



MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII
UNIVERSITATEA „VALAHIA” din TARGOVISTE
IOSUD – ȘCOALA DOCTORALĂ DE ȘTIINȚE INGINEREȘTI
DOMENIUL FUNDAMENTAL ȘTIINȚE INGINEREȘTI
DOMENIUL INGINERIE MECANICĂ

REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT
NOI SOLUȚII ȘI PRINCIPII PENTRU
CONSTRUCȚII MEMS ȘI NEMS
UTILIZATE ÎN PROCESE DE FABRICAȚIE
ȘI MĂSURĂRI ULTRAPRECISE

SUMMARY OF THESIS
NEW SOLUTIONS AND PRINCIPLES FOR
MEMS AND NEMS CONSTRUCTIONS
USED IN MANUFACTURING PROCESSES
AND HIGHLY-ACCURATE
MEASUREMENTS

CONDUCĂTOR DE DOCTORAT:

Prof. Univ. Dr. Ing. D.H.C. GHEORGHE I. GHEORGHE

Doctorand:

Ing. ILIE IULIAN

TÂRGOVIȘTE
Anul 2021

Cuprins

CAPITOLUL 1. INTRODUCERE	3
1.1. Prezentarea domeniului tezei de doctorat	3
1.2. Scopul tezei de doctorat	4
1.3. Cuprinsul tezei de doctorat	4
CAPITOLUL 2. NOȚIUNI GENERALE PRIVIND MEMS ȘI NEMS UTILIZATE ÎN PROCESE DE FABRICAȚIE ȘI MĂSURĂRI ULTRAPRECISE	4
2.1. Circuite integrate.....	5
2.2. Tehnologia LIGA	5
2.3. Microfabricația	6
2.4. Industria 4.0	7
2.5. Printarea 3D	8
2.6. Internetul Obiectelor - IoT.....	8
2.7. Realitatea Augmentată, Realitatea Virtuală, Cloud și Big Data.....	8
2.8. Roboți colaborativi	8
2.9. Rețea Privată Virtuală (VPN – Virtual Private Network)	9
CAPITOLUL 3 STUDIU ȘI ANALIZĂ PRIVIND CONSTRUCȚIILE MEMS ȘI NEMS UTILIZATE ÎN PROCESE DE FABRICAȚIE ȘI MĂSURĂRI ULTRAPRECISE	9
3.1. Echipamente inteligente utilizate sau realizate în activitatea de cercetare din INCDMTM	10
3.1.1. Platformă Tehnologică de măsurare inteligentă PLATHITECH - DIGITIL / DIGITIR / DIGITRIL	10
3.1.2. Echipament pentru măsurare, calibrare și testare în 3D -Leitz- Germania.....	10
3.1.3. Microscopul de forță atomică NT-MDT NanoLaboratory NTEGRA Probe	11
3.1.4. Echipamentul mecatronic de control geometric și marcarea tambur auto	12
3.1.5. Echipament pentru prototipare EOSINT 270 M Dual Mode	12
3.1.6. Echipament de prelucrare prin sinterizare a materialelor plastice EOS FORMIGA P110 ...	13
3.1.7. Microsistem robotic mecatronic și cyber-mixmecatronic destinat măsurărilor ultraprecise	14
CAPITOLUL 4: CONCEPEREA ȘI REALIZAREA UNUI SISTEM MECATRONIC INTEGRAT INTELIGENT PROIECTAT PENTRU CONSTRUCȚIILE MEMS & NEMS UTILIZATE ÎN PROCESE DE FABRICAȚIE ȘI MĂSURĂRI ULTRAPRECISE	14
4.1. Descrierea sistemului mecatronic integrat inteligent proiectat pentru construcții MEMS & NEMS utilizate în procese de fabricație și măsurări ultraprecise	15

4.2 Încercări și teste realizate în Laboratoarele INCDMTM cu sistemul mecatronic integrat inteligent proiectat pentru construcții MEMS & NEMS utilizate în procese de fabricație și măsurări ultraprecise	18
4.3 Analiză și interpretare originală privind topografia microgeometriei suprafețelor structurilor pentru piesele măsurate	20
CAPITOL 5 CONCEPEREA ȘI REALIZAREA UNUI SISTEM MECATRONIC ÎN 4D UTILIZAT ÎN PROCESE INDUSTRIALE ȘI METROLOGICE DE MĂSURARE ȘI CONTROL INTEGRAT -MMI4D	21
5.1. Prezentare generală a sistemului MMI4D.....	21
5.2. Componenta hardware	25
5.3. Componenta software	27
5.4. Panoul de comandă și control.....	27
5.5. Achiziția datelor și ștergerea fișierelor.....	31
CAPITOLUL 6 CERCETĂRI EXPERIMENTALE PENTRU SISTEMUL MECATRONIC DE MĂSURARE INTELIGENTĂ MMI4D PRIVIND VALIDAREA METROLOGICĂ A ACESTUIA ȘI IMPLEMENTAREA INDUSTRIALĂ ÎN PROCESELE DE MĂSURARE ȘI CONTROL INTELIGENT	34
6.1. Măsurări piese etalon / etaloane	34
6.2. Măsurări piese prelucrate industrial	35
6.3. Măsurări piese pe sistemul mecatronic MMI4D.....	35
6.4. Determinarea Valorilor Metrologice pentru Sistemul Mecatronic MMI4D.....	36
Capitolul 7. CONSIDERAȚII FINALE	36
7.1. Rezultatele Obținute	37
7.2. Contribuții originale	37
7.3. Lista lucrărilor originale.....	38
7.4. Perspective de dezvoltare ulterioară	42
BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ	42
ANEXE	45
Anexa A – Brevet de Invenție Nr. 132678	45
Anexa B – Brevet de Invenție Nr. 125124	46
Anexa C – Brevet de Invenție Nr. 122874	47
Anexa D – Brevet de Invenție Nr. 122847	48
Anexa E – Cerere de Brevet A/00610/28.09.2020	49

Cuvinte Cheie: MEMS, NEMS, Internetul Lucrurilor, COBOT, sistem mecatronic, telemonitorizare, telecontrol, rețea privată virtuală, printare 3D

CAPITOLUL 1. INTRODUCERE

CAPITOLUL 1 prezintă o scurtă introducere privind domeniul MEMS și NEMS, a tehnologiilor asociate domeniului și momentul apariției acestora cu evidențierea celor patru revoluții industriale. Capitolul continuă cu prezentarea scopului și obiectivelor prezentei teze de doctorat.

1.1. Prezentarea domeniului tezei de doctorat

Literatura de specialitate națională și internațională furnizează numeroase informații referitoare la echipamente și sisteme microelectromecanice (*MEMS*) și nanoelectromecanice (*NEMS*). Dacă în Statele Unite ale Americii se utilizează preponderent termenii *MEMS* și *NEMS*, în Japonia se folosește termenul *Micromachines* iar în Europa *MST* (microsystems technology). Tendințele trecute și actuale în procesele de fabricație și măsurări ultraprecise sunt înclinate spre miniaturizare, tendința aceasta regăsindu-se și în strategiile companiilor de profil pe termen mediu și lung.

Tehnologiile și aplicațiile *MEMS* și *NEMS*, așa cum le cunoaștem în prezent au fost influențate de momente precum apariția primului circuit integrat (IC – integrated circuit, (J.S. Kilby 1958 / Robert Noyce 1959), inventarea microprocesorului în 1971, utilizarea tehnologiei LIGA (acronim din limba germană pentru Lithographie/Litografie, Galvanoformung/Galvanizare, Abformung/Turnare) în 1982, inventarea microscopului de forță atomică AFM în 1986, descoperirea nanotubului de carbon CNT în 1991, etc. Începând cu anul 2000 dispozitivele și aplicațiile *MEMS* și *NEMS* s-au dezvoltat constant și se regăsesc aplicate în domenii diverse facilitând dezvoltarea acestora.

MEMS și *NEMS* valorifică potențialul oferit de internetul lucrurilor (IoT), realitatea virtuală (VR) și realitate augmentată (AR) oferind posibilitatea de a controla și monitoriza de la distanță dar și posibilitatea vizualizării în realitate virtuală sau augmentată a unor echipamente, instalații, materiale și altele cu scopul eficientizării proceselor de lucru și a facilitării dezvoltării resursei umane.

Dezvoltarea proceselor de fabricație este corelată cu cele patru revoluții industriale identificate: prima revoluție industrială a avut loc la sfârșitul secolului 18 și începutul secolului 19, a doua revoluție industrială începe la sfârșitul secolului 19, a treia revoluție industrială începe în cea de-a doua jumătate a secolului 20 și a patra revoluție industrială începe cu mileniul 3.

1.2. Scopul tezei de doctorat

Prezenta lucrare își propune realizarea virtuală și fizică a unui sistem inteligent care să fie utilizat pentru măsurări ultraprecise în procesele industriale de fabricație și în componența căruia să fie integrate subsisteme *MEMS* și *NEMS*, componentă software dedicată și prezentarea procedurii de lucru pentru utilizarea sistemului realizat.

Alături de realizarea obiectivului menționat mai sus, pentru validarea rezultatelor obținute vor fi efectuate cercetări experimentale care vor genera protocoale de măsurare.

1.3. Cuprinsul tezei de doctorat

Teza de doctorat are 7 capitole, bibliografie și anexe. În teză se regăsesc 8 tabele, peste 100 figuri, 123 surse bibliografice și anexe. Este prezentat stadiul actual al tehnicii, două sisteme mecatronice realizate virtual și fizic, inclusiv teste și cercetări experimentale realizate cu acestea. În final sunt prezentate lucrările științifice publicate în perioada realizării tezei de doctorat unde autorul tezei are calitatea de autor sau coautor dar și perspective de dezvoltare ulterioară.

CAPITOLUL 2. NOȚIUNI GENERALE PRIVIND MEMS ȘI NEMS UTILIZATE ÎN PROCESE DE FABRICAȚIE ȘI MĂSURĂRI ULTRAPRECISE

CAPITOLUL 2 descrie succint sistemele MEMS și NEMS continuând cu prezentarea circuitelor integrate, a tehnologiei LIGA, a microfabricației și a Industriei 4.0. Au fost selectate pentru prezentare tehnici de microfabricație mecanică, și anume: microfrezarea, microgăurirea, microstrunjirea, microrectificarea, micropolizarea, microlustruirea și microprelucrarea abrazivă cu jet cu apă. Pentru microformare au fost prezentate microforjarea, microextrudarea, microștanțarea și microhidroformarea. Ultima categorie de microfabricație prezentată în acest capitol este microfabricația electrică și chimică.

Sistemele *MEMS* reprezintă evoluția naturală a sistemelor *milimetrice* prin redimensionarea acestora la valori apropiate sau sub 1 mm iar sistemele *NEMS*

reprezintă evoluția naturală a sistemelor *MEMS* prin redimensionarea acestora la valori apropiate sau sub $1\ \mu\text{m}$. În Fig. 2.1 se exemplifică dimensiunea la nivel micro și nano prin corelarea mărimilor cu imagini.

Figura 2.1: Dimensiunea micro și nano

10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10^0	10^1	10^2	10^3	10^6	10^9
nano	micro	mili	centi	deci	0	deca	hecto	kilo	mega	giga
n	μ	m	c	d		da	h	k	M	G

				
Acidul DeoxiriboNucleic-ADN Aproximativ 2 nm lățime	Cehule roșii Aproximativ 7 μm	Păr uman Aproximativ 80 μm	Purice Aproximativ 1 mm	Minge de fotbal Aproximativ 220 mm

2.1. Circuite integrate

Un circuit integrat (IC) constă dintr-un set de circuite electronice montate pe un suport de siliciu miniatural de material semiconductor numit cip și este mult mai mic decât un circuit format din componente independente. IC este realizat pe o placă mini din material semiconductor, care este de obicei realizată din siliciu. Este extrem de compact și poate conține miliarde de tranzistoare și alte componente electronice într-o zonă mică. Primul CI realizat de Jack Kilby în 1958 este prezentat în Fig. 2.2.

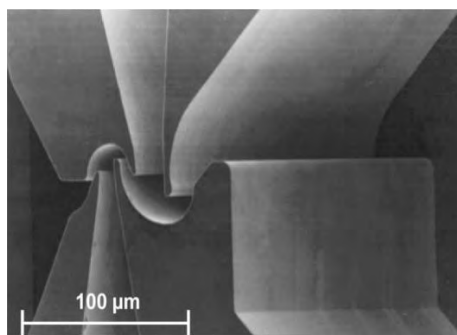
Figura 2.2: Primul Circuit Integrat - 1958



2.2. Tehnologia LIGA

Tehnologia a fost dezvoltată în Germania în ultimii 40 de ani, prima dată la Forschungszentrum Karlsruhe GmbH. Tehnologia LIGA a fost menționată prima dată în articole de cercetare în anul 1982 și prezintă rezultate precum obținerea unei duze de fabricare a uraniului prin tehnologia LIGA, așa cum se observă în Fig. 2.3.

Figura 2.3: Duză de separare a uraniului fabricată prin tehnologia LIGA



2.3. Microfabricația

La nivel global este o preocupare continuă pentru microfabricație în special pentru metodele / procesele sale de fabricație. Unul dintre cele mai populare procese de microfabricație este microformarea.

Microfabricația și microformarea / microprofilarea, uneori folosite interschimbabil, se referă la producția de piese sau caracteristicile pieselor cu cel puțin două dimensiuni ale acestora în intervalul submilimetric. Dimensiunea piesei poate merge până la câțiva milimetri, în timp ce caracteristicile piesei sunt în mare parte în domeniul micrometrilor.

Pentru a evidenția și mai mult domeniul micro și nano au fost selectate pentru descriere tehnici de microfabricație mecanică și microformare. Microfabricația mecanică include: microfrezarea, microgăurirea, microstrunjirea, microrectificarea, micropolizarea, microlustruirea și microprelucrarea abrazivă cu jet cu apă. Microformarea include: microforjarea, microextrudarea, microștanțarea și microhidroformarea. Ultima categorie de microfabricație prezentată în acest capitol este microfabricația electrică și chimică.

Figura 2.4: Microfreză și ochiul unei gărgărite



Sursa: Courtesy of Performance Micro Tool, Inc., USA.

Figura 2.5: Microfabricația de componente pentru ceas



Sursa: Courtesy of Willemin-Macodel SA, Elveția.

Figura 2.6: Microgăurirea- detalii

(a) Burghiu cu diametrul de 50 μm prezentat lângă un picior de furnică

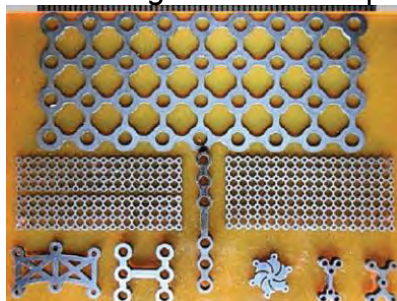


(b) vedere de aproape



Sursa: Courtesy of Performance Micro Tool, Inc., Janesville, WI, USA.

Figura 2.7: Exemple de piese microprelucrate abraziv cu jet de apă



(a) Piese ortopedice din titan și oțel inoxidabil



(b) Lanț realizat dintr-un tub solid de titan (diametrul exterior este de 0,64 mm)



(c) Bicicletă pe băț de chibrit

2.4. Industria 4.0

Industria 4.0 se referă la digitalizarea tuturor proceselor industriale și transformarea lor în procese inteligente, eficiente și autonome prin detectare, conectivitate, analize de date mari și control.

