

## ETAPA 3

### Contractul nr. : 249/2014

Tema: „ACTUATORI ELECTROMAGNETICI SI ELECTRODINAMICI PROCESATI PRIN TEHNOLOGIE LIGA”

Etapa de executie nr. 3 : “Realizarea unui model functional pentru actuator.”

**Rezultate majore asteptate: Model functional preliminar**

**Etapa 3 a urmarit obtinerea unui nivel de cunoastere suficient pentru realizarea unui model functional de actuator.**

**S-au finalizat activitatile incepute in etapa anterioara si avand ca scop:**

- caracterizarea completa a materialelor utilizate in realizarea actuatorului ;
  - finalizarea tehnologiei de executie a matricilor de micromagneti;
- si s-au dezvoltat activitati noi:

- caracterizarea din punct de vedere magnetic al micromagnetilor;
- caracterizarea experimentală a solutiilor de asamblare;

avand ca scop final:

- proiectarea, simularea, executia si testarea magneto-mecanica a unui actuator cu un grad de libertate – prima parte.

**S-a continuat :**

- studierea posibilitatilor de standardizare a componentelor si actuatorului;

*Activitatea 3.1. : Finalizare studiu privind principiile de control de inalta precizie a scannerelor optice - partea 2.*

*Achizitia echipamentelor/licentelor software esentiale- partea 2-a*

**a. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei**

Etapa 3 Activitatea 3.1 a prezentului proiect are ca rezultat final:

- finalizarea documentatiei de executie hardware a sistemului electric de control;
- stabilirea principiilor de control (algoritmi si dezvoltare software);
- analiza critica a experientelor intalnite pana acum. Selectarea experientelor celor mai semnificative si recomandarea principiilor de aplicat de catre colectivul proiectului in elaborarea prototipurilor. partea 2

**b. Rezumatul fazei**

**Sistemul electric de control**

Solutiile numerice ale distributiei câmpului magnetic stationar in actuator permit determinarea inductivitatorilor

actuatoarelor  $L$ , utilizând definitia energetică  $L = 2 \left( \int_{\Omega} w_m dv \right) / I^2$  [H], unde  $w_m$  [J/m<sup>3</sup>] este densitatea energiei magnetice,  $I$  [A] este curentul electric la borne, iar  $dv$  este domeniul de calcul.

Folosind aceasta metoda s-a obtinut  $L = 2.846 \mu\text{H}$  pentru actuatorul cu o lamela si  $L = 2.3413 \mu\text{H}$  pentru actuatorul cu doua lamele. Rezistenta de curent continuu pentru cei doi actuatori este  $R = 0.3272 \text{ Ohm}$ .

Tabelul 1 — Parametrii circuitului electric echivalent al actuatorilor

Parametrul de circuit	Actuatorul cu lamelă	Actuatorul cu două lamele
$R$ [Ω]	0.3272	0.3272
$L$ [μH]	2.846	2.3413
$C$ [pF]	3.483	3.1798

Capacitatile electrostatice determinate energetic sunt  $C = 3.483 \text{ pF}$ , pentru actuatorul cu o lamela, si  $C = 3.1798 \text{ pF}$ , pentru actuatorul cu doua lamele. Diferenta este atribuita contributiei lamelei / lamelelor, ca medii dielectrice. În etapa urmatoare se vor considera variatiile acestor capacitati în raport cu deflexiile lamelelor (pentru diferiti curenti electrici de actionare).

Identificarea parametrilor de circuit permite tratarea acestor dispozitive ca elemente de circuit electric cu efecte de câmp electromagnetic, si includerea lor în schemele electrice de comanda – etapa necesara în proiectarea electronicii de comanda

Schema electrica a actuatorului si cea totala pentru comanda lui, dezvoltate in PSPICE in vederea simularilor sunt indicate in figurile 1, 2 si 3.

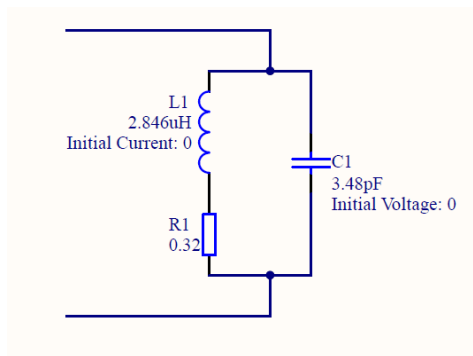


Fig. 1 Schema de modelare actuator

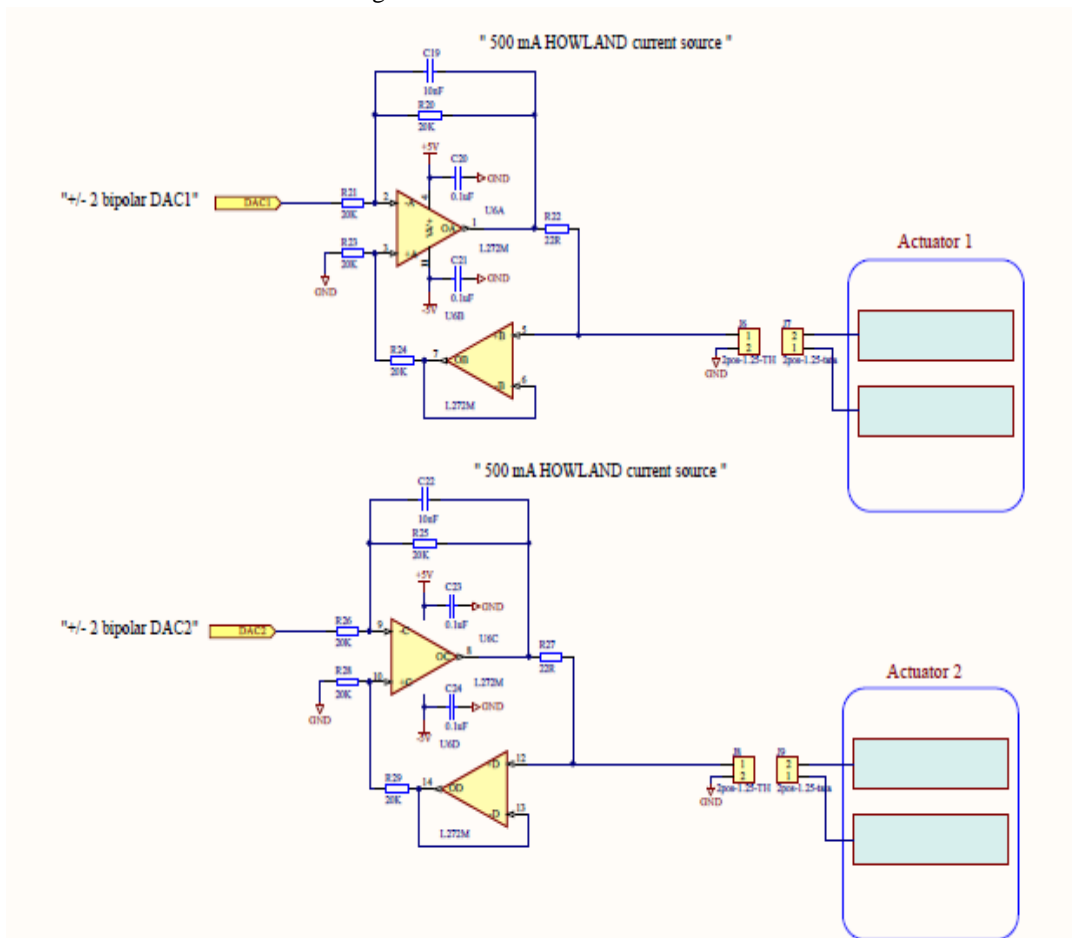


Fig. 2 Schema proiectata de comanda in curent a actuatorilor

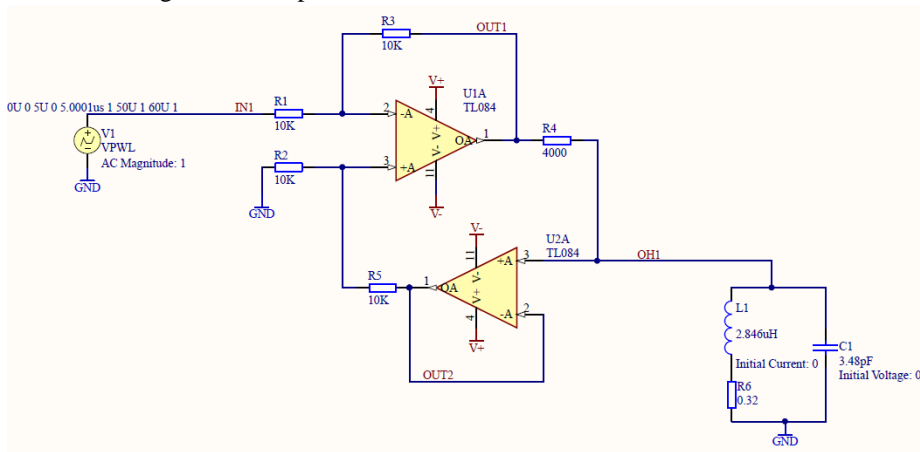


Fig. 3 Schema simulata PSPICE

Rezultatele finale ale simularilor in PSPICE (s-au realizat mai multe incercari pana la obtinerea parametrilor optimi ai schemei de comanda) sunt indicate in figurile urmatoare. Simularea s-a facut conform schemei din figura 3, pentru un curent prin actuator de 500uA. In regim tranzitoriu, raspunsul la semnal trapta de curent este prezentat in figura 4 si evidentiaza lipsa supracresterilor si o rampa de  $t_r=169.66ns$ .

In analiza de regim alternativ se evidentiaza:

- o caracteristica de transconductanta tip FTJ cu frecventa de taiere la 3dB de  $f_j=2.14MHz$ .
- o caracteristica de transfer a tensiunii de iesire care prezinta la curentii mici (sub 250uA) doua puncte de oscilatie proprie la  $f_1=3.5MHz$  si  $f_2=.50.11MHz$ .

In figura 11 se prezinta Partea Reala a functiei de transconductanta

In figura 12 se prezinta Partea Imaginara a functiei de transconductanta cu urmatoarele particularitati:

- prezinta un minim la frecventa de  $f_{min}=1.88MHz$ ;
- la frecvente mai mici de 1.88MHz transconductanta are un caracter capacitiv (scade cu frecventa);
- la frecvente mai mari de 1.88MHz transconductanta are un caracter inductiv (creste cu frecventa).

### Raspunsul in regim tranzitoriu la semnal treapta de curent

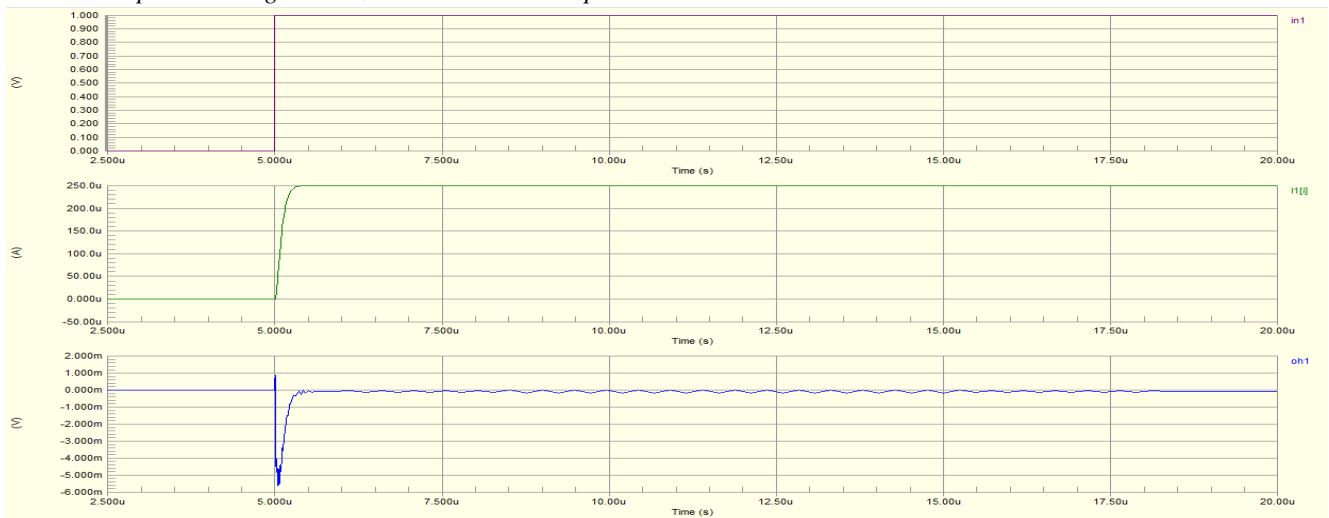


Fig. 4 Raspunsul la semnal treapta de curent (250uA)

