

**UNIVERSITATEA „ȘTEFAN CEL MARE” SUCEAVA
FACULTATEA DE INGINERIE ELECTRICĂ ȘI ȘTIINȚA CALCULATOARELOR
DOMENIUL: INGINERIE ELECTRICĂ**

ing. Vasile-Eusebiu TOADER

**CONTRIBUȚII LA DEZVOLTAREA UNOR ACTUATOARE
SPECIALE ȘI A UNOR SISTEME DE CONTROL AL
ACESTORA**

REZUMAT

**Conducător științific
Prof. univ. dr. ing. Dan Laurențiu MILICI**

Suceava – 2021

CUPRINS

Introducere.....	8	3
Capitolul 1		
Materiale inteligente utilizate în proiectarea unor noi tipuri de actuatoare	10	6
1.1 Generalități	10	6
1.2 Clasificarea materialelor inteligente	11	6
1.3 Ferrofluide.....	12	-
1.3.1 Ferrofluide	12	-
1.3.2 Aplicații ale ferrofluidelor.....	13	-
1.4 Gadolinu.....	13	-
1.5 Aliaje pe baza de Nichel-Titan	14	-
1.5.1 Efect simplu de memorie a formei la Ni-Ti	15	8
1.5.2 Efect de memorie a formei în dublu sens la Ni-Ti	16	8
1.6 Aliaje pe bază de Aur	18	-
1.7 Aliaje pe bază de Cu	20	-
1.7.1 Aliaje de tip Cu-Al-Ni	20	-
1.7.2 Aliaje de tip Cu-Al-Ni-Mn	20	-
1.8 Materiale ceramice cu memoria formei	21	-
1.9 Polimeri cu memoria formei	22	-
1.9.1 Polimeri termoplastici și elastomeri cu memoria formei	22	-
1.9.2 Polimeri ionici	24	-
1.9.3 Polimeri conductivi	25	-
1.9.4 Polimeri cu rețele interpenetrante	26	-
1.10 Materiale piezoelectrice	27	-
1.10.1 Efectul piezoelectric	27	-
1.10.2 Actuatori piezoelectrice	27	-
1.10.3 Materiale piezocompozite	28	-
1.11 Concluzii	29	10
Capitolul 2		
Stadiul actual al cercetărilor în domeniul actualelor electro-mecanice cu materiale inteligente	32	12
2.1 Stadiul actual al cercetărilor în domeniul actualelor electro-mecanice cu material inteligente	32	12
2.1.1 Actuatori dezvoltate pe bază de polimeri	32	12
2.1.2 Actuatori și micromotore realizate cu materiale piezoelectrice.....	37	12
2.1.3 Motoare și actuatori cu bimetal	40	-
2.1.4 Actuatori și motoare dezvoltate pe bază de Nichel	42	-
2.1.5 Concluzii	44	-
2.2 Actuatori electro-termo-mecanice cu materiale inteligente dezvoltate în cadrul	45	

Centrul de Cercetare EMAD-USV Modele ale sistemului	13	
2.2.1 Actuatore cu arcuri de Nitinol	45	13
2.2.2 Actuatore și motoare electrochimice	46	14
2.2.3 Actuatore și motoare solare cu bandă bimetalică	49	-
2.2.4 Vibromotoare cu lamelă roluită, polimer cu rotor pahar.....	52	15
2.2.5 Vibromotoare magnetostrictive cu bară de terfenol și pinten de fricțiune.....	54	-
2.2.6 Microvibromotare piezoelectrice.....	56	-
2.3 Concluzii.....	56	17
Capitolul 3		
Contribuții la realizarea unui sistem de control ce folosește materiale inteligente.....	58	19
3.1 Noțiuni introductive.....	58	19
3.2 Descrierea sistemului automat de control.....	59	19
3.2.1 Determinarea experimentală și evaluarea performanțelor sistemului de comandă.....	60	-
3.3 Sistem securizat de control cu nitinol.....	64	21
3.3.1 Descrierea sistemului securizat de control cu nitinol.....	64	21
3.3.2 Date experimentale.....	66	-
3.4 Sistem de control al mișcării.....	66	22
3.4.1 Descrierea sistemului de control al mișcării.....	66	22
3.4.2 Date experimentale.....	71	23
3.5 Concluzii.....	74	24
Capitolul 4		
Dezvoltarea unei pompe cu nitinol	76	26
4.1 Noțiuni introductive	76	26
4.2 Considerații cu privire la realizarea unei micropompe cu Nitinol	77	26
4.3 Analiza performanțelor a micropompei cu nitinol	78	27
4.4 Concluzii.....	87	30
Capitolul 5		
Proiectarea și testarea unui motor cu gadolinu	88	32
5.1 Introducere	88	32
5.2 Descrierea construcției motorului cu Gadolinu.....	89	32
5.3 Descrierea construcției sistemului digital.....	91	33
5.4 Încercările experimentale ale motorului cu Gadolinu.....	95	35
5.5 Simularea funcționării motorului cu Gadolinu	102	36
5.5.1 Geometria modelului fizic.....	103	36
5.5.2 Condiții inițiale de analiză.....	103	-
5.5.3 Definirea elementelor structurale și asocierea proprietăților fizice.....	104	37
5.5.4 Parametrizarea mărilor geometrice și fizice.....	105	-
5.6 Rezultatele obținute prin simulare.....	106	-
5.7 Concluzii.....	113	38
Capitolul 6		
Contribuții la realizarea unui actuator cu polimeri	114	39
6.1 Generalități	114	39
6.1.1 Polimeri termoplastici și elastomeri cu memoria formei.....	114	39
6.2 Realizarea modelului experimental	116	-

6.3 Testarea polimerului	121	39
6.4. Determinarea și analiza datelor experimentale.....	124	42
6.4 Concluzii	128	44
Capitolul 7		
Concluzii finale	130	45
Glosar de termeni	134	-
Referințe bibliografice	135	49
Anexe	147	-

INTRODUCERE

[5], [146]

Ingineria materialelor inteligente este abia la început. Cu toate acestea, rezultatele deja existente au confirmat posibilitatea utilizării materialelor inteligente în câteva direcții high-tech. Domeniile și aplicațiile în care sunt utilizate materialele inteligente în prezent sunt numeroase: micromotoare, robotică, medicină (chirurgie – organe și filtre artificiale, ortopedie – implanturi, oftalmologie). Cele mai importante fenomene de memoria formei sunt: efectul pseudoelastic sau pseudoelasticitatea (PSE), efectul simplu de memoria formei (EMF), efectul de memoria formei în dublu sens (EMFDS) și efectul de amortizare a vibrațiilor (EAV) [5].

Sistemele inteligente viabile reprezintă combinarea de materiale noi /avansate, senzori inovativi, microcomputere, inteligența artificială, rețele neurale și diverse tehnologii emergente [146].

Materialele inteligente ("smart / intelligent materials") au proprietatea de a se auto-adapta la stimuli externi. Funcțiile acestor materiale se manifestă inteligent în funcție de schimbările mediului exterior.

Răspunsul materialelor active la schimbările de mediu (stimuli) poate consta în modificarea lungimii materialului, modificarea vâscozității, a conductivității electrice s.a.

Forța exterioară aplicată poate fi clasificată în trei categorii:

- câmp electric – ceramici electrostrictive, piezoelectrice și polimeri piezoelectrics;
- câmp termic – aliaje cu memoria formei;
- câmp magnetic – materiale magnetostrictive și materiale magnetice cu memoria formei (aliaje feromagnetice cu memoria formei) [146].

Conceptul de material inteligent derivă de la formele inteligente ale sistemelor (materialelor) naturale, adică organismele vii. Ca urmare, materialele inteligente sunt concepute ca materiale care îndeplinesc funcțiile naturale de detecție (*sensing*), comandă (*actuation*), control și învățare [146].

Noțiunea de material inteligent poate fi extinsă la un nivel mai înalt de inteligență artificială prin încorporarea unei "funcții de învățare". De aici rezultă un *material super inteligent* care poate detecta variațiile mediului și-și poate modifica caracteristicilor proprii astfel încât să controleze variațiile care au generat această modificare. S-au dezvoltat, astfel, noțiunile de *inteligență pasivă* (care permite doar reacția la mediu) și de *inteligență activă* (care reacționează în mod discret la constrângeri mecanice, termice sau electrice exterioare, ajustându-și caracteristicile printr-un sistem de feed-back) [146].

Actuatorii (care ar trebui să se cheme *acționatori*) sunt constituiți din materiale inteligente capabile să efectueze o acțiune sau au la bază motoare. Ei au capacitatea de a-și modifica: forma, rigiditatea, poziția, frecvența vibrațiilor intense, capacitatea de amortizare, frecarea internă și vâscozitatea, ca reacție la variațiile de temperatură, câmp electric sau magnetic. Cele mai

răspândite materiale pentru actuatori (numite și materiale reactive sau adaptive) sunt: materialele cu memoria formei, materialele piezoelectrice, materialele electro- și magnetostrictive precum și materialele electro și magnetoreologice [146].

Materialele inteligente, care au mai fost numite: *senzoriale, adaptive, metamorifice, multifuncționale* sau *deștepte*, sunt obiectul colaborării specialiștilor din trei domenii: știința materialelor, inginerie mecanică și construcții civile și pot combina funcția de actuator cu cea de senzor. Cea mai eficace metodă de obținere a materialelor inteligente este asamblarea de particule (*particle assemblage*) care se poate realiza fie prin atașarea, fie prin integrarea elementelor active într-o structură unitară [146].

Un ansamblu de materiale inteligente, analizat la scară macroscopică, dar integrat la scară microscopică poartă denumirea de *structură inteligentă*. Ea se poate auto-monitoriza, reacționând unitar la orice stimul extern. Cea mai simplă structură materială inteligentă este alcătuită dintr-un senzor, un actuator și un amplificator de feed-back. Între senzor și actuator poate să existe sau nu un cuplaj mecanic, prima variantă fiind mult mai eficace, deoarece culegerea informației și acționarea se produc în același punct [146].

În urma studiului, dezvoltării și implementării materialelor inteligente în diverse sisteme materiale a apărut noțiunea de "viață artificială" (a-life) dedicată creării și studiului unor organisme și sisteme de organisme construite de oameni. În conformitate cu conceptul a-life, sistemele materiale inteligente sunt astfel concepute încât să poată manifesta atât caracteristici adaptive (pot fi "educate" sau pot reacționa în mod spontan la mediu) cât și posibilitatea de-a transmite informații la proiectant și utilizator [146].

În cadrul Centrului de Cercetare în domeniul Mașini, Aparate și Acționări Electrice (EMAD), organizat în cadrul Universității „Ștefan cel Mare” Suceava, începând cu anul 1995 au fost demarate cercetări cu privire la realizarea unor noi actuatoare și motoare pe baza materialelor cu memoria formei, studii concretizate în nenumeroase articole științifice și brevete de invenție, dar și în finalizarea a 5 teze de doctorat.

Teza de doctorat „*Contribuții la dezvoltarea unor actuatoare speciale și a unor sisteme de control al acestora* ” are în componența sa un număr de 7 capitole în care sunt evidențiate principalele contribuții realizate în cadrul Laboratorului de inventică și transfer tehnologic al Universității din Suceava, o introducere și referințe bibliografice.

Capitolul 1, *Materiale inteligente utilizate în proiectarea unor noi tipuri de actuatoare* prezintă detalii cu privire la proprietățile materialelor inteligente disponibile pe piață și tipurile de aliaje ce reacționează sub acțiunea temperaturii sau pot fi controlate electric. Sunt prezentate caracteristicile și clasificarea acestora.

Capitolul 2, *Stadiul actual al cercetărilor în domeniul actuatorilor electromecanice cu materiale inteligente*, are la bază un studiu bibliografic ce oferă detalii cu privire la aplicații dezvoltate odată cu descoperirea aliajului cu memoria formei, tipuri de actuatoare care sunt utilizate în diferite domenii ce utilizează elemente active din nitinol și principalele realizări de până acum în cadrul Centrului de Cercetare și Dezvoltare EMAD al USV sub coordonarea regretatului prof. dr. ing. Dorel Cernomazu.

Capitolul 3, *Contribuții la realizarea unui sistem de comandă*, prezintă contribuțiile autorului cu privire la dezvoltarea unui sistem de control al comenzilor, realizat sub forma unui

joystick ce are la bază un material inteligent care controlează deplasarea în diverse direcții în funcție de modul de acționare. Sunt prezentate trei variante constructive ce pot fi utilizate separat sau împreună. O variantă permite utilizarea joystick-ului dacă rezistența între degetul arătător și podul palmei are o valoare într-un interval dat. O a doua variantă permite utilizarea joystick-ului dacă acesta este mânuit corect, deblocarea realizându-se cu ajutorul unui arc de nitinol. Cea de a treia variantă se referă la un sistem de control al mișcării unui robot folosind același tip de arc de nitinol ce acționează saboți de frână. Toate cele trei sisteme proiectate, realizate și testate vin să crească siguranța în exploatare a unor sisteme de comandă și control și să reducă posibilitatea realizării unor comenzi false.

În capitolul 4, *Dezvoltarea unei micropompe realizată cu nitinol*, este prezentat studiul unui stand realizat și testat dedicat unui sistem de pompare, controlat cu precizie, care este acționat cu un material inteligent. Sistemul de pompare este de tip seringă iar deplasarea pistonului înainte-înapoi se face cu două arcuri de nitinol alimentate succesiv. Alimentarea cu lichid a sistemului de pompare se face cu ajutorul unei electrovalve. Atât funcționarea electrovalvei cât și timpii de alimentare a celor două arcuri cu nitinol sunt comandate dintr-un microsistem programabil.

Capitolul 5, *Proiectarea și testarea motorului cu gadoliniu*, prezintă contribuțiile privind realizarea și testarea performanțelor unui motor de joasă turație care are pe rotor pastile de gadoliniu. Funcționarea motorului are la bază proprietățile gadoliniului care la temperaturi diferite poate fi magnetic respectiv paramagnetic (la mai mult de 24 grade Celsius). Încălzirea pastilelor s-a realizat cu aer cald iar răcirea s-a realizat prin două metode, una din ele în apă iar cea de a doua într-un mediu răcit de la un sistem frigorific. Pentru a fi posibilă rotația rotorului circular a fost nevoie ca acesta să fie trecut printr-un câmp magnetic produs de doi magneți permanenți cu neodiniu. Capitolul prezintă un model matematic realizat prin metoda elementului finit, rezultatele acestei modelări fiind verificate experimental pe prototipul proiectat și realizat.

Capitolul 6, *Contribuții la realizarea unui actuator cu polimer*, prezintă încercările realizate pentru analiza modului în care s-ar putea realiza un actuator pe baza foliei VHB dublă adezivă. S-au realizat încercări cu straturi de pilitură fină de fier, cupru, toner magnetic de copiator, ferrofluid și folie de aluminiu. Pentru a putea activa actuatorul, s-a folosit o sursă de înaltă tensiune.

Concluziile finale, principalele contribuții științifice teoretice și experimentale rezultate în urma studiilor efectuate, precum și direcțiile ulterioare de studiu sunt prezentate în capitolul 7.

Teza de doctorat are în final o bibliografie cu 174 de poziții dintre care 28 sunt publicații pe parcursul dezvoltării tezei de către colectivul de cercetare din care autorul a făcut parte și o serie de anexe.

Capitolul 1

MATERIALE INTELIGENTE UTILIZATE ÎN PROIECTAREA UNOR NOI TIPURI DE ACTUATOARE

[3], [4], [8], [9], [10], [11], [27], [28], [82], [88], [96], [121], [134]

1.1. GENERALITĂȚI

Istoria materialelor cu memoria formei a început prin anii '32, odată cu descoperirea unui aliaj Au-Cd care prezenta la temperatura camerei o elasticitate surprinzătoare – de aprox. 8 % - care a fost numită de "tip cauciuc". Efectul propriu-zis de memoria formei a fost descoperit mai întâi la Au-Cd în 1951 și apoi la In-Tl în 1953. La acestea s-au adăugat și alte aliaje neferoase dintre care cele mai importante sunt: Cu-Zn (1956), Ti-Ni (1963), Cu-Al-Ni (1964) și Cu-Zn-Al (1970) precum și o serie de aliaje feroase cum ar fi: Fe-Mn-Si, Fe-Ni-Co-Ti și Fe-Ni-C [8], [96]. Prima aplicație a materialelor cu memoria formei a fost expusă în 1958 la Târgul Internațional de la Bruxelles. Este vorba despre un dispozitiv ciclic de ridicare acționat de un monocristal de Au-Cd care ridică o greutate dacă era încălzit și o cobora dacă era răcit. Primele experimente legate de fenomenele de memoria formei (pseudoelasticitate, efect simplu de memoria formei, efect de memoria formei în dublu sens, efect de amortizare a vibrațiilor, efecte premartensitice, etc.) au fost efectuate pe monocristale. Cum monocristalele aliajelor pe baza de cupru se obțin mai ușor, acestea au fost materialele experimentale care au permis, în anii '70, stabilirea atât a originii microstructurale a fenomenelor de memoria formei cât și a legăturii dintre acestea și transformarea martensitică [11]. "Vedeta" materialelor cu memoria formei este în mod incontestabil aliajul NITINOL, numit astfel după Ni-Ti și Naval Ordnance Laboratory (actualmente Naval Surface Warfare Center) – locul unde a fost descoperit. Aliajul Ni-Ti prezintă în stare policristalină excelente caracteristici legate de fenomenele de memoria formei, cum ar fi capacitatea de înmagazinare a energiei elastice la încărcarea izotermă (42 MJ/m^3) sau deformațiile maxime care pot fi recuperate în cadrul memoriei mecanice (10%) sau termice (8%). S-a calculat că în 50 l de Nitinol se poate înmagazina tot atâta energie cât în motorul unei mașini [9].

Asupra aliajelor cu memoria formei se aplică o serie de transformări la diferite temperaturi, fapt ce reprezintă o transformare moleculară denumită *martensită*, corespunzătoare unor temperaturi joase, respectiv *austenită*, la temperaturi ridicate.

1.2. CLASIFICAREA MATERIALELOR INTELIGENTE

Materialele inteligente se pot clasifica astfel [8]:

- aliaje cu memoria formei;
- materiale ceramice piezoelectrice;
- materiale magnetorezistive;
- ferrofluide.

Aliajele cu memoria formei constituie o parte din grupa materialelor inteligente ce au capacitatea de a răspunde la o serie de stimuli externi. Capacitatea aceasta constă în modificarea proprietăților sub acțiunea stimulului extern sau modificarea formei și revenirea acestuia la forma inițială după încetarea acțiunii stimulului. Modificarea formei cauzată de schimbarea temperaturii poartă denumirea de efect de memorie a formei indus termic.

Datorită proprietăților speciale ce le dețin, acestea oferă largi domenii de aplicabilitate. În ultima perioadă se observă eforturi susținute de cercetare și dezvoltare a materialelor noi. Limitele acestui domeniu de cercetare sunt încă departe de a fi atinse.

Denumirea de aliaje cu memoria formei definește un set de materiale care au abilitatea de a reveni la forme predefinite atunci când le este aplicată o anumită procedură termică. Materialele care își schimbă forma doar la temperaturi ridicate sunt cu efect de memorie într-un singur sens, denumit EMF (efect de memorie a formei). Sunt și materiale ce își pot schimba forma și la temperaturi joase EMFDS (efect de memorie în dublu sens) [9].

Primele descoperiri ale efectului de memorie a formei datează din 1932 când a fost pus în evidență reversibilitatea transformării în aliaje prin schimbarea rezistivității și observații metalografice. Fenomenul de memoria formei s-a realizat mai târziu pe un aliaj dintre nichel și titan NiTi. Aliajele cu memoria formei au constituit încă de la începutul descoperirii lor o latură inedită și interesantă a metalurgiei, prin reacția prin care pot transforma direct energia termică în energie mecanică.

Aliajele cu memoria formei sau materialele inteligente se pot clasifica după mai multe criterii. Un criteriu dintre acestea îl reprezintă elementul de bază al acestor aliaje.

Un criteriu de clasificare al materialelor inteligente poate fi [8]:

- aliaje ale metalelor neferoase;
- aliaje ale metalelor feroase.

Un alt criteriu de clasificare este reprezentat de costul acestor materiale:

- aliaje exotice: In-Ti, Cu-Zn-Ga, etc.;
- aliaje prețioase care au în compoziție: Au, Ag, Pt, Pd, etc.;
- aliaje cu fier: Fe-Pt, Fe-Ni, Fe-Mn, Fe-Mn-Si, Fe-Ni-Ti-Co, etc.;
- aliaje cu cupru: Cu-Al, Cu-Zn, Cu-Mn-Al, etc.

Piezoelectricitatea se manifestă prin apariția sarcinilor electrice pe suprafețele unui monocristal care este deformat mecanic și apare numai în anumite materiale izolatoare.

Materialele piezoelectrice sunt [9]:

- cuarț;
- titanat de bariu (BT);
- titanat-zirconat de plumb (PZT);
- titanat-zirconat de plumb și lantan (PLZT);
- fluorură de poliviniliden (PVDF).

Materialele magnetostrictive, care pot fi atât cristaline cât și amorfe, au proprietatea de a transforma energia magnetică în energie mecanică și reciproc. Materialele magnetostrictive se pot clasifica în:

- terfenol;
- materiale magnetostrictive cu memoria formei (FePd, Ni-Mn-Ga, Ni₂MnGa).

1.5.1. Efect simplu de memorie a formei la Ni-Ti

Din cauza înaltei reactivități a Ti, în special în stare topită, Nitinolul conține adesea oxigen. Din acest motiv, pe lângă soluția solidă pe bază de NiTi (β – austenită sau α – martensită), în microstructura Nitinolului apar în mod invariabil oxizi. acești oxizi au o puternică influență asupra comportării aliajului. În primul rând, datorită stratului aderent și pasiv pe care îl formează la suprafața aliajului, oxizii, în special cel de Ti_4Ni_2O , imprimă o foarte ridicată rezistență la coroziune. În al doilea rând, oxigenul poate fi dizolvat interstițial fapt ce duce la apariția unor suprafețe ale așa numitului „suboxid”.

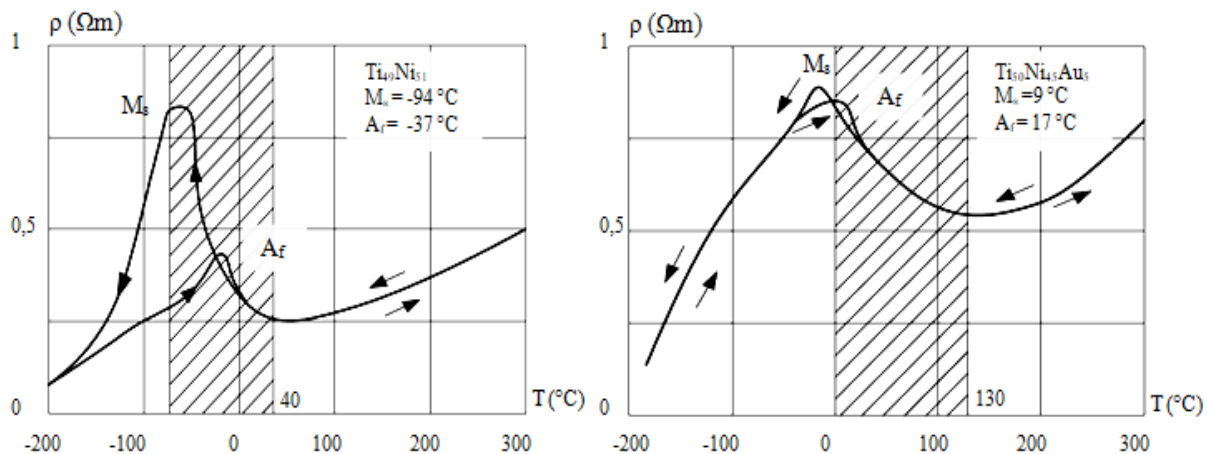


Fig. 1.3. Variația rezistivității electrice cu temperatura prin EMF și anomalia de rezistivitate (zonele hașurate) [8]

Prezența suboxidului, ca rezultat al reactivității titanului în topitură sau al contaminării probelor, în urma încălzirii la temperatura de peste 200 $^{\circ}C$, împreună cu cea a hidrogenului, sunt cauzele care duc la apariția unei variații anormale a rezistivității electrice, în funcție de temperatură, în domeniul premartensitic. În figurile de mai jos sunt prezentate două anomalii de rezistivitate pentru NiTi. Comportarea anormală constă în creșterea rezistivității de la o anumită temperatură premartensitică și până la M_s [8].