Figura 2.8: Ecosistemul Industriei 4.0



Sursa: www.xenrc.com [81]

2.5. Printarea 3D

O componentă importantă a industriei 4.0 este printarea 3D. Alături de fabricație aditivă AM (Additive Manufacturing), putem folosi denumirea de fabricare rapidă RM (Rapid Manufacturing) sau prototipare rapidă RP (Rapid Prototyping). Alte denumiri mai puțin uzuale sunt fabricare digitală (digital manufacturing / fabrication), fabricare în straturi (layered manufacturing) sau fabricare DMF (Desktop Manufacturing).

2.6. Internetul Obiectelor - IoT

Trăim într-o lume conectată în care miliarde de computere, tablete, smartphone-uri, clădiri, obiecte portabile, dispozitive medicale, console de jocuri și alte articole inteligente achiziționează, procesează și furnizează în mod constant informații.

IoT este o infrastructură globală de rețea de comunicații care leagă entități fizice și virtuale care ne înconjoară, profitând de captarea masivă de date și funcționalități de comunicare.

2.7. Realitatea Augmentată, Realitatea Virtuală, Cloud și Big Data

Realitate Augmentată (AR) și Realitate Virtuală (VR), dezvoltă mai multe aplicații care se ocupă de spațiul virtual și spațiul fizic. AR ia în considerare spațiul real peste care suprapune obiecte generate de computer în acel mediu. VR construiește un mediu ireal sau sintetic.

Cloud și Big Data sunt concepte utilizate în IoT și Industria 4.0 unde cantitatea de informații colectată și prelucrată este imensă. Pentru a reuși procesarea datelor, de obicei se utilizează tehnologia Cloud, aceasta facilitând salvarea datelor și accesarea lor ulterioară într-o manieră rapidă și convenabilă.

2.8. Roboți colaborativi

Industria actuală a facilitat apariția roboților colaborativi, numiți coboți, în special datorită necesității unui mediu de lucru comun în care omul și cobotul desfășoară activități complexe. Cobotul este un robot destinat interacțiunii fizice cu oamenii într-un spațiu de lucru comun.

Coboții sunt special creați cu scopul de a lucra alături de oameni, nu doar pentru ei. În loc să fie în cușcă, lucrează într-un mediu de cooperare și ajută la sarcini complexe, care nu pot fi complet automatizate. De exemplu, pot înmâna componente oamenilor alături de care lucrează, aceștia urmând să execute asamblări mai precise sau sarcini de control al calității.

2.9.Rețea Privată Virtuală (VPN – Virtual Private Network)

Transmisia datelor prin intermediul conexiunilor de internet sunt supuse unui număr mare de riscuri. Pentru a securiza datele transmise și a elimina riscul ca acestea să fie interceptate sunt folosiți algoritmi simetrici sau asimetrici pentru a le cripta.

Un VPN este un ansamblu de două sau mai multe rețele private sau utilizatori individuali care utilizează tuneluri securizate pe o infrastructură publică de telecomunicații, cum ar fi Internetul, pentru conexiune. Un VPN este utilizat în mod obișnuit pentru a oferi birourilor distribuite sau utilizatorilor individuali acces securizat la rețeaua organizației lor.

CAPITOLUL 3 STUDIU ȘI ANALIZĂ PRIVIND CONSTRUCȚIILE MEMS ȘI NEMS UTILIZATE ÎN PROCESE DE FABRICAȚIE ȘI MĂSURĂRI ULTRAPRECISE

CAPITOLUL 3 prezintă echipamente utilizate de INCDMTM în activitatea de cercetare sau care au fost realizate în urma activității de cercetare la care autorul acestei teze a participat. Echipamentele prezentate sunt adecvate pentru MEMS și NEMS, ele măsurând sau realizând piese încadrate în domeniul micro și nano. Echipamentele prezentate se adresează în special domeniilor mecatronica măsurării inteligente, robotică, inclusiv robotica medicală, micro-nano tehnologii și nu numai. Echipamentele prezentate în Capitolul 3 au facilitat obținerea rezultatelor prezentate în prezenta teză de doctorat.

Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Mecatronică și Tehnica Măsurării (INCDMTM) înființat în anul 1971 are laboratoare acreditate pentru domenii precum mecatronica măsurării inteligente, mecatronica biomedicală, robotica sau micro și nano tehnologii mecatronice.

3.1. Echipamente inteligente utilizate sau realizate în activitatea de cercetare din INCDMTM

3.1.1 Platformă Tehnologică de măsurare inteligentă PLATHITECH - DIGITIL / DIGITIR / DIGITRIL

Platforma tehnologică de control inteligent integrată cu microsisteme mecatronice high-tech pentru măsurări dimensionale și unghiulare ultraprecise destinată dezvoltării ingineriei instrumentației în medii industriale și de laborator – *PLATHITECH-Digitil / Digitir / Digitril* a fost realizată prin trei proiecte de cercetare în cadrul Programului Național CDI II (contract Relansin 2009 - Digitil, contract Invent 159 – Digitir și Calist 5230 – Digitril).

PLATHITECH-Digitil / Digitir / Digitril are la bază trei brevete de invenție în care autorul acestei lucrări are calitatea de inventator (Brevet nr. RO122847/2010, RO122874/2010 și RO125124/2013) și este prezentată în figura 3.1.

Figura 3.1 - PLATHITECH-DIGITIL / DIGITIR / DIGITRIL



3.1.2. Echipament pentru măsurare, calibrare și testare în 3D -Leitz-Germania

Echipamentul cu lăgăruire gazostatică pentru măsurare, calibrare și testare în 3D - Leitz din Germania 3D este implementat tehnologic și prezentat în figura 3.2 și funcționează cu programul software PC-DMIS CAD ++.

Figura 3.2: Echipament pentru măsurare, calibrare și testare în 3D -Leitz



3.1.3. Microscopul de forță atomică NT-MDT NanoLaboratory NTEGRA Probe

Microscopul de forță atomică- AFM din Federația Rusă, implementat tehnologic și prezentat în figura 3.3 este utilizat în INCDMTM pentru studiul și analiza suprafețelor la nivel micro și nano. Precizia de mișcare este la nivel nanometric și permite sistemului o amplificare a deplasării >2000 ori.

Figura 3.3: Microscop AFM, NTEGRA Probe NanoLaboratory NT – MDT



Legendă:

1 – unitate de bază;

2 – cap de măsură;

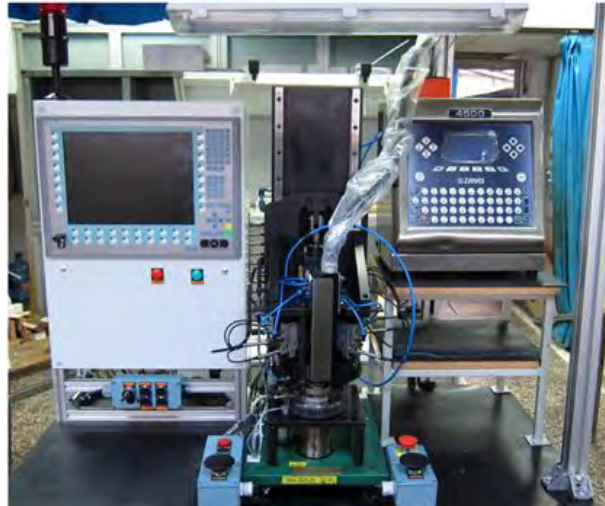
3 – sistem de izolare a vibrațiilor;

4 – sistem optic de vizualizare

3.1.4. Echipamentul mecatronic de control geometric și marcare tambur auto

Echipamentul este prezentat în figura 3.4 și are precizia de măsurare: ± 0.005 mm și rezoluție de măsurare: 0.001 mm

Figura 3.4: Echipament mecatronic de control geometric și marcare tambur



3.1.5 Echipament pentru prototipare EOSINT 270 M Dual Mode

EOSINT 270 M Dual Mode din Germania este un echipament implementat tehnologic și utilizat în INCDMTM pentru prototipare selectivă cu laser utilizând pulberi metalice și este prezentat în figura 3.5.

Figura 3.5: Echipament pentru prototipare EOSINT 270 M Dual Mode



Caracteristicile principale sunt:

- suprafața de expunere: max. 250 x 250 mm
- înălțimea de expunere: max. 215 mm
- viteza de expunere: max. 7000 mm/s (orice tip de piesă poate fi realizată în câteva ore; din momentul în care comanda piesei este dată mașinii aceasta nu mai necesită supraveghere).
- diametrul razei laser: 100 – 500 micrometri

3.1.6. Echipament de prelucrare prin sinterizare a materialelor plastice EOS FORMIGA P110

EOS FORMIGA P110 din Germania este un echipament implementat tehnologic și utilizat în INCDMTM pentru prototipare selectivă cu laser utilizând pulberi obținute din material plastic și este prezentat în figura 3.6.

Figura 3.6: Echipament pentru prototipare EOS FORMIGA P110



Caracteristicile principale ale echipamentului sunt :

- volumul de lucru: minim 200x200x300 mm;
- gaz de lucru: azot de la generator încorporat, cu conexiune la sursa externă de aer comprimat ;
- tip laser: CO₂ ;
- putere laser: minim 30 W ;
- sistem optic: lentile F-theta ;
- viteza de baleiere în timpul procesului: 5m/s cu transfer digital al datelor la scanner ;
- grosime strat: 0,06÷0,12 mm ;

3.1.7. Microsistem robotic mecatronic și cyber-mixmecatronic destinat măsurărilor ultraprecise

Microsistemul este destinat aplicațiilor de măsurare precisă și foarte precisă în laboratoarele speciale (metrologice și industriale) în conformitate cu DIN EN 61010-1, într-un mediu foarte curat (cameră albă). Microsistemul robotic este destinat și poziționării, reglării și deplasării microsarcinilor în 6 axe la diferite viteze și este prezentat în figura 3.7.

Figura 3.7: Microsistem robotic mecatronic și cyber-mixmecatronic destinat măsurărilor ultraprecise



În figura 3.9, este prezentat procesul de măsurare cu microsistemul robotic mecatronic și cyber-mixmecatronic și în tabelul 3.2 sunt prezentate principalele caracteristici și proprietăți ale acestuia.

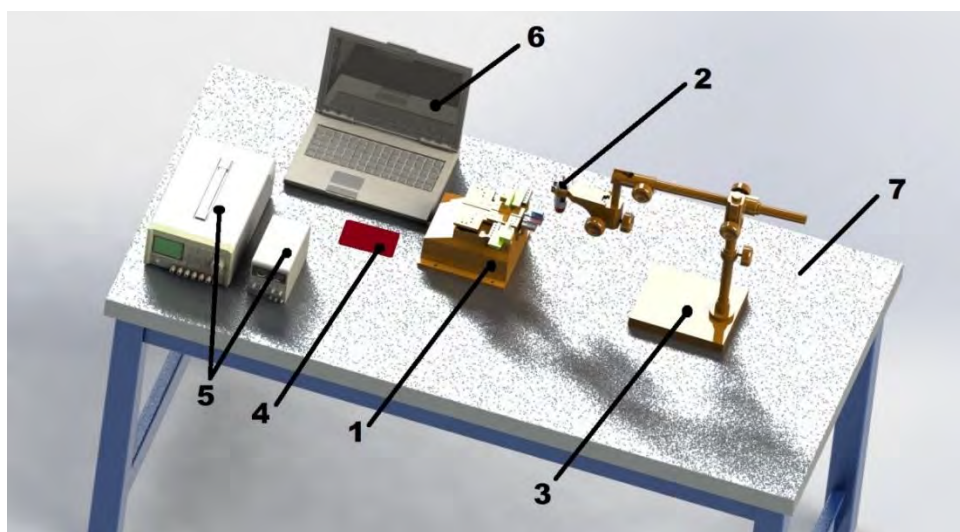
CAPITOLUL 4: CONCEPEREA ȘI REALIZAREA UNUI SISTEM MECATRONIC INTEGRAT INTELIGENT PROIECTAT PENTRU CONSTRUCȚII MEMS & NEMS UTILIZATE ÎN PROCESE DE FABRICAȚIE ȘI MĂSURĂRI ULTRAPRECISE

CAPITOLUL 4 descrie proiectarea și realizarea, în concepție proprie, a unui sistem mecatronic integrat inteligent proiectat pentru construcții MEMS & NEMS. Proiectarea și realizarea sistemului are două direcții în care se testează și analizează piese utilizând un braț realizat din pulbere metalică precum un braț din material plastic. Testele realizate au fost finalizate prin comparația rezultatelor obținute cu cele două brațe.

4.1 Descrierea sistemului mecatronic integrat inteligent proiectat pentru construcții MEMS & NEMS utilizate în procese de fabricație și măsurări ultraprecise

Analizând stadiul actual al tehnicii în domeniul MEMS și NEMS, autorul acestei lucrări a proiectat și realizat un sistem mecatronic integrat inteligent utilizat pentru construcții MEMS & NEMS utilizate în procese de fabricație și măsurări ultraprecise. Structura sistemului mecatronic integrat inteligent destinat măsurărilor ultraprecise este prezentată în figura 4.1:

Figura 4.1: Structura sistemului integrat inteligent destinat măsurărilor ultraprecise



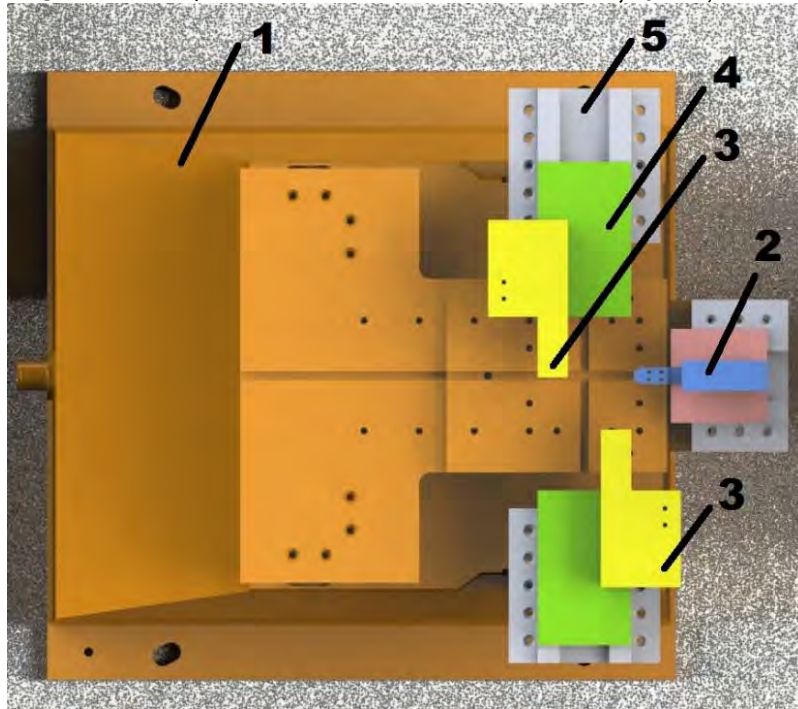
Legendă:

- (1) subansamblu de măsurare și poziționare
- (2) microscop digital;
- (3) suport susținere microscop digital;
- (4) placa electronică pentru comandă microrobot de măsurare;
- (5) surse de alimentare;
- (6) PC achiziție date și control subansamblu de măsurare și poziționare;
- (7) masă de laborator antivibrații.

Scopul sistemului mecatronic integrat inteligent destinat măsurărilor ultraprecise este de a măsura ultraprecis piese cu dimensiuni submilimetrice astfel încât să poată fi utilizate în procesele de fabricație MEMS și NEMS. Pentru a se putea observa procesul de măsurare este folosit un microscop digital (reperul 2 din figura 4.1) poziționat deasupra piesei de măsurat cu ajutorul suportului pentru microscop (reperul 3 din figura 4.1). Pentru a achiziționa datele obținute este utilizat un PC (reperul 6 din figura 4.1) care stochează și analizează datele înregistrate dar permite și vizualizarea procesului de măsurare a pieselor prin intermediul unui software specializat instalat pentru microscopul digital. Sursele de alimentare (reperul 5 din

figura 4.1) și placa electronică (reperul 4 din figura 4.1) sunt utilizate pentru comanda microroboților de măsurare din cadrul subansamblului de măsurare și poziționare (reperul 1 din figura 4.1). Subansamblul de măsurare și poziționare este prezentat în figura 4.2.a).