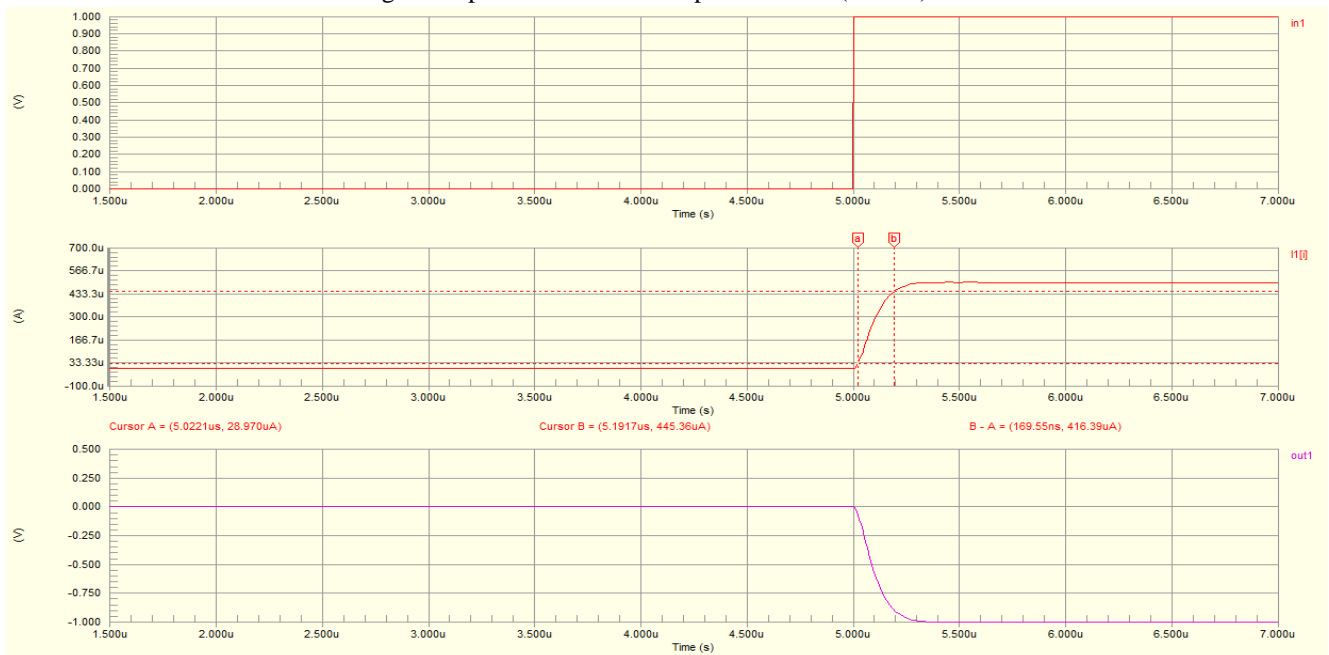


Fig. 5 Raspunsul la semnal treapta de curent (500uA)

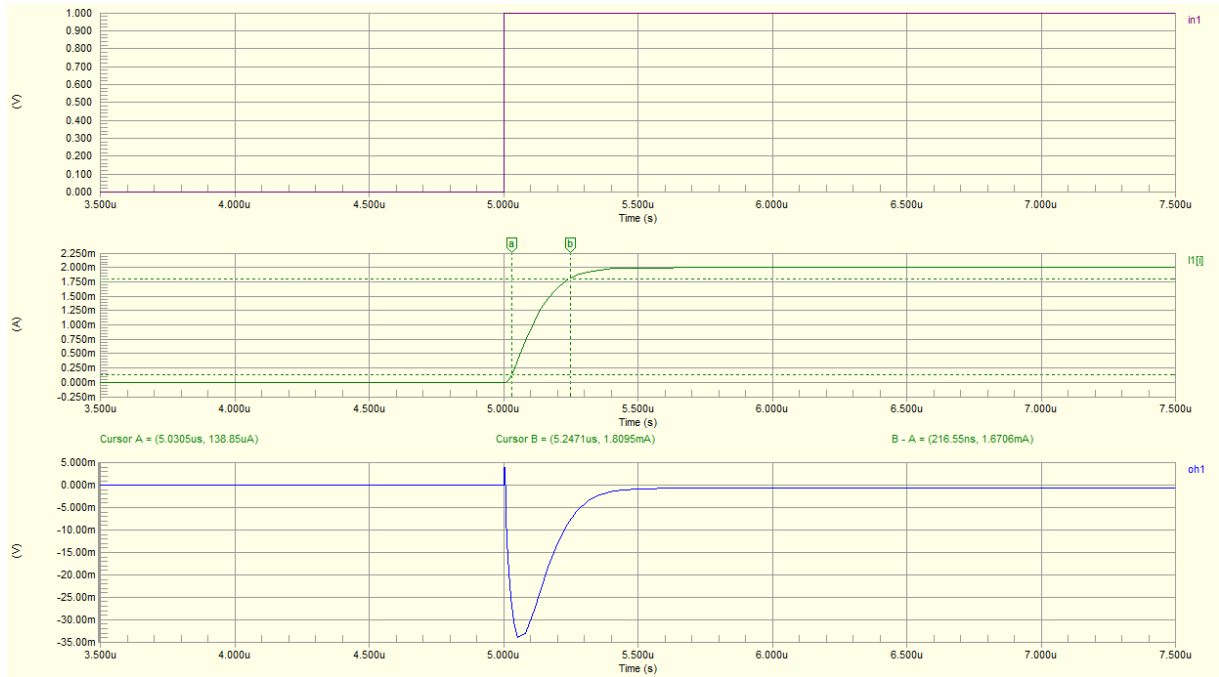


Fig.6 Raspunsul la semnal treapta de curent (2mA, tcrestere = 216ns)

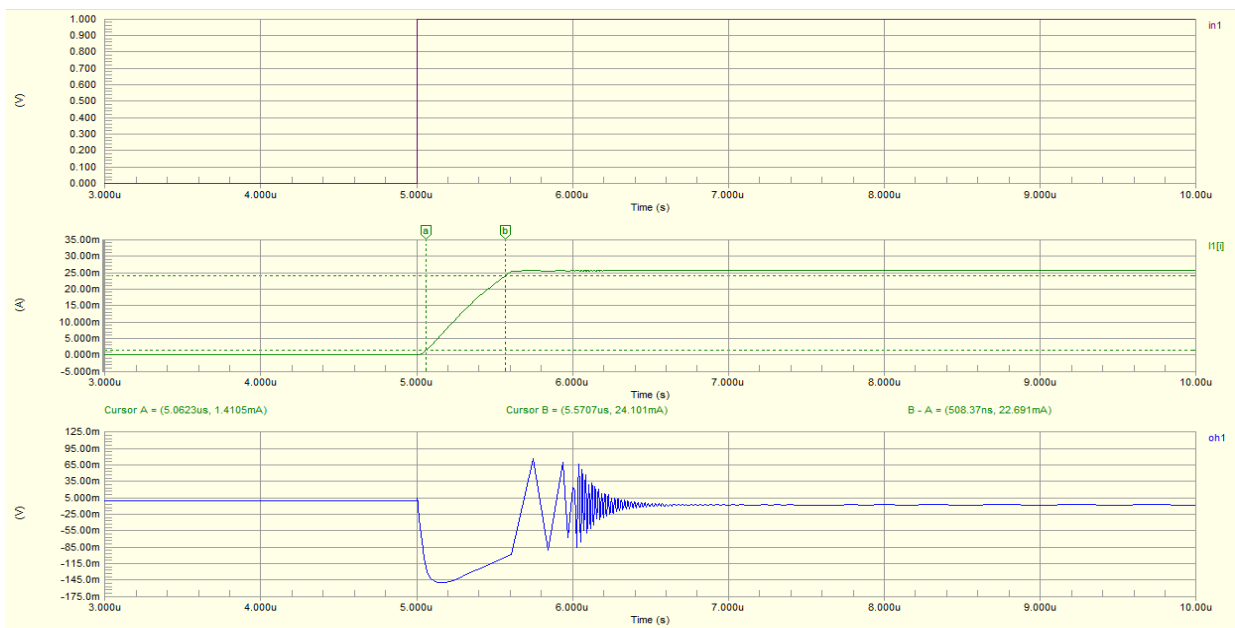


Fig.7 Raspunsul la semnal treapta de curent (25mA, tcrestere = 508ns si oscilatii ale tensiunii)

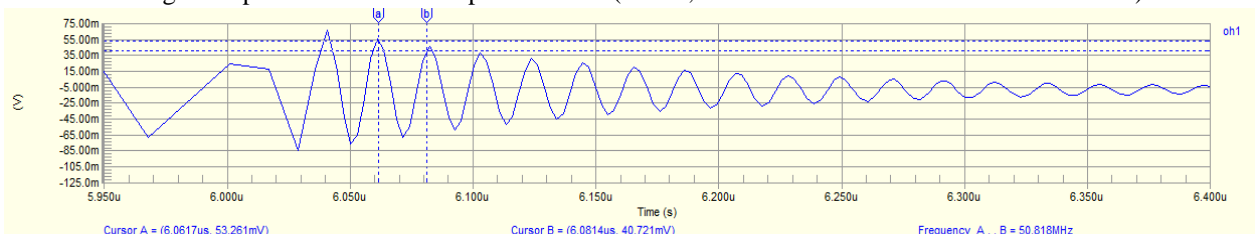


Fig. 8 Raspunsul la semnal treapta de curent (25mA, oscilatii f2 =50MHz) Raspunsul in frecventa

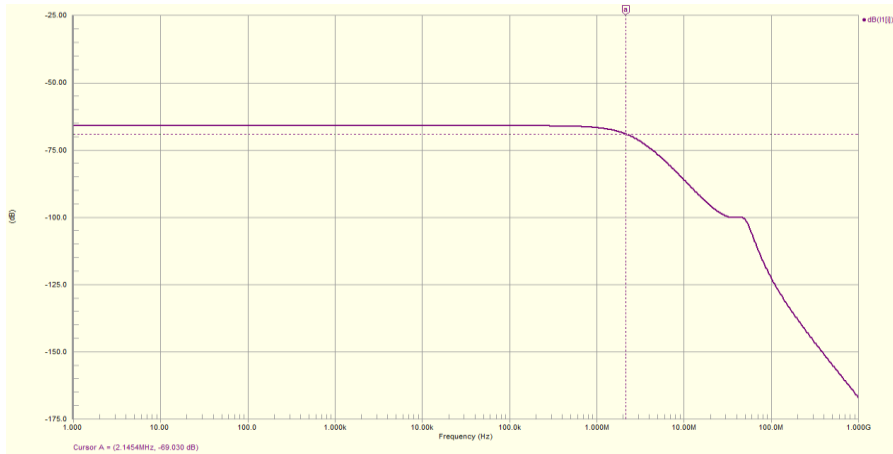


Fig.9 Raspunsul in frecventa a transconductantei

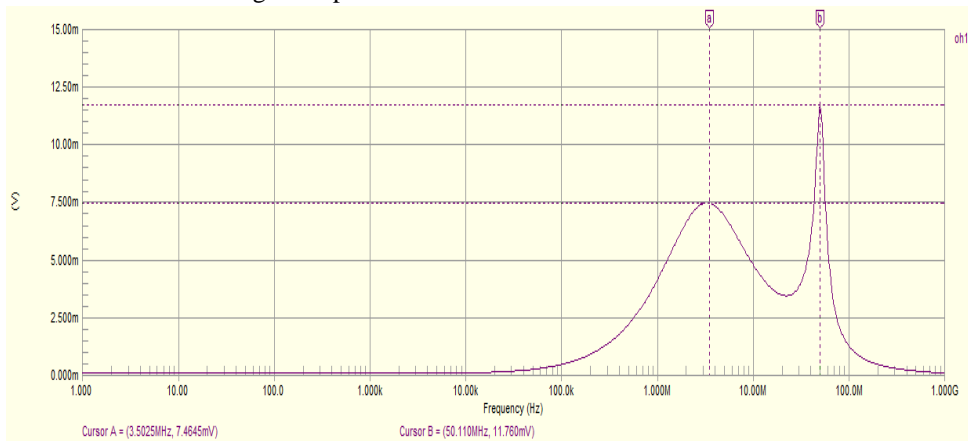


Fig.10 Raspunsul in frecventa a tensiunii de iesire

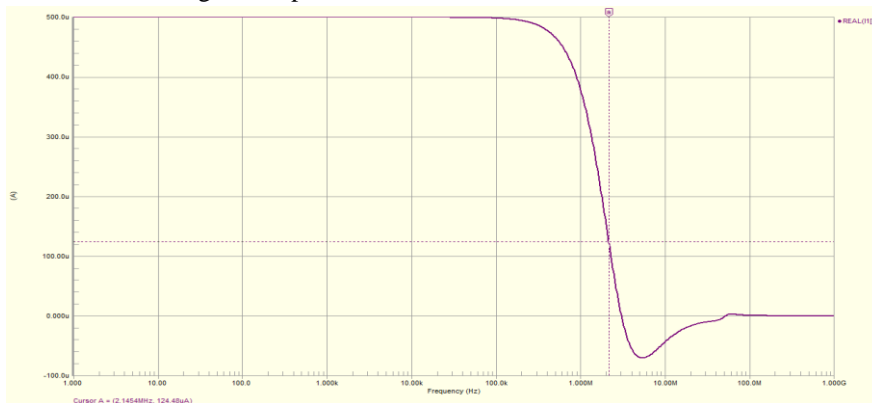


Fig. 11 Partea Reala a functiei de transconductanta

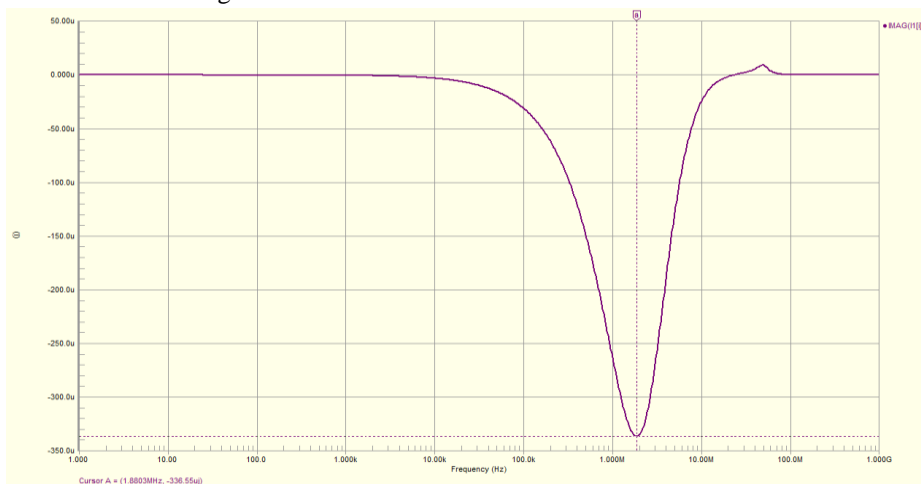


Fig. 12 Partea Imaginara a functiei de transconductanta

### ***Analiza critică a experiențelor întâlnite. Selectarea experiențelor celor mai semnificative și recomandarea principiilor de aplicat de colectivul în elaborarea prototipurilor***