Cercetările au arătat că nu este vorba despre un efect premartensitic și nici într-un caz de o transformare de fază R. În Fig. 1.3.b, s-a putut constata efectele înlocuirii unei părți din Ni cu un al treilea element de aliere, în timp ce Ti a fost păstrat la 50%. Este evident că s-a obținut o îmbunătățire a comportamentului de memorie și în primul rând, o reducere a histerezisului de transformare [8].

1.5.2. Efectul de memorie a formei în dublu sens la Ni-Ti

La fel ca și PSE și EMF, EMFDS la aliajul NiTi reprezintă un exemplu de referință al comportamentului de memorie a formei. Din acest motiv, memoria dublă a Nitinolului este prezentată de fiecare dată când se dorește exemplificarea EMFDS.

Ceea ce trebuie reținut, în legătură cu EMFDS, este că cele două forme „memorate” și reproduse spontan prin educare nu sunt forma caldă și cea rece ci două forme „intermediare”. Această caracteristică este reprezentată în Fig. 1.4., unde s-au prezentat transformări complete, marcate prin curbe deformație – temperatură sub sarcină. Una din condițiile obținerii unui EMFDS stabil și eficient, reprezintă creșterea numărului de cicluri de educare. Odată cu creșterea numărului de cicluri N se observă mai multe tendințe [8], [10]:

1. temperatura M_s se deplasează spre valori mai ridicate (cca 20 $^{\circ}C$ după 100 cicluri);

2. alungirea totală crește cu aproximativ 0,25% după 100 cicluri;
3. temperatura A_s crește foarte puțin (3 °C după 100 cicluri);
4. se obține o deformare permanentă cumulată ε_p tot mai mare și o deformare recuperabilă ε_{rec} tot mai mică.

Așadar, după 100 cicluri, se poate observa reducerea histerezisului termic, concomitent cu stabilizarea buclei de transformare. Dacă ciclajul termic se aplică în absența tensiunii, la probe apare o tendință de reducere a temperaturilor de transformare. Explicația acestor fenomene se bazează pe distribuția câmpurilor de tensiuni ale dislocațiilor produse prin cablaj termic. Ciclajul sub sarcină produce o rearanjare a configurației de dislocații, formate sub efectul tensiunii [8], [10]. Astfel, prin ciclaj termic, câmpurile de tensiuni sunt relaxate, densitatea dislocațiilor nu mai crește iar transformarea martensitică este ușurată și se poate produce la o temperatură din ce în ce mai mare [27].

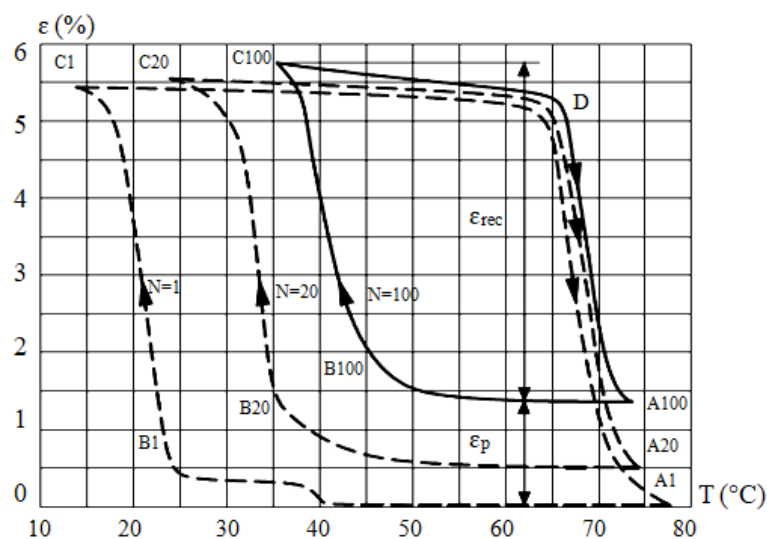


Fig. 1.4. Ciclu termic sub tensiune constantă la NiTi [8]

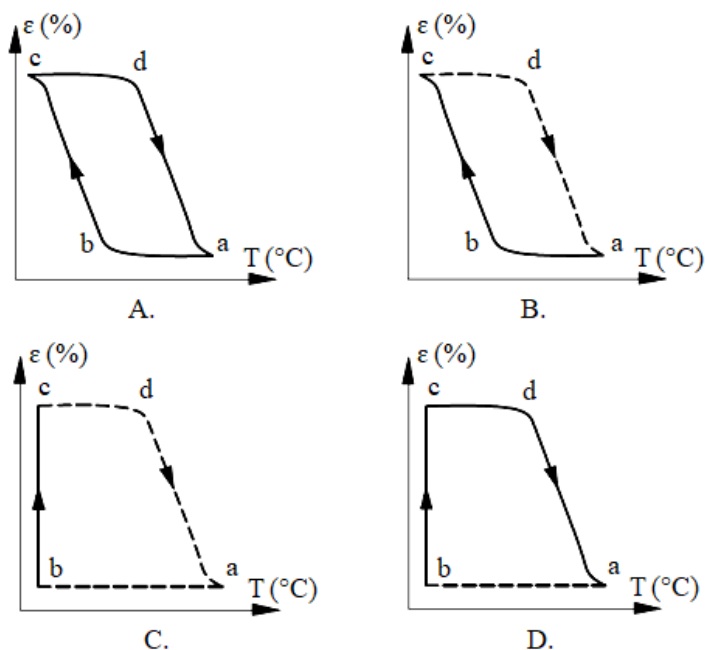


Fig. 1.5. Proceduri de educare a sârmelor din aliaj Ti-50,2%at.Ni

A – educare sub sarcină; B – educare cu răcire sub sarcină; C – educare cu aplicarea sarcinii după răcire;

D – educare sub sarcină aplicată după răcire și menținută constantă pe toată durata încălzirii. [4], [8]

Un alt rol deosebit în obținerea EMFDS îl joacă metoda de educare. Deși varietatea metodelor de educare este destul de largă, s-au prezentat doar patru dintre procedurile principale de educare la care sarcina a fost aplicată în domeniul austenitic și menținută la răcire sau a fost aplicată numai după efectuarea răcirii. Revenirea se poate face sub tensiune sau în absența acesteia.

Pentru aliajele NiTi, cu compoziție aproape echiatomică, la analizele la oboseală s-au introdus limite la oboseală la zece milioane de cicluri, a cărei valoare crește la scăderea temperaturii M_s a aliajului. În acest sens, s-au obținut limite ale rezistenței la oboseală după 10^7 cicluri de cca 400 MPa pentru aliajele Ti-55%Ni, cu $M_s = -30$ °C [8].

1.11. CONCLUZII

Se cunoaște o mare varietate de materiale inteligente care se deosebesc prin tipul stimulului extern, modul de reacție la stimul, tipul de elemente chimice ce intră în compoziția lor, caracteristicile mecanice, termice, chimice și electromagnetice ale acestora.

Aliajele cu memoria formei constituie o parte din grupa materialelor inteligente ce au capacitatea de a răspunde la o serie de stimuli externi. Capacitatea aceasta constă în modificarea proprietăților sub acțiunea stimulului extern sau modificarea formei și revenirea acestuia la forma inițială după încetarea acțiunii stimulului. Modificarea formei cauzată de schimbarea temperaturii poartă denumirea de efect de memorie a formei indus termic. Materialele care își schimbă forma doar la temperaturi ridicate sunt cu efect de memorie într-un singur sens, denumit EMF (efect de memorie a formei). Sunt și materiale ce își pot schimba forma și la temperaturi joase EMFDS (efect de memorie în dublu sens).

Principalele aliaje cu memoria formei sunt Cu-Zn, Ti-Ni, Cu-Al-Ni, Cu-Zn-Al, Fe-Ni-Co-Ti, Fe-Ni-C, Fe-Pt, Fe-Ni, Fe-Mn, Fe-Mn-Si, Fe-Ni-Ti-Co, Cu-Al, Cu-Zn, Cu-Mn-Al.

Piezoelectricitatea apare numai în anumite materiale izolatoare și se manifestă prin apariția sarcinilor electrice pe suprafețele unui monocristal care este deformat mecanic.

Primul material ceramic mediatizat, cu memoria formei, este bioxidul de zirconiu (ZrO_2) sau zirconia. La materialele ceramice a fost dezvoltat un concept nou de „memoria formei”: transformările de fază induse termic sau prin tensiune fiind înlocuite prin variația deformării elastice produsă de transformarea de fază indusă de câmpul electric, magnetic, etc. La ora actuală gama materialelor ceramice cu memoria formei include: titanați, zirconiați, manganiați, niobiați, teluride, etc.

Polimerii cu memoria formei sunt o clasă nou-apărută de polimeri activi care au capacitatea de a adopta două forme diferite. Fenomenul de memoria formei la polimeri rezultă prin combinarea morfologiei polimerilor cu procedeele specifice de prelucrare. Printr-o prelucrare convențională, cum ar fi extrudarea sau injectarea în formă, polimerului i se imprimă o formă permanentă. Apoi, prin intermediul unui proces numit „programare”, polimerului i se imprimă o formă temporară, care este fixată. La aplicarea unui stimul extern, polimerul își redobândește forma inițială permanentă. Ciclul de programare și recuperare poate fi repetat de mai multe ori, cu diferite forme temporare, în ciclurile următoare.

Cele mai reușite aplicații cu memoria formei le au polimerii termocontractabili, folosiți cu precădere la obținerea mantalelor (tecilor) de la conductorii electrici „grei” și în general la orice izolare electrică eficientă și operativă. La încălzire, polimerii termocontractabili se strâng asigurând astfel, de exemplu, izolarea unui mănunchi de conductori electrici sau cuplarea a două capete de conducte pneuno-hidraulice. Alți polimeri termoplastici cu memoria formei sunt: poliizoprenul, copolimerul de butadien-stirenă, poliuretanul, polietilena, etc. Pe lângă temperatură, efectul de memoria formei la polimeri mai poate fi obținut prin aplicarea câmpurilor electric, magnetic, prin radiații, schimbări ale pH-ului.

Din analiza documentară, pornind de la faptul că deformarea materialelor inteligente la apariția unui stimul extern este asociată cu generarea unor forțe, se poate deduce posibilitatea de folosire a unor astfel de materialele pentru dezvoltarea unor actuatoare și motoare speciale.

Capitolul 2

STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR ÎN DOMENIUL ACTUATOARELOR ELECTRO-TERMO-MECANICE CU MATERIALE INTELIGENTE

[15], [16], [17], [18], [19], [22], [34], [35], [51], [52], [57], [67], [69], [71], [74], [77], [82], [88], [92], [97], [99], [103], [107], [110], [141], [143], [145]

Există numeroase soluții constructive dezvoltate pe plan mondial de actuatori și motoare ce au la bază materialele inteligente și care funcționează pe principiul conversei energiei electrice și/sau termice în energie mecanică. Cu toate acestea, datorită dezvoltării continue a domeniului materialelor inteligente, prin apariția de noi materiale și identificarea unor noi proprietăți ale acestora, există perspective de proiectare de noi astfel de sisteme de acționare prin inovare. Acestea au caracteristici îmbunătățite în ceea ce privește cuplul dezvoltat, gabaritul, fiabilitatea.

2.1. STADIUL ACTUAL AL CERCETĂRILOR ÎN DOMENIUL ACTUATOARELOR ELECTRO-TERMO-MECANICE CU MATERIALE INTELIGENTE

2.1.1. Actuatori dezvoltate pe bază de polimeri

În funcție de natura polimerilor utilizați ca elemente active de acționare se disting trei categorii de actuatori realizate cu polimeri: actuatorii pe bază de geluri polimerice, cei pe bază de polimeri conductivi precum și cei pe bază de polimeri electrostrictivi.

Un alt actuator pe bază de polimeri este prezentat în Fig. 2.3. În elementul cilindric (4), se găsește un film polimeric ionic conductiv (1). Un capăt al acestuia este fixat între electrozii din platină (2) și (2'), în legătură cu conductorii (3) și (3').

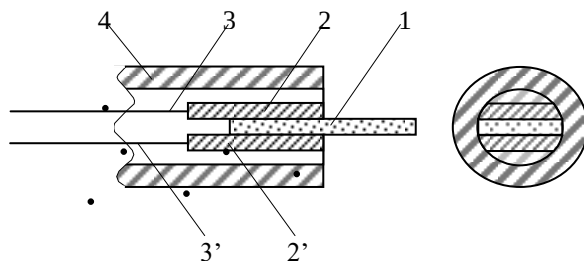


Fig. 2.3. Explicativă la funcționarea unui actuator cu film polimeric ionic conductiv - reprodus după [90]

2.1.2. Actuatori și motoare dezvoltate pe bază de nitinol

O altă variantă de motor cu nitinol este cel cu rotor excentric care folosește ca elemente de acționare, fire din nitinol. Rotorul este constituit din două inele, unul fiind central, iar celălalt fiind excentric, în care sunt dispuse 24 de elemente (spițe) de orientare a firelor de NiTi. Statorul este

format din două bazine de apă rece, respectiv apă caldă,. Între cele două bazine, se găsește un element izolator care are rolul de a împiedica transferul de căldură dintre cele două bazine.



Fig. 2.21. Motor cu Ni-Ti excentric - reprodus după [71]

Nitinolul are aplicații diverse în medicină. Aliajele nichel-titan (Nitinol) au devenit unul din materialele cele mai utilizate pentru stenturi cu auto-extindere, proteze, dispozitive pentru intervenție minim invazivă și proceduri endoscopice.



Fig. 2.22. Mână protetică realizată cu fire din Nitinol [145]

Cercetătorii de la Universitatea Saarland au construit o mână artificială Fig. 2.22.), cu mușchi din mănunchiuri de fire „inteligente” din Nitinol. Sub acțiunea câmpului electric aceste fire ajung să fie încordate sau să se relaxeze, ceea ce înseamnă că mâna poate funcționa fără electronice voluminoase și greoaie care adesea fac mâinile protetice artificiale nepracticabile [145].

2.2. ACTUATOARE ELECTRO-TERMO-MECANICE CU MATERIALE INTELIGENTE DEZVOLTATE ÎN CADRUL CENTRULUI DE CERCETARE EMAD-USV

2.2.1. Actuatoare cu arcuri de Nitinol

În cadrul Laboratorului de inventică și transfer tehnologic din USV s-a realizat un prototip al unei micropompe electromecanice – picurător ce are ca scop dozarea unei cantități bine determinate de lichid (de la picături până la curgere fluentă) în funcție de poziția obținută cu

elemente active din material inteligent, fapt controlat prin intermediul curentului electric de către un dispozitiv ce poate fi programat sau comandat de către operatorul uman.

Prototipul picurătorului Fig. 2.24. este constituit dintr-un recipient cilindric (1) în care este stocat lichidul, al cărui piston (5), este acționat prin intermediul elementelor din Nitinol (6a), (6b), (6c) și (6d). Lichidul din cilindrul central va fi dispersat către alte trei recipiente (10a), (10b) și (10c), al căror orificii de alimentare sunt situate la nivele diferite în recipientul (1). În funcție de poziția elementelor din Nitinol, alimentate de către o sursă de tensiune prin intermediul bornelor (14) și (14'), prin care este stabilit curentul electric aplicat, acestea vor permite lichidului să umple recipientele pe rând, astfel obținându-se cantitatea dorită [53].

Prototipul micropompei de picurare a fost propus spre brevetare și realizat pe baza proiectului prezentat mai sus fapt ce arată că un astfel de dispozitiv poate fi reprodus în mai multe exemplare fără a-i fi modificate performanțele.

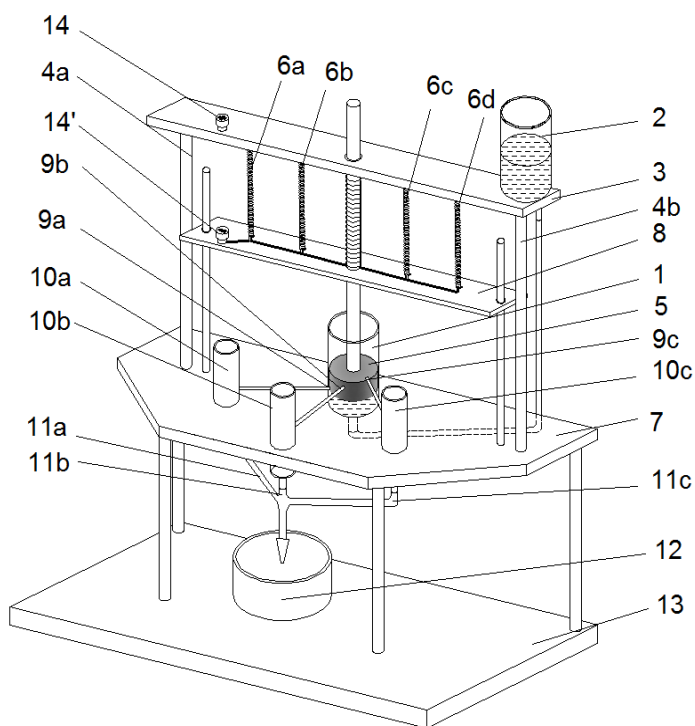


Fig. 2.24. Desen de principiu al picurătorului [51]

2.2.2. Actuatore si motoare electrochimice

În cadrul Centrului de Cercetare EMAD, au fost realizate o serie de cercetări cu privire la implementarea unor noi variante de actuatore și micromotoare realizate pe baza unor geluri polimerice. Cercetările realizate de echipa condusă de reputatul profesor universitar dr. ing. Dorel Cernomazu și compusă din: I. Nițan, M. R. Milici, L. D. Milici, I. Romaniuc, C. Ungureanu, E. D. Olariu, M. Pavăl, O. M. Țanța, s-au concretizat într-un număr de aproximativ 25 de brevete de invenție și o serie de lucrări științifice prezentate în cadrul unor conferințe naționale și internaționale.

Una din direcțiile de dezvoltare a unor actuatore și motoare speciale a fost utilizarea unor polimeri electrostrictivi (polimeri pe bază de polimetilmetacrilat - PMMA), care au capacitatea de stricțiune mult mai mare decât a materialelor piezoelectrice ($10 \div 30$ % comparativ cu $0,1 \div 0,3$ %).

Astfel fost realizat o variantă de micromotor cu rotor rulant ilustrată în fig. 2.26, respectiv fig. 2.27. dintr-un rotor în formă de disc (1), fixat pe un ax (2), care se sprijină pe o suprafață

orizontală (5), asemenea unui titirez în repaos, rostogolindu-se sub acțiunea unor actuatoroare electrochimice cu polimeri electrostrictivi A, B, C și D, ce au o poziție și o direcție de acțiune axială, fiind plasate, pe suportul (5), echidistant, după un traseu circular acționând asupra rotorului, prin intermediul unor tije de acționare [35], [97].

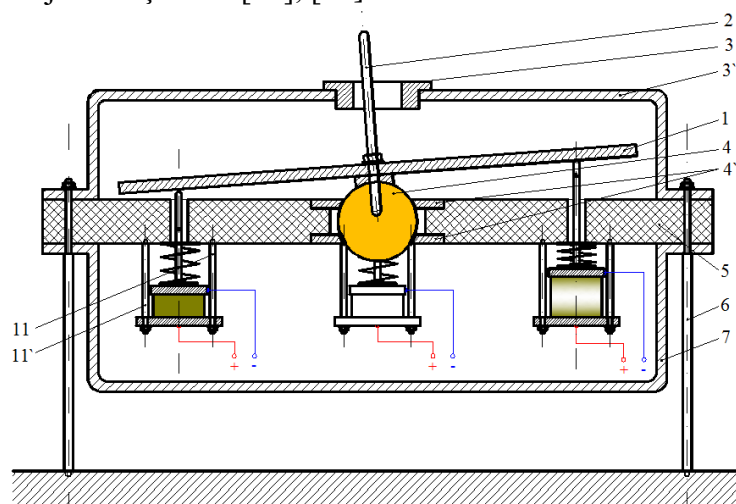


Fig. 2.26. Micromotor electrochimic cu rotor rulant realizat cu polimeri electrostrictivi – secțiune longitudinală, [97]

1 – rotor rigid; 2 – ax vertical; 3 – lagăr de alunecare cu joc; 3' – scut portlagăr;
4 – articulație tip "nucă"; 4' – inele de sprijin; 5 – placă suport; 6, 6' – tije filetate; 7 – scut lateral

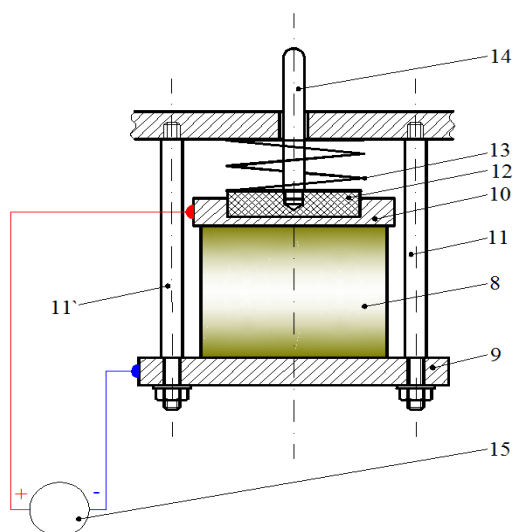


Fig. 2.27. Detaliu privind realizarea unui actuator cu polimeri electrostrictivi [22], [57]

8 – piesă cilindrică; 9 – electrod fix;
10 – electrod mobil; 11, 11' – tiranți; 12 – suport electroizolant; 13 – resort antagonist; 14 – tijă de acționare; 15 – sursă de curent continuu

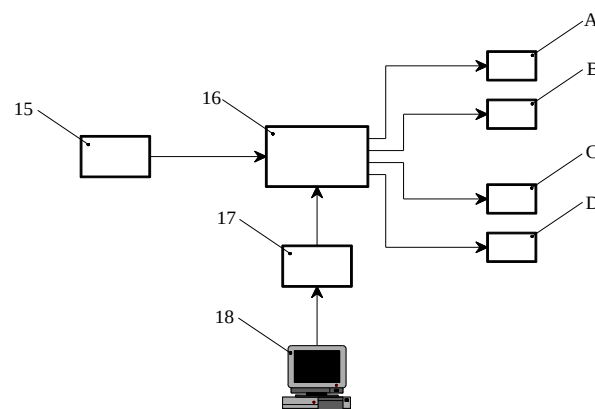


Fig. 2.28. Schema bloc pentru alimentare și comandă a actuatorului cu polimeri electrostrictivi [57]

15 – sursă de curent continuu; 16 – distribuitor de impulsuri; 17 – bloc pentru elaborarea comenzilor;
18 – calculator; A, B, C, D – actuatoroare electrochimice.

2.2.4. Vibromotoare cu lamelă roluită, polimeri și rotor pahar

În cadrul Laboratorului de invenție al Universității Ștefan cel Mare, cercetările în domeniul vibromotoarelor realizate de echipa prof. D. Cernomazu, N. Sorea, I. Nițan, M. R. Milici, L. D. Milici, M. Rață, C. Prodan, A. N. Romanescu, C. Ungureanu, E.D. Olariu, M. Poienar, O. M. Țanța, au dus la obținerea a patru variante distincte de vibromotoare pe bază de polimeri și lamelă

roluită constituite dintr-un stator și un rotor. Statorul reprezintă în fapt, un vibrator electrostrictiv, constituit dintr-un electrod interior 1, realizat sub formă de prismă hexagonală [103].