Figura 4.2: a) Subansamblul de măsurare și poziționare

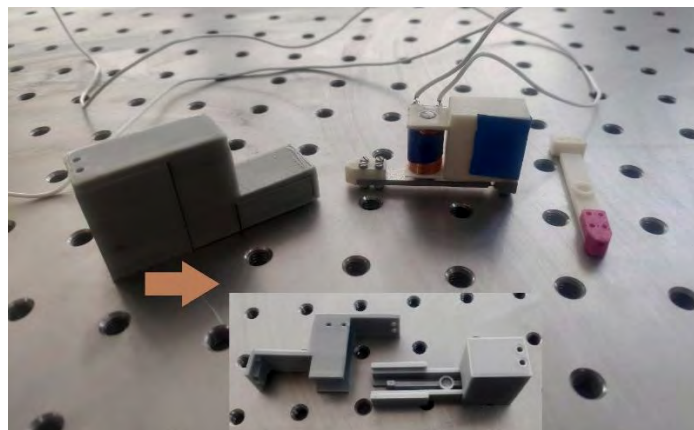


Legendă:

- (1) Sistem robotic de poziționare HEXAPOD F-206, cu 6 grade de libertate
- (2) Robot de măsurare cu braț metalic;
- (3) Robot de măsurare cu braț din plastic;
- (4) Placă superioară de poziționare roboți de măsurare;
- (5) Placă inferioară pentru poziționare roboți de măsurare

În figura 4.2.b este prezentată vederea robotului cu braț metalic și braț din material plastic.

Figura 4.2: b) Vedere reală robot măsurare cu braț metalic și braț din material plastic

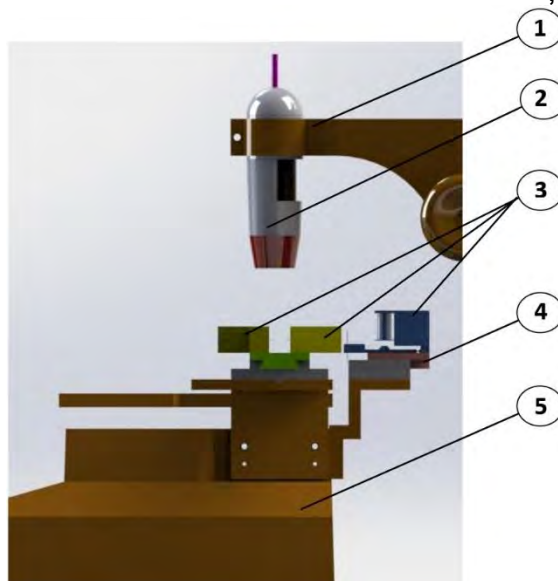


Subsistemul micro-mecanic are următoarele caracteristici:

- intervale de deplasare: axa X: -8..... + 5,7 mm; axa Y: - 5,7..... + 5,7 mm; axa Z: - 6,7..... + 6,7 mm; axa θX : - 5,7..... + 5,70; axa θY : - 6,6..... + 6,60; axa θZ : - 5,5..... + 5,50;
- rezoluția actuatorului: 33 nm;
- increment minim de deplasare X,Y,Z: 0,1 μm (mișcare pe 6 axe);
- increment minim de deplasare θX , θY , θZ : 2 μrad (0,4 arc sec) (mișcare pe 6 axe);
- repetabilitate bidirecțională X,Y,Z: 0,3 μm ; repetabilitate bidirecțională θX , θY , θZ : 3,6 μrad ;
- viteza X,Y,Z: 0,003 10 mm/s;
- încărcarea maximă: 2 kg (centrată pe platforma mobilă)
- greutatea: 5,8 kg
- intervalul temperaturii de operare: -50°C ... + 50°C.

În figura 4.3 este prezentată vederea frontală a subansamblului de măsurare și microscopul digital.

Figura 4.3: Vedere frontală subansamblu de măsurare și microscop digital



Legendă:

- (1) Suport pentru montarea microscopului digital
- (2) Microscop digital
- (3) Robot de măsurare cu braț metalic și de plastic
- (4) Placă pentru poziționarea robotului
- (5) hexapod

Micro-roboții pentru măsurare cu braț din metal (reperul 2 din figura 4.2) și din plastic (reperul 3 din figura 4.2.a) glisează cu ajutorul plăcii de poziționare (reperul 4

din figura 4.2.a) fixată pe hexapod (reperul 1 din figura 4.2) cu ajutorul plăcii de fixare (reperul 5 din figura 4.2.a). Poziționarea este făcută astfel încât acul de măsurare să fie poziționat în dreptul piesei de măsurat. Ansamblul robot pentru măsurare – sistem poziționare robot are pentru fiecare din cele 3 ansambluri, câte 2 grade de libertate (pe X, Y și Z).

4.2 Încercări și teste realizate în Laboratoarele INCDMTM cu sistemul mecatronic integrat inteligent proiectat pentru construcții MEMS & NEMS utilizate în procese de fabricație și măsurări ultraprecise

Încercări și teste au fost realizate pentru robotul de măsurare cu braț metalic și braț de plastic. Scopul încercărilor a fost determinarea cursei făcute de acul de măsurare în intervalul de curent imprimat sistemului integrat. Elementele principale sunt

Conform tabelului 4.1, pentru setul de 11 măsurări a fost aplicată o tensiune de intrare în creștere constantă de la 0 la 5 V corelată cu o intensitate de la 0 la 250 mA. Brațul de metal utilizat în aceste teste s-a deplasat, influențat de tensiunea aplicată, de la 0 la 215 μm .

Tabel 4.1: Măsurări realizate de robotul cu braț metalic

Nr. Crt.	U_{IN} [V]	I_{IN} [mA]	Deplasarea [μm]
0	0,00	0	0
1	0,10	5	13
2	0,60	30	29
3	1,00	50	41
4	1,40	70	62
5	2,00	100	79
6	2,50	125	104
7	3,00	150	123
8	3,40	175	139
9	4,00	200	165
10	4,60	230	184
11	5,00	250	215

Conform tabelului 4.2, pentru setul de 11 măsurări a fost aplicată o tensiune de intrare în creștere constantă de la 0 la 5 V corelată cu o intensitate de la 0 la 250 mA. Brațul de plastic utilizat în aceste teste s-a deplasat, influențat de tensiunea aplicată, de la 0 la 549 μm .

Tabel 4.2: Măsurări realizate de robotul cu braț din plastic

Nr. Crt.	U_{IN} [V]	I_{IN} [mA]	Deplasarea [μ m]
0	0,00	0	0
1	0,10	5	34
2	0,60	30	78
3	1,00	50	106
4	1,40	70	159
5	2,00	100	203
6	2,50	125	267
7	3,00	150	316
8	3,40	175	355
9	4,00	200	419
10	4,60	230	468
11	5,00	250	549

Conform tabelului 4.3, pentru setul de 10 măsurări efectuate pe o cală de 0,5 mm cu cele 2 tipuri de brațe proiectate rezultatele obținute sunt similare, aspect ce evidențiază că deși brațul metalic are o cursă mai mare în gol, calitatea rezultatelor obținute în teste este similară. Repetabilitatea obținută prin teste este conformă.

Tabel 4.3: Măsurări pentru cală de 0,5 mm

Nr. Crt. / măsurare	Micro-Robot cu braț din metal [μ m]	Micro-Robot cu braț din plastic [μ m]
1	496	500
2	503	496
3	500	496
4	502	498
5	504	503
6	503	505
7	500	505
8	495	497
9	497	500
10	501	502

Conform tabelului 4.4, pentru setul de 10 măsurări efectuate pe o cală de 1 mm cu cele 2 tipuri de brațe proiectate rezultatele obținute sunt similare, aspect ce evidențiază că deși brațul metalic are o cursă mai mare în gol, calitatea rezultatelor obținute în teste este similară.

Tabel 4.4: Măsurări pentru cală de 1 mm

Nr. Crt. / măsurare	Robot cu braț din metal [μ m]	Robot cu braț din plastic [μ m]
1	1008	998
2	1002	1000
3	1001	1005
4	998	1004
5	996	996
6	997	998
7	997	1000
8	1000	999
9	1001	1004
10	1000	1002

În Figura 4.13 se vizualizează grafic deplasarea brațelor realizate din metal și material plastic în teste pentru măsurarea unei cale de 1 mm. Se poate observa că intervalul obținut în teste este între 996 μm și 1008 μm pentru brațul metalic și 996 μm și 1005 μm pentru brațul din material plastic.

În concluzie, pentru o tensiune cuprinsă între 0 V și 5 V roboții de măsurare cu braț metalic și plastic se deplasează liniar cu mențiunea că intervalul este mai mare pentru robotul cu braț din plastic.

4.3 Analiză și interpretare originală privind topografia microgeometriei suprafețelor structurilor pentru piesele măsurate

Caracterizarea suprafețelor structurilor pieselor metalice utilizate pentru măsurări a fost realizată cu ajutorul microscopului de forță atomică (AFM) din cadrul Laboratorului MEMS & NEMS Mecatronice din INCDMTM București. Microscopul este de tip NTEGRA Probe NanoLaboratory NT – MDT, și este prezentat în figura 3.3.

Microscopul de tip NTEGRA a fost integrat în ansamblul sistemului integrat proiectat pentru a realiza analiza unor parametri topografici specifici.

În urma scanării unor suprafețe de 50×50 μm au putut fi analizați diferiți parametri topografici (rugozitate, asimetria suprafeței, coeficient de aplatizare), care oferă informații legate de calitatea suprafeței piesei măsurate. În acest fel a putut fi realizată caracterizarea în detaliu a structurii suprafețelor.

Parametrii topografici determinați (rugozitate Ra , înălțimea maximă h_{max} , înălțimea în 10 puncte Rz , asimetria suprafeței Ssk , coeficient de aplatizare Ska) în urma studiului AFM oferă informații legate de suprafețele analizate.

Indicele de asimetrie Rsk evaluează gradul de asimetrie a unei repartiții și caracterizează, împreună cu indicele de aplatizare Ska , forma repartiției (ilustrată sub formă de histogramă). Indicele de asimetrie Ssk este negativ sau pozitiv după cum repartiția de sondaj este asimetrică spre stânga sau, respectiv, spre dreapta. O distribuție simetrică, cum este distribuția normală, are asimetria nulă.

Coeficientul de aplatizare Ska face parte din indicii de apreciere a formei unei distribuții. Un indice de aplatizare mare arată o repartiție cu “cozi” mari (sunt prezente categorii depărtate de medie), în timp ce un indice de aplatizare mic arată o repartiție în care sunt prezente mai puține categorii depărtate de medie. În cazul unei repartiții apropiate de repartiția normală, coeficientul de aplatizare este în jurul valorii 3. Pe baza

acestui rezultat se definește excesul E ca fiind diferența dintre coeficientul de aplatisare și trei. Pentru $E > 0$, repartiția se numește leptocurtică (înălțimea curbei este mai mare comparativ cu cea normală), iar pentru $E < 0$, se numește platycurtică (curba este aplatisată). Dacă $E = 0$, repartiția este mezocurtică. Seturile de date cu exces mare tind să aibă un vârf distinct în apropierea mediei. Seturile de date cu exces scăzut tind să aibă un maxim plat lângă medie mai degrabă decât un vârf ascuțit. O distribuție uniformă ar fi cazul extrem.

În sinteza cercetărilor experimentale de laborator, sunt prezentate în tabelul 4.5 valorile principalilor parametri topografici determinați experimental și valoarea medie calculată a acestora pentru piesa măsurată.

Tabel 4.5: Media parametrilor selectați pentru 3 zone măsurate

Zona analizată	R_a (nm)	$h_{\max}$ (nm)	S_{sk}	S_{ka}
Zona 1	99,95	358,25	0,21	-1,44
Zona 2	55,87	288,82	-0,27	-0,84
Zona 3	46,87	305,48	0,66	-0,01
Valoare medie calculată	67,56	317,52	0,20	-0,76

CAPITOL 5 CONCEPEREA ȘI REALIZAREA UNUI SISTEM MECATRONIC ÎN 4D UTILIZAT ÎN PROCESE INDUSTRIALE ȘI METROLOGICE DE MĂSURARE ȘI CONTROL INTEGRAT - MMI4D

CAPITOLUL 5 descrie principală realizare a aceste teze de doctorat și anume sistemul mecatronic inteligent MMI4D. Sunt prezentate pe rând subsistemele hardware și software. Sunt descrise procedurile pentru utilizarea sistemului, inclusiv procedurile de conectare și accesare meniu de operare prin intermediul unei rețele virtuale private.

5.1. Prezentare generală a sistemului MMI4D

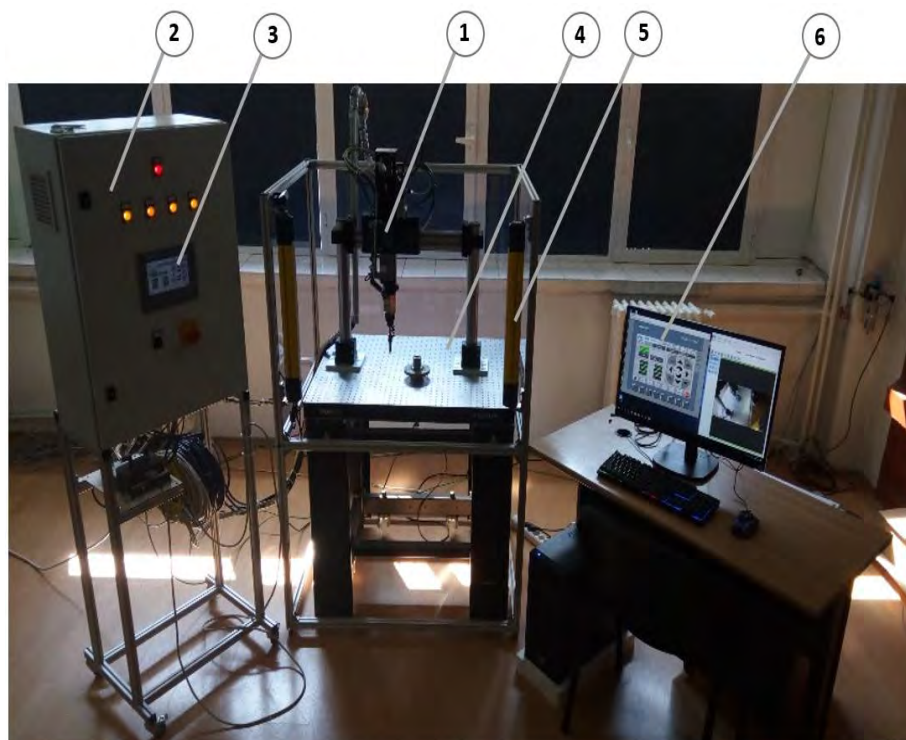
MMI4D este conceput original și realizat de autorul acestei lucrări în baza contractului de cercetare *PN 16 21 02 01/2016: Cercetări privind concepția și*

realizarea de modele virtuale și fizice mecatronice și adaptronice și cyber-mecatronice și cyber-adaptronice pentru laborator și industrie, pentru măsurări și aplicații în procese metrologice și industriale.

Din structura Platformei prezentată, autorul acestei lucrări s-a ocupat în cadrul cercetărilor echipei INCDMTM de concepția, proiectarea și realizarea în soluții originale a microsistemului mecatronic inteligent în 4D pentru măsurări și aplicații în procese metrologice și industriale – MMI4D (figura 5.1).