Datele care se vor comunica în anul 2016 completează pe cele date anterior și de sinteză acestor experiențe se va ține seama atât la elaborarea modelelor de actuator cât și a posibilităților de standardizare. În lucrările desfășurate în acest an au apărut o serie de experiențe atât în ceea ce privește construcția și proiectarea actuatorului, cât și în alegerea materialelor și stabilirea celor mai eficiente tehnologii, a studierii posibilității ca în urma acestor experiențe să se propună modalități de standardizare a unor componente ale actuatorului.

Analiza acestor experiențe permite a recomanda în fiecare din aceste activități cai de asigurare a reproductibilității rezultatelor, a trasabilității.

#### *Experiențe semnificative în construcția modelului de actuator*

Modelul de actuator propus a fi dezvoltat în cadrul Proiectului face parte din familia actuatorilor electromagnetici tip MEMS și este destinat a intra în structura unui scanner. Studiul unor modele matematice de actuator (analitice și FEM) au permis a defini soluțiile constructive de urmat, în strânsă concordanță și cu tehnologiile de aplicat pentru realizarea principalelor componente ale acestuia: cantileverul, magnetul/rețeaua de magneti, bobina.

Provocarile care au stat în fața colectivului au generat o amplificare a obiectivelor menționate inițial în proiect, aparând necesitatea de a găsi noi soluții privind proiectarea și apoi tehnologiile de realizare, tehnologiilor LIGA gândite inițial în Proiect adăugându-se altele care să le completeze și să asigure realizarea componentelor din structura unui actuator.

Caracterul inovativ al multora din acestea impune menționarea lor, cu o definiție care să permită reproductibilitatea, trasabilitatea și pe măsura importanței lor și cuprinderea în cadrul unor documente normative.

La nivelul actuatorilor, soluții realizate pentru componentele principale ale actuatorului (din punct de vedere concepție și realizări efective) ne-am concentrat pe principalele trei componente: microbobina, cantilever și micromagneti permanenți în legătură cu care am analizat și reținut experiențele pe care le considerăm semnificative totodată analizând și datele privind parametrii și caracteristicile care să ne permită elaborarea unui document normativ reprezentativ pentru tipul de actuator electromagnetic.

În intenția noastră stă ideea ca elementele tehnice ce se vor contura pentru actuatorul din cadrul proiectului (în special pentru cele trei componente de bază și chiar pentru soluțiile tehnice de cuplare microbobina-cantilever) să poată fi tratate ca probleme tehnice/tehnologice generalizabile pentru o gamă mai largă de actuatore de tip electromagnetic.

Chiar dacă nu suntem aproape de soluția tehnică finală a actuatorului și a componentelor sale am alăturat comparativ experiențele pe care le-am considerat semnificative cu unele soluții practicate de alți producători MEMS. Din această comparație rezultă ca realizările tehnice și tehnologice practicate în proiect sunt consonante în foarte multe privințe cu dezvoltările ce se regăsesc în concepția și tehnologia microfabricației de actuatore ale altor producători.

#### *Prezentarea actuatorului (geometrie, construcție, materiale, descriere, ce este semnificativ la bobine, magneti, cantilever)*

Actuatorul care se urmărește a se realiza în cadrul proiectului este destinat a asigura funcționarea specifică în structura unui scanner. Actuatorul respectiv este de tip electromagnetic ceea ce este în deplină concordanță cu prevederile proiectului.

Prin alegerea unor soluții tehnice și tehnologice atât pentru componentele sale cât și pentru ansamblu acest tip de actuator are dimensiuni structurale rezonabil mai mici ceea ce îl face competitiv în raport cu alte structuri echipate cu componente având alta concepție constructivă.

În structura actuatorului se regăsesc 3 componente importante și anume: o microbobina electromagnetică/o bară flexibilă tip cantilever fixată la un capăt/magnetii permanenți depuși pe capatul liber al cantileverului.

În concepția acestui actuator microbobina este partea fixă iar bară flexibilă care poartă la un capăt micromagnetii reprezintă partea mobilă aceasta asigurând deflecția necesară pentru acționare a actuatorului.

Consolidarea structurii ce se realizează cu aceste trei elemente este asigurată de elemente de legătură cu forme geometrice și dimensiuni adecvate cu care se face fixarea și alinierea necesară.

Această soluție nu este încă definitivă deoarece sunt analizate încă și alte soluții de fixare magnetice sau chiar electromagnetice, alegerea soluției optime urmând a fi validată în etapa a 4-a a proiectului.

Cele 3 componente, în special partea mobilă (cantileverul cu magnetii permanenți) susceptibilă a fi acționată, sunt asociate schemei electronice pentru comandă și funcționare.

Interacțiunea electromagnetică se realizează între câmpul magnetic produs de curentul ce străbate înfășurarea bobinei plane și câmpul magnetic al magnetilor permanenți amplasați pe cantilever provocând deplasarea acestuia.

Prezentarea aspectelor semnificative ale acestor trei elemente componente ne poate permite ca odată cu realizarea soluției definitive a actuatorului (sarcină prevăzută în etapa a 4-a a proiectului) să completăm cu date, cu caracteristici verificate prin încercări și cu parametrii reieșiți din soluția finală a structurii actuatorului și experimentarea elementelor funcționale, modelul de document normativ propus de noi.

În acest scop s-au desfășurat o serie de elemente tehnice și tehnologice în cadrul unor specificații generale pentru fiecare din cele trei componente astfel încât pe tiparul acestora și respectând tipologia de alcatuire a unui document normativ să se poată alcatui o formă documentată fie de norma internă fie de standard de firmă cu datele soluției finale a actuatorului.

Facând o sinteza pe fiecare componenta a actuatorului rezulta ce este semnificativ pentru microbobina, bara flexibila si micromagneti si în ce masura ne vor conduce la a realiza documentul normativ dorit. Astfel:

#### Microbobina electromagnetica plana

Solutia aleasa în cadrul proiectului este microbobina plana spirala din cupru aceasta alegere fiind sustinuta de argumente importante: consum de energie scazut; structura simpla; timp de raspuns rapid; constructia cea mai corespunzatoare pentru a fi folosita în structuri multistrat; reduce substantial volumul actuatorului; se realizeaza o densitate de flux magnetic optima datorita structurii si geometriei sale; prin reglarea curentului ce parcurge bobina se poate ajusta deflectia barei flexibile; dimensiuni reduse (grosime si diametre foarte mici)

Microbobinele avute în vedere în proiect au urmatoarele forme geometrice: microbobina plana rotunda; microbobina plana patrata/dreptunghiulara; microbobina plana tip grila.

Constructia înfășurarii microbinelor plane se poate realiza în variante ca: microbobina plana cu înfășurare în spirala; microbobina plana cu înfășurare rotunda cu spire în paralel; microbobina plana cu înfășurare tip grila cu mai multe cai în paralel.

În proiect s-au realizat variantele: înfășurare în spirala si înfășurare tip grila cu mai multe cai în paralel.

Ambele variante s-au realizat în structuri multistrat (în varianta cu 4 straturi – bobina spirala cu 24 spire = 6 spire x 4 straturi, bobina tip grila 64 cai de curent = 16 cai x 4 straturi).

Procesul de fabricatie al acestor doua variante s-a facut prin adoptarea tehnologiei de tip PCB a placilor cu circuite imprimate.

Parametri obtinuti la aceste doua variante de microbobina se prezinta astfel:

Parametri	Bobina spirala cu 4 straturi	Bobina grila cu cai de curent în 4 straturi
Inaltime spira ( $\mu\text{m}$ )	35	35
Latime spira ( $\mu\text{m}$ )	300	120
Distanta între spire ( $\mu\text{m}$ )	100	120
Diametru interior (mm)		
Diametru exterior (mm)		
Numar spire	6 spire x 4 straturi	16 cai x 4 straturi
Curent max. (mA)	53	67
Rezistenta ( $\Omega$ )	0,8	-
Inductanta ( $\mu\text{H}$ )		
Dimensiuni PCB (mm)	6,3 x 12	5,6 x 12

În specificatiile incluse în prezentarea microbobinei plane s-au detaliat si etapele tehnologice ale procesului de fabricatie. De asemenea s-au facut “în extenso” precizari privind parametri si tehnologii si pentru alte microbobine destinate si altor variante de actuatori electromagnetici.

Trebuie precizat ca toate elementele avute în vedere în specificatiile prezentate în proiect vor constitui capitole din documentul normativ referitoare la microbobinele ce echipeaza actuatorii electromagnetice.

Acestea au ca scop de a fixa în capitolele documentului normativ ce se va elabora ulterior domenii de variatie ale parametrilor precizari privind functionarea precum si variante structurale.

#### Bara flexibila (Cantilever)

În conceptia curenta a microfabricatiei de actuatori electromagnetice de tip cantilever, solutiile adoptate si utilizate pentru realizarea barei flexibile se bazeaza pe materiale ca mase plastice si/sau metale. Materiale plastice mai frecvent folosite sunt polimeri, silicon (Si), silicon nitrid -nitridura de siliciu- ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) iar ca materiale metalice nemagnetice sunt cupru si/sau alama.

Pentru actuatorul electromagnetic ce se realizeaza în proiect s-a prevazut o bara flexibila din alama în 2 variante structurale –cu o lamela elastica si cu lamele elastice.

Spre deosebire de procesul de fabricatie al barei flexibile din polimeri sau silicon care se realizeaza prin procedeul tehnologic specific microfabricatiei MEMS (litografie optica, depunere, gravare) pentru bara flexibila din Al s-a optat pentru un procedeu LIGA-UV combinat cu prelucrari micromecanice (frezare, slefuire, decupare finala etc.) pentru realizarea formei finale.

Procesul tehnologic utilizat în proiect pentru realizarea cantileverului este descris, cu succesiunea tuturor etapelor parcurse, în cap. 6.2.2. din specificatie.

Prima parte a acestui proces tehnologic parcurge în succesiune fazele procedurii LIGA-UV cu utilizarea unui fotorezist SU-8/3050 (si un grund adecvat ca strat de aderenta, recomandat de furnizorul fotorezistului) depus prin centrifugare cu o grosime de 100  $\mu\text{m}$ .

În concepția acestei prime parti a procesului tehnologic prin procedeul LIGA-UV s-a prevăzut realizarea unui semifabricat continuând matricea magnetilor permanenți la capatul liber al barei flexibile, elementele de fixare (pentru cuplarea cu microbobina) la capatul fix al barei flexibile și micromagnetii din CoNiMnP depuși galvanic în matricea respectiva.

În partea a doua a procesului tehnologic s-a realizat microprelucrarea mecanică a semifabricatului pe un centru de prelucrare cu 5 axe tip KERN micro. Operațiile mecanice au fost efectuate cu un program special pe mașina prin care: s-a așezat semifabricatul pe un suport; s-a efectuat subțierea grosimii lamelelor flexibile prin frezare; s-a decupat forma finală a cantileverului cu una și/sau 2 lame având la capatul liber matricea cu micromagnetii permanenți și la capatul fix elementele de cuplare.

Microfabricația prin procedeul LIGA s-a realizat prin următoarele etape principale: debitarea și pregătirea următoarelor etape principale: debitarea și pregătirea plăcilor de Am; depunerea stratului de fotorezist prin centrifugare; dezvoltarea; depunerea galvanică a micromagnetilor în baie de galvanizare.

Detaliile etapelor sunt prezentate în cap. 6.2.2. iar detaliile procedurii de depunere galvanică a micromagnetilor sunt redată în cap. 6.3.2 din specificația tehnică.