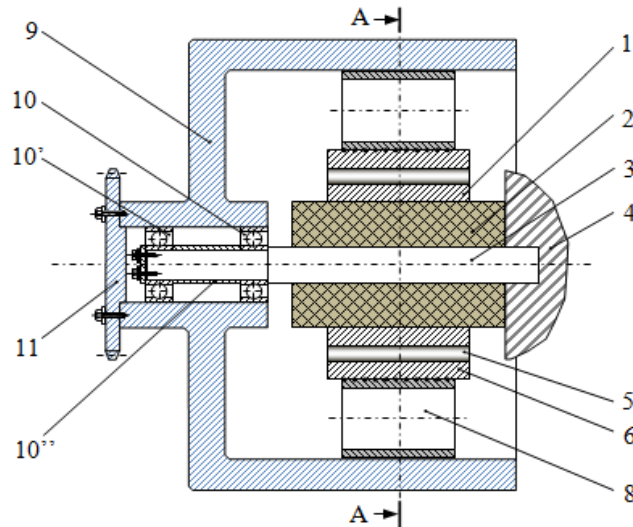


Fig. 2.37. Vibromotor cu polimeri electrostrictivi – secțiune longitudinală [103]

1 – electrod; 2 – butuc electroizolant; 3 – ax; 4 – suport; 5 – plăcuțe din polimer electrostrictiv; 6 – plăcuță metalică; 8 – lamelă roluită; 9 – rotor; 10, 10' – rulmenți; 10'' – piesă distanțoare; 11 – pinion

Pe fețele electrodului, sunt plasate plăcuțele (5a), (5b), (5c), (5d), (5e), (5f), realizate fiecare dintr-un polimer electrostrictiv care poate fi, de exemplu, polimetilmetacrilat (PMMA). Pe fața liberă a plăcuțelor de polimer este plasată câte o plăcuță metalică (6a), (6b), (6c), (6d), (6e), (6f), care face corp comun cu plăcuțele de polimer și care se deplasează pe direcție radială simultan cu deformarea plăcuței active. Plăcuțele metalice enumerate, sunt conectate, între ele prin conexiunile flexibile (7a), (7b), (7c), (7d), (7e), alcătuind împreună electrodul mobil [101].

Plăcuțele constitutive ale electrodului mobil sunt purtătoare a unor lamele roluite (8a), (8b), (8c), (8d), (8e), (8f), prin care ansamblul statoric acționează pe suprafața interioară a unui rotor pahar (9). În Fig. 2.37. este prezentată prima variantă de vibromotor cu polimeri electrostrictivi [103].

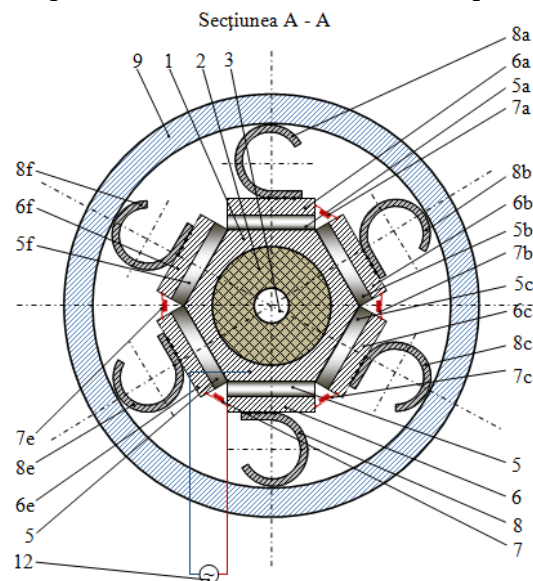


Fig. 2.38. Vibromotor cu polimeri electrostrictivi – secțiune transversală [103]

1 – electrod; 2 – butuc electroizolant; 3 – ax; 5a, 5b, 5c, 5d, 5e, 5f – plăcuțe din polimer electrostrictiv; 6a, 6b, 6c, 6d, 6e, 6f – plăcuță metalică; 7a, 7b, 7c, 7d, 7e – conexiuni flexibile; 8a, 8b, 8c, 8d, 8e, 8f – lamelă roluită; 9 – rotor; 12 – sursă de alimentare

2.2.7. Concluzii

În plină expansiune științifică și tehnologică sunt polimerii cu memoria formei, în rândul cărora au fost incluși polimerii termoplastici și elastomerii cu memoria formei, polimerii cu rețele interpenetrante și polimerii ionici. În ultimii ani au fost realizate diverse aplicații care utilizează polimeri, cum ar fi: micro-roboti care folosesc elastomeri sau polimeri electrostrictivi, motoare și actuatoare care folosesc geluri polimerice.

În cazul motoarelor solare cu termobimetal, numeroasele aplicații sunt susținute prin câteva avantaje: simplitate constructivă, preț de cost redus, exploatare, manevrare și întreținere simplă. În acest scop, este necesar ca termobimetalul utilizat să fie unul dintre cele mai active termic și în același timp unul dintre cele mai puțin costisitoare. Existența avantajelor menționate justifică utilizarea, pe lângă contactele inteligente, la motoarele solare cu termobimetal în aplicațiile spațiale și pentru orientarea panourilor cu celule fotovoltaice.

Aliajul Ni-Ti reunește ca proprietăți atât efectul de memorie a formei, capacitatea mare de amortizare dar și superelasticitatea, acestea obținându-se în funcție de compoziția celor două metale, precum și în funcție de prelucrările mecanice și tratamentul termic la care a fost supus. Comportamentul superelasic apare atunci când este deformat la o temperatură cu puțin mai mare decât temperatura de transformare, elasticitatea fiind de 10 - 30 ori mai mare decât a materialului obișnuit. Dintre aplicațiile Nitinolului cele mai întâlnite sunt: echipamente medicale (proteze dentare, proteze ortopedice), mâini robotice, microactuatoare și motoare.

Cercetările în domeniul motoarelor și actuatoarelor realizate cu materiale inteligente în cadrul Centrului de Cercetare EMAD al Universității din Suceava, au demarat în anul 1994 sub conducerea inventatorului prof. univ. dr. ing. Dorel CERNOMAZU și au condus la un număr ridicat de brevete de invenție, fiind proiectate, realizate, experimentate soluții de actuatoare și micromotoare electrochimice, micromotoare solare, bazate pe conversia helio-termo-mecanică, vibromotoare cu polimeri electrostrictivi, magnetostrictive și piezoelectrice.

Actuatoarele electrochimice dezvoltate în Centrului de invenție al Facultății de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor din Suceava au pus în evidență faptul că stocarea energiei sub formă chimică este avantajoasă, randamentul sistemelor chimico-mecanice fiind cuprins în gama (30 ÷ 60) %. În funcție de natura polimerilor utilizați ca elemente active de acționare, se disting mai multe tipuri de actuatori: actuatorii pe bază de geluri polimerice, cei pe bază de polimeri conductivi și cei pe bază de polimeri electrostrictivi.

Micromotoarele solare dezvoltate în cadrul Centrului de Cercetare EMAD se bazează pe utilizarea bimetalului sub formă de bandă modelată în diferite forme. Răspunsul termic, sub acțiunea radiației solare, a lamelei bimetalice duce la generarea de mișcare datorită deformării și forță datorită tensiunilor interne ce apar dacă forțele exterioare se opun producerii deformării, astfel fiind explicată funcționarea acestor micromotoare.

În cazul vibromotoarelor magnetostrictive se utilizează cu precădere terfenolul (un aliaj pe bază de terbiu, disprosiu și fier și care în varianta optimă este cunoscut sub numele de TERFENOL-D). Principala caracteristică a terfenolului constă în deformația magnetostrictivă de ordinul a 1500 $\mu\text{m/m}$ obținute câmpuri magnetice aplicate relativ scăzute (cca. 100 A/m). Alte caracteristici sunt legate de timpii de reacție reduși, de ordinul milisecundelor; posibilitatea dezvoltării unor forțe de ordinul sutelor de newton în condițiile în care temperatura de funcționare este situată între -50 și 71 °C.

Performanțele vibromotoarelor cu polimeri și lamele roluite sunt influențate și de tipul constructiv (cu un singur modul vibrant, cu mai multe module vibrante distribuite, cu mai multe module vibrante dispuse concentrat, cu module vibrante multiple și acțiune sincronă, cu module vibrante multiple cu acțiune defazată) constatându-se următoarele aspecte: studiul comparativ între un vibromotor monofazat cu lamele roluite cu un singur modul vibrant și unul cu module vibrante multiple arată că rezultatele cele mai bune, concretizate în valoarea cuplului și valoarea vitezei de rotație, se obțin în al doilea caz; studiul comparativ între un vibromotor monofazat cu fază auxiliară (cu două module vibrante cu acțiune defazată) și un vibromotor trifazat conduce la constatarea că rezultatele menționate anterior sunt mai bune în al doilea caz; studiul comparativ între un vibromotor cu module vibrante multiple și acțiune sincronă și unul similar, cu acțiune defazată, evidențiază rezultate superioare în primul caz; studiul comparativ între un vibromotor trifazat cu module distribuite și unul similar cu module vibrante concentrate evidențiază rezultate superioare în al doilea caz.

Din analiza literaturii de specialitate în domeniul actuatorilor și motoarelor speciale cu materiale inteligente rezultă că performanțele acestora se pot îmbunătăți prin utilizarea unor sisteme de control a funcționării. Majoritatea variantelor realizate permit reglajul prin poziționarea unor subansamble sau modificarea materialului utilizat. Există totuși perspectiva reglării cu precizie crescută a cuplului, vitezei, distanței de acțiune sau timpului de răspuns, prin utilizarea unor sisteme de monitorizare a parametrilor implicați, sisteme capabile să realizeze reglaje care să conducă la creșterea performanțelor.

Capitolul 3

STUDII PRIVIND REALIZAREA UNUI SISTEM DE CONTROL CE FOLOSEȘTE MATERIALE INTELIGENTE

[7], [52], [73], [76], [133], [147], [142], [149], [152], [154], [155], [159], [165], [166]

3.1. NOȚIUNI INTRODUCTIVE

Comanda unui sistem de acționare electrică reprezintă realizarea unui ansamblu de operații care fac ca valoarea unei mărimi, de care depinde procesul tehnologic al unei mașini de lucru, să se modifice după o lege prestabilită sau după anumite impulsuri externe date de modificarea procesului de lucru. Într-o instalație de comandă și control fenomenele se succed într-o ordine dinainte stabilită. Unei anumite mărimi aplicate la intrarea în sistem (mărime de intrare) îi corespunde în sistemul de comandă o mărime bine definită obținută la ieșirea sistemului comandat (mărime de ieșire) [76].

3.2. DESCRIEREA SISTEMULUI AUTOMAT DE CONTROL

Sistemul are la bază echipamentul de comandă de tip manetă în Fig. 3.1.a, cu patru posibilități de deplasare și controale suplimentare. În zona de prindere a mâinii au fost plasați doi electrozi conductori, unul în zona degetului arătător (2), plasat pe butonul de comandă (5), și al doilea în podul palmei (1). Sistemul realizat și testat are o zonă cu LED-uri (3) care indică comenzile date corect și un control din care se poate regla sensibilitatea dispozitivului prin intermediul unui potențiomtru (4).

Dispozitivul de comandă preia comenzile condiționat, doar dacă rezistența electrodermală dintre cele două contacte (1) și (2) are o valoare într-un interval prescris prin potențiomtrul (4). Sistemul securizat prezentat în Fig. 3.1. cu schema electrică în Fig. 3.2. are la bază un microsistem programabil (6) care măsoară rezistența între electrozii (1) și (2) și preia comanda dată prin comutatoarele $K1 \div K4$, alimentând LED-urile corespunzătoare $L1 \div L4$, doar dacă rezistența electrodermală este în intervalul prescris. Rezistența electrotermală este transformată în tensiune și aplicată microsistemului de calcul prin intermediul unui divizor rezistiv format din potențiomtrul R_1 destinat reglajului sensibilității și rezistența pielii dintre cei doi electrozi de contact R_x . Pentru a ne asigura că avem contact ferm la nivelul electrozilor, divizorul rezistiv astfel format este alimentat prin intermediul contactului $K5$ acționat cu degetul arătător, eliminându-se astfel 99.3% din posibilele comenzi greșite date din neatenție sau din manipulare necorespunzătoare a manetei de acționare [76], [7].

Au fost stabilite două praguri în care funcționarea este în parametrii normali.

Se pot observa pe grafic următoarele:

- utilizatorii 10 și 11 depășesc pragul superior deoarece foloseau mănuși în momentul testării.
- utilizatorii 1 și 2 au o creștere bruscă a rezistenței și apoi coborâre deoarece aceștia își schimbă poziția mâinii pe joystick.
- ceilalți utilizatori au o poziție corectă pe joystick iar pe durata monitorizării rezistenței nu au întrerupere a contactului mână-joystick.

3.3. SISTEM SECURIZAT DE CONTROL CU NITINOL

3.3.1. Descrierea sistemului securizat de control

Pentru a crește siguranța comenzilor și a evita comenzile greșite în cazul unor sisteme complexe, de mare risc, a fost realizat un sistem de blocare a joystick-ului din Fig. 3.5. care să nu permită acționarea acestuia în mod accidental care să ducă la acționarea nedorită a unei comenzi.

Când se dorește executarea unor comenzi, utilizatorul acționează contactul de siguranță (3) care alimentează arcul cu nitinol (1) cu o tensiune, deblocând bolțul (2) care permite deplasarea joystick-ului în direcția dorită.

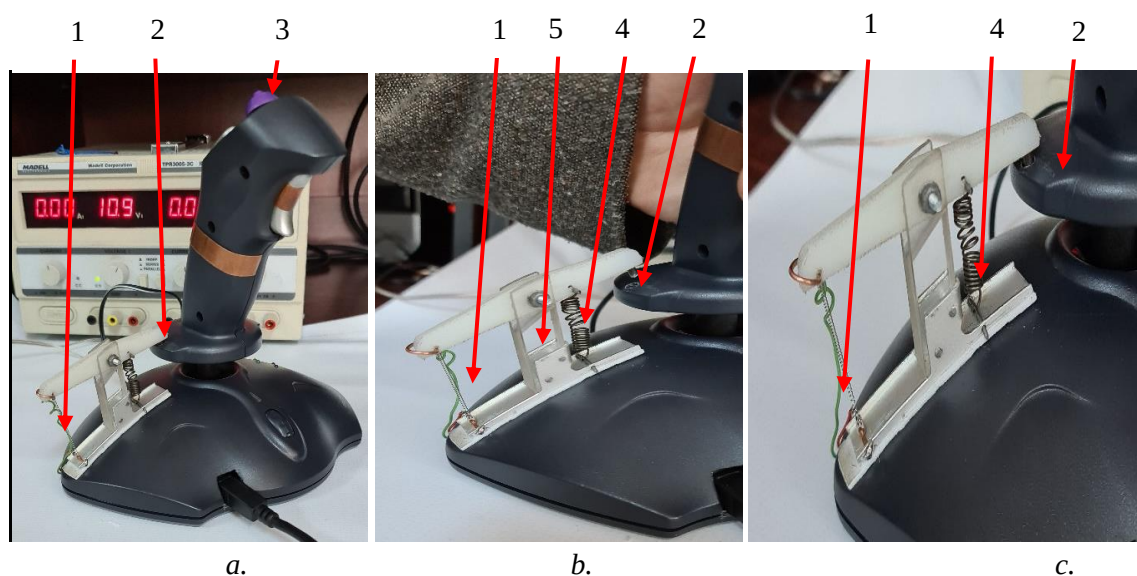


Fig. 3.5. Model experimental a manetei [165]

1 - arc nitinol, 2 - locaș blocare/deblocare, 3 - buton acționare arc nitinol,
4 - arc compensare, 5 - suport sistem de acționare

Sistemul securizat de comandă este proiectat, pentru a preveni, o utilizare incorectă (accidentală) a manetei, făcând posibilă manevrarea acesteia doar atunci când butonul de siguranță (3) este acționat [165].

Odată cu finalizarea comenzilor, butonul de siguranță (3) este dezactivat, moment în care se întrerupe alimentarea arcului cu nitinol (1) care se destinde sub acțiunea arcului de compensare (4) iar bolțul (2) revine în poziția inițială de blocare.

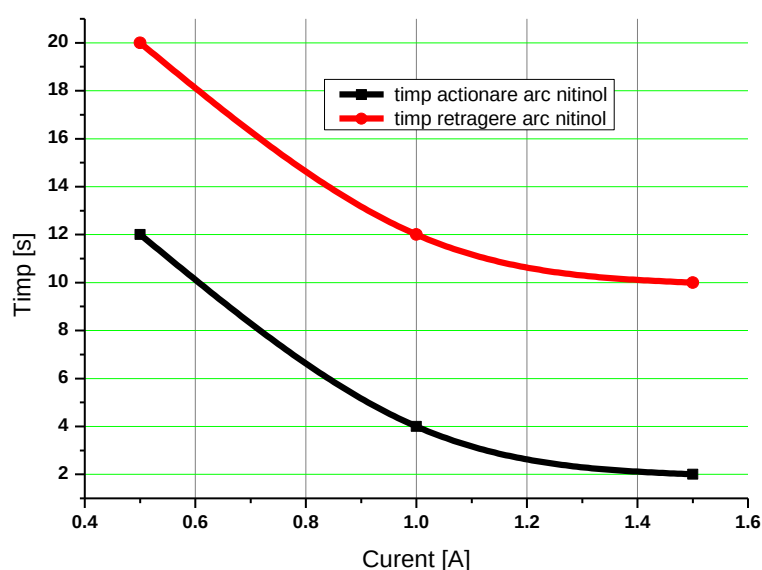


Fig. 3.8. Timp de acționare și retragere a arcului de nitinol

3.4. SISTEM DE CONTROL AL MIȘCĂRII

3.4.1. Descrierea sistemului de control al mișcării

A fost proiectat un sistem de control al mișcării care este dat în Fig. 3.10. și se poate deplasa prin intermediul a două roți acționate independent cu ajutorul a două motoare (9) și (10), cea de-a treia roată poziționată în față, fiind liberă, se rotește cu 360 grade, asigurând echilibrul mobilului [166].

Sistemul de control al mișcării poate să execute prin acționarea joystick-ului mișcare (înainte/înapoi prin schimbarea polarității tensiunii la motoare, precum deplasarea stânga-dreapta și frânare prin acționarea unuia sau ambelor arcuri cu nitinol (1) și (2).

În momentul când cele două motoare (9) și (10) sunt alimentate concomitent, mobilul se deplasează spre direcția înainte/înapoi iar frânarea acestuia are loc prin alimentarea celor două arcuri cu nitinol (1) și (2) care acționează prin doi saboti (4) și (5), asupra celor două roți, determinând frânarea acestora [166].

Deplasarea sistemului de control al mișcării, în partea stângă are loc atunci când este alimentat doar motorul din dreapta (10) și respectiv arcul cu nitinol din stânga (1) care deplasează sabotul asupra roții.

Deplasarea mobilului în partea dreapta are loc atunci când este alimentat doar motorul din stânga (9) și respectiv arcul cu nitinol din dreapta (2) care deplasează sabotul asupra roții. Pentru a mări viteza de răspuns a arcurilor, a fost montat un ventilator (8) care asigură răcirea rapidă a arcurilor de nitinol (1) și (2) asigurând creșterea performanțelor dinamice la acționarea/retragerea sabotilor de frânare (4) și (5).

Comenzile de deplasare sunt realizate cu ajutorul unui joystick (11) cu cinci posibilități de acționare (înainte, înapoi, stânga, dreapta, frânare).

Fiecare comandă dată de joystick (11) este transmisă unui microsistem programabil (7) care în funcție de aplicația software transmite comenzi modulului cu relee (6) care conduce la realizarea mișcării dorite.

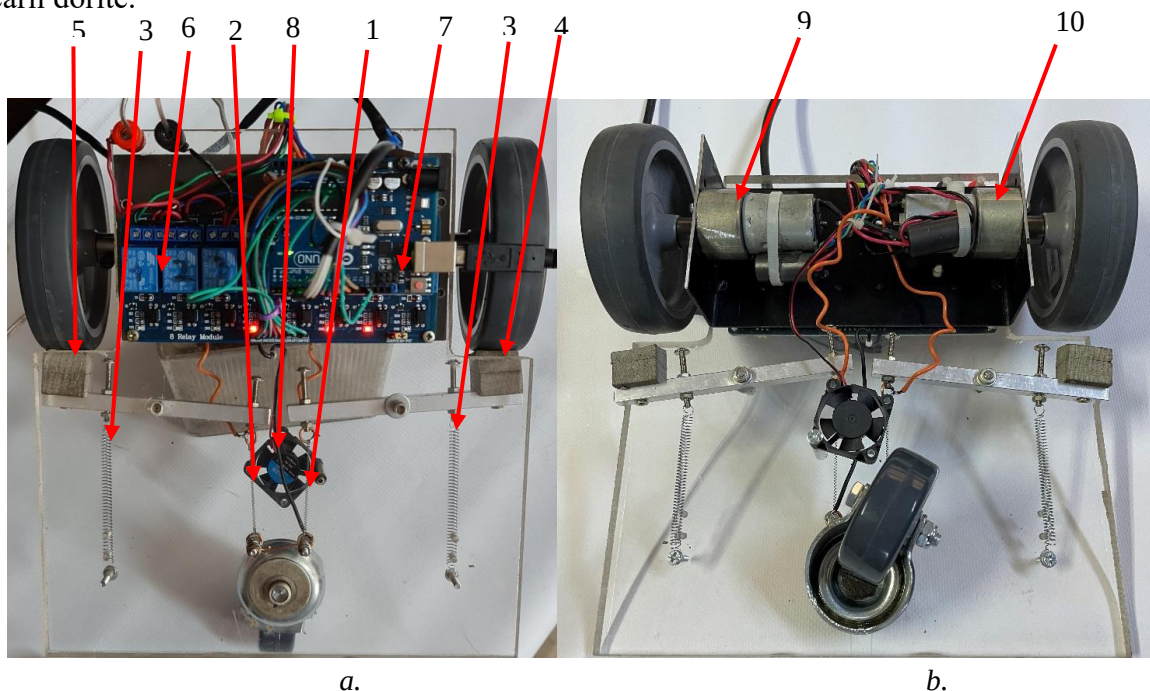


Fig. 3.10. Model experimental a sistemului de control a mișcării: a) vedere de sus, b) vedere de jos
1 - arc nitinol stânga, 2 - arc nitinol dreapta, 3 - arcuri compensare, 4 - sabot frânare stânga,
5 - sabot frânare dreapta, 6 - modul cu relee, 7 - microsistem programabil, 8 - ventilator,
9 - motor stânga, 10 - motor dreapta,

3.4.2. Date experimentale

În urma testelor, am constatat că arcurile de nitinol folosite la experiment suportă un curent de maxim 1,5 A. Pentru a pune în evidență timpul de răspuns și de retragere a arcurilor de nitinol și ca frânarea să fie cât mai eficientă, am luat ca parametrii, curenți diferiți de alimentare.

În primul caz am alimentat arcul de nitinol la un curent de 0,5 A, unde timpul de acționare este destul de mare (6sec) care face ca mobilul să aibă o frânare lentă.

Creșterea curentului la 1 A, duce la o frânare eficientă și o scădere a timpului de acționare a arcului de nitinol la (4sec).

Alimentarea arcului de nitinol cu 1,5 A face ca timpul de răspuns să se micșoreze la (2sec) iar eficiența crește. În acest caz cu toate că am obținut rezultate mult mai bune la frânare, nu este recomandat solicitarea termică a arcurilor, lucru care duce la pierderea elasticității în timp.

Indiferent de curentul folosit, timpul de retragere a arcurilor de nitinol se menține la (2 sec), retragere ce are loc sub influența ventilației aerului provenit de la ventilator.

În Anexa 1 se pot vizualiza timpii de acționare a arcurilor de Nitinol.

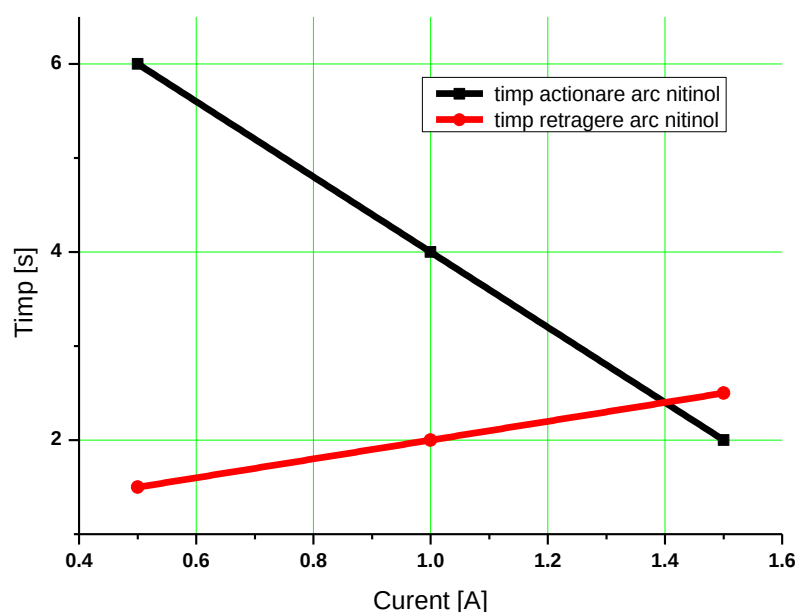


Fig. 3.15. Timp de acționare și retragere a arcului de nitinol

3.5. CONCLUZII

Sistemul automat de control al comenzilor realizează reducerea comenzilor greșite și/sau accidentale prin faptul că măsoară rezistența electrodermală a mâinii operatorului și preia comanda spre execuție doar în cazul în care există un contact ferm și corect între mâna operatorului și echipament. Contactul ferm este evaluat prin măsurarea rezistenței pielii între doi electrozi plasați pe manetă și butonul de la degetul arătător. Acest sistem proiectat, realizat, testat și propus spre brevetare este capabil să înlăture până la 90 % din comenzile greșite ce ar putea apărea.