MMI4D are în componență 3 sisteme liniare electrice (X, Y, Z) și un sistem de rotație (R) montat pe sistemul liniar electric Z, care crește capacitatea microsistemului, și care permite mai departe extinderea serviciilor tehnice și tehnologice prin conectarea unor echipamente de profil, de prehensiune, palpator de măsurare, și alte echipamente inteligente necesare integrării în ansambluri cyber-mixmecatronice pentru telecontrol, telemăsurare, telemonitorizare și teleconconfigurare.

Figura 5.1: Microsistem mecatronic inteligent în 4D utilizat în procese metrologice de măsurare și control integrat – vedere reală



Legendă:

1-sistem mecatronic în 4D;

2-panou de comandă și control;

3-display HMI;

4-sistem masă antivibrații;

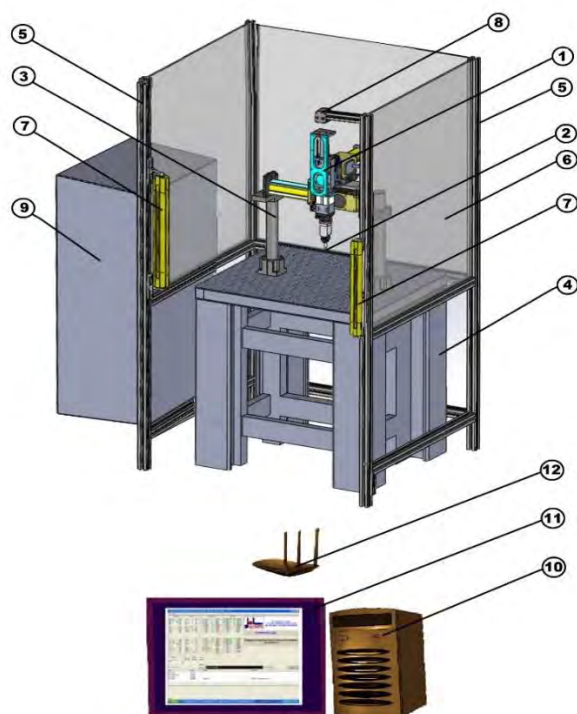
5-bariere senzoristice

6-monitor PC pentru
telemonitorizare și telecontrol

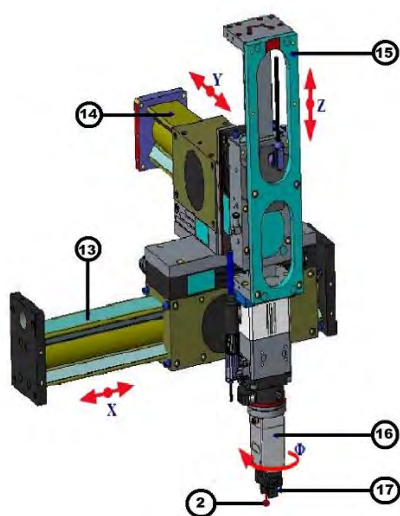
În figura 5.1 este prezentat echipamentul MMI4D realizat fizic, elementele componente fiind evidențiate în figura 5.2. care prezintă proiectarea echipamentului MMI4D în programul SolidWorks.

Sistemul MMI4D, așa cum este proiectat în programul SolidWorks este prezentat în figura 5.2.

Figura 5.2: MMI4D proiectat în programul SolidWorks



a) construcție MMI4D



b) Ansamblu electric liniar și rotativ 4D – sistem mecatronic în 4D

Legendă:

- 1- sistem mecatronic în 4D;
- 2- palpator ultraprecis 3D;
- 3- sistem reglabil pentru poziționare;
- 4- sistem masă antivibrații;
- 5- cadru pentru protecție;
- 6- pereți protectori din plastic transparent;
- 7- bariere senzoristice;
- 8- camera IP;
- 9- panou de comandă și control;
- 10- unitate centrală PC;
- 11- monitor PC;
- 12- router;
- 13- sistem liniar electric X;
- 14- sistem liniar electric Y;
- 15- sistem liniar electric Z;
- 16- sistem electric de rotație R;
- 17- sistem electric gripper paralel

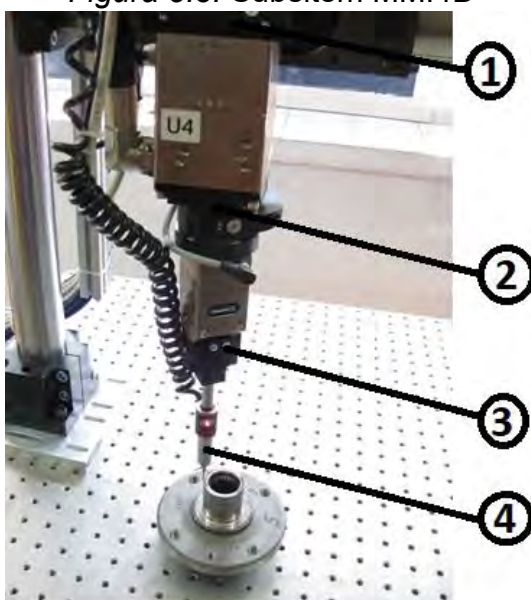
Construcția MMI4D este prezentată în figura 5.2 poziția a, iar cele 4 sisteme electrice liniare și de rotație, alături de dispozitivul de prehensiune paralel sunt prezentate în figura 5.2 poziția b. În conformitate cu figura 5.2 MMI4D are în componența sa:

- **sistem mecatronic în 4 coordonate XYZR (1)** care permite poziționarea directă, cu precizie, a pieselor ce se doresc a fi testate, analizate și măsurate;
- **palpator 3D ultraprecis (2)** pentru măsurarea și controlul pieselor industriale de dimensiuni mici și medii. Integrarea palpatorului 3D se face prin poziționarea și fixarea tehnologică în gripperul paralel (17);
- **sistem reglabil (3)** pentru poziționarea precisă, în poziția dorită, a subsistemului mecatronic în 4D XYZR (1);
- **subsistemul masă antivibrații (4)** cu mecanism de autonivelare în plan orizontal, pentru a se asigura precizia de poziționare și măsurare a pieselor de controlat;
- **cadru integrabil (5)** pentru protecția procesului de poziționare și măsurare în spațiul de lucru;
- **pereți protectori din plastic transparent (6)** pentru securizarea procesului de poziționare și măsurare în spațiul de lucru;
- **bariere senzoristice (7)** montate pe cadrul integrabil (5) pentru securizarea procesului de poziționare și măsurare în spațiul de lucru;
- **camera IP (8)**, destinată vizualizării subsistemului mecatronic în 4 coordonate XYZR (1) de la distanță pentru telecontrol și telemonitorizare;
- **modul de comandă și control (9)** realizat din componente electronice speciale: **controllere** pentru subsistemul mecatronic - mixmecatronic în 4 coordonate XYZR (1); **automate programabile – PLC, modem comunicație GPRS 4G, sursă de alimentare etc.**;
- **unitate centrală PC (10)** pentru rulare **software-uri, comanda MMI4D, comanda camerei IP (8)** etc.;
- **monitor PC (11)** pentru **afișare software-uri și rulare programe** necesare procesului de măsurare și poziționare;
- **router (12)** pentru conectarea la **spațiul cyber**;
- **sistem electric X (13)** realizat într-o structură definită de cursa nominală de **200 mm**;

- **sistem electric Y** (14) realizat într-o structură definită de cursa nominală de **100 mm**;
- **sistem electric Z** (15) realizat într-o structură definită de cursa nominală de **100 mm**;
- **sistem electric de rotație R** (16) cu controller dedicat și poziționat la extremitatea axei electrice Z (15);
- **sistem electric gripper paralel** (17) este realizat pentru manipulare și poziționare a pieselor mici și miniaturizate și pentru prindere/fixare palpator 3D ultraprecis (2).

Pentru o imagine de ansamblu, în figura 5.3 este prezentat subansamblul format din sistemul electric liniar axa Z, sistemul electric rotativ R, gripper-ul paralel și palpatorul ultraprecis 3D.

Figura 5.3: Subsitem MMI4D



Legendă: 1-Sistem electric liniar Z; 2-Sistem electric de rotație R; 3-Sistem electric gripper electric; 4- Palpator ultraprecis 3D

Subansamblul prezentat în figura 5.18 asigură deplasarea sistemului MMI4D pe axa Z dar și rotația gripper-ului montat pe axa Z și a palpatorului 3D.

5.2. Componenta hardware

Modelul de automat programabil folosit în acest proiect este S7-1512C-1PN, acesta făcând parte din familia procesoarelor compacte și este prezentat în figura 5.4. CPU-urile compacte pot fi utilizate pentru aplicații mai mici sau medii și au module

integrate de intrare/ieșire pentru semnale analogice și digitale, precum și funcții tehnologice integrate.

Procesorul utilizat este montat în panoul de comandă și control și are rolul de a prelucra informațiile primite de la elementele de control ale axelor X, Y, Z și R, a gripper-ului și a semnalelor primite de la palpatorul ultraprecid 3D. Aceste semnale transpuse în aplicația proiectată de autorul tezei pentru sistemul MMI4D.

Figura 5.4: PLC: S7-1512C-1PN



Sursa: <https://mall.industry.siemens.com/>

Ecranul utilizat este montat pe fața principală a panoului de comandă și control și este accesibil operatorului pentru utilizarea în timpul procesului de lucru. Rolul principal al ecranului este de a accesa sistemul MMI4D și de a activa și comanda prin atingere axele X, Y, Z, R și gripper-ul pentru procesul de lucru și aplicația utilizată.

Secomea SiteManager sunt dispozitive de aluminiu robuste proiectate cu specificații industriale. Ele susțin toate caracteristicile necesare pentru a funcționa ca gateway-uri de acces securizate pentru instalațiile industriale – de la mașini mici până la linii de producție complete și fabrici întregi.

Convertoarele compacte IndraDrive CS (HCS01), acoperă domeniul de putere mai mic al domeniului de putere. Acestea combină unități de alimentare și de control într-o singură unitate și oferă comunicații Ethernet, o interfață multi-encoder și o tehnologie integrată de Securitate.

Interfețele recunoscute internațional sunt disponibile pentru comunicarea cu sistemele de control superior: Sercos, PROFIBUS, Multi-Ethernet (Sercos, PROFINET IO, Ethernet / IP, EtherCAT), CANopen, DeviceNet, analogice și paralele. Rolul convertoarelor este de a comanda axele X, Y, Z și R convertind deplasările acestora în semnale, deplasări vizualizate prin intermediul ecranului mai sus menționat.

5.3. Componenta software

Portalul complet de automatizare integrat oferă acces nelimitat la gama completă de servicii de automatizare digitalizată, de la planificarea digitală și inginerie integrată la funcționarea transparentă.

Acesta oferă numeroase limbaje de programare precum LAD, FBD, SCL, STL și SFC astfel încât programatorul să folosească limbajul cu care se simte mai confortabil, dar totodată să le folosească în funcție de necesitate.

SIMATIC WinCC este un sistem de control și de achiziție de date (SCADA) și de interfață om-mașină (HMI) de la Siemens. Sistemele SCADA sunt utilizate pentru a monitoriza și controla procesele fizice implicate în industrie și infrastructură pe scară largă și pe distanțe lungi.

5.4. Panoul de comandă și control

Sistemul MMI4D are în componență sa panoul de comandă și control prezentat în figura 5.5 care înglobează componentele software prezentate anterior.

Pe partea lateral-dreapta a panoului de comandă și control se află switch-ul general pentru alimentarea cabinetului. Acesta are două poziții posibile, ON și OFF. În poziția ON a panoul de comandă și control va fi alimentat cu tensiune.

Pe partea frontală a panoului de comandă și control sunt mai multe lămpi de stare alături de două butoane.

În partea superioară există o lampă de culoare roșie care sesizează prezența sau lipsa tensiunii în cabinetul de control.

Mai sunt 4 lămpi de culoare galbenă, câte una pentru fiecare axă ce indică statusul. Astfel, dacă lampa este aprinsă continuu înseamnă că axa este activată și gata de operare. În cazul în care lampa luminează intermitent înseamnă că axa se află în mișcare. Dacă lampa este stinsă, axa nu este activă.

Butonul **Reset** are inclusă și o lampă de status al întregului sistem. Astfel, dacă sistemul este oprit complet, această lampă va lumina intermitent. Pentru repornirea sistemului este necesară apăsarea butonului **Reset** ce va duce de asemenea și la stingerea lămpii.

Figura 5.5: Panoul de comandă și control

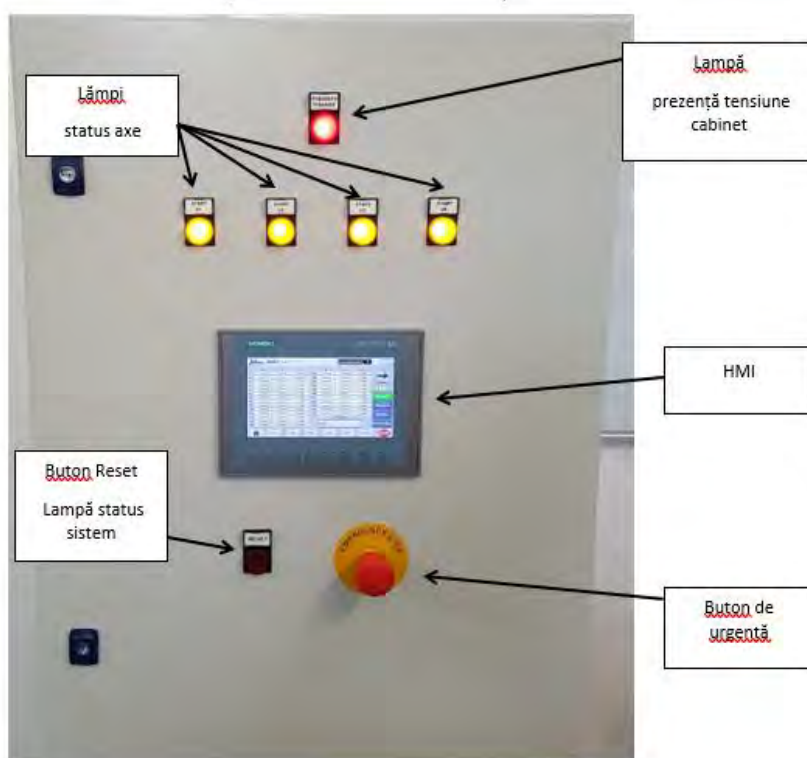
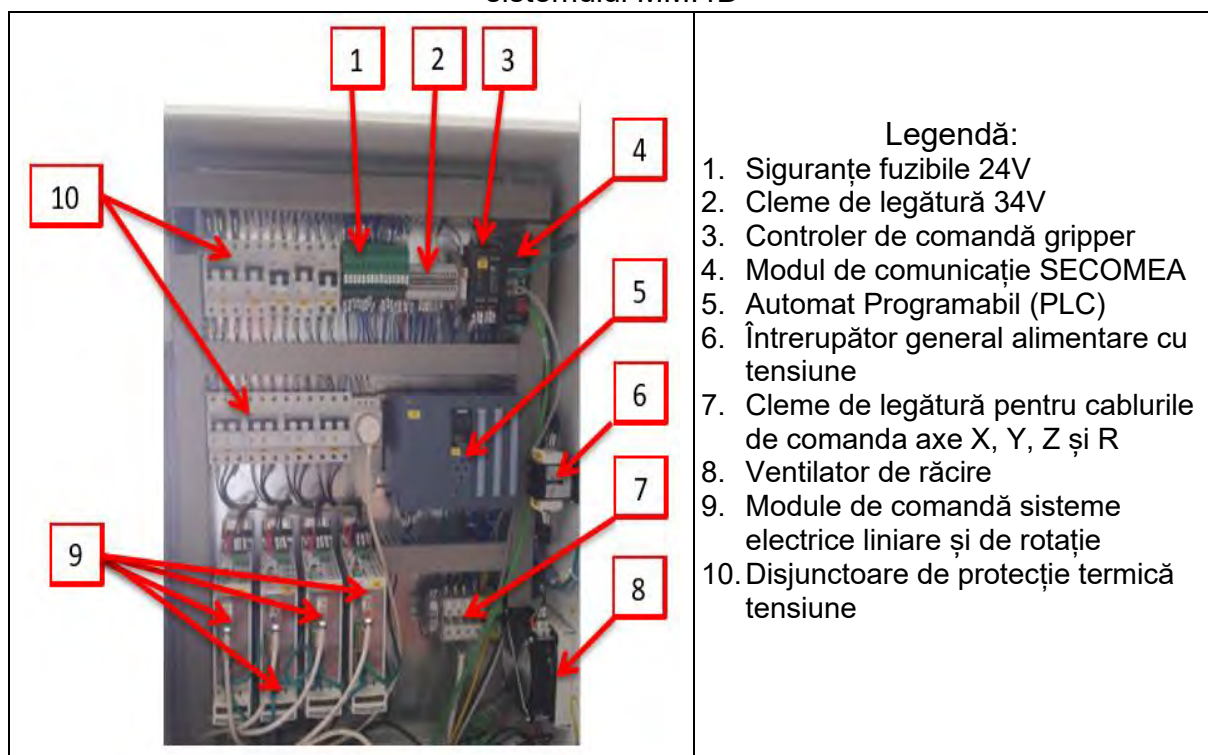


Figura 5.6: Panoul de comandă și control, cu componenta software inclusă, al sistemului MMI4D



Sistemul MMI4D este controlat prin intermediul **ecranului de tip touch screen HMI** (fig. 5.7 a) cu **ecranele inovatoare de înaltă rezoluție** cu 64 000 de culori (fig. 5.7 b). **Interfața USB** permite conectarea unei **tastaturi**, a unui **mouse** sau a unui **scanner** de cod de bare și acceptă o **arhivare simplă** a datelor pe un stick USB.