Variantele structurilor de bare flexibile realizate în proiect au dimensiunile redată în tabelul de mai jos:

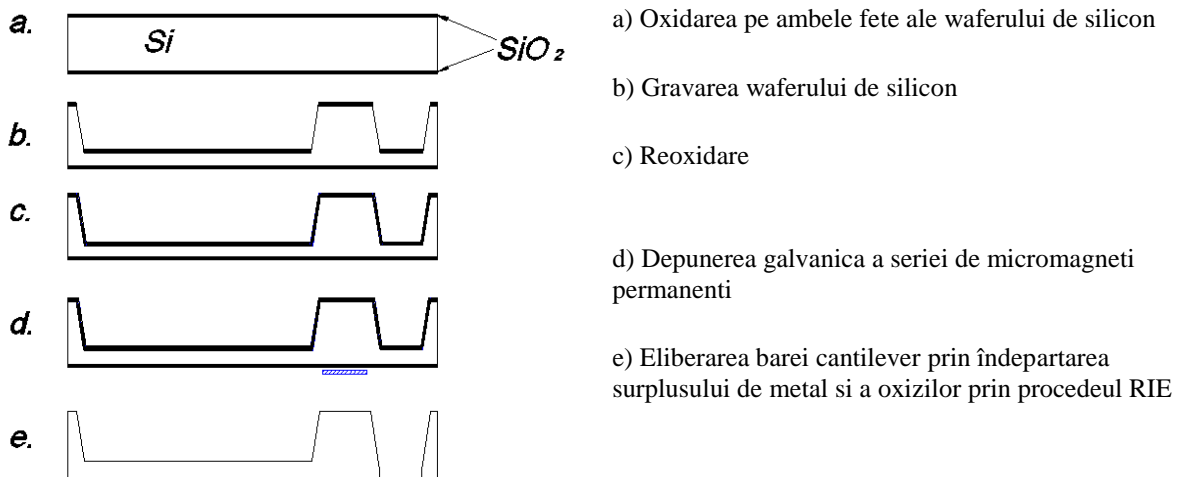
	a (mm)	b (mm)	b1 (mm)	c (mm)	c1 (mm)	l (mm)	l1 (mm)	L (mm)
cu o lamela	1,5	0,5	0,15	4	2	4	4	12
cu două lamele	0,75	0,5	0,15	4	2	4	6	12
cu două lamele și capatul liber rotund								

În practica microfabricației actuatorilor electromagnetici la alți producători realizarea barei flexibile tip cantilever se face din plăchete de Si care se gravează chimic într-o soluție TMAH (Tetrametil amoniu hidroxid).

Construcția acestui tip de bară flexibilă din Si are un capăt liber de formă unui dreptunghi și un capăt fix.

Pe paleta dreptunghiulară de dimensiuni 2 x 2 mm de la capatul liber se depune galvanic o serie de micromagnetii permanenți din CoNiMnP. Adâncimea necesară a gravării plăchetei de Si se realizează prin procedeul de oprire a procesului în funcție de măsurarea timpului de gravare (fiind cunoscută viteza de gravare). Procesul tehnologic folosit pentru realizarea barei flexibile din silicon s-a bazat pe utilizarea completă a tehnologiei LIGA.

Principalele etape tehnologice ale prelucrării plăchetei de Si pentru a obține bară flexibilă tip cantilever sunt următoarele:



#### Magnetii permanenți

În proiect s-a ales CoNiMnP pentru realizarea micromagnetilor permanenți iar procedeul tehnologic folosit este depunerea galvanică în câmp magnetic exterior.

Depunerea micromagnetilor s-a făcut pe semifabricatul din alama al barei flexibile prezentat anterior.

Etapile tehnologice parcurse în vederea realizării depunerii micromagnetilor se prezintă astfel:

- pregătirea mecanică a suprafeței metalice a substratului
- spălare cu apă rece
- degresare în solvenți organici (acetona, alcool izopropilic) prin imersie timp de 10-20 min. la temp. 25-300C
- spălare cu apă rece
- depunere CoNiMnP în câmp magnetic exterior (timp de depunere cca. 24 ore)
- spălare cu apă rece
- uscarea cu aer cald



În soluția electrolitului se regăsesc unele substanțe și aditivi care asigură un proces tehnologic de depunere corespunzător calitativ.

- Hiposulfitul de sodiu și acid boric care au efect de nivelare asupra stratului depus
- Zaharina asigură o depunere lucioasă și o influență pozitivă asupra depunerii aliajului
- Lauril sulfat de sodiu care împiedică efectul de "pitting" reduce tensiunea superficială a băii și previne fixarea bulelor de hidrogen pe catod
- Sulfatul de cesiu care micșorează tensiunile interne din timpul electrolizei.

Organizarea băii de depunere este prezentată în cap. 6.2.3. și este similară cu ce se practică de către alți producători de MEMS.

*Experiențe în proiectarea și tehnologia actuatorului – Selectarea experiențelor semnificative – Unele recomandări*

Complexitatea unui dispozitiv MEMS având în structură sa componente micromecanice și electrice impune proiectarea acestora pe baza unor caracterizări de material, pe încercarea unor variante structurale ale componentelor principale, cât și pe unele încercări funcționale și măsuratori.

În același timp analiza rezultatelor și concluziilor obținute în urma acestor investigații trebuie privită prin prisma comparației cu construcțiile, materialele și tehnologiile ce se practică de către alți producători de MEMS-uri la aparatele sau dispozitivele cu structuri, caracteristici și utilizări similare.

Realizările de până acum în cadrul proiectului, în plan structural, tehnologic și mai puțin funcțional sau din punct de vedere al încercărilor, au deschis perspectiva prin care se conturează o structură a unui document normativ aliniat la tipologia de alcatuire a unei norme interne de produs sau a unui standard de firmă.

În acest scop s-au extras sintetic experiențele și elementele semnificative obținute la realizarea microbobinei, barei flexibile și a micromagnetilor permanenți (vezi paragrafele a, b, c redate mai jos) fiind precizate elementele care vor dezvolta subcapitolele și articolele tehnice din documentul normativ preconizat a se realiza pe structura și tipologia specifică prezentată în cadrul specificației tehnice anexată proiectului.

a). Experiențe și elemente semnificative la realizarea Microbobinei

In cadrul proiectului	La alți actuatori electromagnetici
1. Tipul de bobină: microbobina plană din Cu	1. Microbobina plană din Cu
2. Forma geometrică a microbobinei microbobina plană rotundă microbobina plană tip grilă	2. Microbobina plană rotundă Microbobina plană patrată/dreptunghiulară
3. Substratul microbobinei sticloteolit similar cu placile de circuite imprimabile (placat cu cupru)	3. Siliciu, kapton, sticloteolit, polimeri flexibili, sticlă, metal etc.
4. Poziția față de substrat asezată pe substrat (placat cu cupru)	4. Așezată pe substrat prin depunere Încăstrată în substrat sau în membrana
5. Construcția înfășurării I. înfășurare spirală rotundă în 4 straturi (6 spire x 4 straturi = 24 spire) II. înfășurare tip grilă cu 64 cai de curent, în 4 straturi (16 cai de curent x 4 = 64 cai de curent)	5. Înfășurare spirală rotundă, patrată, dreptunghiulară Înfășurare rotundă cu spirele în paralel Construcții multistrat Mai multe microbobine înșeriabile
6. Parametri	6.
înălțime spira (μm)	înălțime spira (μm) 10, 20, 30
lățime spira (μm)	lățime spira (μm) 50, 80, 100, 180, 200, 400
distanța între spire (μm)	distanța între spire (μm) 50, 80, 100, 140, 160, 220
diametru interior (μm)	diametru interior (μm) 2; 2,5; 80; 160; 320
diametru exterior (μm)	diametru exterior (μm) 1; 2,5; 3,5
nr. spire	nr. spire 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20, 40
nr. cai de curent	curent (mA) 100, 300, 380, 500
curent (mA)	
rezistență (Ω)	
7. Tehnologia de realizare microbobinele plane (spirale și tip grilă) s-au realizat prin adoptarea tehnologiei de tip PCB a placilor cu circuite imprimabile	7. Tehnologie de tip PCB Procedeu UV-LIGA

În stadiul actual de model experimental, soluția constructivă și tehnologică adoptată în proiect pentru microbobina actuatorului corespunde cu soluțiile practicate în microproductia MEMS și de alți producători.

Alegerea formei de microbobina plană ale cărei avantaje au fost prezentate pe larg în cap. 6.1.2. din specificația tehnică este construcția care trebuie menținută și în varianta finală a actuatorului. Este nevoie însă să se opteze pentru una din cele două structuri (fie bobina plană spirală ori bobina plană tip grilă).

Până la definitivarea actuatorului (în etapa 4) trebuie analizată și opțiunea pentru bobina multistrat sau pentru o formă recalculată a unei microbobine monostrat dar cu o geometrie, dimensiuni și parametri îmbunătățiți. În această privință trebuie să se aibă în vedere distanța dintre spire (cea mai mică posibilă), numărul de spire (cât mai mare – optim) și un curent prin microbobina corespunzător pentru ca pe această bază să se asigure un câmp magnetic și o forță de acționare mai mari.

Elementele cuprinse în punctele 1-7 constituie experiențe semnificative pentru procesul de realizare al microbobinei actuatorului ce se realizează în cadrul proiectului deoarece se înscriu în tendința conceptuală și tehnologică practicate de actualii producători de MEMS.

Cu datele obținute până în prezent pe aceste structuri ale modelului experimental, dezvoltat în cadrul proiectului, cu datele și soluțiile dezvoltate în specificația tehnică prezentată la această fază și cu rezultatele ce se vor obține pe soluția finală a actuatorului, toate acestea se vor include ca subcapitole și articole ce se vor dezvolta în documentul normativ (norma internă de produs sau standard de firmă) în capitolul specific "Microbobina actuatorului".

b). Experiențe și elemente semnificative la realizarea barei flexibile-Cantilever

In cadrul proiectului	La alți actuatori electromagnetici
<p>1. Tipul de bară flexibilă Bară flexibilă în două variante structurale – cu o lamelă elastică și cu 2 lamele elastice (vezi desenele din cadrul specificației)</p> <p>2. Natura materialului Bară flexibilă (cu una sau 2 lamele elastice) este confecționată dintr-o placă de alama (Am)</p> <p>3. Tehnologia de realizare S-a optat pentru realizarea în 2 faze a barei flexibile: - faza de semifabricat cu organizarea matricială a magnetilor permanenți - faza finală de realizare a formei cu una sau două lame elastice Procedeele tehnologice utilizate: - la faza de semifabricat un procedeu UV-LIGA cu rezist SU-8 - la faza finală prelucrări micro mecanice de frezare, slefuire, decuparea formei cu una sau două lamele elastice. (Vezi detalii la cap. 1.1.2 din prezentare și la cap. 6.2.2. din specificație).</p>	<p>1. Bară flexibilă – Cantilever cu 1 lamelă elastică</p> <p>2. Bară flexibilă – Cantilever este confecționată din: silicon (Si), silicon nitrid (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>), polimeri, materiale nemagnetice (Cu, Am) – cel mai des folosit este silicon</p> <p>3. Bară flexibilă – Cantilever din polimeri sau silicon se realizează în întregime până la forma finală prin procedeu tehnologic specific microfabricației MEMS (litografie optică, depunere, gravare). (Vezi detalii la cap. 1.1.2 din prezentare și la cap. 6.2.2 din specificație).</p>

Pentru stadiul de model al actuatorului electromagnetic prevăzut în proiect este semnificativ faptul că s-a ales o formă a barei flexibile ce corespunde soluțiilor adoptate și de alți producători de MEMS.

Deasemenea utilizarea procedurii tehnologice UV LIGA cu fotorezist SU-8 este încurajată prin rezultatele bune obținute.

Există preocupare care începe să se materializeze, de a trece la realizarea barei flexibile din polimeri care va permite utilizarea completă a procedurii LIGA până la forma finală a acestei structuri. Este de așteptat că în etapa ultimă a proiectului să se poată obține și această variantă structurală a cantileverului ceea ce va deschide perspectiva unei comparații semnificative cu soluțiile structurale și tehnologice practicate în microfabricația MEMS. Odată cu aceste date constructive și valorile rezultate din încercări funcționale și de performanță vor contribui la corectarea și îmbunătățirea prevederilor stipulate în documentul normativ (norma internă sau standard de firmă).