Sensibilitatea sistemului ce evaluează rezistența electrodermală poate fi reglată brut prin software (prin pragurile stabilite) și fin printr-un potențiometru astfel încât dispozitivul să poată fi personalizat pentru diverși utilizatori. Valoarea rezistenței evaluată trebuie să fie situată într-un interval determinat experimental, ținând cont că, pentru o persoană rezistența electrodermală a palmei depinde de mai mulți factori: temperatura ambientală, gradul de hidratare a persoanei, grosimea pielii la un moment dat sau starea emoțională și de stres psihic. Astfel, dispozitivul poate fi folosit simultan și ca sistem de monitorizare a operatorului, pentru indicarea unor situații de oboseală, stres, suprasolicitare sau anxietate, elemente care ar putea afecta timpul de reacție a persoanei sau activitățile curente. O modificare bruscă a rezistenței pielii poate indica o stare emoțională a utilizatorului determinată de o situație atipică apărută, un eveniment neașteptat, de trepidății, temperaturi sau condiții de microclimat anormale.

Sistemul securizat de control al comenzilor poate fi dezvoltat prin introducerea unui sistem pletismograf de tip optocuplor în zona degetului arătător, pentru a monitoriza pulsul sau saturația de oxigen din sânge, date ce ar putea aduce informații suplimentare despre starea operatorului uman.

Sistemul securizat de control nu poate funcționa la performanțele pentru care a fost proiectat dacă utilizatorul uman folosește mănuși.

Sistemul securizat de control cu nitinol prezintă siguranță în utilizarea accidentală. Atunci când nu se mai dorește utilizarea acestui joystick se produce blocarea automată a sistemului prin întreruperea alimentării arcului de nitinol.

Acest sistem de blocare cu nitinol are comandă separată pe joystick care este acționată de către utilizator atunci când se dorește utilizarea lui. Dacă nu se respectă procedeul de deblocare a acestui sistem, utilizatorul nu poate să-l utilizeze.

Sistemul de control a mișcării unui mobil se remarcă prin simplitate constructivă, fiabilitate, preț scăzut, acționarea arcurilor se realizează prin încălzire cu efect Joule, având control asupra forței de frânare.

Datorită construcției simple nu necesită costuri de întreținere ridicată. Poate fi folosit în orice aplicație care necesită frânarea cu saboți (autoturisme, cărucioare, autovehicule, etc). Unul dintre cele mai importante avantaje este posibilitatea deplasării într-un sens sau altul într-un spațiu redus (360 grade în jurul axei roții blocate).

Capitolul 4

STUDIUL UNEI MICROPOMPE ACȚIONATĂ CU NITINOL

[135], [148], [154], [155], [160], [162], [163]

4.1. NOȚIUNI INTRODUCTIVE

Primele experimente legate de fenomenele de memoria forme (pseudoelasticitate, efect simplu de memoria forme, efect de memoria forme în dublu sens, efect de amortizare a vibrațiilor, efecte premartensitice, etc.) au fost efectuate pe monocristale. Cum monocristalele aliajelor pe bază de cupru se obțin mai ușor, acestea au fost singurele materiale experimentale care au permis, în anii '70, stabilirea atât a originii microstructurale a fenomenelor de memoria forme cât și a legăturii dintre acestea și transformarea martensitică.

Domeniile și aplicațiile în care sunt utilizate materialele cu memoria forme în prezent sunt numeroase: micromotoare, robotică, medicină, (chirurgie – organe și filtre artificiale; ortopedie – implanturi; oftalmologie). Cele mai importante fenomene de memoria forme sunt: efectul pseudoelastic sau pseudoelasticitatea (PSE), efectul simplu de memoria forme (EMF), efectul de memoria forme în dublu sens (EMFDS) și efectul de amortizare a vibrațiilor (EAV).

4.2. CONSIDERAȚII CU PRIVIRE LA REALIZAREA UNEI MICROPOMPE CU NITINOL

Sistemul de pompare este realizat pe baza unor elemente elastice din Nitinol și este destinat dozării unor cantități constante, precis controlate, de lichid [148].

Sistemul de pompare din Fig. 4.1. este constituit dintr-un recipient cilindric (1), prevăzut cu un piston (2) ce este deplasat prin intermediul unei tije (3) terminată cu un profil în formă de T, prevăzută la extremitatea inferioară cu un suport (4) ce fixează două arcuri cu nitinol (5) și (5'), iar partea superioară a profilului tije (3) acționează la capetele cursei microcontactele duble (M_1), (M_1') și respectiv (M_2), (M_2'), ce comandă închiderea și deschiderea electrovalvei (6), ventilatoarele (7) și (7') (opționale) și decuplează circuitele de încălzire ale arcurilor de nitinol (5) și (5') comandate alternativ prin contactele releelor (k_1) și (k_2) prin intermediul unui microcontroler (8).

Principalele avantaje ale soluției sunt:

- simplitate constructivă și fiabilitate crescută;
- eliminarea erorilor de control a debitului pompat;
- siguranță mare în exploatare și fiabilitate sporită;
- precizie ridicată de control a cantității de fluid;
- cost relativ scăzut;
- posibilitate de producere în serie a sistemului.

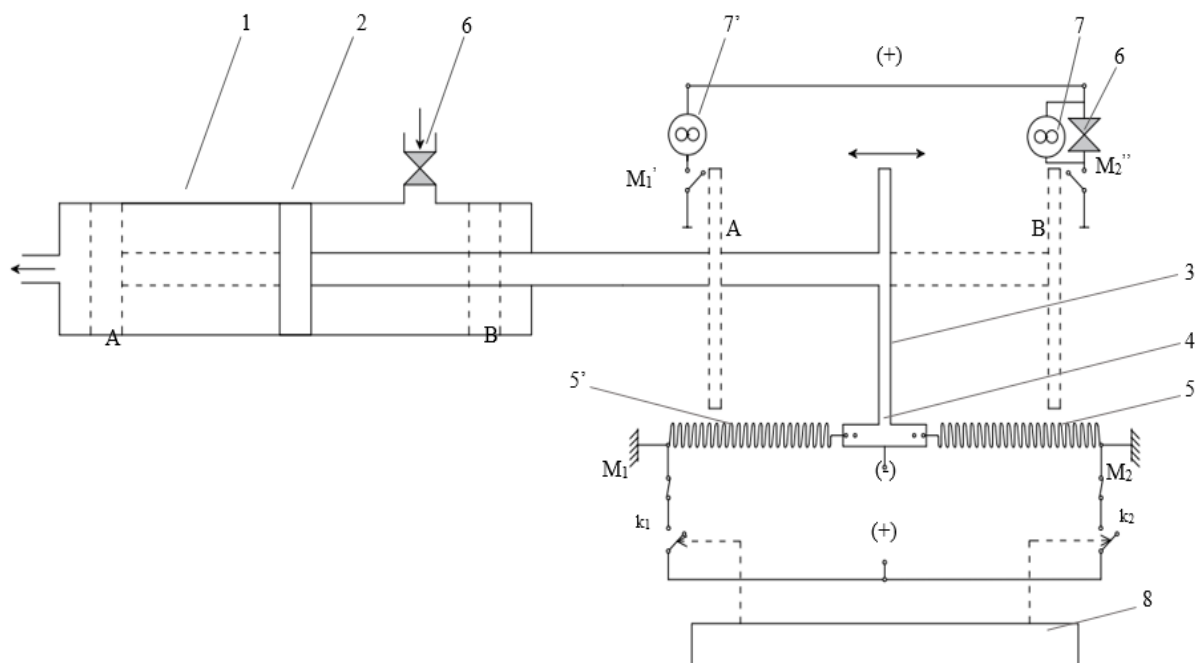


Fig. 4.1. Sistem de pompare – schemă de principiu [148]

1 - recipient cilindric, 2 - piston, 3 - tijă, 4 - suport, 5, 5' - arcuri de nitinol, 6 - electrovalvă, 7, 7' - ventilatoare, k_1 , k_2 - relee, M_1 , M_1' - microcontacte duble, M_2 , M_2' - microcontacte duble, 8 - microcontroler

4.3. ANALIZA PERFORMANTELOR A MICROPOMPEI CU NITINOL

Au fost realizate două variante pentru testarea sistemului de pompare și anume, o variantă în care se stabilește de către operatorul uman temporizarea pentru comanda arcurilor și a doua variantă în care operatorul poate introduce cantitatea de lichid pompată [148], [162], [163].

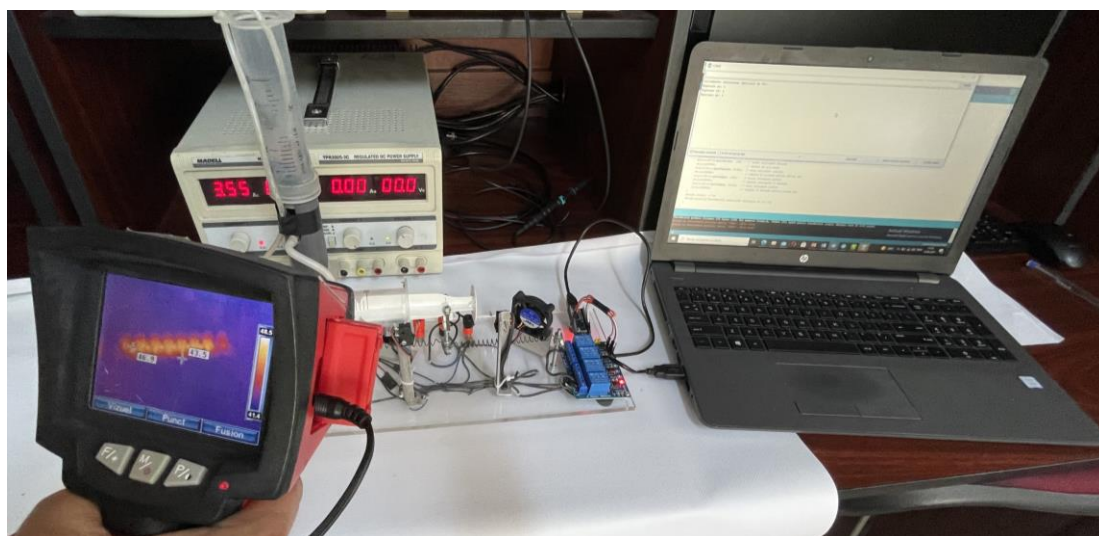


Fig. 4.4. Stand experimental – camera de termoviziune

În figura 4.4. este prezentată micropompa, unde prin intermediul camerei de termoviziune sunt puse în evidență temperaturile arcurilor cu Nitinol la diferiți curenți.

Pentru a pune în evidență eficiența micropompei cu nitinol, a fost luat în calcul curentul de alimentare a arcurilor. Curentul minim pentru ca micropompa să fie activă este de 3A, observându-se că timpul de acționare este lent. Pentru a mări viteza de pompare, respectiv cantitatea de lichid, am crescut curentul treptat până la 5A, curent maxim suportat de arcurile cu nitinol folosite la stand-ul nostru experimental [164].

În Fig. 4.7. este prezentat graficul cantității de lichid pompat în funcție de timpul de alimentare al arcurilor, la un curent stabilit din sursa de alimentare de 3A, într-un interval de 60 minute, cu o temporizare la încălzire începând de la 15 secunde și până la 60 de secunde. Se observă că se obține o cantitate de lichid vehiculat mai mare în cazul unei temporizări reduse.

Forța dezvoltată de arcul de Ni-Ti la un curent de încălzite de 3A este de 11,77 N.

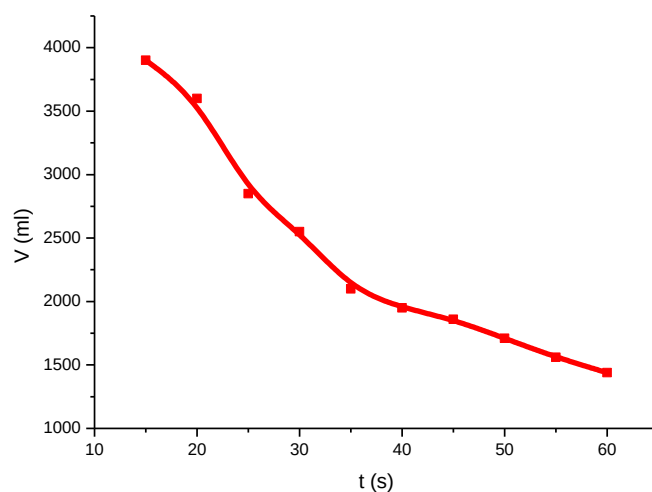


Fig. 4.7. Cantitatea de lichid pompată la un curent de 3A în funcție de timpul de alimentare a elementelor din Nitinol

Pentru a măsura cuplul de forță pentru arcul cu Nitinol, arcul a fost alimentat la curenți diferiți cu sursa reglabilă de curent continuu, iar forța a fost vizualizată cu ajutorul unui cântar digital pentru o măsurătoare cât mai exactă (Fig. 4.11.).

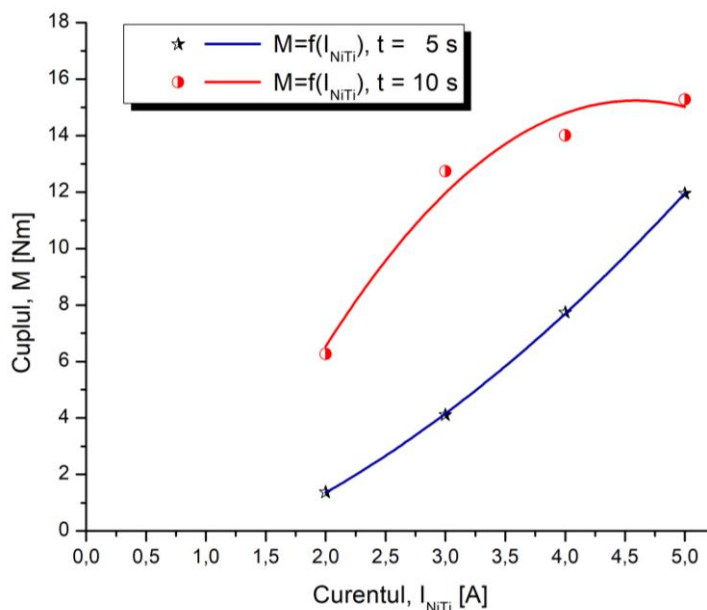


Fig. 4.12. Grafic prin care se măsoară cuplul de forță a arcurilor de Nitinol la diferiți curenți

În figura 4.13. sunt prezentate imaginile preluate cu camera de termoviziune asupra elementului din nitinol alimentat la curenți diferiți.

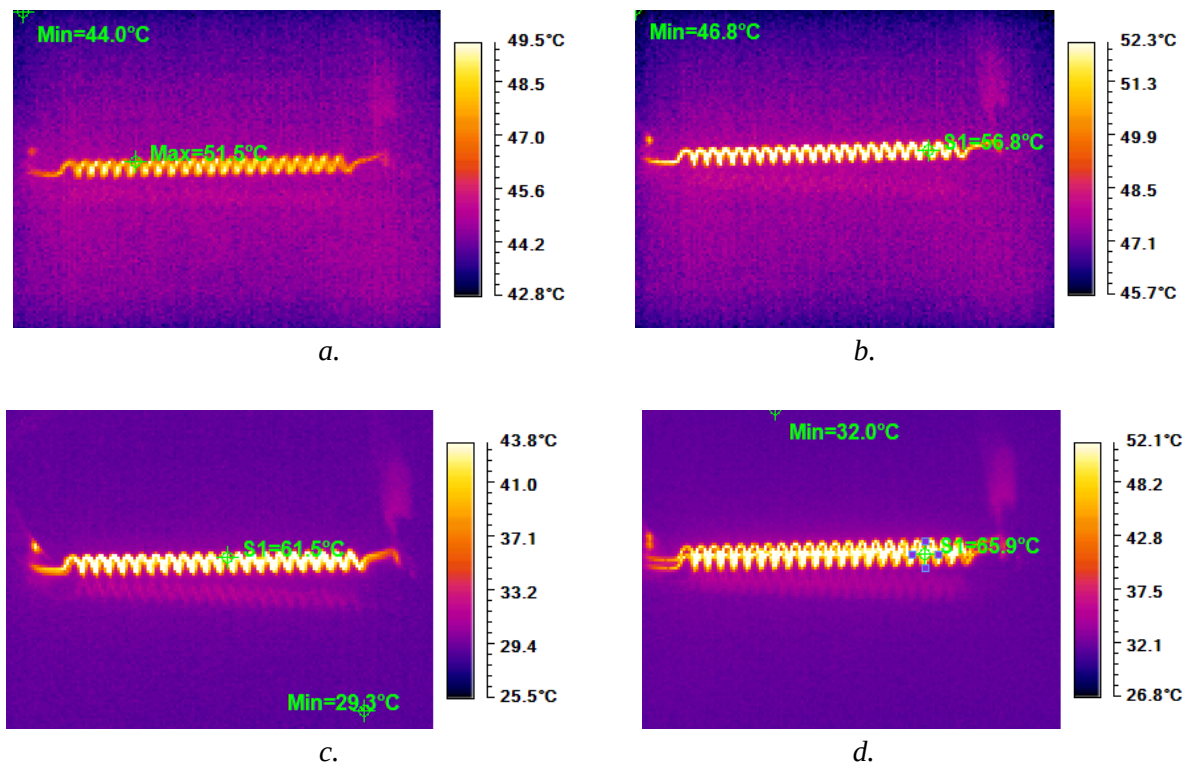


Fig. 4.13. Imaginile preluate cu camera de termoviziune asupra elementului din nitinol alimentat la curenți diferiți

- a. arc alimentat la un curent de 2 A
- b. arc alimentat la un curent de 3 A
- c. arc alimentat la un curent de 4 A
- d. arc alimentat la un curent de 5 A

În continuare a fost utilizată a doua variantă de comandă a pompei, unde utilizatorul introduce din tastatură cantitatea de lichid pentru ambele temporizări.

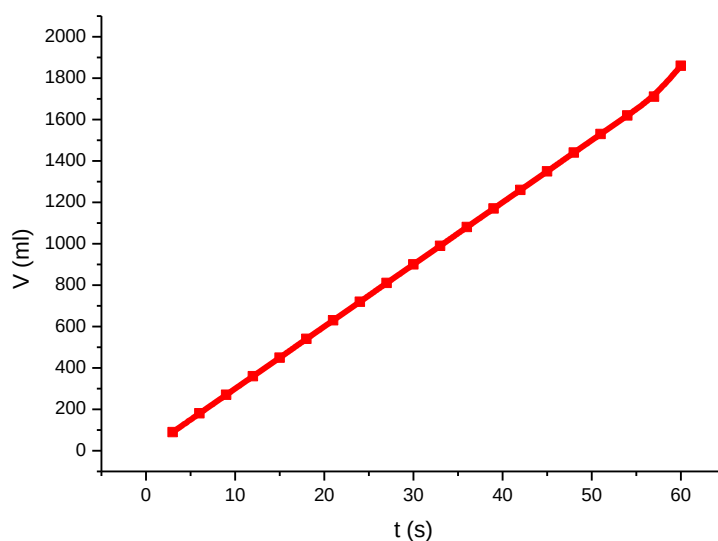


Fig. 4.14. Cantitatea de lichid vehiculată într-un interval de timp la o temporizare de 15 s

În Fig. 4.14. este prezentat graficul în care utilizatorul introduce cantitatea de lichid pompată de 1860 ml la o temporizare de 15 secunde și un curent care alimentează arcurile de nitinol de 4A într-un interval de 60 minute.

Cuplul pentru arcul de Ni-Ti la un curent de 4A este de 14,71 N.

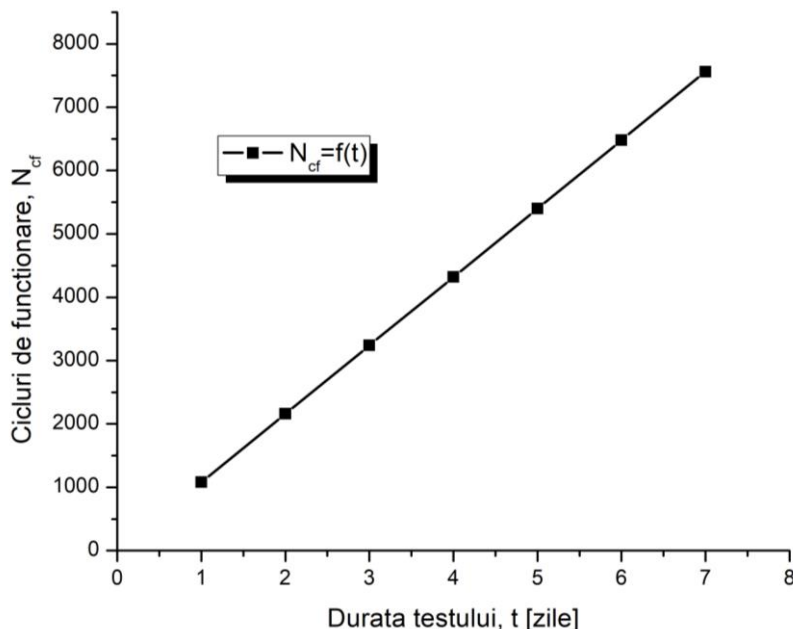


Fig. 4.16. Grafic cu ciclurile de funcționare a micropompei pe zile

În Fig.4.16. este prezentat graficul în care a fost testată pompa în mod continuu într-un interval de 7 zile. În urma testării s-a constatat ca la 7 zile de utilizare, a ajuns la un număr de 7560 de cicluri de funcționare. S-a constatat că în acest interval de timp nu au apărut probleme la sistemul de pompare.

4.4. CONCLUZII

Referitor la micropompa proiectată, realizată și testată putem concluziona următoarele:

Micropompa se caracterizează prin simplitate constructivă și fiabilitate ridicată.

Cantitatea de lichid pompată este controlată modificând timpul de comandă al arcurilor ce acționează pistonul și prin modificarea diametrului cilindrului de pompare.

Cu cât crește timpul de comandă al încălzirii se micșorează cantitatea de lichid pompată și crește cantitatea de energie consumată.

Dispozitivul asigură siguranță și durată de viață în exploatare îndelungată.

La creșterea diametrului pistonului trebuie modificată și grosimea sârmei din care sunt realizate spirele arcurilor de nitinol sau creșterea curentului de încălzire al arcurilor pentru a crește forța de acționare a acestuia.

Pentru activarea arcurilor este nevoie de o tensiune relativ mică, în schimb curentul trebuie crescut cu creșterea diametrului conductorului de nitinol.

Față de alte tipuri de micropompe, sistemul proiectat, realizat, testat și propus spre brevetare asigură un control precis al cantității de lichid vehiculat prin intermediul software-ului, prin introducerea de la tastatură a cantității de lichid ce urmează a fi pompat.

Nu necesită personal calificat pentru programare și utilizare.

Poate fi vehiculat orice tip de fluid în funcție de necesitate. Aplicabilitate în agricultură la dozarea substanțelor nutritive și în medicină/farmacie la dozarea controlată a unor substanțe.

Durata de viață a elementelor active din nitinol este îndelungată și permite funcționarea sistemului fără a pune în pericol decalibrarea micropompei.

Capitolul 5

STUDIUL ȘI REALIZAREA UNUI MOTOR CU GADOLINIU

[33], [134], [140], [150], [151], [154], [155]

5.1. INTRODUCERE

Realizarea primelor motoare bazate pe conversia helio-termo-magneto-motoare, a devenit o realitate, abia în a doua jumătate a secolului al XX-lea [33] și a fost favorizată, așa cum s-a menționat deja, de punerea în valoare a unor materiale magnetice, cu temperatura Curie, posibilă de atins chiar la temperatura mediului ambiant (gadoliniu). Acest avantaj, coroborat cu posibilitățile de investigație în plan teoretic, deschise de teoria elementului finit și utilizarea tehnicii de calcul, a făcut posibilă obținerea unor rezultate promițătoare [134].