Figura 5.7: Ecran HMI



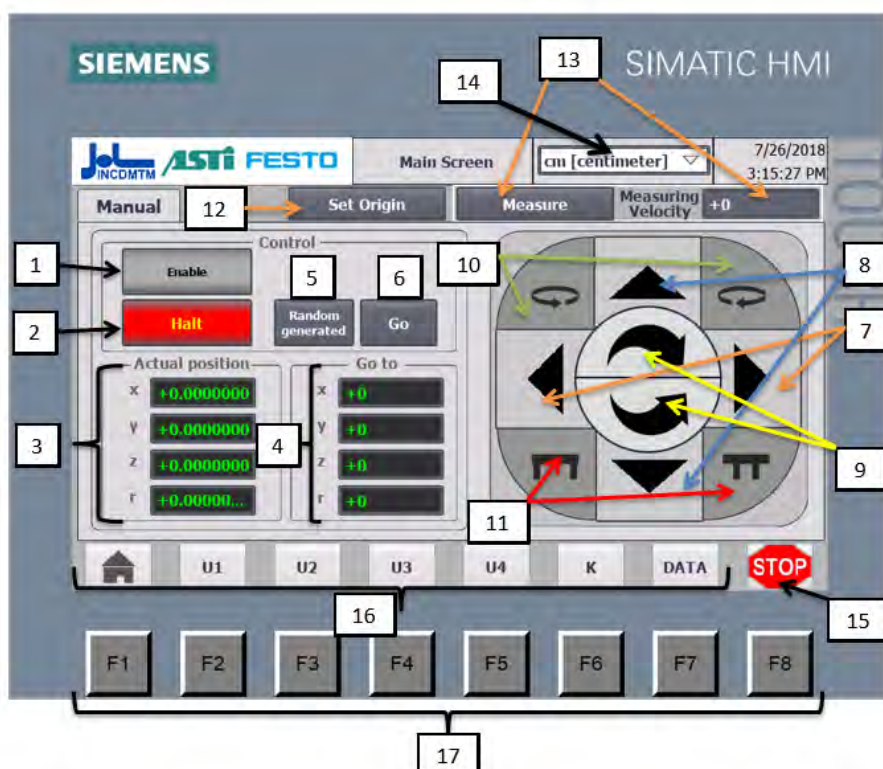
a- Ecranul HMI montat pe panoul de comandă și control



b- Ecranul HMI pentru comanda și controlul sistemului MMI4D

Prin utilizarea ecranului de tip touch screen plasat pe panoul de comandă și control sau proiectat pe ecranul unității PC (fig. 5.7), se poate controla și seta sistemul MMI4D. În figura 5.8 sunt prezentate principalele butoane utilizate în MMI4D.

Figura 5.8: Panoul de comandă și control al sistemului MMI4D

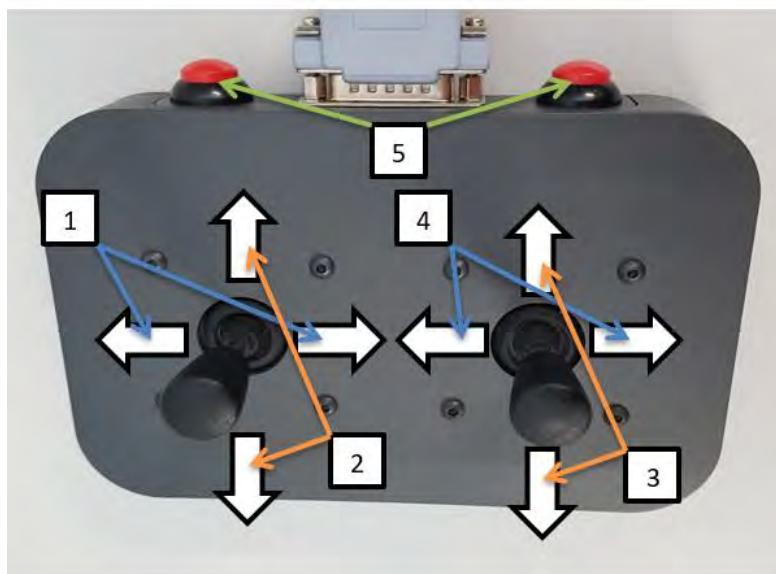


Conform figurii numărul 5.8 avem următoarea descriere a butoanelor:

1. Butonul **Enable** are funcția de a activa toate axele și de a le pune în starea "ready". La apăsarea acestuia, își va schimba culoarea în verde, semn că toate axele sunt activate. Pentru dezactivarea tuturor axelor se apasă încă o dată acest buton;
2. Butonul **Halt** are rolul de a opri din mișcare toate axele. Dacă acest buton este apăsător, va lumina roșu intermitent. Reapăsarea butonului eliberează axele și pot fi puse în mișcare;
3. În această secțiune vor fi afișate pozițiile actuale ale axelor în sistemul lor de coordonate. Valorile pot fi afișate în următoarele unități de măsură: centimetru, milimetru sau micrometru;
4. În aceste câmpuri se pot introduce anumite poziții în care se dorește poziționat sistemul de axe;
5. Butonul **Random generated** este folosit pentru a genera poziții aleatorii în care să se deplaseze sistemul de axe;
6. Butonul **Go** deplasează axele în pozițiile specificate la punctul 4;
7. Cele două butoane deplasează sistemul pe axa **X**;
8. Aceste butoane pun în mișcare sistemul pe axa **Y**;
9. Utilizând aceste butoane, sistemul va putea fi deplasat pe axa **Z**;
10. Cu ajutorul acestor butoane se pot realiza rotații pe axa **R**;
11. Închiderea și deschiderea gripper-ului se poate realiza cu aceste două butoane;
12. În cazul în care se dorește măsurarea unui obiect, setarea originii acestui obiect se va face folosind butonul **Set Origin**. Coordonatele axelor vor rămâne aceleași, însă coordonatele măsurate vor fi raportate la punctul de origine;
13. În această secțiune se poate porni/opri procesul de măsurare și de asemenea setată o viteză de măsurare între 0 și 250000 zecimi de micron. În afara acestei viteze, măsurarea va avea de suferit drastic;
14. Din acest câmp se poate selecta unitatea de măsură pentru afișarea pozițiilor actuale, dar și pentru măsurătorile obiectelor;
15. Butonul **STOP** dezactivează axele și gripper-ul complet;
16. Cu aceste butoane grafice se poate naviga între paginile ecranului HMI;
17. Aceste butoane fizice au același rol precum butoanele de la numărul 16 plus funcția butonului **STOP**.

Pentru controlul sistemului MMI4D se poate utiliza și un joystick, acesta fiind prezentat în figura 5.9.

Figura 5.9: Joystick utilizat pentru comanda sistemului MMI4D



Legendă:

1. Controlul axei U1
2. Controlul axei U2
3. Controlul axei U3
4. Controlul axei U4
5. Controlul gripper-ului

5.5. Achiziția datelor și ștergerea fișierelor

ACHIZIȚIA DATELOR este prezentată, ca procedură de lucru, mai jos:

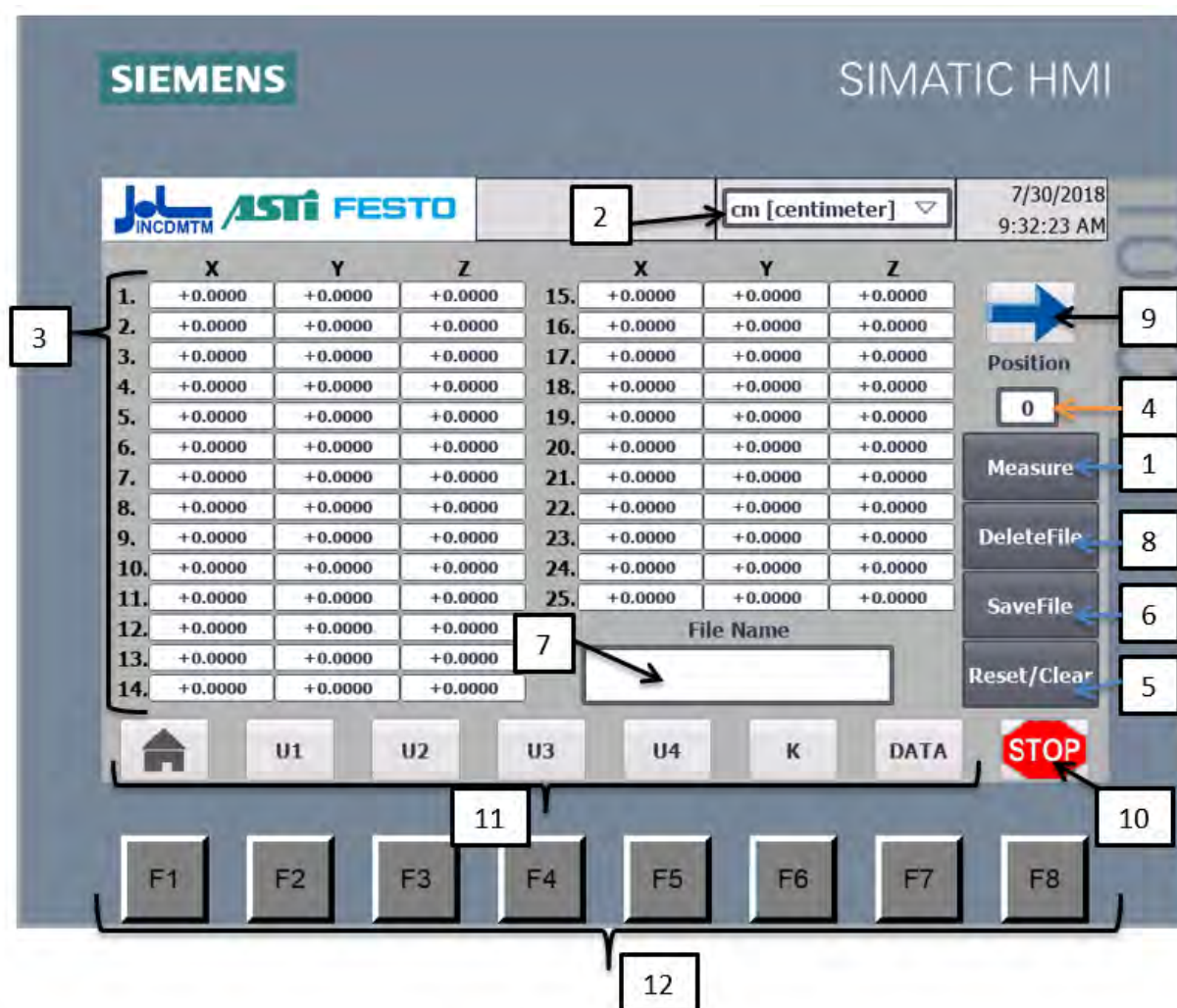
❖ Măsurarea coordonatelor

Ecranul pentru măsurarea coordonatelor este prezentat în figura 5.10:

1. Pornirea/Oprirea măsurării.
2. Setarea unității de măsură în care să se facă măsurarea.
3. Coordonatele măsurate.
4. Numărul măsurătorii.
5. Ștergerea măsurătorilor și resetarea la setările inițiale.
6. Salvarea datelor în fisere în memoria PLC-ului.
7. Numele fiserului în care vor fi salvate datele măsurate.

8. Ștergerea fișierului cu date din memoria PLC-ului.
9. Navigarea către al 2-lea ecran de date, acesta fiind identic cu cel de mai sus, singura diferență fiind indexul măsurărilor.
10. Butonul **STOP** dezactivează axele.
11. Cu aceste butoane grafice se poate naviga între paginile HMI-ului.
12. Aceste butoane fizice au același rol precum butoanele de la numărul 16 plus funcția butonului **STOP**.

Figura 5.10 Măsurarea coordonatelor cu sistemul MMI4D



❖ Conexiunea REMOTE

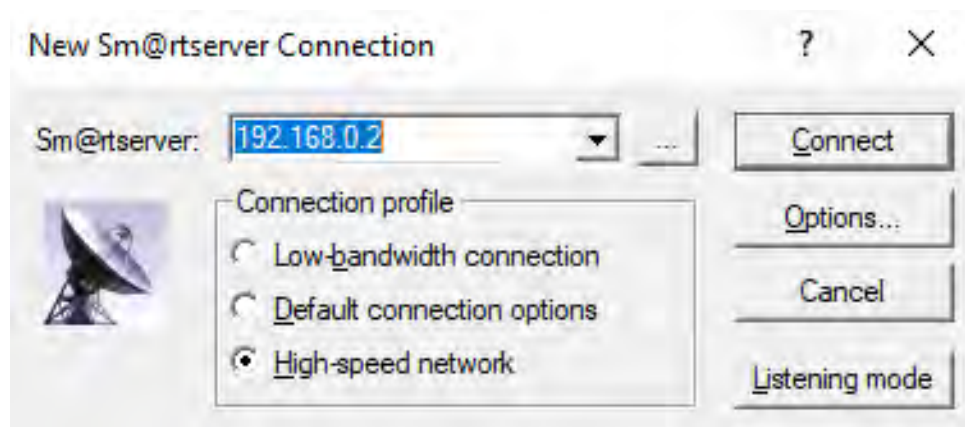
Pentru realizarea funcției de telecontrol și telecomandă, Unitatea PC a sistemului **MMI4D** se conectează la internet, apoi utilizatorul se conectează la interfața oferită de LinkManager pentru realizarea conexiunii de tip VPN (Virtual Private Network). Prin aplicația SmartClient instalată pe unitatea PC se face conectarea

acesteia cu sistemul MMI4D vizualizându-se astfel ecranul HMI de tip touch screen montat pe panoul de comandă și control.