Cu datele specifice obținute până în prezent (structura, dimensiuni, materiale, tehnologie etc.) completate cu recomandările continute în specificația tehnică și cu rezultatele formei finale a actuatorului se vor putea formula subcapitolul și articolele respective privitoare la capitolul Bară Flexibilă – Cantilever ce se va dezvolta în documentul normativ precizat a se realiza odată cu finalizarea proiectului.

c). Experiențe și elemente semnificative la realizarea Micromagnetilor Permanenți

In cadrul proiectului	La alți actuatori electromagnetici
<p>1. Natura materialului magnetic ales: CoNiMnP</p>	<p>1. Material magnetic CnNiMnP Există și posibilitatea CoNiMnPt dar acest aliaj este de evitat fiind scump Există și varianta alternativă de utilizare a magnetilor din pământuri rare</p>

<p>2. Tehnologia de realizare : Procedeul UV-LIGA cu depunere galvanica de CoNiMnO în câmp magnetic exterior pe un semifabricat de alama (bara flexibila-Cantilever)</p> <p>3. Principalele etape de depunere:</p> <p>a). Pregatirea mecanica a semifabricatului</p> <p>b). Spalare</p> <p>c). Degresare în solventi organici</p> <p>d). Spalare cu apa rece</p> <p>e). Depunere CoNiMnP în câmp magnetic</p> <p>4. Compozitia barii de depunere:</p> <table> <tbody> <tr> <td>CoCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O</td> <td>24g/L</td> </tr> <tr> <td>NiCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O</td> <td>24g/L</td> </tr> <tr> <td>MnSO<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O</td> <td>3,4g/L</td> </tr> <tr> <td>NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O</td> <td>4,4g/L</td> </tr> <tr> <td>B(OH)<sub>3</sub></td> <td>25 g/L</td> </tr> <tr> <td>lauril sodiu</td> <td>1 g/l</td> </tr> <tr> <td>saccharin</td> <td>0,1 g/l</td> </tr> <tr> <td>NaCl</td> <td>2,3 g/l</td> </tr> </tbody> </table> <p>5. Sistemul de depunere galvanica</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Câmp magnetic exterior format cu 2 magneti amplasati lateral</li> <li>- Paleta agitator în solutie</li> <li>- Anod din folie de Co</li> </ul> <p>Detaliat în cap. 6.3.2. din specificatia tehnica</p> <p>6. Densitatea de curent 2 mA/cm<sup>2</sup></p> <p>7. Forma si dimensiunile micromagnetilor</p> <p>Forme patrute si/sau dreptunghiulare</p> <p>Dimensiuni în µm: 200x200; 570x200; 488x200</p> <p>Distanta între 2 magneti: 80</p> <p>Inaltimea magnetului: 100</p> <p>8. Compozitia depunerii galvanice a micromagnetilor:</p> <table> <tbody> <tr> <td>Co</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>Ni</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>P</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>Mn</td> <td>%</td> </tr> </tbody> </table> <p>9. Structura cristalina/amorfa:</p> <p>Micromagnetii CoNiMnP depun galvanic în câmp magnetic exterior cu structura cristalina.</p> <p>10. Factorul de forma</p> <p>Dimensiunea cea mai lunga raportata la dimensiunea cea mai scurta (lungime/înaltime).</p>	CoCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	24g/L	NiCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	24g/L	MnSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O	3,4g/L	NaH <sub>2</sub> PO <sub>2</sub> .H <sub>2</sub> O	4,4g/L	B(OH) <sub>3</sub>	25 g/L	lauril sodiu	1 g/l	saccharin	0,1 g/l	NaCl	2,3 g/l	Co	%	Ni	%	P	%	Mn	%	<p>2. Procedeul UV-LIGA cu depunere galvanica de CoNiMnO în câmp magnetic exterior pe substrat de Si, SiN, polimer metale nemagnetice care vor constitui, prin alegere, bara flexibila Cantilever</p> <p>3. Curatirea chimica a substratului</p> <p>Polizarea suprafetelor waferului</p> <p>Oxidare uscat/umed/uscat</p> <p>Depunere strat de cristalizare Cr/Cu sau Ti/Cu</p> <p>Depunere fotorezist</p> <p>Coacere-racire fotorezist</p> <p>Expunere, formarea tiparelor pentru depunere CoNiMnP</p> <p>Developarea</p> <p>Depunere CoNiMnP (timp 21-30 h)</p> <p>Indeprtarea fotorezistului</p> <p>4.</p> <table> <tbody> <tr> <td>CoCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O</td> <td>24g/L</td> </tr> <tr> <td>NiCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O</td> <td>24g/L</td> </tr> <tr> <td>MnSO<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O</td> <td>3,4g/L</td> </tr> <tr> <td>NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O</td> <td>4,4g/L</td> </tr> <tr> <td>B(OH)<sub>3</sub></td> <td>25 g/L</td> </tr> <tr> <td>lauril sodiu</td> <td>1 g/l</td> </tr> <tr> <td>saccharin</td> <td>0,1 g/l</td> </tr> <tr> <td>NaCl</td> <td>2,3 g/l</td> </tr> </tbody> </table> <p>5. Câmp magnetic exterior format din 2 magneti ceramici amplasati lateral</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- paleta agitator în solutie</li> <li>- anod din folie de Co</li> </ul> <p>6. 5-10 mA/cm<sup>2</sup></p> <p>7. Micromagnetii cu forme patrute si/sau dreptunghiulare</p> <p>Dimensiuni tipice în µm: 100x30; 40x30; 50x50; 40x40; 30x30</p> <p>Distanta între 2 magneti 30 µm</p> <p>Inaltimea magnetului 30 µm</p> <p>8.</p> <table> <tbody> <tr> <td>Co</td> <td>84-85 %</td> </tr> <tr> <td>Ni</td> <td>7-9 %</td> </tr> <tr> <td>P</td> <td>0,5 – 1,3 %</td> </tr> <tr> <td>Mn</td> <td>foarte putin</td> </tr> </tbody> </table> <p>Procentul de Co mai mare se obtine prin controlul barii</p> <p>9. Micromagnetii CoNiMnP depusi galvanic în câmp magnetic exterior au structura cristalina</p> <p>10. Fata de dimensiunile tipice, factorul de forma poate fi: 100/30; 40/30; 50/30; 30/30</p>	CoCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	24g/L	NiCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	24g/L	MnSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O	3,4g/L	NaH <sub>2</sub> PO <sub>2</sub> .H <sub>2</sub> O	4,4g/L	B(OH) <sub>3</sub>	25 g/L	lauril sodiu	1 g/l	saccharin	0,1 g/l	NaCl	2,3 g/l	Co	84-85 %	Ni	7-9 %	P	0,5 – 1,3 %	Mn	foarte putin
CoCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	24g/L																																																
NiCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	24g/L																																																
MnSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O	3,4g/L																																																
NaH <sub>2</sub> PO <sub>2</sub> .H <sub>2</sub> O	4,4g/L																																																
B(OH) <sub>3</sub>	25 g/L																																																
lauril sodiu	1 g/l																																																
saccharin	0,1 g/l																																																
NaCl	2,3 g/l																																																
Co	%																																																
Ni	%																																																
P	%																																																
Mn	%																																																
CoCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	24g/L																																																
NiCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	24g/L																																																
MnSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O	3,4g/L																																																
NaH <sub>2</sub> PO <sub>2</sub> .H <sub>2</sub> O	4,4g/L																																																
B(OH) <sub>3</sub>	25 g/L																																																
lauril sodiu	1 g/l																																																
saccharin	0,1 g/l																																																
NaCl	2,3 g/l																																																
Co	84-85 %																																																
Ni	7-9 %																																																
P	0,5 – 1,3 %																																																
Mn	foarte putin																																																

Prin conceptie si prin alegerea procedului tehnologic s-au realizat micromagnetii pentru actuatorul electromagnetic ce se desfasoara în cadrul proiectului. Acestia sunt suficient de apropiati de solutiile practicate în microfabricatia specifica MEMS de catre alti producatori.

În ceea ce priveste tehnologia si sistemul de depunere galvanica rezulta o identitate cu ce se recomanda si se practica de alti producatori din sistemul MEMS.

Alegerea materialului magnetic CoNiMnP ca solutie pentru micromagnetii actuatorului din cadrul proiectului este pe aceeasi linie cu materialul magnetic utilizat si de alti producatori.

Trebuie remarcat ca micromagnetii realizati pentru prima data în aceasta etapa în care se încearca obtinerea unui model experimental al actuatorului si a componentelor sale, urmaresc ca idei conceptuale importante:

- a). obtinerea unui procent de Co cât mai ridicat prin controlul atent al compozitiei baii de galvanizare ceea ce conduce implicit si la obtinerea unui Hc ridicat
- b). obtinerea unor proprietati magnetice bune în ceea ce priveste Hc, magnetizarea remanenta si o anizotropie magnetocristalina pentru realizarea acestora. Un rol foarte important îl au depunerea în câmp magnetic exterior, un volum mai mare al magnetilor obtinuti prin depunere si formele geometrice ale micromagnetilor care conduc la un factor de forma bun
- c). pe seama cresterii câmpului magnetic H si a volumului de magneti depus se asigura si o energie magnetica stocata corespunzator mare.

Elementele prezentate la punctele 1-10 de mai sus constituie experiente semnificative pentru procesul de realizare al micromagnetilor destinati sa echiipeze actuatorul din cadrul proiectului.

Totodata continutul punctelor 1-10 constituie subcapitole si articole ce se vor dezvolta în cadrul documentului normativ (norma interna sau standard de firma) la capitolul “Magnetii permanenti”.

**Activitatea 3.2. : Determinarea proprietatilor mecanice de material prin analiza experimentală a structurilor demonstrative - partea 2**

Similar etapei 2, in care s-au determinat parametrii mecanici de material prin identificarea modurilor proprii de vibratii ale unor structuri simple din Ni depus electrochimic, acest caz a fost extinsa analiza la alte materiale utilizate in constructia actuatorului din alama (obtinute prin microprelucrare) sau SU8 (prin tehnologia LIGA).

Analiza modală a unui sistem are ca scop principal determinarea functiei de răspuns în frecvență a sistemului, din care vor rezulta ulterior parametrii modali ai acestuia: frecventele de rezonanță, amortizările modale si formele modurilor de vibratie. Comportamentul dinamic al unui sistem este alcătuit din mai multe moduri de vibratie, fiecare mod putând fi reprezentat ca un sistem individual cu un singur grad de libertate si parametri modali individuali. Prin urmare, prin analiza separată a fiecărui mod si determinarea parametrilor caracteristici acestuia, se obtine modelul modal al răspunsului sistemului studiat.

S-a determinat comportamentul dinamic al unor structuri MEMS de tip microgrindă în consolă, a căror masă inertială este atasată de capătul fix al grinzii prin unul sau două elemente de prindere (fig. 16). Probele studiate sunt structuri monobloc, obtinute prin microfrezarea unor lamele din alamă. Testarea s-a realizat cu un vibrometru de tip MSA-500.



Fig. 13. Probele analizate

După plasarea probei sub microscop, focalizarea obiectivului, definirea distantei de scanare verticală si introducerea timpului de expunere, echipamentul va genera o cartografiere de înaltă rezolutie pe axele X-Y-Z, prin utilizarea unui obiectiv de referință, în raport cu proba studiată. Cu ajutorul microscopului se obtin imagini bidimensionale ale probelor (fig. 14).

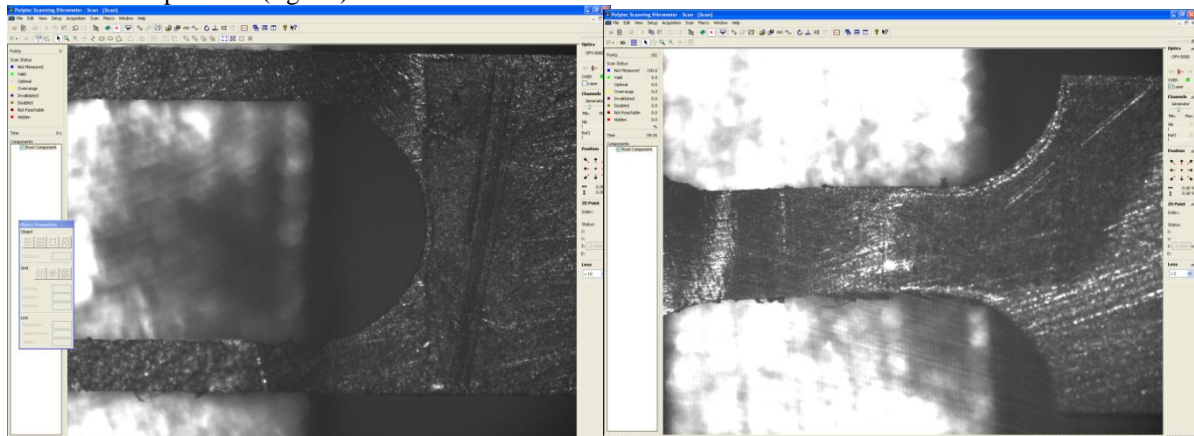


Fig. 14. Imagini la microscop ale probelor studiate

Vibrometria cu scanare Laser Doppler permite realizarea de masuratori non-contact în timp real pentru caracterizarea vibratiilor în afara planului probei si deplasările înregistrate de aceasta. Datele sunt achizitionate cu o rezolutie de un picometru, fiind înregistrate răspunsuri în frecventa de până la 24MHz.