Faptul că gadoliniu este feromagnetic cu o temperatură Curie de numai 294 K (21 °C) a fost folosit pentru a dezvolta motoare termomagnetice simple în echipamente de laborator [33]. Acestea pot fi acționate de o lampă electrică sau de lumina soarelui și nu vor funcționa într-o zi călduroasă deoarece materialul ar fi întotdeauna peste temperatura Curie. Astăzi există un mare interes pentru dezvoltarea de sisteme neconvenționale termomagnetice care pot folosi căldura gazelor de eșapament ale motorului cu ardere internă pentru a genera energie.

Gadoliniu este un material magnetocaloric care e folosit în construcție sistemelor magnetice de refrigerare la temperatura camerei. Metalul nu se pătează în aer uscat, dar un film de oxid se formează în aer umed. În plus, gadoliniu corodează în prezența apei la temperatura camerei, care poate avea o influență serioasă asupra performanței pe termen lung și a durabilității unui sistem AMRR (Active Magnetic Regenerative Refrigeration), aliaje pe bază de gadoliniu. Cu toate acestea, adăugând NaOH la lichidul de transfer de căldură, problema coroziunii poate fi eliminată [140].

5.2. DESCRIEREA CONSTRUCȚIEI MOTORULUI CU GADOLINIU

Funcționarea motorului cu gadoliniu prezentat în Fig. 5.1. este posibilă datorită sistemului realizat dintr-un ansamblu a doi magneți permanenți (6), dispuși în poziții diametral opuse. Prin zona mediană a sistemului magnetic are loc mișcarea de rotație a rotorului a cărui ax central este introdus în niște lagăre de alunecare care, la rândul lor sunt introduse în zona centrală a radiatoarelor din aluminiu (1). Rotorul, sub formă de disc (3) în Fig. 5.2.a. realizat din material electroizolant, prezintă pe circumferința sa, pastile din gadoliniu (4), dispuse echidistant și care trec prin câmpul magnetic al magneților permanenți (5). Rotorul începe să prezinte o mișcare de rotație

atunci când apare o diferență de temperatură între sursa rece și sursa caldă, interval de temperaturi ce va include *temperatura Curie* a gadoliniului [150], [151], [155].

Rotorul, aflat în mișcare de rotație, face ca pastilele din gadolinu să intre în incinta răcită în care are loc trecerea acestora în domeniul feromagnetic. Atunci când pastilele din gadolinu ajung în zona sursei de căldură constituită din doi rezistori electrici, pastilele din gadolinu trec în domeniul paramagnetic. În acest moment, rotorului i se imprimă un impuls de rotație pus pe seama forței magnetice de atracție exercitată asupra pastilelor din gadolinu din zona învecinată celor care au trecut în domeniul paramagnetic, acest lucru făcând ca rotorul să prezinte o mișcare de rotație continuă [150], [151], [155].

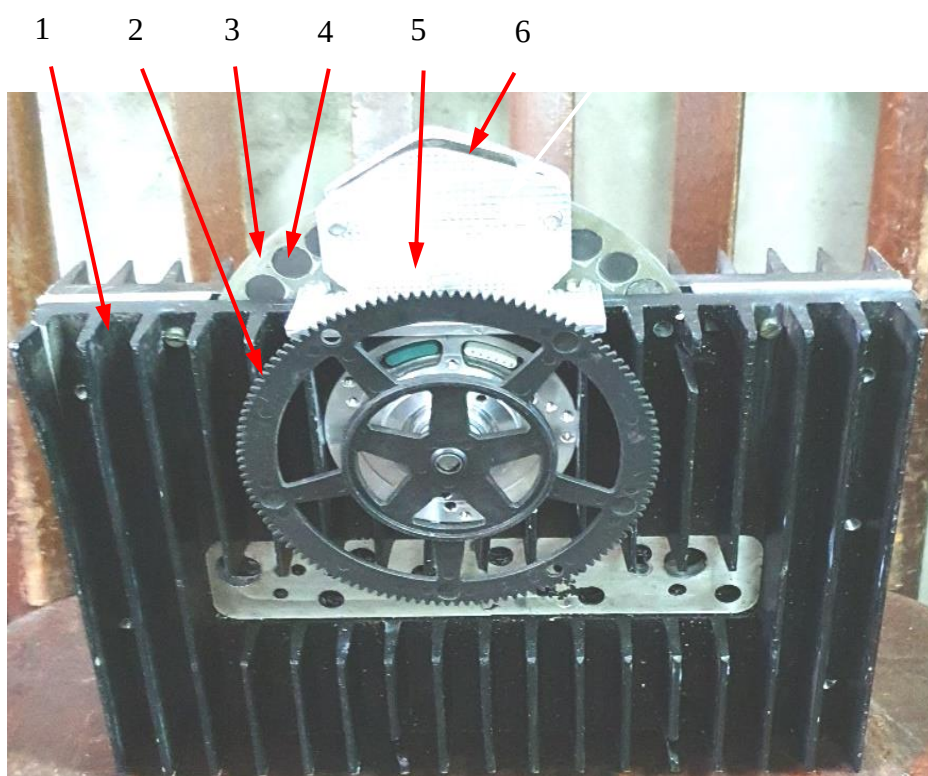


Fig. 5.1. Vedere de ansamblu a motorului cu gadolinu: [150], [151]

1- radiator din aluminiu; 2 - pinion pentru preluarea puterii mecanice; 3 - rotorul în formă de disc;
4 - pastile din gadolinu; 5 - magneti permanenți; 6 - suport magneti permanenți,

5.3. DESCRIEREA CONSTRUCȚIEI SISTEMULUI DIGITAL

La modelul experimental a motorului cu Gadolinu, am realizat un sistem digital, prezentat în Fig. 5.4. cu ajutorul unui microsistem programabil (6), care face posibilă reglarea controlată a turației în funcție de cele două temperaturi (mediul rece și mediul cald).

Standul experimental are în componență un microsistem programabil (6), care comandă prin intermediul modului cu relee (2) patru trepte de tensiune și alimentează sistemul de ventilație cu aer cald.

În funcție de turația motorului care este măsurată cu ajutorul unui senzor de turație (1), va fi cuplată una din trepte, astfel încât temperatura mediului încălzit să facă posibilă rotația motorului la turația prestabilită reglată prin potențiometru (3).

Temperatura mediului încălzit și turația este afișată prin intermediul unui display digital (5), poziționat deasupra sistemului de control.

Valoarea temperaturii este preluată cu ajutorul unui senzor (4) poziționat în apropierea pastilelor de gadolinu.

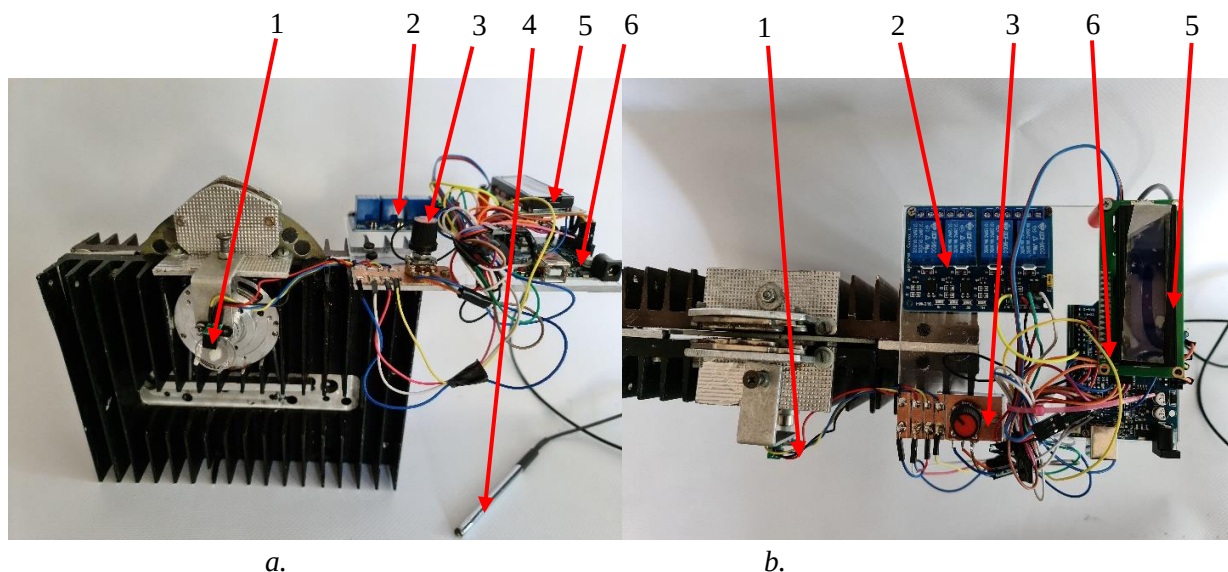


Fig. 5.4. Stand experimental: a) vedere laterală, b) vedere de sus

1 - senzor turație, 2 - modul cu relee, 3 - potențiomtru, 4 - senzor temperatură, 5 - display, 6 - microsistem programabil

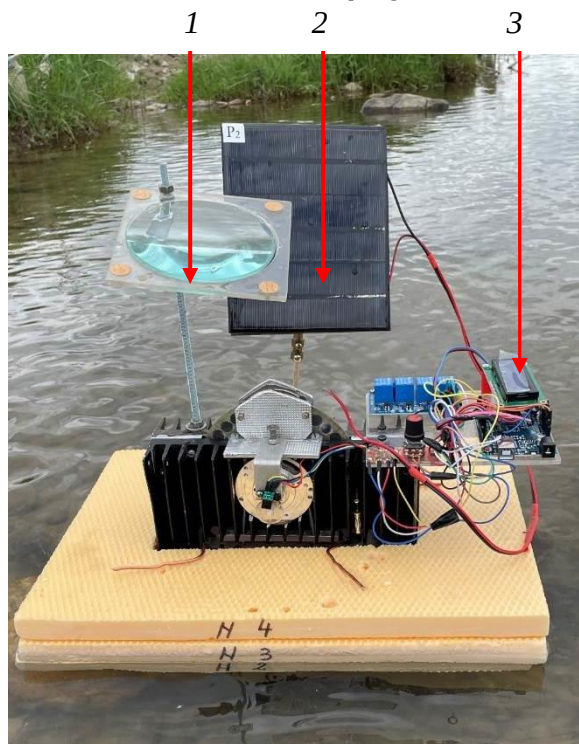


Fig. 5.5. Standul experimental al motorului cu gadolinu – varianta 3

1 – lupă concentratoare pentru sursa caldă, 2 - panou fotovoltaic, 3 – display

În Fig. 5.5. este prezentată o imagine a modelului experimental a motorului cu gadolinu poziționat într-un râu, în care avem posibilitatea să controlăm nivelul de scufundare a pastilelor de Gadolinu în apă, cu ajutorul celor patru plăci plutitoare (polisteren extrudat). Încălzirea pastilelor de Gadolinu se face cu ajutorul unei lupe (1) care captează lumina solară concentrând aceasta

pentru a încălzi pastilele cu Gadolinium. Pentru alimentarea microsistemului programabil am folosit un panou fotovoltaic (2) care ne permite să monitorizăm parametrii motorului pe display-ul standului (3).

5.4. ÎNCERCĂRILE EXPERIMENTALE ALE MOTORULUI CU GADOLINIUM

Primul scenariu, ia în calcul o temperatură constantă a pastilelor din gadolinium din zona de acțiune a câmpului magnetic produs de magneții permanenți, în valoare de $T_{Gd} = 24\text{ }^{\circ}\text{C}$. Astfel, este modificată doar temperatura sursei reci, în domeniul $+16\text{ }^{\circ}\text{C} \div -18\text{ }^{\circ}\text{C}$. În aceste condiții, a fost monitorizată turația motorului cu pastile din gadolinium, n_{MGd} . În Fig. 5.8. este prezentată caracteristica turației având ca parametru variabil, temperatura sursei reci ($T_{r aer}$). În aceeași figură, sunt ilustrate variațiile în timp ale celor două temperaturi, respectiv temperatura sursei calde (T_{Gd}) și temperatura sursei reci ($T_{r aer}$).

În prima parte a caracteristicii, se constată o turație relativ constantă ($n_{MGd} = 262\text{ rpm}$) pentru o variație a temperaturii sursei reci în domeniul $-6\text{ }^{\circ}\text{C} \div -16\text{ }^{\circ}\text{C}$, după care turația înregistrează o scădere semnificativă în domeniul temperaturilor pozitive, ajungând la $n_{MGd} = 10\text{ rpm}$, turație corespunzătoare temperaturii $T_{r aer} = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

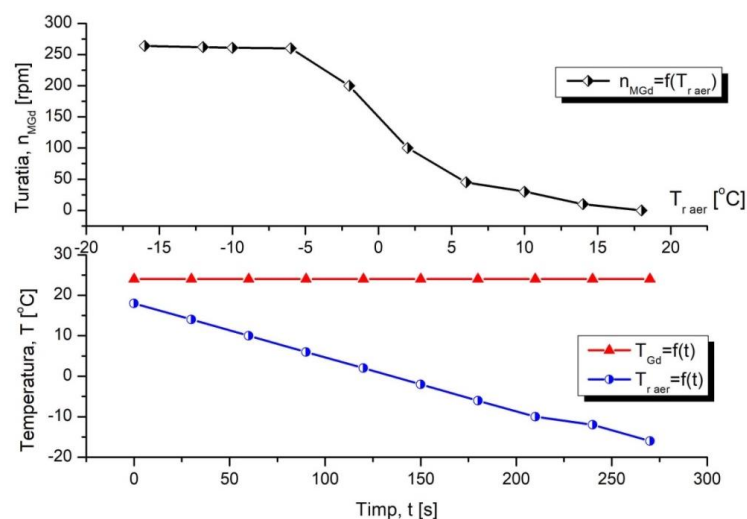


Fig. 5.8. Dependența turației de temperatura sursei reci ($T_{r aer}$) și variațiile în timp ale temperaturilor T_{Gd} și $T_{r aer}$

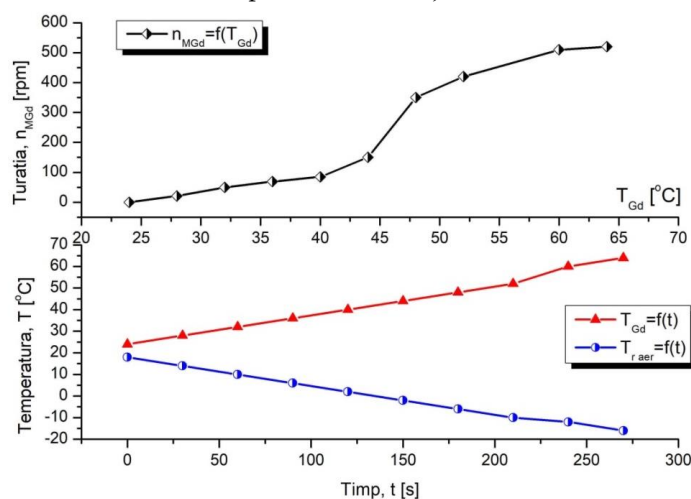


Fig. 5.9. Dependența turației de temperatura pastilelor din gadolinium (T_{Gd}) aflate în zona de acțiune a câmpului magnetic și variațiile în timp ale temperaturilor T_{Gd} și $T_{r aer}$

Al doilea scenariu propus, conduce la variația turației într-un domeniu mai larg comparativ cu primul scenariu. Prin aplicarea acestui scenariu, turația motorului se dublează. Astfel, temperatura pastilelor din gadolinu T_{Gd} a fost modificată în domeniul $+24^{\circ}\text{C} \div +64^{\circ}\text{C}$ în timp ce temperatura sursei reci $T_{r\ aer}$, a variat în intervalul $-16^{\circ}\text{C} \div +18^{\circ}\text{C}$.

În Fig. 5.9. se prezintă variația turației în funcție de temperatura T_{Gd} precum și variațiile în timp ale celor două temperaturi, T_{Gd} și $T_{r\ aer}$. Din analiza caracteristicii $n_{MGd} = f(T_{Gd})$, se observă o creștere semnificativă a turației atunci când temperatura T_{Gd} crește peste valoarea de 40°C concomitent cu trecerea temperaturii $T_{r\ aer}$ în zona negativă ($-2^{\circ}\text{C} \div -16^{\circ}\text{C}$). Valoarea maximă a turației atinge pragul de $n_{MGd} = 520$ rpm.

A doua etapă a studiului experimental, presupune utilizarea unei cantități de apă, răcită prin intermediul unui sistem de răcire adecvat. Rotorul, este imersat în volumul de apă treptat astfel încât să acopere un număr diferit de pastile din gadolinu. Astfel, au fost stabilite patru niveluri de imersie acestea fiind diferențiate prin numărul de pastile din gadolinu imersate la un moment dat în volumul de apă cu o anumită temperatură $T_{r\ apă}$, care a fost modificată în intervalul $+8^{\circ}\text{C} \div +22^{\circ}\text{C}$, concomitent cu majorarea temperaturii T_{Gd} . Pe baza acestor ipoteze, a fost monitorizată turația motorului cu gadolinu. În Tabelul 5.1. sunt prezentate ipotezele considerate pentru desfășurarea studiului experimental precum și o serie de rezultate ce reflectă influența numărului de pastile din gadolinu imersate în apă.

Tabelul 5.1. Date experimentale

Volum de apă	Număr de pastile din Gd imersate în apă	Turația minimă $n_{MGd\ min.}$ [rpm]	Turația maximă $n_{MGd\ max.}$ [rpm]	Intervalul de variație a temperaturii T_{Gd} [°C]	Intervalul de variație a temperaturii $T_{r\ apă}$ [°C]
Nivel 1	6	23	58	$+24 \div +67$	$+8 \div +22$
Nivel 2	8	27	60		
Nivel 3	10	48	78		
Nivel 4	12	52	91		

5.5. SIMULAREA FUNCȚIONĂRII MOTORULUI CU GADOLINIU

Simularea motorului cu gadolinu (Gd) utilizând metoda elementului finit reprezintă o etapă necesară și obligatorie pentru a identifica comportarea acestuia în diferite condiții de funcționare dat fiind faptul că, această variantă de motor prezintă caracteristici operaționale influențate în mod direct de temperatura la care se află la un moment dat elementele active ale rotorului executate din gadolinu.

Pentru a efectua simularea prin metoda elementului finit sunt necesare o serie de etape care au legătură cu realizarea geometriei modelului fizic, execuția rețelei de discretizare a domeniului de calcul, asocierea proprietăților fizice ale elementelor structurale și alegerea potrivită a modului de rezolvare a problemei.

5.5.1. Geometria modelului fizic

Modelul fizic supus analizei cu element finit din punct de vedere magnetic este prezentat în Fig. 5.18. Plecând de la modelul experimental prezentat în acest capitol, modelul fizic utilizat în simulare a fost simplificat considerându-se sistemul de magneți permanenți și rotorul constituit din mai multe elemente cilindrice din gadolinu plasate echidistant în zona marginală a rotorului tip

disc la o distanță de 2 mm. Elementele cilindrice din gadolinium au un diametru de 10 mm și o grosime de 2 mm. Acestea sunt fixate în structura rotorului realizat din material electroizolant. În Tabelul 5.2. sunt centralizați principalii parametrii geometrici ai modelului fizic considerat în simulare.

Tabelul 5.2. Parametrii fizici ai modelului

Nr.crt.	Denumire	Valoare [mm]	Simbolizare
1	Diametru rotor	100	D_1
2	Grosime rotor	2	G_1
3	Diametru elemente cilindrice din Gd	10	d
4	Grosime elemente cilindrice din Gd	2	g
5	Lungime magnet permanent superior	60	L_1
6	Lățime magnet permanent superior	20	l_1
7	Lungime magnet permanent inferior	60	L_2
8	Lățime magnet permanent inferior	20	l_2
9	Distanța inițială între magneții permanenți	4	D_{MP}

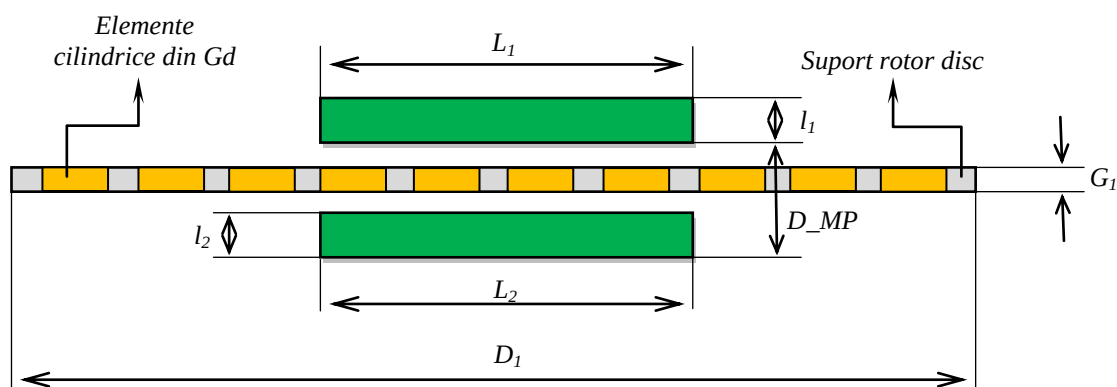


Fig. 5.18. Parametrii geometrici ai modelului fizic considerat în simulare

5.5.3. Definirea elementelor structurale și asocierea proprietăților fizice

Următoarea etapă în cadrul simulării se referă la definirea principalelor elemente din structura motorului considerate pentru această analiză. În Fig. 5.19. se prezintă modelul fizic simplificat realizat în programul de simulare. Pentru a putea fi posibilă parametrizarea mărimilor geometrice, magneților permanenți și rotorului tip disc le-au fost asociate câte un sistem de coordonate propriu.

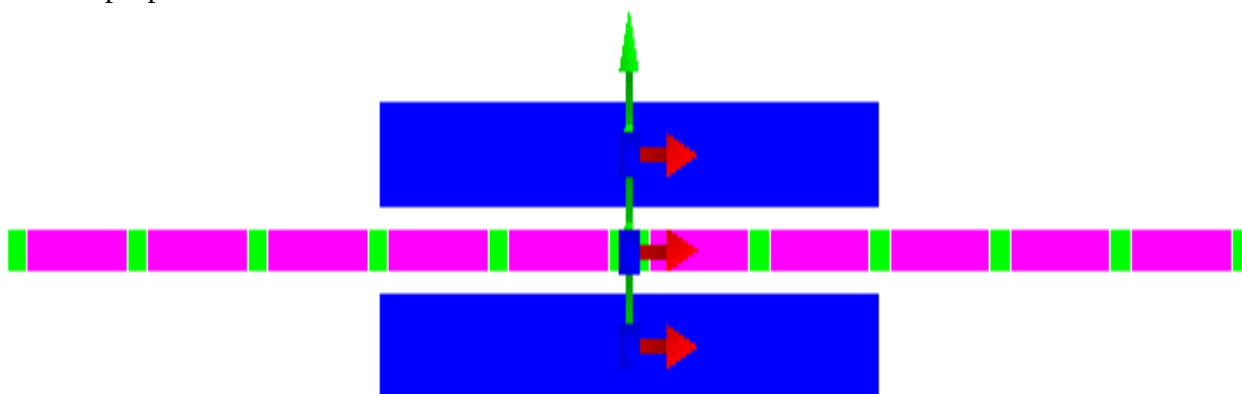


Fig. 5.19. Modelul fizic al motorului cu gadolinium

5.7. CONCLUZII

Reglarea vitezei motorului realizat se poate face prin modificarea temperaturii uneia din sursele de căldură și asigurarea unui transfer optim al căldurii la nivelul rotorului. Creșterea turației se poate face prin modificarea temperaturii surselor de căldură sau prin creșterea transferului de căldură, prin ventilarea mediului la nivelul acestora.

Motorul are un gabarit redus, ceea ce permite utilizarea lui în spații înguste, aflate în flux termic ridicat pentru a facilita transferul de căldură.