Conexiunea cu HMI-ul se va realiza astfel:

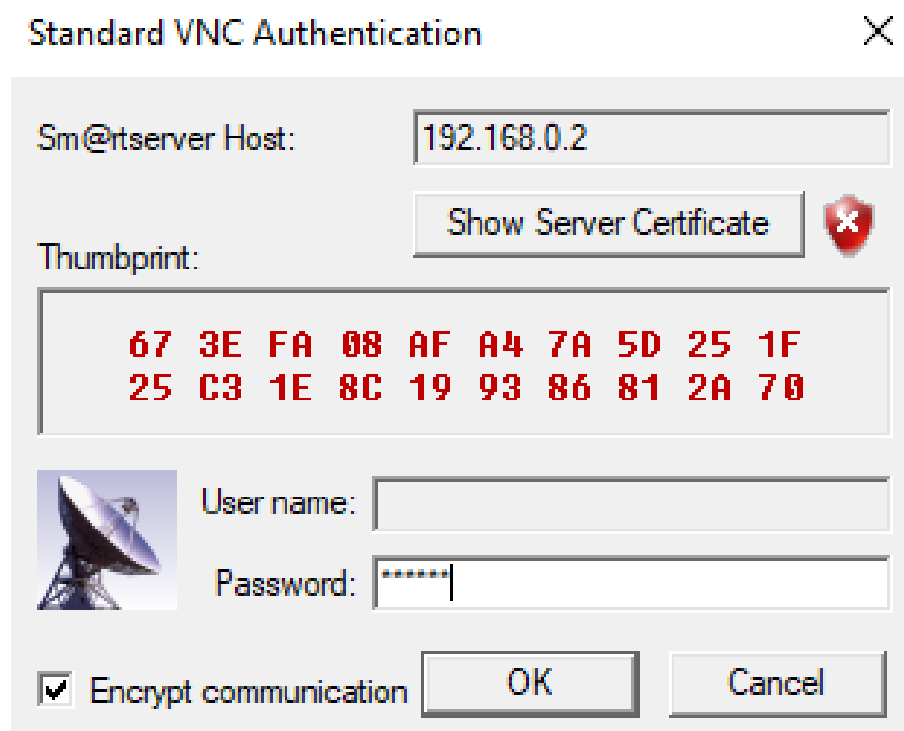
1. Se deschide aplicația software Sm@rtClient oferită de Siemens.
2. Se introduce IP-ul HMI-ului: 192.168.0.2

Figura 5.11: Introducere IP pentru conectare



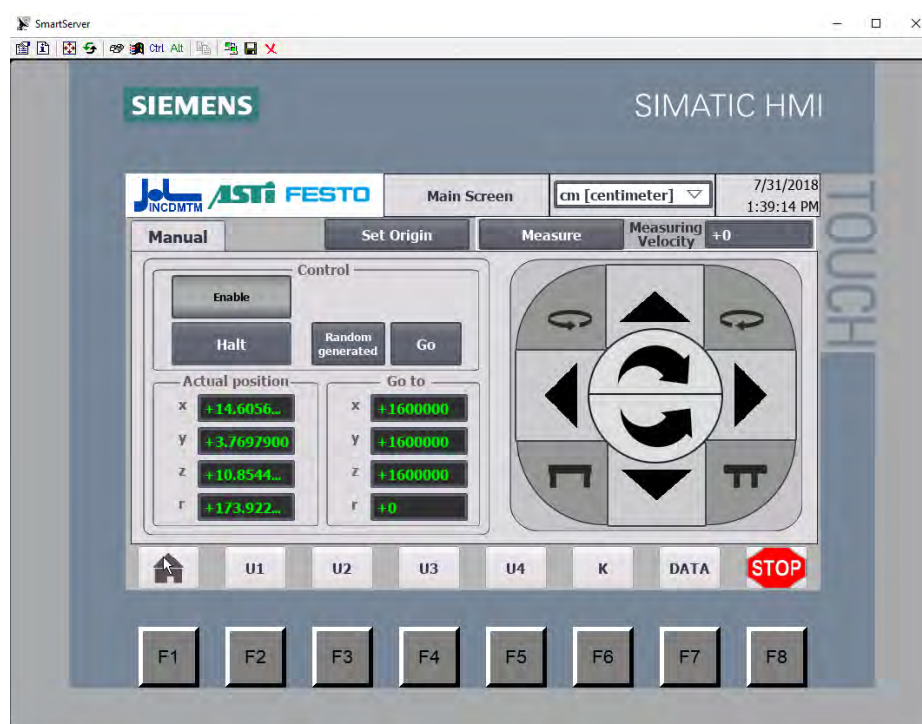
3. Se introduce parola

Figura 5.12: Introducere parolă



4. Acum putem vizualiza interfața grafică a HMI-ului și putem controla sistemul de axe.

Figura 5.13: vizualizare panou central



CAPITOLUL 6 CERCETĂRI EXPERIMENTALE PENTRU SISTEMUL MECATRONIC DE MĂSURARE INTELIGENTĂ MMI4D PRIVIND VALIDAREA METROLOGICĂ A ACESTUIA ȘI IMPLEMENTAREA INDUSTRIALĂ ÎN PROCESELE DE MĂSURARE ȘI CONTROL INTELIGENT

CAPITOLUL 6 este dedicat cercetărilor experimentale pentru sistemul mecatronic de măsurare inteligentă MMI4D privind validarea metrologică a acestuia pentru procesele de măsurare și control inteligent. Calculele prezentate în capitolul 6 susținute de protocoalele anexate prezentei teze de doctorat se finalizează prin validarea metrologică a sistemului mecatronic MMI4D pentru implementarea industrială.

Pentru **validarea metrologică** a acestui sistem mecatronic MMI4D, se construiește **Organigrama metrologică** pentru **validarea metrologică**, astfel:

6.1. Măsurări piese etalon / etaloane

Măsurările au fost realizate în Laboratorul metrologic atestat RENAR pentru lungimi, din Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Mecatronică și Tehnica

Măsurări, pentru caracteristici de măsurare a cotelor etalon de 1, 5, 10, 20, 50, 150 mm intermediul echipamentului Mașină de măsurare în coordonate 3D, tip Leitz din Germania, cu rezoluție de 0,0001 mm și a sistemului mecatronic MMI4D.

Măsurările realizate cu etalon (1mm, 5mm, 10mm, 20mm, 50mm și 150 mm) în cadrul protocolului metrologic de testări și măsurări ultraprecise, pentru 10 măsurări aferente fiecăruia din etaloanele menționate, prin intermediul mașinii de măsurare 3D-Leitz, asigurând valori metrologice de repetabilitate, astfel:

- (a) pentru cală etalon de 1mm: între 0,0003÷0,0004 mm;
- (b) pentru cală etalon de 5mm: între 0,0004÷0,0006 mm;
- (c) pentru cală etalon de 10mm: între 0,0004÷0,0006 mm;
- (d) pentru cală etalon de 20mm: între 0,0004÷0,0007 mm;
- (e) pentru cală etalon de 50mm: între 0,0005÷0,0007 mm;
- (f) pentru cală etalon de 150mm: între 0,0005÷0,0008 mm;

S-au realizat: Repetabilitatea măsurării cu etalon, Determinare Valoare medie calculată; Determinarea variației de repetabilitate, prin relația matematică; Determinarea Incertitudinii de măsurare, prin relația matematică; Determinarea Deciziei metrologice.

6.2. Măsurări piese prelucrate industrial

S-au realizat: Repetabilitatea măsurării cu piese pe sistemul MMI4D; Determinare Valoare medie calculate; Determinarea Variației de repetabilitate; Determinarea incertitudinii de măsurare; Determinarea Deciziei metrologice.

6.3. Măsurări piese pe sistemul mecatronic MMI4D

Toate măsurările caracteristice celor 10 piese industriale pentru 10 măsurători corespunzătoare celor 10 piese, determinate pe sistemul mecatronic 4D, comparativ cu cele de pe echipamentele mecatronice atestate, au fost, ca exemplu:

- (a) Măsurări piese (1mm): de la 1,00030 mm la 1,00061 mm;
- (b) Măsurări piese (5mm): de la 5,00056 mm la 5,00061 mm;
- (c) Măsurări piese (10mm): de la 10,00050 mm la 10,00060 mm;
- (d) Măsurări piese (20mm): de la 20,00056 mm la 20,00066 mm;
- (e) Măsurări piese (50mm): de la 50,00066 mm la 50,00070 mm;
- (f) Măsurări piese (150mm): de la 150,00061 mm la 150,00084 mm;

Din analiza acestor rezultate metrologice obținute ca și anexelor din teză rezultă că sistemul mecatronic 4D, este VALIDAT metrologic.

6.4. Determinarea Valorilor Metrologice pentru Sistemul Mecatronic MMI4D

Valorile metrologice determinate au fost realizate pe instalații etalon metrologice din Laboratorul metrologic pentru lungimi (mașină de măsurat în 3 coordonate de tip Leitz- Germania, cu precizia de 0,000001 mm) din Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Mecatronică și Tehnica Măsurării.

S-au realizat: Valori metrologice; Determinarea erorii de justete; Determinarea Incertitudinii repetabilității; Determinarea Variației globale metrologice pentru Sistemul mecatronic MMI4D; Determinarea Ecartului tip global metrologic al Sistemului mecatronic MMI4D; Determinarea Variației de repetabilitate pentru Etalon; Determinarea Ecartului tip de repetabilitate pentru etalon; Determinarea Incertitudinii globale metrologice de măsurare; Determinarea Validării metrologice a sistemului mecatronic MMI4D; Validarea Metrologică a sistemului mecatronic MMI4D.

În concluzie, ținându-se seama de toate protocoalele prezentate și întocmite în urma cercetărilor experimentale efectuate în laboratoarele atestate metrologic din Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Mecatronică și Tehnica Măsurării din București, cu respectarea acestei Organigrame Metrologice, a rezultat că Sistemul Mecatronic Inteligent MMI4D este Validat Metrologic pentru a putea fi utilizat în procesele de măsurare și control inteligent din industria constructoare de mașini respectiv pentru industria automobilului din România.

Capitolul 7. CONSIDERAȚII FINALE

MEMS și NEMS au cunoscut o dezvoltare accelerată în ultimii ani, în special datorită capacității acestora de a valorifica potențialul oferit de tehnologiile și aplicațiile specifice celei de a patra revoluții industriale dar și de noul concept denumit Industria 4.0.

Frecvența cu care apar noi solicitări pentru dezvoltarea de noi procese de fabricație inteligentă și măsurări ultraprecise, în domeniul micro și nano, facilitează descoperirea și dezvoltarea unei game diversificate de soluții și principii. Sistemele realizate în cadrul acestei teze de doctorat sunt destinate măsurărilor ultraprecise în procesele de fabricație, acestea consolidând importanța conceptului micro și nano în domeniul studiat.

7.1. Rezultatele Obținute

Cercetarea realizată în cadrul temei de doctorat a avut ca scop identificarea și construcția soluțiilor și principiilor utilizate în domeniul de interes MEMS și NEMS asimilate în procesele de fabricație și măsurările ultraprecise. Pasul următor a fost concepția, proiectarea și realizarea de subsisteme și sisteme mecatronice care să fie integrate în procesele de fabricație și de măsurări ultraprecise. În acest sens au fost realizate 7 capitole care prezintă activitatea desfășurată de autorul tezei pentru realizarea obiectivului propus.

Lucrarea se încheie cu Capitolul 7 care sintetizează rezultatele principale obținute, cu contribuțiile originale realizate de autorul tezei și menționează posibilitățile existente pentru dezvoltarea rezultatelor obținute și prezentate în capitolele 4 și 5.

7.2. Contribuții originale

Rezultatele prezentate pe parcursul acestei lucrări, în special capitolele 4, 5 și 6, au la bază contribuții originale ale autorului. Identificarea soluțiilor prezentate în cele trei capitole menționate mai sus sunt fundamentate prin studiile efectuate în capitolele 1, 2 și 3. Un rol important este deținut de sistemele ce au în componență elemente MEMS și NEMS dar și integrarea acestora în roboți și coboți utilizați în procese de fabricație și măsurări ultraprecise. Rezultatele prezentate în această lucrare sunt susținute de publicații științifice, cărți tehnice și cereri sau brevete de invenție ce sunt menționate în acest capitol.

Contribuțiile originale ale autorului sunt:

- Nominalizarea subiectului ales de teză, în categoria celor importante prin plasarea acestuia în contextul actual al dezvoltării tehnologice;

- Sinteze din literatura de specialitate privind: circuitele integrate, tehnologia LIGA, tehnici de microfabricație mecanică și microformare și Industria 4.0, inclusiv Internetul Lucrurilor, și roboții colaborativi;
- Concepția, proiectarea și realizarea unui sistem mecatronic integrat inteligent proiectat pentru construcții MEMS & NEMS utilizate în procese măsurări ultraprecise:
- Concepția, proiectarea și realizarea unui sistem mecatronic inteligent în 4D - MMI4D- [121] utilizat în procese industriale și metrologice de măsurare și control integrat
- Realizare procedură pentru accesarea axelor liniare, axei de rotație și a echipamentului pentru manipularea pieselor;
- Realizare posibilitate pentru manipulare sistem mecatronic MMI4D prin intermediul panoului de comandă, a unui joystick;
- Realizarea procedurii prin care se asigură telemonitorizarea și telecontrolul MMI4D prin utilizarea unei conexiuni virtuale private;
- Realizare procedură de măsurare, achiziție date măsurate, salvare cote;
- A fost concepută și aplicată Organigrama metrologică pentru validarea metrologică a sistemului mecatronic MMI4D

7.3. Lista lucrărilor originale

- **Articole publicate în reviste cotate ISI**

1. Gheorghe I. Gheorghe, Constantin Anghel, and **Ilie Iulian**, „Original and scientific contributions to cyber – mecatronics systems development for industrial, economical and societal environments”, of the 12-th edition of the International Conference on Aerospace, Robotics, Mechatronics, Mechanical Engineering, Manufacturing systems, Neurorehabilitation and Bioengineering, OPTIROB 2017, factor 0,15;
2. Gheorghe I. Gheorghe, Anghel Constantin, **Ilie Iulian**, „Mechatronics and Cyber-Mechatronics in intelligent Applications from industry and society”, International Conference OPTIROB 2016, Jupiter, Romania, Applied Mechanics and Materials, Vol.841; factor 0,15;

3. Gheorghe I. Gheorghe, **Iulian ILIE**, Anghel C-tin „Scientific evolution from Mix-Integrating Mechatronics to Cyber-Intelligent Mechatronics and to Claytronics Science”, International Conference OPTIROB 2016, 29 iunie – 2 iulie 2016, Jupiter, Romania, Applied Mechanics and Materials, Vol.841, cotata ISI; factor impact: 0,15;
4. Gheorghe I. Gheorghe, **Ilie Iulian**, Gornoavă Valentin „Adaptronic engineering used in the construction of intelligent mechatronic equipment and systems for the automotive industry”, International Conference OPTIROB 2015, Jupiter, Romania, p-ISSN: 1660-9336 e-ISSN: 1662-7482; factor 0,15;