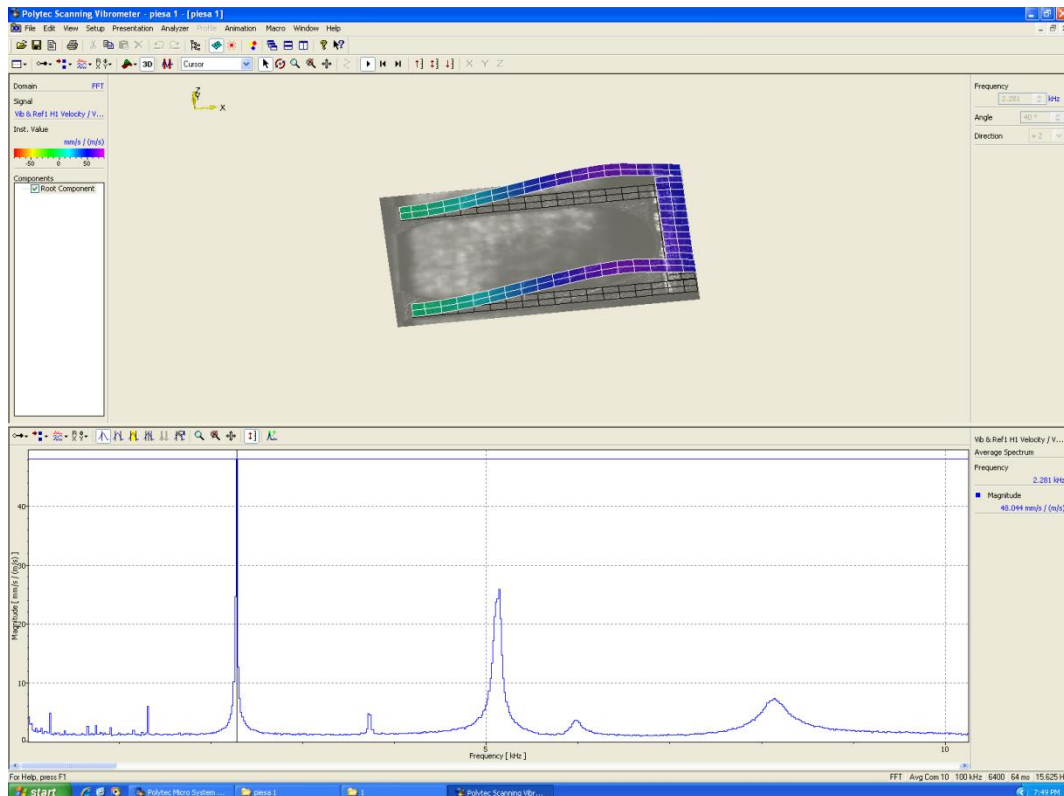


Fig. 15. Exemplu de rezultate experimentale obtinute pentru o proba

### Activitatea 3.3. : Proiectarea, simularea si executia unor micromagneti in organizare matriciala partea 2

Etapa 3 Activitatea 3.3 a prezentului proiect are ca rezultat final:

- proiectarea tehnologica pentru realizarea retelor de micromagneti in organizare matriciala, folosind tehnologia LIGA partea 2
- realizarea retelor de micromagneti in organizare matriciala, folosind tehnologia LIGA.

#### b. Rezumatul fazei

Au fost realizate placate suport pentru cele doua aplicatii impuse prin proiectul nostru: • Placate support pentru depunere galvanica a structurilor magnetice in vederea caracterizarii acestora • Placate support pentru depunere fotorezist SU8 in scopul realizarii retelor de micromagneti prin tehnologie LIGA. In ambele cazuri au fost folosite placute de alama cu grosimea de 1,5 mm si cu dimensiunile 40x40 mm pentru depunerea directa a materialului magnetic si cu dimensiunea de 6,8 x 7,5 cm pentru depunere fotorezist SU8. S-a realizat pregatirea suprafetei prin slefuire mecanica cu hartie abraziva, pornind de la valori grosiere ale acesteia si finalizand slefuirea cu hartie cu granulatia 4000. Dupa slefuire s-a realizat polisarea care s-a executat pe o masina de slefuit tip LoboPol-5 de la firma Stuers, folosind pulbere de alumina de 0,3  $\mu\text{m}$ . Calitatea suprafetei o fost masurata pe un tribometru tip CSM-instrumenter si s-a constatat o imbunatatire a acesteia de la 0,52  $\mu\text{m}$  initial, la 0,11  $\mu\text{m}$  la final.

Dupa slefuire placutele de alama au fost degresate in alcool izopropilic, decapate in acid clorhidric 6% , spalate cu apa deionizata si uscata cu aer comprimat. Fotorezistul SU8 3050 a fost depus prin centrifugare pe o masina Spin Coating tip APT POLOS. Prinderea placutei pe masina s-a facut cu vacuum, iar regimul de lucru a fost: 30 s la 500 rpm, 60 s la 1000 rpm si 45 s la 500 rpm

A fost respectata doza de SU 8 recomandata de producator (MICRO CHEM) de 4 ml. Pentru o mai buna adeziune a fotorezistului la placa de alama, inainte de depunerea fotorezistului, pe aceasta a fost depus un grund tip MCC Primer 80/20 produs tot de firma MICRO CHEM. A rezultat un strat uniform de fotorezist de 96  $\mu\text{m}$  grosime, masurat cu ajutorul sistemului de masura Renishaw al centrului de prelucrat in cinci axe KernMicro, ca in figura

Pentru stabilizarea stratului de SU8 s-a realizat o coacere timp de 30 min la 950 C.

Realizarea structurilor pentru retelele de micromagneti a presupus efectuarea urmatoarelor operatii:

1. Litografierea: realizarea desenului piesei dorite într-un format acceptat de sistemul de fotolitografie DWL66 FS (DXF, CIF, Gerber, GDSII; conversia desenului în format LIC (matrice de puncte) si realizarea fisierului MAP (hartă de asezare a structurilor micromecanice pe suport) (Fig. 16), stabilirea parametrilor de expunere (realizarea fisierului JOB), expunerea propiuzisa în instalatia de fotolitografie DWL66 FS, coacerea postexpunere,
2. Developarea: developarea fotorezistului SU8 neexpus; uscarea. P

entru toate operatiile procesului tehnologic a fost necesara experimentarea si optimizarea parametrilor de proces în conditiile concrete si cu echipamentele existente, pentru atingerea obiectivelor propuse.

Abordarea a urmat un curs logic, variind de fiecare data un singur parametru de proces. Dupa stabilirea valorii optime pentru parametrul testat s-a trecut la optimizarea urmatorului parametru, procedeul continuând pâna la epuizarea tuturor variabilelor controlabile.

Procesele de expunere, coacere si dezvoltare s-au desfasurat în incinte cu lumina galbena pentru a evita expunerea nedorita la lumina a fotorezistului SU8.

Experimentarile noastre s-au facut pe SU8 3050 pentru grosimile de 96  $\mu\text{m}$ .

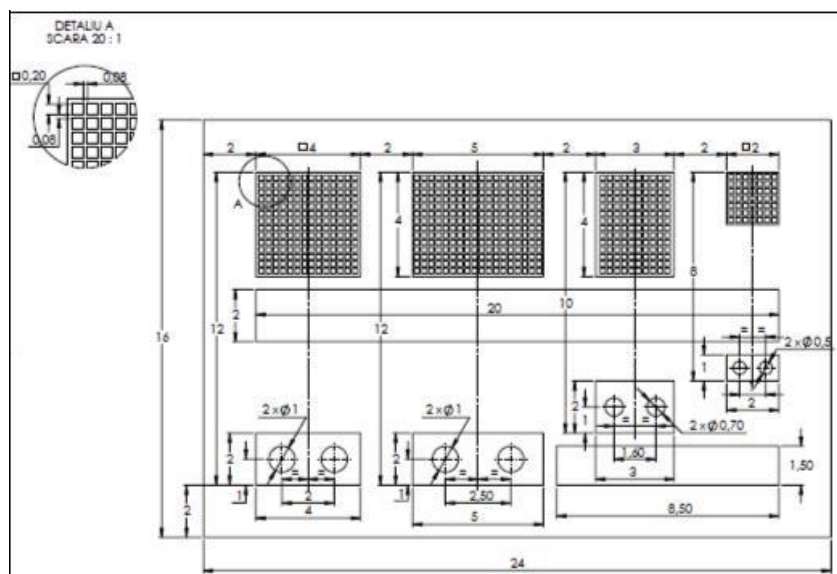
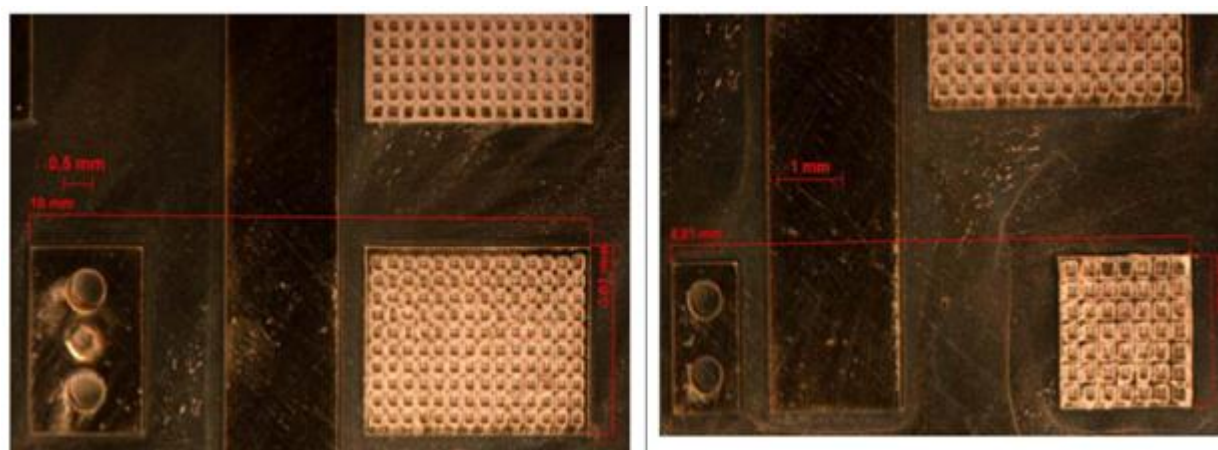


Fig. 16 Desene pentru structuri matriciale

Imagini concludente cu structuri din timpul procesului de optimizare a Expunerii si Developarii sunt prezentate în fig. 18. Matricile contin structuri cu dimensiunea de 200 x 200  $\mu\text{m}$ , distanta între ele fiind de 80  $\mu\text{m}$ .



Retea 4x3 mm, microscopie optica x 10

Retea 2x2 mm, microscopie optica x 12,5

Fig. 17 Matrici de magneti

## 2. Depunerea galvanica

Pentru integrarea materialelor magnetice in dispozitive MEMS se prefera obtinerea de filme prin electrodepunere.

Dupa prima etapa, in care s -a reusit electrodepunerea filmelor magnetice moi, cu duritate sub 200HV, s-a pus problema realizarii pentru diferite dispozitive MEMS de filme mai dure si cu rezistenta mai mare la uzura, cum este cazul depunerilor de Ni-P, Ni-Co sau depunerea unor compozite pe baza de nichel sau/si cobalt.

O celula cu doi electrozi a fost utilizata, care contine substraturile de cupru si de alama drept catod si ambele placi de Ni si Co, cu suprafata mare ca anodi solubili.

Suprafata electrozilor(anozilor) de cupru si alama, înainte de electrodepunerea filmului a fost lustruita treptat cu hârtie carbon având granulatia de 8-200 , degresata cu acetona si apoi spalata cu apa distilata si uscata.

O agitare magnetica a electrolitului a fost efectuat pentru a evita controlul difuziv si transferul de masa la catod si pentru a lucra cu densitati de curent crescute.

Celula de electroliza a fost înconjurata cu magneti permanent pentru a obtine filme magnetice cu performante bune.

Dupa electroliza, catodul a fost scos din celula si depozitul de NiCoMnP se spala bine cu apa si se usuca.

Grosimea stratului a fost determinata cunoscând densitatile de Ni pur si Co,  $\rho_{\text{Ni}} = 8.908 \text{ g/cm}^3$ ,  $\rho_{\text{Co}} = 8.72 \text{ g/cm}^3$  si masurarea suprafetei depozitului de NiCoMnP.

S-au realizat depuneri la temperatura camerei (250C) si densitatea de curent 2mA/cm2, cu agitarea electrolitului in prezenta sau in absenta cimpului magnetic.

Viteza de agitare:40-44 rot/min; pH-ul electrolitului este de ~3(Valorile pH-ului a fost masurata folosind un pH-metru Inolab )

Pentru a obtine straturi groase de NiCOMnP in cimp magnetic (de aproximativ 100µm) timpul de depunere a fost de 24h.

Depunerea de NiCoMnP in cimp magnetic a iesit lucioasa, gri metalic, uniforma pe suprafata cu mici dendrite pe marginea suprafetei piesei de alama.

### Activitatea 3.4. : Determinarea proprietatilor magnetice ale retelelor de magneti

#### a. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei

Etapa 3 Activitatea 3.4 a prezentului proiect are ca rezultat final:

- Analiza numerica a campului magnetic in retelele de magneti permanenti;
- Determinarea proprietatilor magnetice ale retelelor de magneti.