Simularea motorului cu gadoliniu a fost realizată în Flux2D în modulul *Magnetostatic*. Geometria modelului fizic a fost simplificată, astfel încât rezultatele să poată fi analizate cu ușurință. În simulare au fost considerați variabili o serie de parametri, geometrici și fizici, pentru a obține rezultate detaliate în legătură cu valoarea forței de motoare la nivelul pastilelor de gadoliniu precum și pentru a stabili dimensiunea optimă pentru întrefierul motorului.

Pentru o valoare constantă a parametrului geometric ce stabilește distanța dintre magneții permanenți se constată creșterea forței de atracție la nivelul magneților permanenți odată cu creșterea permeabilității relative a materialului (Gd). Pe măsură ce crește distanța din magneții permanenți are loc o diminuare considerabilă a acesteia. Valoarea maximă a forței de atracție, considerând un întrefier minim determinat de caracteristicile mecanice ale motorului (1 mm) este de 7,63 N. În același timp, se constată faptul că, la trecerea gadoliniului în domeniul feromagnetic ($\mu_r > 100$), forța de atracție crește brusc iar variația permeabilității în domeniul precizat nu conduce la o majorare ulterioară semnificativă a forței de atracție.

Creșterea de până la 5 ori a dimensiunii întrefierului conduce la reducerea forței de atracție cu aproximativ 76%.

Datele simulate sunt în concordanță cu cele obținute experimental și subliniază faptul că sistemul de antrenare cu gadoliniu, proiectat, realizat și testat, poate fi utilizat cu succes în acționările electrice de joasă viteză unde sunt disponibile două surse de căldură optime funcționării, sursa caldă permițând recuperarea de căldură din gaze de ardere sau abur tehnologic sau în zone izolate în care sursele de căldură sunt preluate din mediu sub forma curgerilor de apă și a căldurii solare.

Reglarea vitezei de rotație a motorului a fost realizată doar prin modificarea temperaturii mediului cald, păstrând constant temperatura mediului rece. Sistemul digital permite afișarea în timp real a turației, respectiv a temperaturii rotorului din mediul cald, informații ce ne permit să acționăm asupra temperaturii, astfel încât să obținem turația dorită.

Capitolul 6

CONTRIBUȚII LA REALIZAREA UNUI ACTUATOR CU POLIMERI

[8], [9], [10], [11], [66], [82], [132], [138], [155], [161]

6.1. GENERALITĂȚI

6.1.1 Polimeri termoplastici și elastomeri cu memoria formei

Elastomerii în mod normal, atunci când sunt solicitați în intervalul termic localizat sub temperatura de curgere și peste temperatura de vitrifiere (T_g – numită și temperatură de amorfizare) prezintă un „comportament tip cauciuc”. Rezultă că aceste materiale nu pot fi deformatate în mod permanent, fără a fi încălzite sau deteriorate (fisurate) într-o anumită măsură. Prin urmare cea mai importantă problemă, la obținerea polimerilor termoplastici și a elastomerilor cu memoria formei este imprimarea formei reci. Metoda cea mai răspândită de imprimare a formei reci constă din răcirea în stare deformată, până sub T_g . În felul acesta polimerul este „înghețat” în starea amorfă, caracterizată printr-o formă rece alungită. Ca și la AMF, deși nu este cristalin, polimerul cărui i s-a imprimat o formă caldă înmagazinează o anumită cantitate de energie de deformare, care va favoriza redobândirea formei calde, imediat ce mobilitatea moleculelor va permite acest lucru (odată cu încălzirea peste T_g). În timpul încălzirii, lanțurile macromoleculare interacționează prin formarea de microcristale sau prin modificarea gradului de amorfizare [82].

6.3. TESTAREA ACTUATORULUI CU POLIMER

În Fig. 6.7. este prezentat stand-ul experimental în care a fost folosit toner de imprimantă laser pe suprafața polimerului ca material conductor. În urma acestei testări s-a constatat că folia nu a suferit nicio deplasare la aplicarea tensiunilor înalte.

În Fig. 6.8. este prezentat standul experimental în care a fost folosită pilitura de fier, ca material conductor pentru aplicarea tensiunii de comandă, plasată pe cele două suprafețe adezive ale foliei de polimer. În urma testelor s-a constatat că folia cu această pilitura de fier nu a suferit niciun fel de deplasare.

În Fig. 6.9. se observă actuatorul în care s-a folosit ferrofluid pentru aplicarea tensiunii pe fețele membranei de polimer, caz în care nu s-a observat nicio deformare.

În Fig. 6.10. este prezentat stand-ul experimental în care a fost folosită pilitura de grafit ca material conductor aplicat pe fețele membranei de polimer. În urma acestei testări s-a constatat că folia cu de grafit nu a suferit niciun fel de deplasare.



Fig. 6.7. Stand experimental cu toner

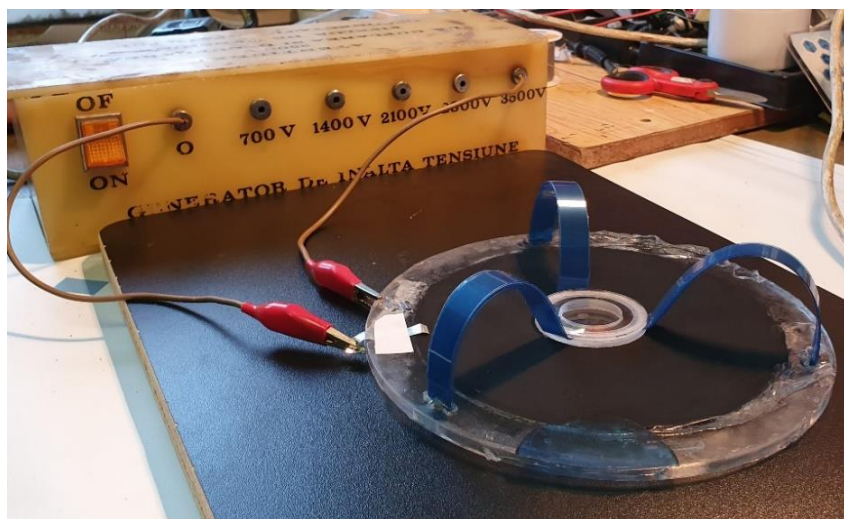


Fig. 6.8. Stand experimental cu pilitura de fier

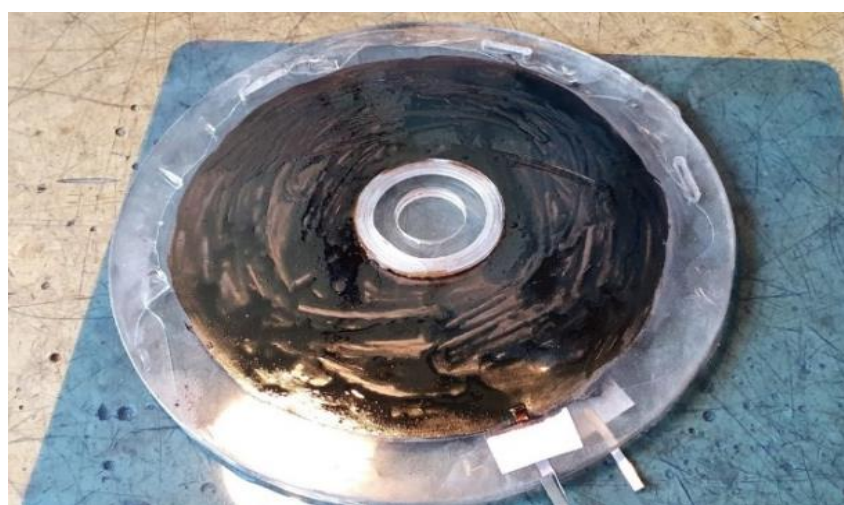


Fig. 6.9. Stand experimental cu ferrofluid



Fig. 6.10. Stand experimental cu pilitură de grafit

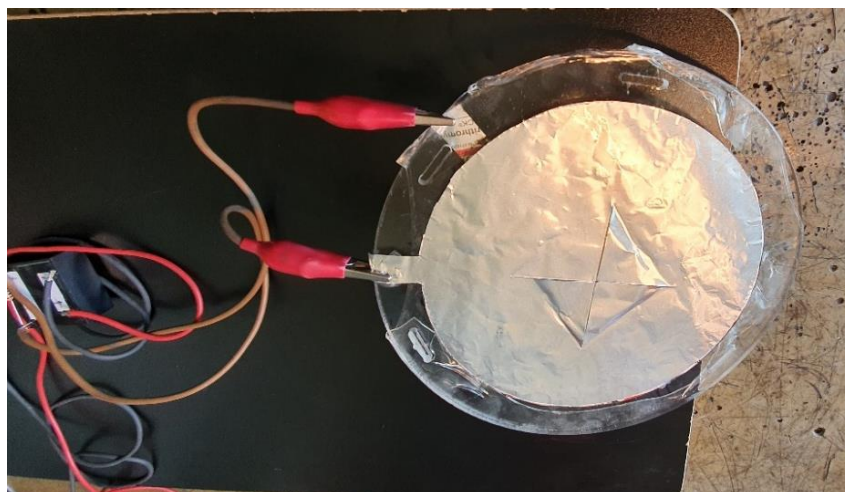


Fig. 6.11. Stand experimental cu folie din aluminiu

În Fig. 6.11. este prezentat stand-ul experimental în care a fost folosită o folie din aluminiu pentru aplicarea tensiunii pe cele două fețe ale polimerului. Cele două straturi de folie din aluminiu lipite pe membrana dublă adezivă au condus la obținerea unei deformări, suprafața polimerului devenind concavă cu săgeată de ordinul $(1 \div 2)$ mm.



Fig. 6.12. Stand experimental cu pilitură de cupru

În Fig. 6.12. este prezentat stand-ul experimental în care a fost folosită pilitura de Cupru pentru aplicarea tensiunii pe cele două fețe ale polimerului. Cele două straturi de pilitură de Cupru lipite pe membrana dublă adezivă au condus la obținerea unei deformări, suprafața polimerului devenind concavă cu săgeată de ordinul (0,14) mm.

6.4. DETERMINAREA ȘI ANALIZA DATELOR EXPERIMENTALE

Din testele efectuate s-a constatat că la polimerii cu piliturile de Cupru și cu folia de Aluminiu a avut loc o deformare. De aceea în acest subcapitol o să fie prezentate în detaliu analizele care au dus la aceste deformări. Pentru a putea stabili deformarea cât mai precisă, am folosit un ceas comparator digital montat pe un suport cu tija mobilă a ceasului comparator pe mijlocul membranei.

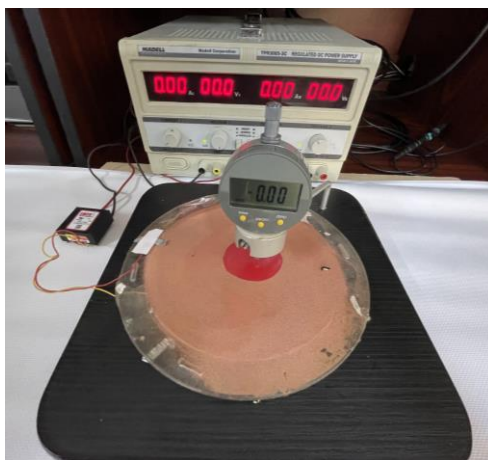
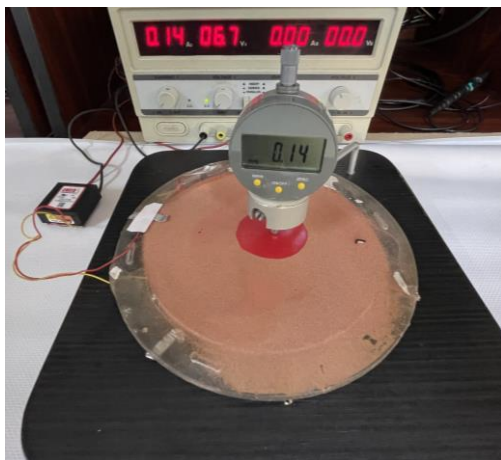


Fig. 6.13. Stand experimental de testare a deformării polimerului

În prima etapă s-a folosit convertorul EMCO G50 care dezvoltă o tensiune de 6000V.

În figura 6.14. a. este prezentat stand-ul experimental în care a fost folosită pilitura de Cupru pentru aplicarea tensiunii de 6000 V pe cele două fețe ale polimerului.



a.



b.

Fig. 6.14. Stand experimental de testare a deformării polimerului cu folia din Cupru și folia din Aluminiu la o tensiune 6000 V.

Cele două straturi de pilitură de Cupru lipite pe membrana dublă adezivă au condus la obținerea unei deformări, suprafața polimerului devenind concavă cu săgeată de ordinul (0,14) mm.

În Fig. 6.14.b. este prezentat stand-ul experimental în care a fost folosită pilitura din folia de Aluminiu pentru aplicarea tensiunii de 6000 V pe cele două fețe ale polimerului. Cele două straturi de folie de Aluminiu lipite pe membrana dublă adezivă au condus la obținerea unei deformări, suprafața polimerului devenind concavă cu săgeată de ordinul (1,66) mm.

În cea de a doua etapă s-a folosit Generatorul de tensiune unde am avut posibilitatea să modificăm tensiunea de la 700V-3500V.

În figura 6.15. a. este prezentat stand-ul experimental în care a fost folosită pilitura de Cupru pentru aplicarea tensiunii de 700 V pe cele două fețe ale polimerului. Cele două straturi de pilitură de Cupru lipite pe membrana dublă adezivă au condus la obținerea unei deformări, suprafața polimerului devenind concavă cu săgeată de ordinul (0,07) mm. În Fig. 6.15.b. este prezentat stand-ul experimental în care a fost folosită pilitura din folia de Aluminiu pentru aplicarea tensiunii de 700 V pe cele două fețe ale polimerului. Cele două straturi de folie de Aluminiu lipite pe membrana dublă adezivă au condus la obținerea unei deformări, suprafața polimerului devenind concavă cu săgeată de ordinul (0,14) mm.

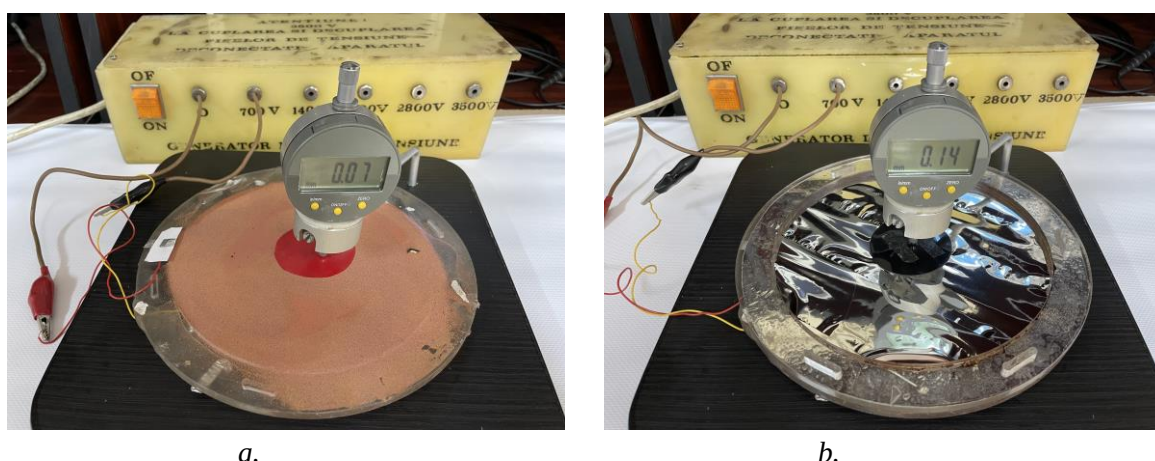


Fig. 6.15. Stand experimental de testare a deformării polimerului cu folia din Cupru și folia din Aluminiu la o tensiune de 700 V.

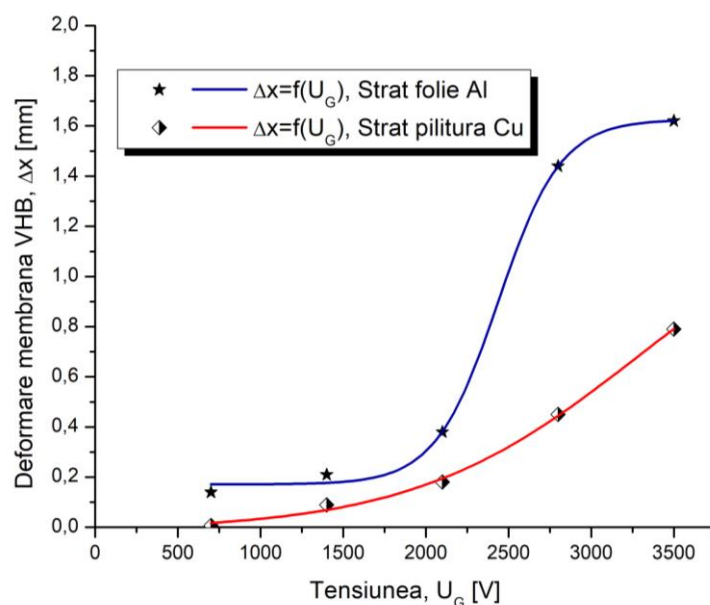


Fig.6.20. Grafic de testare a deformării membranei în funcție de straturile aplicate cu pilitură de Cupru și folie de Aluminiu la tensiuni diferite

6.5. CONCLUZII

Descoperirea unor elastomeri cu proprietăți de memorie a formei (butadien-stirena, NORSOREX R) cărora li se poate imprima o anumită formă, înmagazinând o cantitate apreciabilă de tensiuni interne la temperatura ambiantă sau polimerii cu structură de cauciuc celular care au servit pentru evidențierea unei *memorii elastice hibernante* (*hibernated elastic memory*), aduc avantaje în ceea ce privește densitate redusă, fiabilitate, preț scăzut, utilizare la temperaturi uzuale.

În urma încercărilor experimentale ce au la bază banda dublu adezivă de tip VHB acoperită cu diverse materiale conductoare și excitată la tensiuni ridicate s-au constatat următoarele:

- la fiecare varianta de testare această folie dublu adezivă care are aplicată mai multe tipuri de pilituri înregistrează o săgeată de ordinul zecimilor de milimetru;
- săgeata maximă a fost înregistrată în cazul utilizării foliei de aluminiu pentru aplicarea tensiunii de excitație pe fețele membranei de polimer;
- deși depunerea materialului conductor pe suprafețe este continuă, prin deformarea membranei pot apărea discontinuități care duc la apariția arcului electric și producerea de modificări ale proprietăților membranei sau chiar la străpungerea acesteia;
- acest model de actuator nu poate fi utilizat în aplicații industriale deoarece are gabarit mare, deformațiile și forța obținute sunt mici, iar fiabilitatea și rezistența la condiții de mediu grele sunt reduse.

Accentul pus în prezent pe descoperirea de noi materiale polimerice poate conduce la obținerea unui nou tip de material polimerizat caracterizat de o proprietate de memorie a formei controlabilă în temperatură sau în câmp electric și care să permită obținerea unei deformații crescute.

Capitolul 7

CONCLUZII GENERALE

Teza de doctorat „Contribuții la dezvoltarea unor actuatoare speciale și a unor sisteme de control al acestora” are la bază studii ce continuă cercetarea colectivului din cadrul Centrului de cercetare EMAD al Universității Ștefan cel Mare din Suceava în domeniul actuatorilor și a motoarelor speciale ce folosesc materiale inteligente.

În acest capitol sunt prezentate principalele concluzii ale autorului cu privire la cercetările aplicative desfășurate în perioada elaborării tezei, în special legate de proiectarea, realizarea și testarea unor aplicații ce au la bază materiale inteligente cu memoria formei, respectiv contribuțiile teoretice și experimentale ale autorului și principalele direcții de viitor în vederea cercetării detaliate în domeniul materialelor inteligente.

7.1. CONTRIBUȚIILE TEORETICE ALE LUCRĂRII

Contribuțiile teoretice ale lucrării se pot structura astfel:

- Realizarea unei analize bibliografice cu privire la principalele tipuri de materiale inteligente cu proprietăți termo-mecanice sau electro-mecanice.
- Realizarea unei clasificări a aliajelor cu memoria formei după diverse criterii de clasificare și analiza efectelor de memorie a formei.
- Realizarea unui studiu cu privire la obținerea ferrofluidelor și aplicații ale acestora.
- Realizarea analizei și a studiului documentar cu privire la comportarea Gadoliniului la variația temperaturii.
- Realizat un studiu cu privire la aliajele cu memoria formei (pe bază de Ni și Ti, de aur, de cupru, de Cu-Al-Ni-Mn, materiale ceramice, polimeri), acestea fiind materiale care își modifică proprietățile sub acțiunea unor stimuli externi.
- Realizarea unui studiu cu privire la utilizarea materialele piezoelectrice în domeniul actuatorilor.
- Realizarea unui studiu documentar cu privire la cercetările întreprinse la nivel mondial în domeniul actuatorilor și motoarelor electro-termo-mecanice cu diverse materiale inteligente cu memoria formei, cu materiale piezoelectrice, cu bimetal.
- Realizarea unei sinteze documentare cu privire la noi actuatoare și motoare speciale realizate în cadrul Centrului de cercetare EMAD al Universității din Suceava.
- Realizarea unui model al motorului de joasă turație și rotor disc cu gadolinu folosind metoda elementului finit și simularea funcționării lui la modificarea geometriei și a unor

parametri magnetici și termici. S-a analizat densitatea liniilor de câmp magnetic la nivelul pastilelor de gadoliniu pentru diverse configurații ale geometriei în zona caldă și evaluarea variației forțelor magnetice ce apar între pastilele de gadoliniu și magneții permanenți.

- Analiza parametrilor electrici în vederea utilizării diverselor pulberi conductoare folosite pentru distribuția uniformă a câmpului electric pe suprafața membranelor polimerice cu memoria formei și proprietăți electrostrictive.

7.2. CONTRIBUȚIILE EXPERIMENTALE ALE LUCRĂRII

Dintre contribuțiile importante ale lucrării enumerăm:

- Proiectarea, realizarea prototipului, testarea și realizarea documentației pentru depozitul legal a unui sistem automat de control de tip manetă ce preia comenzile condiționat și are ca scop creșterea siguranței efectuării comenzilor și evitarea comenzilor greșite, sistem ce are la bază evaluarea rezistenței electrodermale prin intermediul unor electrozi.
- Realizarea unui sistem ce permite reglarea intervalului de rezistență electrodermală specifică unui utilizator folosind un sistem cu microcontroler și calculul unui divizor rezistiv configurabil.
- Proiectarea, realizarea prototipului, testarea și realizarea documentației pentru brevetare a unui sistem securizat de control de tip manetă ce are ca scop creșterea siguranței efectuării comenzilor și evitarea comenzilor greșite în cazul unor sisteme complexe, de mare risc, utilizând un sistem de blocare cu arc de nitinol care nu permite activarea comenzii în mod accidental.
- Proiectarea, realizarea prototipului, testarea și realizarea documentației pentru brevetare pentru un sistem de control al mișcării care se poate deplasa prin intermediul a două roți acționate independent cu ajutorul a două motoare. Sistemul de control al mișcării poate să execute, prin acționarea cu un joystick, deplasare înainte / înapoi, deplasare spre stânga / dreapta și frânare folosind un sistem de saboți acționați cu arcuri cu nitinol capabile să-și modifice caracteristicile elastice prin modificarea temperaturii.
- Determinarea performanțelor sistemului de control al mișcării la utilizarea diferitelor configurații mecanice, termice și electrice, pentru identificarea configurației pentru obținerea unei eficiențe maxime, a unui consum minim de energie și a unui timp de răspuns optim.
- Proiectarea, realizarea prototipului și a documentației pentru brevetarea unui sistem de pompare folosind elemente elastice de Nitinol destinat dozării unor cantități constante, precis controlate de fluid.