• **Articole publicate in reviste si volume ale conferintelor BDI**

5. **Iulian Ilie**, Gh. Ion Gheorghe Intelligent 4D mechatronic microsystem used in metrological measurement and integrated control processes, The Scientific Bulletin of VALAHIA University MATERIALS and MECHANICS, 2018 –Vol. 16, No. 15
6. Gheorghe Gheorghe, Constantin Anghel, and **Ilie Iulian**, Original and Scientific Contributions to Cyber–Mechatronics Systems Development for Industrial, Economical and Societal Environments”, DOI: 10.7763/IJMO.2017.V7.590, International Journal of Modeling and Optimization, Vol. 7, No. 4, August 2017, indexata Proquest, INSPEC;
7. Gh. Ion Gheorghe, Constantin Anghel, **Iulian Ilie** - New cyber-mixmechatronic concept for the realization of smart cybernetic systems with applications in the industry, economy and society, The Scientific Bulletin of VALAHIA University – MATERIALS and MECHANICS – Nr. 11, revista indexata BDI (INDEX COPERNICUS INTERNATIONAL), pg. 47-58
8. Gh. Ion Gheorghe, **Iulian Ilie**, Mechatronics, Integronics & Adaptronics, excellence in the field of intelligent specialization, The Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Mechatronics, nr.47, cotată B+ în Scopus, EBSCO si Proquest, ISSN: 1584-5982 (pentru print), ISSN: 2247-8418 (pentru online), pg. 17-22
9. **Iulian Ilie**, Analysis of sustainable development in production fields from Romania, The Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Mechatronics, nr.47, cotată B+ în EBSCO și Scopus, ISSN: 1584-5982 (pentru print), ISSN: 2247-8418 (pentru online), pg. 91-94

10. **Iulian Ilie**, Gh. Ion Gheorghe New MEMS & NEMS solutions for intelligent mechatronics microsystems used for ultraprecise measurements, Al XIII-lea Simpozion Național de Mecatronica și Inginerie Mecanică, Microtehnologii și Materiale Noi – MIM-MMN, revista indexata BDI (INDEX COPERNICUS INTERNATIONAL), 26 iunie 2015, Targoviste, Romania
11. Gh. Ion Gheorghe, **Iulian Ilie**, Simona Istrițeanu Intelligent Micro-Nano-Fabrication, The Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Mechatronics, nr.46, cotată B+ în EBSCO și Scopus, ISSN 1584-5982, 2014, Romania
12. Gh. Ion Gheorghe, **Iulian Ilie**, Simona Istrițeanu, Valentina Bajenaru Research In Micro-Nano-Robotics, The Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Mechatronics, nr.46, cotată B+ în Scopus, EBSCO si Proquest, ISSN 1584-5982, 2014, Romania pp 83-89
13. Gh. Ion Gheorghe, **Iulian Ilie**, Simona Istrițeanu Aspects And Theory Regarding Nonlinearity Effects On Static And Dynamics Performance Of Mems, The Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Mechatronics, nr.46, cotată B+ în Scopus, EBSCO si Proquest, ISSN 1584-5982, 2014, pp. 97-103 Romania
14. **Iulian Ilie**, Gh. Ion Gheorghe Role of Technological Transfer for MEMS & NEMS in intelligent manufacturing process, The Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Mechatronics, nr.45, cotată B+ în Scopus, EBSCO si Proquest, ISSN: 1584-5982 (pentru print), ISSN: 2247-8418 (pentru online), 2014, pg. 175-178
15. **Iulian Ilie**, Gh. Ion Gheorghe Design and contruction of a mechatronic system with photoelectric incremental transducer for high precision mini-dimensional measurement, The Scientific Bulletin of VALAHIA University - MATERIALS and MECHANICS, revista indexata BDI (INDEX COPERNICUS INTERNATIONAL), ISSN: 1844-1076, 2014, pg. 143-146

- **Lucrări prezentate la conferințe internaționale**

16. **Ilie Iulian**, Some issues regarding the innovation process in romania «6th International Conference on Innovations, Recent Trends and Challenges in

- **Publicații cărți**

17. Sisteme Inteligente, Tehnologii Inovative, Roboți, Arhitecturi Industriale, Tehnici&Materiale Noi, Elemente&Componente Electronice, Generația 5 în Comunicație (5G), Internet of Things (IoT) și Inteligența Artificială (IA) pentru Industria Inteligentă din România, Gheorghe Ion Gheorghe, Simona Istrițeanu, **Iulian Ilie**, ISBN 978-606-8261-20-1, Ed. CEFIN, 2020;
18. Ingineria Mecatronică și Cyber-MixMecatronică pentru Construcția Intreprinderii Digitale și Industriei Inteligente (4.0)” – 2019, Gheorghe Ion Gheorghe, Valentina Băjenaru, **Iulian Ilie**, ISBN 978-606-8261-29-4, Ed. CEFIN, 2019;

- **Brevete**

19. Sistem mecatronic-mixmecatronic de control 4D în laborator și în industrie, autori: Gheorghe Gheorghe, **Ilie Iulian**, Anghel Constantin, *B.I.132678/26.02.2021*
20. Sistem cobotic cyber-mixmecatronic cu structură serie – paralel de măsurare ultraprecisă și control inteligent în laborator și industria digitalizată 4.0, autori: Gheorghe Gheorghe, Anghel Constantin, **Ilie Iulian**, Alex. Constantinescu, *A/00610/28.09.2020*
21. Sistem mecatronic inteligent de mare precizie pentru măsurarea microdeplasărilor liniare, autori: Georghe Gh., Beca Paul, Olaru M., Mocanu Neculai, Ancuța Paul, **Ilie Iulian**, Munteanu Iulian, *B.I. 125124 / 28.02.2013*
22. Sistem mecatronic pentru masurarea deplasărilor unghiulare, autori: Georghe Gh., Beca Paul, Mocanu Neculai, Ancuța Paul, Olaru Mircea, **Ilie Iulian**, *B.I. 122847 / 30.03.2010*
23. Microsistem mecatronic inteligent pentru măsurări dimensionale de înaltă precizie – DIGITIL”, Autori: Gheorghe I. Gheroghe, Beca Paul, Mocanu Neculai, Ancuta Paul, Olaru Mircea, **Ilie Iulian**, *B.I. 122874/30.03.2010*

7.4. Perspective de dezvoltare ulterioară

Plecând de la concepția, proiectarea și realizarea celor două sisteme mecatronice la nivel micro și mediu, dar și de la cercetările teoretice realizate în domeniul *MEMS* și *NEMS* se conturează posibile cercetări-dezvoltări în viitor, astfel:

- Cercetări privind realizarea unei proceduri de lucru care să descrie modul în care se implementează telecontrolul și telemonitorizarea sistemelor mecatronice complexe implementate în Industria 4.0;
- Cercetări privind realizarea unui ecosistem mecatronic care să îmbunătățească viteza și stabilitatea cu care un sistem complex (sistemul MMI4D) este controlat și monitorizat de la distanță;
- Cercetări privind implementarea unei soluții constructive inteligente îmbunătățite pentru protejarea operatorului uman;
- Cercetări privind dezvoltarea sistemului complex (MMI4D) prin adăugarea unui subsistem complex de tip robot colaborativ care să ofere posibilitatea de a adăuga operații de lucru precum identificarea video în spațiul de lucru, manipularea automată a pieselor și altele;
- Cercetări privind dezvoltarea sistemului MMI4D prin adăugarea unui subsistem de tip platformă mobilă care să ofere posibilitatea de a accesa spațiul din jurul sistemului MMI4D astfel încât să se poată implementa trasee de lucru pentru pozițiile pieselor analizate cu sistemul menționat;
- Cercetări privind maparea spațiului de lucru astfel încât să putem identifica cu precizie, în orice moment, poziția pieselor analizate într-un moment definit;
- Cercetări privind implementarea unui cap interschimbabil care să ofere posibilitatea interschimbării dispozitivelor MEMS și NEMS necesare unor aplicații specifice domeniului de interes;
- Cercetări privind realizarea unei aplicații virtuale care să ofere posibilitatea instruirii unui operator pentru operarea sistemului (MMI4D);

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

[1] Sreelakshmi Krishnamoorthy, Amit Dua, Shashank Gupta. Role of emerging technologies in future IoT-driven Healthcare 4.0 technologies: a survey, current

challenges and future directions. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing (2021)

[2] Ardelean, I., Giuroiu, H., Petrescu, L., Circuite integrate CMOS. Manual de utilizare, Editura Tehnică, București (1986)

[3] "Multi-layer microstructure fabrication by combining bulk silicon micromachining and UV-LIGA technology," Microelectronics Journal, vol. 38, pp. 120-124, 2007

[4] Karkouch, A.; Mousannif, H.; AL Moatassime, H.; Noel, T.: Data quality in Internet of Things: A state-of-the-art survey. Journal of Network and Computer Applications, Vol. 73, 2016, pp. 57-81.

[5] Chavez, B.; Bayona, S.: Virtual Reality in the Learning Process; Trends and Advances in Information Systems and Technologies. Advances in Intelligent Systems and Computing (746) Pages: 1345-56 Part: vol.2 Published: 2018

[6] Lee, Jay; Kao, Hung-An; Yang, Shanhu: Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment; Conference: 6th CIRP Conference on Industrial Product-Service Systems (IPSS) Location: Univ Windsor, Windsor, CANADA Date: MAY 01-02, 2014

[7] Xu, Li Da; Xu, Eric L.; Li, Ling: Industry 4.0: state of the art and future trends; INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH Volume: 56 Issue: 8 Pages: 2941-2962 Published: 2018

[8] Rose K, Eldridge S, Chapin L (2015) The Internet of Things: an overview understanding the issues and challenges of a more connected world. Internet Soc (ISOC) 22

[9] Rayes A, Salam S (2017) Internet of Things (IoT) overview, in Internet of Things from hype to reality. Springer International Publishing, Cham, pp 1–34

[10] Sauciuc Gheorghe- Roboți umanoizi, istoric, exemple, caracteristici principale, socializare, noutăți și viitor (2020).

[11] "CoBot Robots". Carnegie Mellon University. Retrieved 12 March 2013.

[12] Gheorghe I. Gheorghe, Iulian ILIE, Anghel C-tin „Scientific evolution from Mix-Integrating Mechatronics to Cyber-Intelligent Mechatronics and to Claytronics Science”, International Conference OPTIROB 2016, 29 iunie – 2 iulie 2016, Jupiter, Romania, Applied Mechanics and Materials, Vol.841, cotata ISI; factor impact: 0,15;

[13] Mecatronica, Integronica si Adaptronica, Autori: Prof. univ. dr. ing. Gheorghe Ion Gheorghe; Simona Istriteanu, Veronica Despa, Alexandru Constantinescu, Adrian Voicu, ISBN: 978-606-8261-17-1, Ed. CEFIN, 2012

[14] Viviana Filip, Cornel Marin, Lucian Gruionu, and Alexis Negrea, Proiectarea, modelarea, simularea sistemelor mecanice, utilizând Solidworks, CosmosMotion și CosmosWorks. Târgoviște: Valahia University Press, 2008

- [15] Marin Cornel, REZISTENȚA MATERIALELOR Partea a II a – Teoria elasticității și solicitări complexe. Editura Bibliotheca 2014, 978-973-712-936-9
- [16] Octavian Dontu, Stergios Ganatsios, Daniel Besnea, Stand pentru testarea fiabilității la vibrații a aparaturii de contorizare pentru apă caldă și rece, The 7 th International Conference on Mechatronics and Precision Engineering, Bucharest 27-29 Mai 2004, pp 217-218. ISBN 973-866886-1-2
- [17] Daniel Besnea, Octavian Dontu, Alina Spanu, Gheorghe I. Gheorghe, S. Ganatsios, „Rapid Prototyping technologies applied for prosthesis tests”, International Conference „The 8th International Conference on Innovations, Recent Trends and Challenges in Mechatronics, Mechanical Engineering and New High-Tech Products Development - MECAHITECH'16”, 8-9 september 2016, Bucharest, Romania;
- [18] Ilie Iulian și Gh. I. Gheorghe, „Intelligent 4D mechatronic microsystem used in metrological measurement and integrated control processes”, The Scientific Bulletin of VALAHIA University, MATERIALS and MECHANICS –Vol. 16, No. 15, DOI: 10.1515/bsmm-2018-00XX; 2018, indexat BDI: EBSCO, Index Copernicus, Inspec;
- [19] Gheorghe I. Gheorghe, Constantin Anghel, and Ilie Iulian, „Original and scientific contributions to cyber – mecatronics systems development for industrial, economical and societal environments”, of the 12-th edition of the International Conference on Aerospace, Robotics, Mechatronics, Mechanical Engineering, Manufacturing systems, Neurorehabilitation and Bioengineering, OPTIROB 2017
- [20] Iulian Ilie, Gh. Ion Gheorghe Intelligent 4D mechatronic microsystem used in metrological measurement and integrated control processes, The Scientific Bulletin of VALAHIA University MATERIALS and MECHANICS, 2018 –Vol. 16, No. 15
- [21] Ingineria Mecatronică și Cyber-MixMecatronică pentru Construcția Întreprinderii Digitale și Industriei Inteligente (4.0)” – 2019, Gheorghe Ion Gheorghe, Valentina Băjenaru, Iulian Ilie, ISBN 978-606-8261-29-4, Ed. CEFIN, 2019;

ANEXE

Anexa A – Brevet de Inventie Nr. 132678



Anexa B – Brevet de Inventie Nr. 125124

ROMÂNIA



DUPLICAT

ELIBERAT INVENTATORULUI
în baza Art.35 alin.(2),
din Legea nr.64/1991 republicată

OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI

Brevet de invenție

Nr. 125124

Acordat în temeiul Legii nr.64/1991 privind brevetele de invenție, republicată în Monitorul Oficial al României, Partea I, nr.541, din 08 august 2007.

Titular: INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU MECATRONICĂ ȘI TEHNICA MĂSURĂRII - INCDMTM, BUCUREȘTI, B, RO

Titlul invenției: SISTEM MECATRONIC INTELIGENT DE MARE PRECIZIE PENTRU MĂSURAREA MICRODEPLASĂRIILOR LINIARE

Inventatori: GHEORGHE I. GHEORGHE, BUCUREȘTI, B, RO; BECA PAUL, BUCUREȘTI, B, RO; MOCANU NECULAI, BUCUREȘTI, B, RO; ANCUȚA PAUL, BUCUREȘTI, B, RO; OLARU MIRCEA, BUCUREȘTI, B, RO; ILIE IULIAN, BUCUREȘTI, B, RO; MUNTEANU IULIAN SORIN, BUCUREȘTI, B, RO

Descrierea invenției, revendicările și desenele la care se face referință în acestea, fac parte integrantă din prezentul brevet de invenție.
Durata brevetului de invenție este de 20 ani, cu începere de la data de 23.05.2008, cu condiția plății taxelor anuale de menținere în vigoare a brevetului.

Confirm căs de mai sus (prin semnarea și aplicarea sigiliului)
Director General

București, Data eliberării 28.02.2013



Anexa C – Brevet de Inventie Nr. 122874

ROMÂNIA



DUPLICAT

ELIBERAT INVENTATORULUI
în baza Art.35 alin.(2),
din Legea nr.64/1991 republicată

OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI

Brevet de invenție

Nr. 122874

Acordat în temeiul Legii nr.64/1991 privind brevetele de invenție, republicată în Monitorul Oficial al României, Partea I, nr.541, din 08 august 2007.

Titular: INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE DEZVOLTARE PENTRU MECATRONICĂ ȘI TEHNICA MĂSURĂRII, BUCUREȘTI, B, RO

Titlul invenției: MICROSISTEM MECATRONIC PENTRU MĂSURĂRI DIMENSIONALE DE ÎNALTĂ PRECIZIE

Inventatori: GHEORGHE GHEORGHE, BUCUREȘTI, B, RO; BECA PAUL, BUCUREȘTI, B, RO; MOCANU NECULAI, BUCUREȘTI, B, RO; ANCUȚA PAUL, BUCUREȘTI, B, RO; OLARU MIRCEA, BUCUREȘTI, B, RO; ILIE IULIAN, BUCUREȘTI, B, RO

Descrierea invenției, revendicările și desenele la care se face referință în acestea, fac parte integrantă din prezentul brevet de invenție.
Durata brevetului de invenție este de 20 ani, cu începere de la data de 11.01.2008, cu condiția plății taxelor anuale de menținere în vigoare a brevetului.