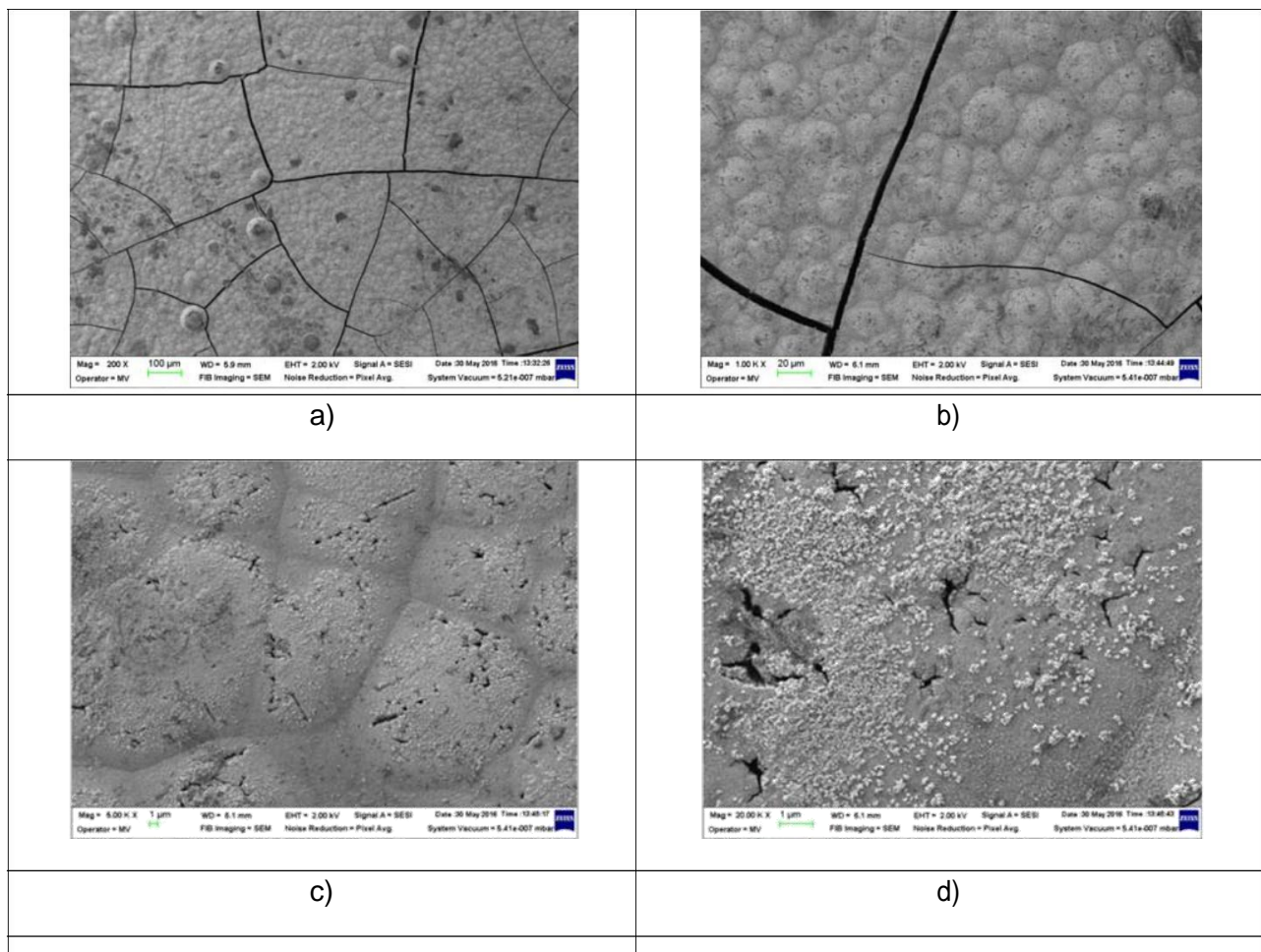
#### b. Rezumatul fazei

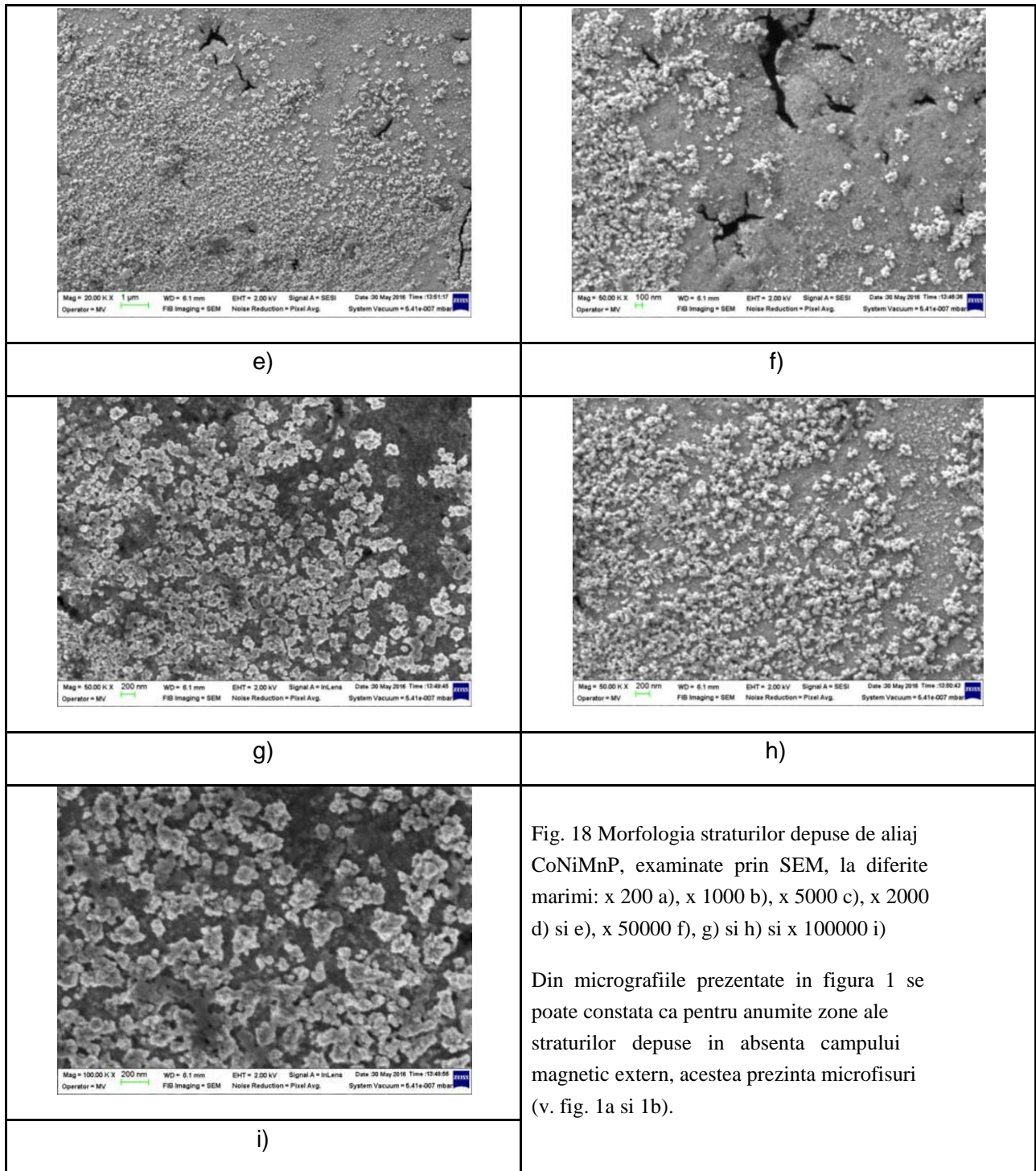
Morfologia straturilor groase depuse, pe baza de aliaje CoNiMnP, a fost investigata prin microscopie electronica de baleiaj (SEM). Probele supuse analizei au fost vizualizate si fotografiate cu ajutorul statiei de lucru de tip FESEM-FIB (model Auriga, produs de firma Carl Zeiss, Germania) prin intermediul detectorului de electroni secundari/ioni (SESI) din camera de proba pentru studiul morfologic si topografic al suprafetei.

Verificarea compozitiei chimice s-a realizat cu ajutorul sondei EDS (spectru dispersiv de energie pentru radiatia X caracteristica) produsa de Oxford Instruments model IncaPET X3, racita cu azot lichid integrata pe statia de lucru FESEM-FIB Auriga.

Au fost preluate si analizate imagini de topografie de electroni secundari (SE) pentru urmatoarele tipuri de analize desfasurate prin sonda dispersiva de energie, si anume: analize semicantitative punctuale din aceeasi micro-arie, pentru distributia compozitionala a elementelor pe suprafata de material. In acest mod a fost determinata compozitia chimica a acoperirii substratului cu aliaj CoNiMnP.

In figura 18 sunt prezentate morfologiile probelor depuse, realizate pentru diferite zone, la diverse mariri, de la 200 de ori la 100000 de ori.





Analizand micrografia zonei prezentate in fig. 1c, se poate observa o morfologie insulara si nodule fine, sferice, raspandite uniform, a caror compozitie este bogata in cobalt.



Caracterizarea magnetica a probelor de CoNiMnP, depuse in absenta campului magnetic

Caracterizarea magnetica s-a realizat prin trasarea curbei de histerezis a probei, utilizand magnetometrul cu proba vibranta (v. fig. 19), proba fiind masurata si dupa reorientarea sa la 90°. Se observa din alura celor doua curbe de histerezis ca materialul este relativ izotrop, avand o rectangularitate scazuta. Valorile principalelor caracteristici magnetice, extrase din curbele de histerezis prezentate in figura 6, sunt ilustrate in tabelul 2.

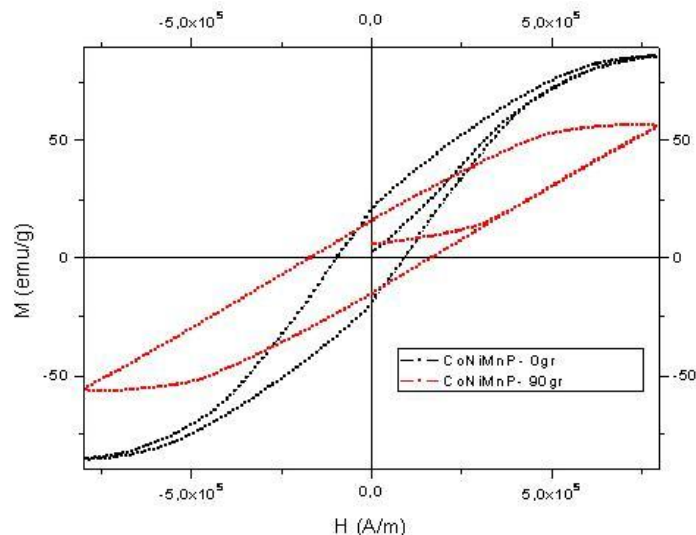


Fig. 19 Curbele de histerezis ale probei de CoMnNiP depuse pe substrat de alama, fara actiunea campului magnetic exterior

Valorile principalelor caracteristici magnetice, extrase din curbele de histerezis ale probelor 5, 6, 7 si 8 sunt ilustrate in tabelul urmatoar. Magnetizatia remanenta s-a situat in intervalul 15,9 – 20, 8 emu/g, magnetizatia la saturatie in intervalul 64 – 74 emu/g, iar coercivitatea in domeniul 1111 – 1188 Oe.

Tabel. Principalele caracteristici ale straturilor magnetice de CoMnNiP, in functie de conditiile de depunere

Cod proba	Magnetizatia remanenta, $M_r$ (emu/g)	Magnetizatia la saturatie, $M_S$ (emu/g)	Camp coercitiv, $H_c$ (Oe)
<i>CoNiMnP depus pe substrat de alama, in prezenta campului magnetic extern, (<math>H_{ext} = 2T</math>) probe mici</i>			
CoNiMnP proba 5 (2 mA/cm <sup>2</sup> , 48 mA, 24h)	19,69	73,80	1111
CoNiMnP proba 6 (2 mA/cm <sup>2</sup> , 48 mA, 24h)	20,04	71,79	1146
CoNiMnP proba 7 (2 mA/cm <sup>2</sup> , 48 mA, 24h)	20,77	73,99	1188
CoNiMnP proba 8 (2 mA/cm <sup>2</sup> , 48 mA, 24h)	15,86	64,16	1155

**Activitatea 3.5. : Verificarea experimentală a asamblării structurilor de test. Diseminarea rezultatelor**

Etapa 3 Activitatea 3.5 a prezentului proiect are ca rezultat final:

- Testarea dinamică a structurilor de asamblare.
- Verificarea asamblării structurilor de test prin vizualizare pe un microscop de mare rezoluție.
- Analiza datelor experimentale la testarea structurilor de asamblare.

**b. Rezumatul fazei**

În această etapă au fost proiectate și executate mai multe standuri pentru testarea actuatorului.

Cu ajutorul acestor standuri s-au realizat măsurători pe un model privind:

- modul de comportare electrică a unui microsistem;
- modul de comportare pur mecanic a unui microsistem;
- modul de comportare al unei microbobine cu rol de senzor;
- modul de comportare al unei microbobine cu rol de actuator.