- Testarea și determinarea parametrilor statici, dinamici și de fiabilitate a micropompei acționată cu resoarte din materiale cu memoria formei, caracterizată prin simplitate constructivă, control precis al debitului și fiabilitate ridicată.
- Proiectarea și realizarea unui motor de joasă turație, cu rotor disc, cu pastile cu gadoliniu (element chimic ce are temperatura Curie în zona temperaturilor ambientale) ce are la bază conversia helio-termo-magnetică.
- Realizarea a două variante de standuri experimentale destinate motorului cu gadoliniu realizat: o variantă cu agregat frigorific cu compresor pentru răcire în flux de aer și o variantă cu răcire în flux de apă. Testarea performanțelor motorului realizat.
- Realizarea unui sistem de reglare și control al turației motorului cu gadoliniu ce are la bază un microcontroler și senzori de turație și de temperatură pentru funcționare folosind ape industriale uzate sau care provin din procese tehnologice diverse.
- Realizarea și testarea unui prototip de motor de joasă turație, cu motor disc, cu gadoliniu capabil să funcționeze în zone izolate, fără alimentare cu energie electrică, sursa caldă provenind de la Soare iar sursa rece apa unui râu sau a unui lac. S-au făcut determinări experimentale pentru diferite cazuri practice și diferite nivele de scufundare a rotorului în apă.
- Realizarea unui stand experimental destinat studiului acțiunii unor membrane realizate din polimeri termoplastici și elastomeri cu memoria formei, folosind două tipuri de surse de înaltă tensiune și un sistem comparator.
- Testarea forței de acțiune și a deformării electro-mecanice a unor membrane realizate din bandă dubluadezivă polimerică acoperită cu pulberi diverse, în vederea analizării posibilității de utilizare în noi tipuri de actuatori. Au fost făcute determinări în care, pentru obținerea distribuției potențialului electric pe membrana polimerică s-au folosit: toner de copiator, pulbere de fier, ferrofluid, pulbere de grafit, pulbere de cupru și folie de staniol.

7.3. DIRECȚII ULTERIOARE DE CERCETARE

Studii realizate și prezentate în lucrare continuă preocupările colectivului de cercetare din cadrul Centrului de cercetare EMAD al USV și al Laboratorului de inventică și transfer tehnologic din cadrul Centrului integrat de cercetare, dezvoltare și inovare pentru Materiale Avansate, Nanotehnologii și Sisteme Distribuite de fabricație și control (MANSiD), în domeniul studiului și dezvoltării de noi actuatoare termo-electro-mecanice.

Studiile realizate deschid noi orizonturi privind utilizarea aliajelor cu memoria formei, a elastomerilor și a polimerilor termo- și electro-plastici în dezvoltarea de noi tipuri de actuatoare pentru industrie din punctul de vedere a dezvoltării durabile astfel:

- Studiul comportării materialelor cu memoria formei în diferite medii, lichide și gazoase și realizarea de actuatoare capabile să funcționeze în medii explozive, cu praf sau contaminate cu substanțe chimice.
- Studiu, analiza, proiectarea și realizarea de actuatoare pe baza polimerilor electrostrictivi sau al polimerilor termoplastici cu memoria formei, cu construcție simplă și fiabilitate ridicată.
- Cercetări teoretice și experimentale în vederea realizării de noi sisteme de acționare, de mare precizie, folosind materiale cu memoria formei, pentru domeniul automobilelor, al medicinei sau care să fie înglobate în sisteme de tip casă inteligentă sau oraș inteligent.
- Dezvoltarea unor motoare și actuatoare cu fiabilitate crescută și consum electric redus sau nul, utilizate în sistemele de producere a energiei electrice din surse regenerabile (orientarea panourilor fotovoltaice, poziționarea palelor turbinelor eoliene, reglarea debitului în căderile de apă) sau în domeniul sateliților utilitari.

REFERINȚE BIBLIOGRAFICE

- [1]. A., KOPELLOVICI, P., *Sistem de reglare automată*. Metode de calcul ingineresci. București: Editura Tehnică, 1963.
- [2]. ALDEA, F.; TĂNESCU, S. *Bimetalul și aplicațiile lui în electrotehnică*. București: Editura Tehnică, 1973.
- [3]. ANTON, I.; *Fluide magnetice*. Timișoara: Institutul Politehnic Timișoara, Lucrările Conferinței de Mașini Hidraulice și Hidrodinamice, Vol. 7, 1985.
- [4]. ANTON, I.; VEKAS, L.; POTENCZ, I.; SUCIU, E. *Ferrofluid flow under the influence of rotating magnetic fields*. In: IEEE Transaction on Magnetics, MAG-16, 1980.
- [5]. BABĂȚĂ, G.I.; *Studiul materialelor cu memoria formei*. Proiect de diplomă. Universitatea Ștefan cel Mare din Suceava, Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor, Suceava, 2011
- [6]. BAUMBICK, R.J.; *Shape memory alloy actuator*. Int. Cl.7: F01 B 29/10. Brevet US, 6151897. 2000-11-28.
- [7]. BOUCSEIN, W.; *Electrodermal Activity*, New York: Editura Oxford Springer, 2012.
- [8]. BRAHIM, N.; ABDERREZAK, G.; ABDELAZIZ, L.; MOHAMED, S. *The smart materials and their applications in the engineering fields*. 2015 5th National Symposium on Information Technology: Towards New Smart World (NSITNSW).
- [9]. BUJOREANU, L.G. *Materiale inteligente*. Editura Junimea, Iași, 2002, ISBN 973-98314-2-7.
- [10]. BUZDUGA, C. *Contribuții la extinderea aplicațiilor ferrofluidelor și pulberilor feromagnetice în electrotehnică*. Teză de doctorat. Suceava: Universitatea „Ștefan cel Mare”, Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor, 2012.
- [11]. CĂLUGARU, G.; BUJOREANU, L.G.; STANCIU, S.; HOPULELE, I.; CĂLIMAN, R.; TURCU, O.L.; APACHIȚEI, I. *Memoria formei. Fenomene și aplicații în știința materialelor*, Editura „Plumb”, Bacău, 1995, ISBN 973-9150-50-0.
- [12]. CERNOMAZU, D. *Brevetarea invențiilor în România*. Suceava: Editura Universității „Ștefan cel Mare”, 1997, p.32-68.
- [13]. CERNOMAZU, D.; GRAUR, A.; MANDICI, L.; SOREA, N.; NIȚAN, I.; PRODAN, C.; MILICI, L. D.; MILICI, M.R.; RAȚĂ, M.; ROMANIUC, I. *Actuator cu parafină*. Cerere de brevet de invenție nr. A/01065 din 26.10.2011.
- [14]. CERNOMAZU, D.; MANDICI, L.; GRAUR, A.; NIȚAN, I.; PRODAN, C.; MILICI, L.D.; MILICI, M.R.; RAȚĂ, M.; ROMANIUC, I. *Motor solar*. Cerere de brevet de invenție nr. A/01067 din 26.10.2011.
- [15]. CERNOMAZU, D.; MANDICI, L.; GRAUR, A.; SOREA, N.; NIȚAN, I.; MILICI, L.D.; MILICI, M.R.; RAȚĂ, M.; PRODAN, C.; ROMANIUC, I.; BUZDUGA, C. *Actuator solar*. Cerere de brevet de invenție nr. A/01101 din 2.11.2011.

- [16]. CERNOMAZU, D.; MANDICI, L.; GRAUR, A.; SOREA, N.; NIȚAN, I.; MILICI, L.D.; MILICI, M. R.; RAȚĂ, M.; PRODAN, C.; ROMANIUC, I.; BUZDUGA, C. *Actuator solar*. Cerere de brevet de invenție nr. A/01166 din 2.11.2011.
- [17]. CERNOMAZU, D.; MANDICI, L.; GRAUR, A.; SOREA, N.; NIȚAN, I.; PRODAN, C.; MILICI, L.D.; MILICI, M.R.; RAȚĂ, M.; ROMANIUC, I.; BACIU, I. *Actuator solar*. Cerere de brevet de invenție nr. A/01100 din 2.11.2011.
- [18]. CERNOMAZU, D.; MANDICI, L.; GRAUR, A.; SOREA, N.; NIȚAN, I.; RAȚĂ, M.; MILICI, L.D.; MILICI, M.R.; PRODAN, C.; ROMANIUC, I.; BACIU, I. *Actuator solar*. Cerere de brevet de invenție nr. A/01102 din 2.11.2011.
- [19]. CERNOMAZU, D.; MANDICI, L.; GRAUR, A.; SOREA, N.; NIȚAN, I.; RAȚĂ, M.; MILICI, L.D.; MILICI, M.R.; PRODAN, C.; ROMANIUC, I.; BACIU, I. *Actuator solar*. Cerere de brevet de invenție nr. A/01168 din 16.11.2011.
- [20]. CERNOMAZU, D.; MANDICI, L.; GRAUR, A.; SOREA, N.; NIȚAN, I.; RAȚĂ, M.; MILICI, L.D.; MILICI, M.R.; PRODAN, C.; ROMANIUC, I.; BACIU, I. *Actuator solar*. Cerere de brevet de invenție nr. A/01164 din 16.11.2011.
- [21]. CERNOMAZU, D.; MANDICI, L.; GRAUR, A.; SOREA, N.; NIȚAN, I.; RAȚĂ, M.; MILICI, L.D.; MILICI, M.R.; PRODAN, C.; ROMANIUC, I.; BACIU, I. *Actuator solar*. Cerere de brevet de invenție nr. A/01369 din 9.12.2011.
- [22]. CERNOMAZU, D.; MANDICI, L.; GRAUR, A.; SOREA, N.; NIȚAN, I.; RAȚĂ, M.; MILICI, L.D.; MILICI, M.R.; PRODAN, C.; ROMANIUC, I.; BACIU, I. *Actuator solar*. Cerere de brevet de invenție nr. A/01370 din 9.12.2011.
- [23]. CERNOMAZU, D.; MANDICI, L.; GRAUR, A.; SOREA, N.; NIȚAN, I.; RAȚĂ, M.; MILICI, L.D.; MILICI, M.R.; PRODAN, C.; ROMANIUC, I.; BACIU, I.; *Actuator solar*. Cerere de brevet de invenție nr. A/00032 din 17.01.2012.
- [24]. CERNOMAZU, D.; MANDICI, L.; GRAUR, A.; SOREA, N.; NIȚAN, I.; RAȚĂ, M.; MILICI, L.D.; MILICI, M.R.; PRODAN, C.; ROMANIUC, I.; BACIU, I.; *Motor solar*. Cerere de brevet de invenție nr. A/01163 din 16.11.2011.
- [25]. CERNOMAZU, D.; MANDICI, L.; GRAUR, A.; SOREA, N.; NIȚAN, I.; RAȚĂ, M.; MILICI, L.D.; MILICI, M. R.; PRODAN, C.; ROMANIUC, I.; BACIU, I.; *Motor solar*. Cerere de brevet de invenție nr. A/01167 din 16.11.2011.
- [26]. CERNOMAZU, D.; MANDICI, L.; JEDER, M.; NEGRU, M.B.; SOREA, N.; OLARIU, E.D.; CREȚU, N.; PROSACARIU, I. *Sistem urmărire după soare*. Brevet de invenție nr. 123229 B1.
- [27]. CERNOMAZU, D.; MANDICI, L.; JEDER, M.; SOREA, N.; OLARIU, E.D.; CREȚU, N.; CREȚU, C.; PRISACARIU, I.; NEGRU, M.B. *Motor solar*. Brevet de invenție nr. 122871 B1.
- [28]. CERNOMAZU, D.; MANDICI, L.; SOREA, N.; UNGUREANU, C.; GUGOAȘĂ, M.; CREȚU, N.; OLARIU, E.D.; BACIU, I.; BUZDUGA, C.; CUJBĂ, T. *Actuator termomagnetic*. Brevet de invenție RO 125484 B1 DIN 30.12.2010.
- [29]. CERNOMAZU, D.; MANDICI, L.; SOREA, N.; UNGUREANU, C.; GUGOAȘĂ, M.; POIENAR, N.; OLARIU, E.D.; BACIU, I.; BUZDUGA, C.; CUJBĂ, T. *Motor solar*. Cerere de brevet de invenție A/00198 din 4.03.2009.

- [30]. CERNOMAZU, D.; MANDICI, L.; SOREA, N.; UNGUREANU, C.; JEDER, M.; POIENAR, N.; OLARIU, E.D.; BACIU, I.; BUZDUGA, C.; CUJBĂ, T. *Sistem de urmărire după soare*. Cerere de brevet nr. A/00070 din 23.01.2009.
- [31]. CERNOMAZU, D.; MANDICI, L.; UNGUREANU, C. *Motor solar*. Brevet de invenție nr. RO 122797 B1 din 29. 01.2010.
- [32]. CERNOMAZU, D.; MANDICI, L.; UNGUREANU, C.; SOREA, N.; NEGRU, M.B.; PRISACARIU, I.; CREȚU, N.; CREȚU, N.C.; JEDER, M.; OLARIU, E. *Motor electric cu rotație redusă*. Brevet de invenție nr. 122758 B1 din 20.12.2009.
- [33]. CERNOMAZU, D.; MANDICI, L.; UNGUREANU, C.; TARNOVEȚCHI, M. *Micromotor solar*. Brevet de invenție 119563 B1 din 30.12.2004.
- [34]. CERNOMAZU, D.; NIȚAN I.; MILICI, M.R.; MILICI, L.D.; ROMANIUC, I.; UNGUREANU, C.; OLARIU, E.D; ȚANȚA, O. *Micromotor cu gel polimeric și rotor excentric*. Cerere de Brevet de Invenție nr. A/00797 din 04.11.2013, O.S.I.M. București.
- [35]. CERNOMAZU, D.; NIȚAN, I.; MILICI, M.R.; MILICI, L.D.; ROMANIUC, I.; ȚANȚA, O.; *Micromotor electrochimic cu polimeri electrostrictivi*. Cerere de Brevet de Invenție nr. A/00801 din 04.11.2013, O.S.I.M. București.
- [36]. CERNOMAZU, D.; NIȚAN, I.; MILICI, M.R.; MILICI, L.D.; ROMANIUC, I.; ȚANȚA, O. *Motor electrochimic cu rotor excentric*. Cerere de Brevet de Invenție nr. A/00804 din 04.11.2013, O.S.I.M. București.
- [37]. CERNOMAZU, D.; NIȚAN, I.; MILICI, M.R.; MILICI, L.D.; ROMANIUC, I.; UNGUREANU, C. ; ȚANȚA, O.M. *Actuator electrochimic hibrid*. Cerere de brevet de invenție A00802 din 4.11.2013.
- [38]. CERNOMAZU, D.; NIȚAN, I.; MILICI, M.R.; MILICI, L.D.; ROMANIUC, I.; OLARIU, E.D.; ȚANȚA, O. *Micromotor electrochimic cu rotor rulant*. Cerere de brevet de invenție A/00800 din 4.11.2013.
- [39]. CERNOMAZU, D.; NIȚAN, I.; MILICI, M.R.; MILICI, L.D.; ROMANIUC, I.; UNGUREANU, C.; OLARIU, E.D.; ȚANȚA, O. *Micromotor electrochimic pe bază de polimeri conductivi*. Cerere de Brevet de Invenție nr. A/00798 din 04.11.2013, O.S.I.M. București.
- [40]. CERNOMAZU, D.; NIȚAN, I.; SOREA, N.; DAVID, C.; MILICI, M.R.; MILICI, L.D.; RAȚĂ, M. *Stand pentru studiul caracteristicilor de funcționare a motoarelor Stirling*. Cerere de brevet de invenție nr. A/00812/2010.
- [41]. CERNOMAZU, D.; NIȚAN, I.; SOREA, N.; DAVID, C.; MILICI, M.R.; MILICI, L.D.; RAȚĂ, M. *Stand pentru studiul caracteristicilor de funcționare a motoarelor Stirling*. Cerere de Brevet de Invenție nr. A/00813/2010.
- [42]. CERNOMAZU, D.; POIENAR, M.; ROMANESCU, A. N.; ȚANȚA, O. M.; PRODAN, C.; GEORGESCU, D. Ș.; NIȚAN, I.; OLARIU, E. D.; UNGUREANU, C.; RAȚĂ, M. *Actuator heliotermic mixt*. Cerere de Brevet de Invenție nr. A/00619 din 13.08.2014.
- [43]. CERNOMAZU, D.; POIENAR, M.; ROMANESCU, A.N.; ȚANȚA, O.M.; CENUȘĂ, M.; OLARIU, E.D. *Actuator heliotermic cu lamelă bimetalică*. Cerere de brevet de invenție 25.03.2015.
- [44]. CERNOMAZU, D.; POIENAR, M.; ROMANESCU, N.; ȚANȚA, O. M.; PRODAN, C.; GEORGESCU, D.Ș.; NIȚAN, I.; OLARIU, E.D.; UNGUREANU, C.; RAȚĂ, M. *Actuator*

- heliotermic mixt cu concentrator parabolic, Cerere de Brevet de Invenție nr. A/00620 din 13.08.2014.
- [45]. CERNOMAZU, D.; UNGUREANU, C.; SOREA, N.; OLARIU, E.D.; POIENAR, N.; NEGRU, M.B.; JEDER, M.; BACIU, I.; BUZDUGA, C.; PRISACARIU, I.; CUJBA, T.; NIȚAN, I.; NAROVICI, M. *Sistem de orientare după soare*. Brevet de invenție nr. 125121 B1.
- [46]. CERNOMAZU, D.; UNGUREANU, C.; LEONTE, P.; SIMION, A. *Motor solar*. Brevet de invenție nr. RO 123266 B1 din 29.04.2011.
- [47]. CERNOMAZU, D.; UNGUREANU, C.; SAVU, E.; MINESCU, D. [et. al.] *Contribuții privind realizarea și experimentarea unor motoare neconvenționale la universitatea din Suceava*. In: ECOTEHNOLOGII 2003 - Creșterea eficienței proceselor de creație tehnică, 19-22 Iunie 2003, Iași, Romania, ISBN: 973-8075-90-4, p.174-181.
- [48]. CERNOMAZU, D.; UNGUREANU, C.; SIMION, A. *Motor solar*. Brevet de invenție nr. RO 123265 B1 din 29.04.1011.
- [49]. CERNOMAZU, D.; JEDER, M.; SOREA, N.; OLARIU, E.D.; CREȚU, N.; CREȚU, C.; PRISACARIU, I.; NEGRU, M.B. *Sistem orientare după soare*. Cerere de brevet de invenție nr. A/00699.
- [50]. CERNUȘCĂ D.; DIMIAN M.; POIENAR M.; MILICI M.R.; PAȚA S. *Micropompă electrochimică de vid și presiune*. Cerere de Brevet de Invenție nr. A/00152 din 14.03.2017. O.S.I.M., București.
- [51]. CERNUȘCĂ D.; POPA V.; GRAUR A.; POIENAR M.; MILICI L.D.; NIȚAN I. *Micropompă electromecanică*. Cerere de Brevet de Invenție nr. A/00151 din 14.03.2017. O.S.I.M., București.
- [52]. CERNUȘCĂ, D.; MILICI, D.L.; POIENAR, M. *Development of special actuators using smart materials*. In: 2016 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE 2016), 20-22 October, Iasi, Romania, Pages: 567 - 570, DOI: 10.1109/ICEPE.2016.7781404.
- [53]. CERNUȘCĂ, D.; MILICI, L.D.; POIENAR, M. *Researches on the realization of a electromechanical micropump*. 2018 International Conference and Exposition on Electrical And Power Engineering (EPE), 18-19 Oct. 2018, Iasi, Romania;
- [54]. CERNUȘCĂ, D.; POIENAR, M.; PAȚA, D.S. *Electromechanical vacuum and pressure micropump*. Salonul Național a Inovării și Cercetării Științifice Studentești "CADET INOVA", Sibiu, România, 2018.
- [55]. CERNUȘCĂ, D.; POIENAR, M.; PAȚA, D.S.; *Electromechanical vacuum and pressure micropump*. Salonul Național a Inovării și Cercetării Științifice Studentești "CADET INOVA", Sibiu, România, 2018
- [56]. CERNUȘCĂ, D.; POIENAR, M.; PAȚA, S.D. *Electrochemical micropump*. Salonul Național a Inovării și Cercetării Științifice Studentești "CADET INOVA", 2017, Sibiu, România, Aprilie 2017.
- [57]. CHIVU O. *Contribuții teoretice și experimentale privind modelarea și simularea unor motoare ultrasonice*. Teză de doctorat. Conducător științific: Prof. univ. dr. ing. Gheorghe AMZA. București: Universitatea "Politehnica", Facultatea de Inginerie și Managementul Sistemelor Tehnologice, 2009, p. 81-99.

- [58]. COLAN, H.; TUDORAN, P.; AILINCĂI, G.; MARCU, M. *Studiul materialelor*. Editura didactică și pedagogică, București, 1983.
- [59]. DEZELLUS. A.; OCHIN, P.; *Shape memory thin round wires produced by the inrotating water melt-spinning technique*. Acta Mater, 2006.
- [60]. DUERING, T.W; MELTON, K.N; STOCKEL, D. *Engineering aspects of shape memory alloys*. Butterworth-helnemann, 1990
- [61]. DULGHERU, V.; CANTEMIR, D.; CARCEA, M. *Manual de creativitate*. Chișinău: Editura Tehnica- Info, 2000.
- [62]. ERHAN, V. *Brevetarea invențiilor în România*. București: Editura Economica, 1998, p.15-204
- [63]. FALK, F. *Model free energy*, Mechanism and thermodynamics of shape memory alloys. Acta Metall, 1980.
- [64]. FURUYA, Y.; SHIMADA, H. *Shape memory actuators for robotic applications*. Butterworth-Heinemann, London, 1990.
- [65]. GOLDSTEIN, D. *Heat engine based on shape memory alloys*. Int. Cl.5 : F03 G 7/06. Brevet US, 4938026. 1990-07-03.
- [66]. HUANG, J.; SHIAN, S.; DIEBOLD, R.M. et al. *The thickness and stretch dependence of the electrical breakdown strength of an acrylic dielectric elastomer*. Appl Phys Lett, 2012, 101: 122905
- [67]. JEDER, M.; OLARIU, E.D. ; CREȚU, N.; CREȚU, N.C.; NEGRU, M.B.; PRISACARIU, I.; SOREA, N. ; CERNOMAZU, D. *Sistem de acționare cu actuatori electromecanici cu parafină*. Brevet de invenție nr. RO 122789 B1 din 29.01.2010.
- [68]. JEDER, M.; SOREA, N.; OLARIU, E.D.; CREȚU, N.; CREȚU, C.; PRISACARIU, I.; CERNOMAZU, D. *Motor solar*. Brevet de invenție nr. RO 122947 B1.
- [69]. JIANZOU, M.; HUAOLEI, H.; JIN, H. *Characteristics Analysis and Testing of SMA Spring Actuator*. Advances in Materials Science and Engineering Volume 2013, Article ID 823594, 7 pages.
- [70]. JOHNSON, A.D.; KIRKPATRICK, P.F. *Field effect memory alloy heat engine*. Int. Cl.3 : F03 G 7/06. Brevet US, 4281513. 1981-08-04.
- [71]. KUTLUCINAR, I.V.; SAUL, A.M. *Heat converter engine using a shape memory alloy actuator*. Int. Cl.7: F01 B 29/10. Brevet US, 6226992 B1. 2001-05-08.
- [72]. LI, Y.T. *Nitinol engine for low grade heat*. Int. Cl.3 : F03 G 7/06. Brevet US, 4302938. 1981-12-01.
- [73]. MĂRGESCU, I.; BĂDESCU, GH. *Transmiterea discretă a semnalelor*, București, Editura Tehnică, 1978
- [74]. MĂTIEȘ, V.; MÂNDRU, D.; TĂTAR, O. et. al. *Actuatori în mecatronică*. Cluj-Napoca: Editura Mediamira, 2000, p.255-258, ISBN 973-9358-16-0.
- [75]. MELTON, K.N.; MERCIER, O.; *Fatigue of NiTi thermoelastic martensites*. Acta Metall. 1979.
- [76]. MILICI, L.D. *Computerized system for testing and formation the speed of backward push of sportmen*, in 13th International Symposium on Measurements for Research and Industry

- Applications organising by International Measurement Confederation IMEKO TC4, pp. 673-677.
- [77]. MILICI, M.R. *Contribuții teoretice și experimentale privind perfecționarea și extinderea ariei de aplicabilitate în domeniul electrotehnic a actuatorilor electromecanice și electrochimice cu lichid*. Programul postdoctoral PRIDE– Proiect și dezvoltare prin cercetare și inovare post-doctorală în inginerie și științe aplicate, 2007-2013.
- [78]. MILICI, M.R.; MILICI, L.D.; PENTIUC, R.D.; ATANASOAE, P. *The mathematical model of a stand measuring the torque of the termobimetal actuators*, in: 2016 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering, p. 563-566.
- [79]. MIYAZAKI, S.; IGO, Y.; *Effect of thermal cycling on the transformation temperature of Referințe bibliografice - 52 - NiTi alloys*. Acta Metall, 1986.
- [80]. MOIGNIER, P.; CHENUT, G.; JABS, H. *Rotary actuator using shape memory*. Int. Cl.6 : B64 G 1/44. Brevet US, 5975468. 1999-11-02.
- [81]. NEGRU, M.B.; CERNOMAZU, D.; MANDICI, L.; UNGUREANU, C.; GUGOAȘĂ, M.; CUJBĂ, T.O.; CREȚU, N.; OLARIU, E.D.; PRISACARIU, I.; GEORGESCU, Ș.D.; BACIU, I.; BUZDUGA, C. *Captator solar*. Cerere de brevet de invenție nr. A/00452 din 21.05.2010.
- [82]. NIȚAN, I. *Aspecte teoretice și experimentale privind extinderea aplicațiilor actuatorilor cu lichid realizate pe baza unor fenomene fizico-chimice*. Teză de doctorat. Suceava: Universitatea “Ștefan cel Mare”, Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor, 2013.
- [83]. NIȚAN, I.; GRAUR, A.; MILICI, M.R. ; MILICI, L.D.; ROMANIUC, I.; UNGUREANU, C.; OLARIU, E.D. ; ȚANȚA, O.; POIENAR, M.; CERNOMAZU, D. *Motor electrochimic pas cu pas*. Cerere de brevet de invenție nr. A/00804 din 4.11.2013.
- [84]. NIȚAN, I.; MANDICI, L.; MILICI, M.R.; MILICI, L.D.; ROMANIUC, I.; UNGUREANU, C.; OLARIU, E.D.; ȚANȚA, O.; POIENAR, M. *Micromotor pas cu pas realizat cu gel polimeric*. Cerere de Brevet de Invenție nr. A/00799 din 04.11.2013, O.S.I.M., București.
- [85]. NIȚAN, I.; MILICI, L.D.; POIENAR, M.; CERNUȘCĂ, D.; PAȚA, S.D.; PIANÎH, A.; PENTIUC, R.D.; POPA, C.D.; RAȚĂ, M.; UNGUREANU, C. *Interlocking system*. Cerere de brevet de invenție european nr. 19464001.7.
- [86]. NIȚAN, I.; SOREA, N.; PRODAN, C.; MILICI, L.D.; MILICI, M.R. ; MANDICI, L.; GRAUR, A.; RAȚĂ, M.; BUZDUGA, C.; BACIU, I.; ROMANIUC, I.; CERNOMAZU, D. *Actuator solar*. Cerere de brevet de invenție nr. A/00033 din 17.01.2012.
- [87]. OLARIU, E.D. ; ROMANIUC, I.; CERNOMAZU, D. *Motor solar*. Cerere de brevet de invenție nr. A/01169 din 16.11.2011.
- [88]. OVEZEA D. *Sistem mecatronic avansat de acționare cu actuatori piezoelectrice*. Teză de doctorat. Conducător științific: Prof. univ. dr. ing. Nicolae ALEXANDRESCU. București: Universitatea “Politehnica”, Facultatea de Inginerie Mecanică și Mecatronică, 2011, p. 61-64.
- [89]. PELLEY, R.L. *Memory power engine*. Int. Cl.3 : F03 G 7/06. Brevet US, 4407124. 1983-10-04.

