. Goras – "Topologies of three-phase rectifiers with near sinusoidal input currents.", IEE Proceedings Electric Power Applications, Vol. 151, No. 6, November 2004, pp. 673-678.
- [20] A. Sirbu, D. Alexa, I. Cleju, Robust Fourier Analysis of Variable Topology Systems in a Switched Bond-Graph Framework, Proceedings of 16-th International Association for Mathematics and Computers in Simulation World Congress IMACS'2000, Lausanne, Elvetia, 2000, CD-ROM, ISBN 3-9522075-1-9, 6 pag.
- [21] A. Sirbu, D. Alexa, I. Cleju, Optimal Design of Three-Phase Rectifiers with Almost Sinusoidal Input Currents Using Saber, Proceedings of 2nd European Conference on Intelligent Systems and Technologies ECIT'2002, Iasi, Romania, 17-20 iulie, 2002, ISBN 973-8075-20-3, CD-ROM, 8 pagini
- [22] A. Sirbu, D. Alexa, I. Cleju, T. Goras. , MATLAB-Based Design of Rectifiers with Almost Sinusoidal Input Currents, Proceedings of SCS'03, IEEE Catalog Number 03EX720, Library of Congress:2003106445 ISBN 0-7803-7979-9, pp.205-208.
- [23] Goldberg D.: Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Addison Wesley, 1989
- [24] D. Whitley, A Genetic Algorithm Tutorial, Statistic and Computing Journal, Chapman & Hall, 1994
- [25] J. Alander, An Indexed Bibliography of Genetic Algorithms in Power Engineering, Dept. of Information Technology and Production Economics, Univ. of Vaasa, Finland, [www.uvasa.fi/~jal](http://www.uvasa.fi/~jal)
- [26] Procesoarele digitale de semnal TMS320C2x – Manual de utilizare, Texas Instruments , 1998.
- [27] R. Arsinte – Procesoare digitale de semnal, Generatia TMS320C2X – Prezentare și aplicatii, Editura Promedia Plus, 1993.
- [28] TMS320C6x– Manual de utilizare, Texas Instruments, 2001
- [29] Texas Instruments Application Notes – Motor Control Overview, SPRB166b, 2004
- [30] <http://lancet.mit.edu/ga/>
- [31] S.J. Ovaska, T. Bose and O. Vainio, "Genetic algorithm-assisted design of adaptive filters for 50/60 Hz power systems instrumentation", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 54, no.5, pp.2041-2048, October 2005
- [32] X. Wang, X.Z. Gao and S. Ovaska "A hybrid optimization algorithm in power filter design," in Proceedings of the 31st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON'05), Raleigh, NC, 6-10 November, 2005, pp.1335-1340 Harmonic optimization of multilevel converters using genetic algorithms.
- [33] Ozpineci, B.; Tolbert, L.M.; Chiasson, J.N.; IEEE Power Electronics Letters, Vol, 3, Issue 3, Sept. 2005 Page(s):92 – 95)