*Stand pentru determinarea modului de comportare pur mecanic a microactuatorului*

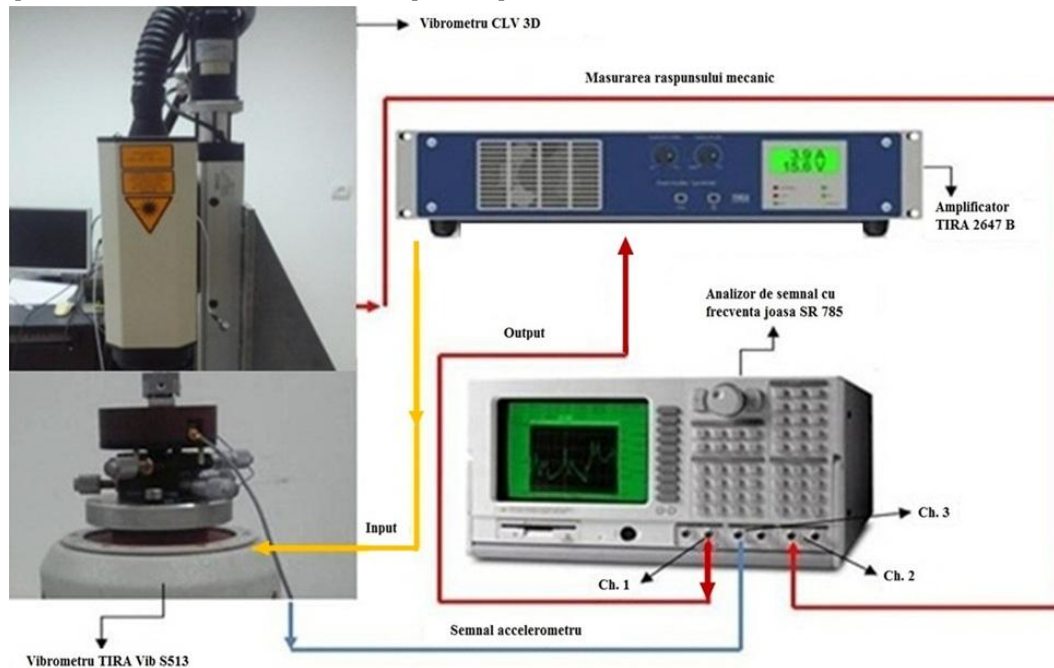


Fig. 20 Stand pentru determinarea modului de comportare pur mecanic a microactuatorului

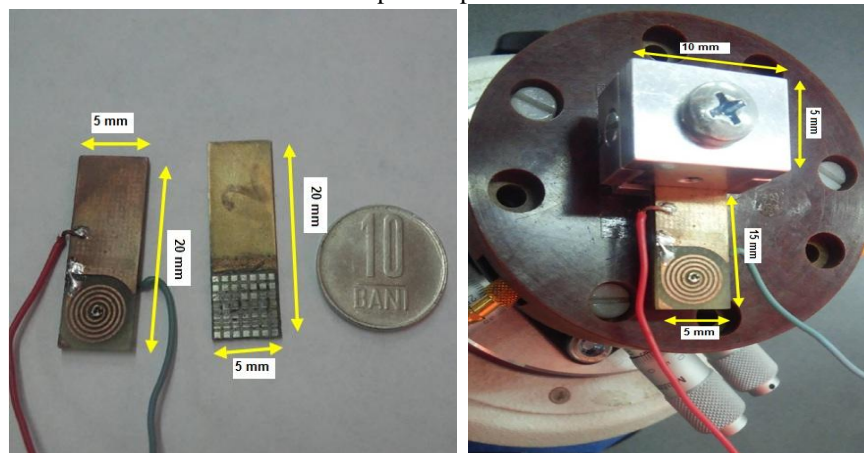


Fig. 21 Dimensiunile microbobinei și a rețelei cu micromagneți permanenți pentru model

Stand pentru evaluarea răspunsului electromagnetic al microbobinei si a matricei cu micromagneti - se măsoară modul de comportare electrică a microactuatoarei electromagnetice.

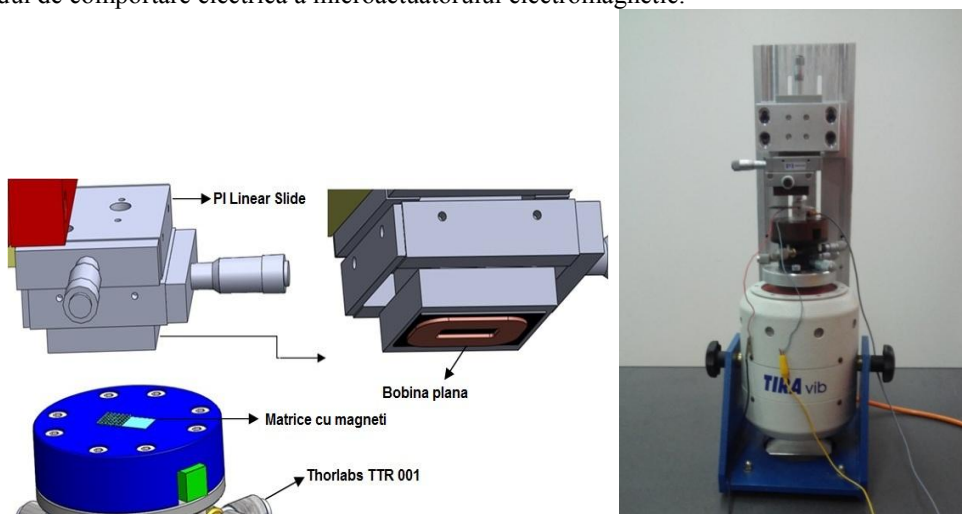


Fig. 22 Reprezentare 3D a modului de plasare a bobinei si rețelei de magneti

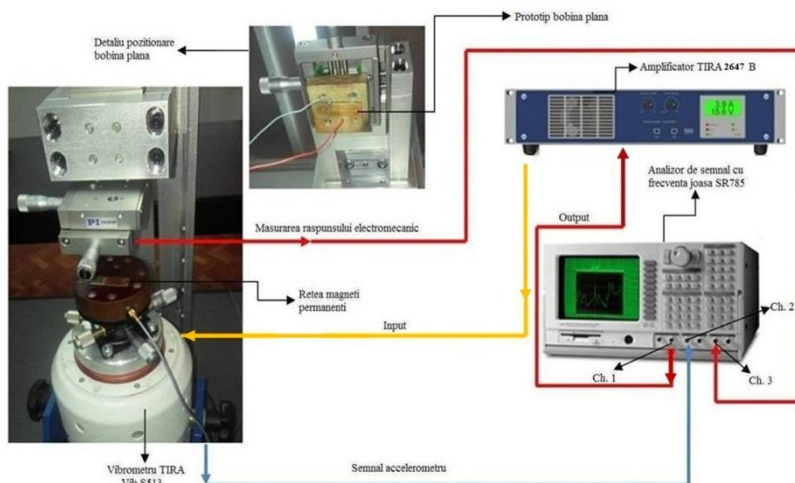


Fig 23 Schema de comanda pentru evaluare comportare electrică a microactuatoarei electromagnetice

**Activitatea 3.6. : Studiu privind posibilitățile standardizării a elementelor MEMS. Diseminarea rezultatelor. Partea III –a**

Etapa 3 Activitatea 3.6 a prezentului proiect are ca rezultat final:

- Stabilirea unor relații criteriale utilizabile în standardizarea MEMS.
- Identificarea structurilor pretabile standardizării și modalităților de standardizare posibile partea II

**b. Rezumatul fazei**

*Analiza critică a principalelor componente ale unui actuator din punct de vedere al standardizării actuatorului*

Ghid (specificatie tehnica, instructiuni/recomandari) pentru standardele unor structuri posibile

Activitatea 3.6. a partenerului P2 pe anul 2016 s-a axat pe “Identificarea structurilor pretabile standardizării și modalităților de standardizare posibile”.

Diversitatea construcțiilor de actuator și a aplicațiilor, tehnologiile de realizare –de multe ori neconventionale– specificitatea unor componente ale actuatorului cer o atenție specială atât în activitatea de standardizare “cât și ce” din actuator trebuie standardizat.

În standardizarea internațională CEI a constituit Subcomitetul Tehnic 47 F: Semiconductor Devices-Micro Electromechanical Device care abordând problema actuatorului MEMS a elaborat un număr de standarde care se raportează în general la măsurarea unor parametri ai actuatorilor

–în majoritatea specifică tehnologiei siliciului- consecința extrapolării unor cunoștințe din domeniul circuitelor integrate.

Standarde specifice de actuator nu există elaborate decât pentru girocompas și întrerupătoare MEMS justificat de numărul mare de produse și aplicații.

O analiză a modului în care este tratată problema standardizării în domeniul MEMS arată că firmele –până la etapa de elaborare a unui standard- realizează norme interne/recomandări/specificații în care se prezintă o ordonare a cunoștințelor necesare dezvoltării unui MEMS, indicarea metodelor care pot fi folosite, alegerea materialelor și stabilirea tehnologiilor de urmat, document care să ofere constructorului/utilizatorului de MEMS soluții posibile pentru realizarea unui actuator precum și încercările posibile să fie folosite.

În cazul actuatorului electromagnetic care se dezvoltă în cazul proiectului s-a apreciat utilă a elabora o recomandare care să prezinte scopul (necesitatea ei), domeniile de aplicare, referințele normative, componentele ce pot fi standardizate (cantilever, magnetul, bobina), tehnologiile și procedeele specifice și încercările de efectuat.

Similar practicilor întâlnite în lume privind dezvoltarea unor instrumente de standardizare specifice, specificația tehnică elaborată va conține volumul de cunoștințe necesar pentru conceperea și dezvoltarea unui MEMS, tehnologiile posibile de utilizat, materialele de folosit și încercările care pot valida performanța unui MEMS. Specificația este structurată după tipologia de alcatuire a unei norme interne de produs sau a unui standard. Capitolele și subcapitolele fiind marcate în pagina de început ce conține “Cuprinsul” specificației. Ca formă, acest cuprins reprezintă conținutul ce se va dezvoltă în documentul normativ și care, în opinia noastră, va trebui să fie cel mult o normă internă de produs. Această opinie este justificată de faptul că nefiind cazul unei microproducții mari, este vorba doar de câteva exemplare de actuatori, documentul cel mai potrivit este Norma Internă. Pentru a ușura munca de completare a capitolelor avute în vedere și în special detalierea tehnică a articolelor ce compun aceste capitole și subcapitole această specificație tratează în mod prioritar doar cele 3 componente principale (și funcționale) ale actuatorului-microbobina, bara flexibilă-cantilever, magnetii permanenți.

În ceea ce privește ansamblul actuatorului datele tehnice legate de structură, mod de asamblare, funcționarea, caracteristici de material urmează să fie incluse în normă odată cu finalizarea constructivă, tehnologică și funcțională inclusiv a încercărilor specifice.

Specificația urmând tipologia consacrată redactării unei norme (standard) pune la dispoziție detalii tehnice și recomandări privind:

- Baza normativă actuală în domeniul MEMS într-o anexă dezvoltată (Anexa A) ce conține publicațiile CEI; standarde pentru MEMS (24 standarde), pentru actuatori (17 standarde) și pentru nanotehnologii (21 standarde).
- Materiale specifice (Anexa B) utilizate cel mai frecvent la realizarea sistemelor și microstructurilor MEMS cu precizarea denumirilor, simbolurilor și cu indicarea utilizării lor posibile în microfabricația de suprafață și de volum.
- Tehnologii și procedee tehnologice de fabricație dezvoltate în Anexele C (C1, C2, C3) în care sunt expuse detalii privind etapele microfabricației (depunere, litografie, gravare, aliniere etc.), tehnologia LIGA, tehnologia SU-8, tehnologia UV, mastile necesare în procesul de litografiere.
- Un capitol special este dedicat microstructurii actuatorului și a celor trei componente funcționale microbobina-cantilever-magnetii permanenți.

Pentru fiecare dintre acestea sunt precizate:

un subcapitol privind cerințele specifice care se referă la date constructive, tehnologia de realizare, caracteristici de construcție, de material, de performanță, încercări, metode de verificare; acest subcapitol urmează să se completeze cu datele definitive obținute în procesul de finalizare al actuatorului și a componentelor sale

un subcapitol cu unele detalii specifice atât din microfabricația actuatorilor la alți producători cât și din experiențele semnificative ale actuatorilor ce se realizează în proiect; la fiecare dintre componentele respective s-au ilustrat prin exemple procedeele tehnologice utilizate; aceste detalii ajută la îmbunătățirea și completarea corespunzătoare a articolelor prin care se dezvoltă subcapitolele normei și permit alcatuirea unor note, explicații și completări privind conținutul tehnic.

Totodată aceste date împreună cu datele ce se vor valida pe parcursul elaborării actuatorului și a componentelor sale vor permite începerea imediată a completării normei interne în capitolele unde datele au devenit certe și au fost validate ca atare iar completarea va continua pe măsura definitivării soluțiilor realizate astfel că până la finalizarea proiectului să putem dispune și de o formă și un conținut final al documentului normativ.

**Activitatea 3.7. : Proiectarea, simularea, execuția și testarea magneto-mecanică a unui actuator cu un grad de libertate. Diseminarea rezultatelor. Partea 1**

*Este în curs de realizare primul prototip.*