- [90]. PELLY, L.R. *Shape memory element engine*. Int. Cl.3 : F03 G 7/06. Brevet US, 4393654. 1983-07-19.
- [91]. PERKINS, J. *Shape memory effects in alloys*. Plenum Press, New York and London, 1975.
- [92]. PHYSIKE Instrumente GmbH & Co. KG-piezoelectric materials, accesat în 13.09.2019.
- [93]. PISCIUC, S. *Studiul privind realizarea și funcționarea actuatoarelor realizate cu materiale cu memoria formei*. Proiect de disertație. Universitatea Ștefan cel Mare din Suceava, Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor, Suceava, 2011.
- [94]. POPA V.; NIȚAN, I.; MILICI, M.R.; MILICI, L.D.; ROMANIUC, I.; UNGUREANU, C.; OLARIU, E.D.; ȚANȚA, O.; CERNOMAZU, D. *Sistem de irigație cu pompe electrochimice*. Cerere de Brevet de Invenție nr. A/00794 din 01.11.2013, O.S.I.M. București.
- [95]. POPA, V.; NIȚAN, I.; ROMANIUC, I.; GEORGESCU, Ș.D.; RAȚĂ, M.; PRODAN, C.; MILICI, M.R. ; MILICI, L.D.; OLARIU, E.D.; CERNOMAZU, D. *Pompă electrochimică*. Cerere de brevet de invenție A/00661 din 18.09.2012.
- [96]. POTERAȘU, V.F. – Structuri și sisteme inteligente adaptive. I. Materiale, dinamică, control, Editura CERMI, Iași, 2000, ISBN 973-800049-7-1.
- [97]. PRODAN, C.; MELINCEANU, A.; HARIP, C.; COJOCARU, C.; MOROȘAN, M.; COAJĂ, C.; NEGRU, M.B. *Vibromotor electrostatic demonstrativ*. Cerere de brevet de invenție A/01017 din 24.07.2002.
- [98]. ROMANESCU, A. N.; CERNUȘCĂ, D.; POIENAR, M.; MILICI, L. D. *Considerations regarding the practical implementation of the heliothermic actuator in the form of flat spiral spring*. In: 2016 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE 2016), 20-22 October, Iasi, Romania, Pages: 157 - 160, DOI: 10.1109 /ICEPE.2016.7781324.
- [99]. ROMANESCU, A. *Noi contribuții teoretice și experimentale privind perfecționarea motoarelor solare bazate pe conversia helio-termo-mecanică*. Teză de doctorat. Suceava: Universitatea “Ștefan cel Mare”, Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor, 2017.
- [100]. ROMANESCU, A.N.; CERNUȘCĂ, D.; PAȚA, S.D.; CENUȘĂ, M.; POIENAR, M.; ATĂNĂSOAE, P.; PENTIUC, R.D.; MILICI, D.L. *Actuator heliothermic*. Cerere de Brevet de Invenție nr. A/00301 din 26.04.2016.
- [101]. ROMANESCU, A.N.; POIENAR, M.; CENUȘĂ, M.; NIȚAN, I. *Performance analysis of a linear heliothermic actuator*. In: 7th International Conference on Modern Power Systems 2017, 6-9 june 2017, Cluj-Napoca, România.
- [102]. ROMANESCU, A.N.; POIENAR, M.; ȚANȚA, O.M.; NIȚAN, I.; OLARIU, E.D. ; CERNOMAZU, D. *Actuator heliothermic*. Cerere de brevet de invenție A/00690 din 12.09.2014.
- [103]. ROMANIUC, I. *Aspecte teoretice și experimentale privind extinderea aplicațiilor vibromotoarelor în electrotehnică*. Teză de doctorat. Suceava: Universitatea “Ștefan cel Mare”, Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor, 2013.
- [104]. ROMANIUC, I.; NIȚAN, I.; RAȚĂ, M.; PRODAN, C.; MILICI, L.D.; MILICI, M.R.; OLARIU, E.D.; UNGUREANU, C.; GEORGESCU, Ș.T.D.; CERNOMAZU, D.

- Vibromotor magnetostrictiv reglabil*. Cerere de Brevet de Invenție nr. A/01426 din 21.12.2011, O.S.I.M. București.
- [105]. ROMANIUC, I.; NIȚAN, I.; RAȚĂ, M.; PRODAN, C.; MILICI, L.D.; MILICI, M.R.; OLARIU, E.D.; UNGUREANU, C.; GEORGESCU, ȘT.D.; CERNOMAZU, D. *Vibromotor magnetostrictiv cu sens de rotație reversibil*. Cerere de Brevet de Invenție nr. A/01425 din 21.12.2011, O.S.I.M. București.
- [106]. ROMANIUC, I.; NIȚAN, I.; RAȚĂ, M.; MILICI, M.R.; MILICI, L.D.; DAVID, C.; RAȚĂ, G. *Vibromotor*. Cerere de brevet de invenție nr. A/00257 din 23. 03. 2011.
- [107]. ROMANIUC, I.; NIȚAN, I.; OLARIU, E.; UNGUREANU, C.; MANDICI, L.; RAȚĂ, M.; CERNOMAZU, D. *Vibromotor electrostatic*. Cerere de Brevet de Invenție nr. A/00470 din 25.06.2013, O.S.I.M. București.
- [108]. ROMANIUC, I.; RAȚĂ, M.; POIENAR, N.; CEAPĂ, A.G.; CERNOMAZU, D. *Model demonstrativ pentru studiul principiului de funcționare al motorului electrostatic*. Cerere de brevet de invenție A/00469 din 25,06,2013.
- [109]. SAVU, E.; UNGUREANU, C.; MINESCU, D.; NEGRU, M.B.; PRODAN, C.; IORDACHE, C.; TĂNASĂ, F. *Microvibromotor piezoelectric*. Cerere de brevet de invenție nr. A/00546 din 27.04.2002.
- [110]. SOREA, N. *Contribuții teoretice și experimentale privind perfecționarea motoarelor solare bazate pe conversia termomecanică*. Teză de doctorat. Suceava: Universitatea “Ștefan cel Mare”, Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor, 2012.
- [111]. SOREA, N.; JEDER, M.; OLARIU, E. D.; CREȚU, N.; PRISACARIU, I.; CERNOMAZU, D. *Motor solar*. Brevet de invenție nr. RO 123228 B1 din 30.03.2011.
- [112]. SOREA, N.; JEDER, M.; CREȚU, N.; OLARIU, E.D.; PRISACARIU, I.; CERNOMAZU, D. *Motor solar*. Brevet de invenție nr RO 122872 B1.
- [113]. SOREA, N.; JEDER, M.; CREȚU, N.; OLARIU, E.D.; PRISACARIU, I.; CERNOMAZU, D. *Motor solar*. Brevet de invenție nr RO 123203 B1.
- [114]. SOREA, N.; NIȚAN, I.; PRODAN, C.; MILICI, L.D.; MILICI, M.R.; RAȚĂ, M.; BUZDUGA, C.; BACIU, I.; ROMANIUC, I.; CERNOMAZU, D. *Actuator solar cu parafină*. Cerere de brevet de invenție nr. A/00034 din 17.01.2012.
- [115]. SOREA, N.; NIȚAN, I.; BACIU, I.; BUZDUGA, C.; OLARIU, E.D.; ROMANIUC, I.; CERNOMAZU, D. *Actuator solar*. Cerere de brevet de invenție A/01162 din 16.11.2011.
- [116]. SOREA, N.; OLARIU, E.D.; BACIU, I.; UNGUREANU, C.; NEGRU, M.B.; CUJBĂ, T.O.; BUZDUGA, C.; JEDER, M.; PRISACARIU, I.; CERNOMAZU, D. *Sistem de răcire*. Brevet de invenție nr. RO 125137 B1 din 30.12.2013.
- [117]. SOREA, N.; UNGUREANU, C.; GUGOAȘĂ, M.; POIENAR, N.; OLARIU, E.D.; BACIU, I.; BUZDUGA, C.; CUJBĂ, C.; CERNOMAZU, D. *Motor solar*. Cerere de brevet de invenție nr. A/00209 din 9.03.2009.
- [118]. STACHOVIK, G.B.; McCORMICK, P.G. *Shape memory behaviour associated with the R and martensitic transformation in a NiTi alloy*. Acta Metall, 1988.
- [119]. SWENSON, S.R. *Shape memory bi-directional rotary actuator*. Int. Cl.5 : F03 G 7/06. Brevet US, 5127228. 1992-07-07.

- [120]. TARNOVEȚCHI, M. ; UNGUREANU, C. *Micromotor solar*. Brevet de invenție nr. 119564 B1 din 30.12.2004.
- [121]. ȚANȚA, O. *Contribuții teoretice și experimentale cu privire la unele efecte particulare în domeniul pulberilor feromagnetice și al ferofluidelor*. Teză de doctorat. Universitatea Ștefan cel Mare, Suceava, 2016.
- [122]. UNGUREANU, C. *Contribuții teoretice și experimentale privind realizarea și experimentarea unor motoare electrice solare*. Teză de doctorat. Suceava: Universitatea “Ștefan cel Mare”, Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor, 2011.
- [123]. UNGUREANU, C. ; CERNOMAZU, D. *Motor solar*. Brevet de invenție nr. RO 123264 B1 din 29.04.2011.
- [124]. UNGUREANU, C.; CERNOMAZU, D. *Motor solar*. Brevet de invenție nr. RO 123263 B1 din 29.04.2011.
- [125]. UNGUREANU, C.; NEGRU, M.B.; PRISACARIU, I.; JEDER, M.; OLARIU, E.D.; CREȚU, N.; SOREA, N.; CERNOMAZU, D. *Traductor de poziție*. Brevet de Invenție nr. RO 123038 B1.
- [126]. UNGUREANU, C.; NEGRU, M.B.; PRISACARIU, I.; JEDER, M.; OLARIU, E.; CREȚU, N.; SOREA, N.; CERNOMAZU, D. *Traductor de poziție solaro-optic*. Brevet de Invenție nr. RO 123008 B1 din 30.06.2010.
- [127]. UNGUREANU, C.; NEGRU, M.B.; PRISACARIU, I.; JEDER, M.; OLARIU, E.; CREȚU, N.; SOREA, N.; CERNOMAZU, D. *Traductor de poziție solaro-optic*. Brevet de Invenție nr. RO 122928 B1 din 30.04.2010.
- [128]. UNGUREANU, C.; NEGRU, M.B.; PRISACARIU, I.; JEDER, M.; OLARIU, E.; CREȚU, N.; SOREA, N.; CERNOMAZU, D. *Traductor de poziție solaro-optic*. Brevet de Invenție nr. RO 123009 B1 din 30.06.2010.
- [129]. UNGUREANU, C.; NEGRU, M.B.; SOREA, N.; BACIU, I.; AVRĂMIA, C.; CREȚU, N.; JEDER, M.; OLARIU, E.; ȚURCANU, N.; CERNOMAZU, D. *Traductor de poziție solaro-optic*. Brevet de invenție nr. RO 122930 B1.
- [130]. UNGUREANU, C.; PRISACARIU, I. *Stand pentru studiul principiului de funcționare al motorului cu rotor rulant și flexibil*. Brevet de invenție nr 122746 B1.
- [131]. WAHLIG, M.A. [et. al.] *Nitinol engine development*. Solar Energy Program - Energy @ Environment Division, Lawrence Berkeley Laboratory, University of California, S.U.A., March, 1981, p.11-13.
- [132]. ***www.3m.com.ro/3M/ro_RO/compania-3m-ro/toate-produsele-3m/~/%3M-VHBTM-Banda-dublu-adeziva-4910F/?N=5002385+3292916717&rt=rud
- [133]. ***www.arduino.cc, accesat la data de 11.11.2020
- [134]. ***www.b2b.partcommunity.com/community/knowledge/en/detail/3253/Gadolinium, accesat la 04.2020
- [135]. ***www.chemistrylearner.com/nitinol.html , accesat la data de 17.05.2020
- [136]. ***www.depuysynthes.com/hcp/trauma/products/qs/speedtriad-nitinol, accesat în 12.09.2019.
- [137]. ***www.electronicaaplicata.wordpress.com/2014/02/16/sisteme-automate-notiuni-introductive/
- [138]. ***www.emcohighvoltage.com/datasheets/gseries.pdf, accesat la data de 19.10.2020

- [139]. ***www.encyclopedia.thefreedictionary.com/science, accesat la data de 12.11.2020
- [140]. ***www.ijaiem.org/Volume4Issue2/IJAIEM-2015-02-05-9.pdf
- [141]. ***www.imagesco.com/articles/nitinol/09.html, accesat in 12.09.2019.
- [142]. ***www.old.uefiscdi.ro/articole/3965/programul-orizont-2020.html, 11.11.2020
- [143]. ***www.pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.accounts.8b00516?rand=tl1lzgh7
- [144]. ***www.rasfoiesc.com/educatie/informatica/calculatoare/Materiale-inteligente-DEFINITI43.php
- [145]. ***www.researchgate.net/figure/a-The-i-LIMB-prosthetic-hand-for-Touch-Bionics-and-b-The-Powerknee-from-O-ssur_fig1_226326067 , accesat în 12.09.2019.
- [146]. ***www.vdocuments.site/materiale-inteligente-cu-memoria-formei.html, accesat la data de 23.11.2020

Lista lucrărilor personale publicate în domeniul tezei de doctorat

- [147]. **TOADER, E.**; POIENAR, M.; MILICI, M.R.; RAȚĂ, G.; PRODAN, C.; VLAD, V.; NIȚAN, I.; UNGUREANU, C. *Sistem automat de control al comenzilor*. Cerere de brevet A/00581/2019.
- [148]. **TOADER, E.**; NIȚAN, I.; PAVĂL, M.; MILICI, L.D.; CERNUȘCĂ, D.; MILICI, M.R.; GRAUR, A.; DIMIAN, M.; UNGUREANU, C. *Sistem de pompare* . Cerere de brevet invenție nr A00503/2020.
- [149]. **TOADER, E.**; PAVĂL, M.; MILICI, L.D.; BOBRIC, C.; IRIMIA, D.; MILICI, M.R.; VLAD, V.; NIȚAN, I.; GRAUR, A. *Sistem automat pentru monitorizarea activității conducătorilor auto*. Cerere de brevet A00319/2020.
- [150]. **TOADER, E.**; MILICI, L.D.; MILICI, M.R.; POIENAR, M.; CERNUSCĂ, D. *The Current State of Special Actuators and Motors Researches in the University of Ștefan cel Mare Suceava*, 2019 11th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), Bucuresti, Romania.
- [151]. **TOADER, E.**; UNGUREANU, C.; MILICI, L.D. *Contributions to the development of a low-speed gadolinium actuator system*, 2020 20-21 may , ICIR EUROINVENT International Conference on Innovative Research ,Iași, Romania.
- [152]. **TOADER, E.**; VLAD, V.; PAVĂL, M. *Analysis of a Secured System for Command Control* , 2020 22-23 october, EPE 2020, 11th International Conference And Exposition On Electrical And Power Engineering.
- [153]. CERNUȘCĂ, D.; MILICI, L.D.; PENTIUC, R.D.; POPA, C.; **TOADER, E.** Research on the Realization of a Electromechanical Conference, *Pressure Micropump Used in Electrical Equipment*. 2019, 8th International Conference on Modern Power Systems (MPS), Cluj-Napoca, România.
- [154]. **TOADER, E.** *Analiza stadiului actual în domeniul actuatorilor bazate pe materiale speciale*. Raport 1 de cercetare în cadrul stagiului de pregătire pentru doctorat, Univeristatea Ștefan cel Mare Suceava, noiembrie 2019.

- [155]. **TOADER , E.** *Contribuții la noi tipuri de actuatoare controlate cu sisteme digitale.* Raport 2 de cercetare în cadrul stagiului de pregătire pentru doctorat, Univeristatea Ștefan cel Mare Suceava, decembrie 2020.
- [156]. CERNUȘCĂ, D.; POIENAR M., PAȚA S. D., PIANÎH A., **TOADER, E.** *Interlocking system.* In: Buletinul Științific al Academiei forțelor terestre "Nicolae Bălcescu", 2019, Sibiu, România, ISSN 2501-3157.
- [157]. CERNUȘCĂ, D.; GROSU, O.V.; **TOADER E.**; POIENAR, M. *Clutch-type thermocouple.* Salonul Național a Inovării și Cercetării Științifice Studentești , CADET INOVA, Sibiu, România, 2020.
- [158]. GROSU, O.V.; **TOADER, E.** *Ethics and Academic Integrity Elements of Ethics in Electrical Engineering,* ISSN: 2068-0236 | e-ISSN: 2069-9387, Editura Lumen, 2020, Volume 11,
- [159]. **TOADER, E.**; BEJENAR, C.; GROSU, O.V.; TANTA, O.M.; PAVAL M. *Automatic Control System,* la Salonul Național a Inovării și Cercetării Științifice Studentești ,CADET INOVA, Sibiu, România, 2021.
- [160]. **TOADER, E.**; SABADAS, A.; BEJENAR, C.; PAVAL, M.; *Study of a Micropompe Actioned with Nitinol,* Instituție la Salonul Național a Inovării și Cercetării Științifice Studentești , CADET INOVA, Sibiu, România, 2021.
- [161]. GROSU, O.V.; MILICI, D.L.; PAVAL, M.; **TOADER, E.** *Polymeric actuator analysis using bibliometric maps,* THE 12th International Symposium On Advanced Topics In Electrical Engineering March 25-27, 2021, ATEE 2021, Bucharest, Romania.
- [162]. MILICI, L.D.; PAVAL, M.; MILICI, M.R.; **TOADER, E.** *Education in Science, Technology, Engineering, Mathematics, Informatics and Arts, :* 2021 12th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)
- [163]. **TOADER, E.**; BEJENAR, C.; PAVAL, M.; CERNUSCA, D.; GROSU, O.V. *Considerations Regarding a Nitinol (Ni-Ti)-operated Micropump,* International Conference On Applied And Theoretical Electricity 2021, (ICATE)
- [164]. CERNUSCA, D.; MILICI, D.L.; PAVAL, M.; HOPULELE, E.; **TOADER, E.** *Design, Implementation and Testing of a Locking System,* International Conference On Applied And Theoretical Electricity 2021, (ICATE).
- [165]. **TOADER, E.**; NIȚAN, I.; PAVĂL, M.; MILICI, L.D.; SABADAȘ, A.; GROSU, O.V.; CENUȘĂ, M.; ȚANȚA, O.M. *Sistem securizat de control al comenzilor.* Cerere de brevet nr. A/00369/2021
- [166]. **TOADER, E.**; MILICI, M.R.; PAVĂL, M.; NIȚAN, I.; BEJENAR, C.; UNGUREANU, C.; LUPU, D. *Sistem de control al mișcării.* Cerere de brevet nr. A/

Alte lucrări la elaborarea și publicarea cărora doctorandul a participat în calitate de coautor, în perioada stagiului de pregătire și elaborare a tezei de doctorat

- [167] POIENAR, M.; SABADAS, A.; PAȚA, S.D.; CERNUSCĂ, D.; **TOADER, E.** *Thermomechanical safety lock*, In: Buletinul Științific al Academiei forțelor terestre "Nicolae Bălcescu", 2019, Sibiu, România, ISSN 2501-3157
- [168] CENUȘĂ, M.; POIENAR, M.; **TOADER, E.**; SABADAȘ, A.; PIANÎH, A. - *Flood protection system*. In: Buletinul Științific al Academiei forțelor terestre "Nicolae Bălcescu", 2019, Sibiu, România, ISSN 2501-3157.
- [169] CERNUSCĂ, D.; POIENAR, M.; PAȚA, S.D.; PIANÎH, A.; **TOADER, E.** *Interlocking system*. In: Buletinul Științific al Academiei forțelor terestre "Nicolae Bălcescu", 2019, Sibiu, România, ISSN 2501-3157.
- [170] MILICI, D.L; PAVĂL, M.; NIȚAN, I. ; GROSU, O.V.; **TOADER, E.**; POPA. C.; ATĂNĂSOE, P.; BOBRIC, C.; IRIMIA D. ; *Sistem de recuperare a energiei*. Cerere de brevet de invenție nr A/00519/2020.
- [171] MILICI, D.L; PAVĂL, M.; NIȚAN, I.; UNGUREANU, C.; GROSU, O.V.; POCRIȘ, M.; **TOADER, V. E.** *Sistem de monitorizare a activității unei persoane la birou*. Cerere de brevet de invenție nr A00146/2020.
- [172] BEJENAR, C.; BEJENAR, M.; MILICI, L.D.; IRIMIA, D.; AFANASOV, C.; **TOADER, E.**; GROSU, O.V.; ȚANȚA, M.; *Metodă și sistem pentru alimentarea consumatorilor electrici izolați*. Cerere de brevet A 2020/00776.
- [173] ȚANȚA, M.; PAVĂL, M.; MILICI, L.D.; GROSU, O.V.; **TOADER, E.**; ATĂNĂSOAE, P.; POPA, V. *Dispozitiv de smenalizare avarie a rețelei electrice*. Cerere de brevet A/00199/2021.
- [174] BEJENAR, C.; BEJENAR, M.; **TOADER, E.**; GROSU, O.V.; PAVĂL, M.; MILICI, L.D. *Extended Possibilities for Studying and Diagnosis of Electric Vehicles AC (Three-Phase) Charging Systems*. International Conference on Modern Power Systems (MPS), Cluj-Napoca, România, 2021.