Confirm cele de mai sus prin
semnarea și aplicarea sigiliului
Director General

București, Data eliberării 30.03.2010



Anexa D – Brevet de Inventie Nr. 122847

ROMÂNIA



DUPLICAT

ELIBERAT INVENTATORULUI
în baza Art.35 alin.(2),
din Legea nr.64/1991 republicată

OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI

Brevet de invenție

Nr. 122847

Acordat în temeiul Legii nr.64/1991 privind brevetele de invenție, republicată în Monitorul Oficial al României, Partea I, nr.541, din 08 august 2007.

Titular: INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE DEZVOLTARE PENTRU MECATRONICĂ ȘI TEHNICA MĂSURĂRII, BUCUREȘTI, B, RO

Titlul invenției: SISTEM MECATRONIC PENTRU MĂSURAREA DEPLASĂRIILOR UNGHIIULARE

Inventatori: GHEORGHE GHEORGHE, BUCUREȘTI, B, RO; BECA PAUL, BUCUREȘTI, B, RO; MOCANU NECULAI, BUCUREȘTI, B, RO; ANCUȚA PAUL, BUCUREȘTI, B, RO; OLARU MIRCEA, BUCUREȘTI, B, RO; ILIE IULIAN, BUCUREȘTI, B, RO

Descrierea invenției, revendicările și desenele la care se face referință în acestea, fac parte integrantă din prezentul brevet de invenție.
Durata brevetului de invenție este de 20 ani, cu începere de la data de 11.01.2008, cu condiția plății taxelor anuale de menținere în vigoare a brevetului.

Confirm cele de mai sus prin
semnarea și aplicarea sigilului
Director General

București, Data eliberării 30.03.2010



Anexa E – Cerere de Brevet A/00610/28.09.2020



CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

Nr. referința solicitant/mandatar	Registratura OSIM (numarul și data primirii)
-----------------------------------	--

Se completează de către OSIM

Numarul cererii de brevet de invenție	
Data primirii la Registratura Generală a OSIM	
Data de depozit	
Data primirii părții lipsă la Registratura Generală a OSIM	
Data de depozit după primirea părții lipsă la Registratura Generală a OSIM	
Data primirii cererii de retragere a părții lipsă la Registratura Generală a OSIM	
Data de depozit atribuită cererii de brevet	

1. Solicitanți (nume și prenume/denumire, adresă de domiciliu/sediu, telefon, fax, e-mail) INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE DEZVOLTARE PENTRU MECATRONICĂ ȘI TEHNICA MĂSURĂRII – INCDMTM, București ȘOS. PANTELIMON NR. 6 + 8, SECTOR 2, 021631, BUCUREȘTI, ROMÂNIA, 021631, Nr. Reg. Comerțului: J40/1074/1997 Tel: 021. 252.30.68/69; Fax: 021. 252.34.37 E-mail: incdmtm@incdmtm.ro, geocefin@yahoo.com ☐ continuare pe pag. 3
--

2. Solicitam în baza Legii nr. 64/1991 privind brevetele de invenție, republicată, modificată prin Legea nr. 83/2014 privind invențiile de serviciu acordarea unui brevet de invenție cu titlul: SISTEM COBOTIC CYBER- MIXMECATRONIC CU STRUCTURĂ SERIE – PARALEL DE MĂSURARE ULTRAPRECISĂ ȘI CONTROL INTELIGENT ÎN LABORATOR ȘI INDUSTRIA DIGITALIZATĂ 4.0 2.1. Solicitantul este îndreptățit la depunerea cererii de brevet de invenție în baza : ☐ Legii nr. 64/1991 privind brevetele de invenție, republicată; ☐ Legii nr. 83/2014 privind invențiile de serviciu. ☒ unui contract de cercetare 2.2. Referința la o cerere depusă anterior (numar, data de depozit, țara/oficiu):
--

3. Declarăm că inventatorii sunt cei desemnați în formularul „Declarație conținând desemnarea inventatorilor” ☒ anexat ☐ care va fi transmis ulterior

4. Rezumatul invenției se publică împreună cu figura numărul: 1
--

5. Revendicăm prioritatea convențională (stat, număr, data depozit):

6. Revendicăm prioritatea internă (numar cerere de brevet, data depozit):
--

1/3

FORM. B 01 - citiți Ghidul de completare



Curriculum vitae Europass

Informații personale

Nume / Prenume ILIE IULIAN
Adresă(e) 7, Valea Lungă, 061502, București, România
Telefon(oane) 021/252.30.68 Mobil: 0743025034
Fax(uri) 021/252.34.37
E-mail(uri) iuliancefin@yahoo.com
Naționalitate(-tăți) Română
Data nașterii 18.10.1981
Sex masculin

Locul de muncă vizat / Domeniul ocupațional

Experiența profesională

Perioada 2006 - PREZENT

Funcția sau postul ocupat Director CRTTC – Centrul Releu de Transfer Tehnologic și Consultanță, Cercetător Științific începând cu 01.07.2009 și Manager Inovare începând cu 14.09.2019

Activități și responsabilități principale

- experiență în coordonarea activităților specifice, a echipei avută în subordine:
- gestionarea tuturor aspectelor ce țin de transferul tehnologic și activitatea de brevetare;
- Expert strategii și politici resurse umane în domeniul CDI în cadrul proiectului "Metode avansate de monitorizare și creștere a performanțelor în cariera de cercetare"
- expert politici în domeniul inovării, schimb de experiență și bune practici în cadrul proiectului European – INTERREG IVC "Knowledge Transfer joint forces for efficient innovation policies "KTForce (<http://ktforce.eu/partners>) finanțat prin programul INTERREG IVC, unde am fost director de proiect din partea INCDMTM (partenerul român);
- concepție, design și distribuie materiale promoționale pentru INCDMTM și CRTTC;
- dezvoltare idei și scriere propuneri proiecte;
- organizare evenimente promoționale (conferințe, ateliere de lucru, simpozioane);
- organizare și participare la târguri naționale și internaționale: România (TIB), Croația (ARCA), Franța (The European Research and Innovation Research), Elveția (International Exhibitions of Inventions), Kuwait (IIFME), etc.;
- Responsabil pentru organizare stagii de pregătire studenți, în cadrul proiectului "Dezvoltarea educației pentru viabilizarea pieței muncii prin vectori inovatori Mecatronica-Integronica", finanțat prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane -<http://www.incdmtm.ro/posdru/echipa.htm>);
- Instruire specialiști funcționari publici din ministere și primării privind procesul de colectare și analiză a informațiilor specifice domeniului ITT în cadrul proiectului „Dezvoltarea capacității ANCS de elaborare a politicilor publice în domeniul inovării și al transferului tehnologic pentru asigurarea unei dezvoltări socio-economice durabile” -Cod SMIS 24120;
- Instruire în cadrul proiectelor „Sistem mecatronic inteligent de înaltă precizie pentru măsurarea microdeplasărilor liniare în medii industriale și de laborator”, cod proiect PN-III-P2-2.1-CI-2017- 0211 – Cecuri de inovare; ”Servicii tehnologice în ingineria mecatronică și tehnica măsurării prin CRTTC” (CRTTC-Centrul Releu de Transfer Tehnologic și Consultanță) – Program INFRATECH,

Numele și adresa angajatorului
Tipul activității sau sectorul de activitate
Perioada

contract nr. 411/2006;
- Instruire privind politici și proceduri specifice transferului tehnologic - personal INCDMTM;
- Evaluare și formare în cadrul Centrului de Evaluare și Formare CEF Mecatron;
Institutul Național de Cercetare Dezvoltare pentru Mecatronică și Tehnica Măsurării – INCDMTM; Sos. Pantelimon, nr. 6-8, sect. 2, București
CAEN: 7219 - Cercetare și dezvoltare în alte științe naturale și inginerie
2004 – 2006

Funcția sau postul ocupat
Activități și responsabilități principale
Numele și adresa angajatorului

Operator CATI
Realizare interviuri telefonice
Mercury Research; Strada Siret nr.95, București 012152

Educație și formare

Perioada
Disciplinele principale studiate / competențe profesionale dobândite
Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare
Perioada
Calificarea / diploma obținută
Disciplinele principale studiate / competențe profesionale dobândite
Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare
Perioada
Calificarea / diploma obținută
Disciplinele principale studiate / competențe profesionale dobândite
Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare

2013 - PREZENT
Noi soluții și principii pentru construcții MEMS și NEMS utilizate în procese de fabricație și măsurări ultraprecise
Școala Doctorală Universitatea Valahia Târgoviște
octombrie 2005 – februarie 2007
Diplomă Studii Postuniversitare de Specializare
Metode avansate pentru îmbunătățirea produselor de mecanică fină, mecatronica
UPB – Facultatea de Inginerie Mecanică și Mecatronică
octombrie 2000 – septembrie 2005
Diplomă Inginer Diplomat
Inginerie mecanică, mecanisme,
UPB – Facultatea de Inginerie Mecanică și Mecatronică

Aptitudini și competențe personale

Limba(i) maternă(e)

Româna

Limba(i) străină(e) cunoscută(e)

Autoevaluare

Nivel european (*)

Engleză

Franceză

Înțelegere				Vorbire				Scriere	
Ascultare		Citire		Participare la conversație		Discurs oral		Exprimare scrisă	
B2	Utilizator independent	B2	Utilizator independent	B2	Utilizator independent	B1	Utilizator independent	B1	Utilizator independent
A2	Utilizator elementar	A1	Utilizator elementar	A1	Utilizator elementar	A1	Utilizator elementar	A1	Utilizator elementar

(*) [Nivelul Cadrului European Comun de Referință Pentru Limbi Străine](#)

Competențe și abilități sociale

- spirit de echipa;
- o buna capacitate de comunicare;
- sociabil.

Competențe și aptitudini organizatorice	- organizare stagii de pregătire și sesiuni de instruire; - capacitate de organizare și coordonare, aptitudini dobândite ca director de proiecte finanțate din surse naționale și europene; - expertiză în management, dobândită în calitate de director al centrului de transfer tehnologic; - expertiză în proprietate intelectuală, dobândită în calitate de responsabil transfer tehnologic și brevetare (scriere cereri de brevet) în cadrul INCDMTM; - capacitate de analiză, sinteză.
Competențe și aptitudini tehnice	- realizare desene în programe de modelare 3D: Solid Works, CATIA, Solid Edge - utilizare Corel Draw, Photoshop
Competențe și aptitudini de utilizare a calculatorului	- MS OFFICE (Word, Excel, Power Point), Internet , Outlook Express; - Corel Draw; Adobe Photoshop; Adobe Editor; - Solid Works; CATIA, Solid Edge;
Competențe și aptitudini artistice	Fotbal – campion U18 în România - de 2 ori
Permis(e) de conducere	Categoria B
Informații suplimentare	- consilier în proprietate industrială – prin examen OSIM sesiunea mai 2017; - evaluator de competențe profesionale M9, certificat de ANC; - specializare FORMATOR – nivelul 1 (prin programul de inițiere cu durata de 64 ore); - deținerea a 4 brevete de invenție valabile în România: RO132678/2021, RO122847/2010, RO122874/2010 și RO125124/2013; - curs „Manager de proiect” atestat CNFPA (acum ANC); - curs „Manager de inovare” atestat CNFPA (acum ANC); - curs „Broker de tehnologii” atestat CNFPA (acum ANC); - curs Proprietate Intelectuală; - curs în domeniul Evaluării Întreprinderii; - curs în domeniul Transferului Tehnologic; - am participat la Vizite de Studiu și Schimb de Experiență privind Centrele de Transfer Tehnologic și Clustere în Germania, Austria și Ungaria; - membru AGIR - Asociația Generala a Inginerilor din Romania
Anexe	



MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII
UNIVERSITATEA „VALAHIA” din TARGOVISTE
IOSUD – ȘCOALA DOCTORALĂ DE ȘTIINȚE INGINEREȘTI
DOMENIUL FUNDAMENTAL ȘTIINȚE INGINEREȘTI
DOMENIUL INGINERIE MECANICĂ

SUMMARY OF THESIS
**NEW SOLUTIONS AND PRINCIPLES FOR
MEMS AND NEMS CONSTRUCTIONS
USED IN MANUFACTURING PROCESSES
AND HIGHLY-ACCURATE
MEASUREMENTS**

PhD SUPERVISOR:

Prof. Univ. Dr. Ing. D.H.C. GHEORGHE I. GHEORGHE

PhD Student:

Ing. ILIE IULIAN

**TÂRGOVIȘTE
Year 2021**

CHAPTER 1. INTRODUCTION	3
1.1. Presentation of PhD thesis field	3
1.2. The purpose of PhD thesis.....	4
1.3. Contents of the PhD thesis	4
CHAPTER 2. GENERAL NOTIONS REGARDING MEMS AND NEMS USED IN MANUFACTURING PROCESSES AND HIGH-PRECISION MEASUREMENTS	4
2.1. Integrated circuits.....	5
2.2. LIGA Technology	6
2.3. Microfabrication.....	6
2.4. Industry 4.0	7
2.5. 3D Printing	8
2.6. Internet of Objects - IoT	8
2.7. Augmented Reality, Virtual Reality, Cloud and Big Data.....	8
2.8. Collaborative robots	9
2.9. VPN – Virtual Private Network	9
CHAPTER 3 STUDY AND ANALYSIS OF MEMS AND NEMS CONSTRUCTIONS USED IN MANUFACTURING PROCESSES AND HIGH-PRECISION MEASUREMENTS	9
3.1. Smart equipment used or developed in the research activity of INCDMTM	10
3.1.1 Smart measurement technology platform PLATHITECH - DIGITIL / DIGITIR / DIGITRIL.....	10
3.1.2. 3D Measurement, Calibration and Testing Equipment -Leitz- Germany ...	10
3.1.3. Atomic Force Microscope NT-MDT NanoLaboratory NTEGRA Probe.....	11
3.1.4. Mechatronic geometric control and car drum marking equipment	11
3.1.5 EOSINT 270 M Dual Mode Prototyping equipment.....	12
3.1.6. EOS FORMIGA P110 plastics sintering processing equipment.....	13
3.1.7. Robotic mechatronic and cyber-mixmechatronic microsystem for high- precision measurements.....	14
CHAPTER 4: DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A SMART INTEGRATED MECATRONIC SYSTEM DESIGNED FOR MEMS & NEMS CONSTRUCTIONS USED IN MANUFACTURING PROCESSES AND HIGH-PRECISION MEASUREMENTS	15
4.1 Description of the smart integrated mechatronic system designed for MEMS & NEMS constructions used in manufacturing processes and ultra-precise measurements	15

4.2 Trials and tests carried out in INCDMTM laboratories with the smart integrated mechatronic system designed for MEMS & NEMS used in manufacturing processes and high-precision measurements	18
4.3 Original analysis and interpretation regarding the microgeometry topography of the structures surfaces for the measured parts	20
CHAPTER 5 DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A 4D MECATRONIC SYSTEM USED IN INDUSTRIAL AND METROLOGICAL PROCESSES OF MEASUREMENT AND INTEGRATED CONTROL -MMI4D.....	21
5.1. MMI4D System overview	21
5.2. Hardware component.....	25
5.3. Software component	26
5.4. Command and control panel	27
5.5. Data acquisition and file deletion.....	31
CHAPTER 6 EXPERIMENTAL RESEARCHES FOR THE MECATRONIC SMART MEASUREMENT SYSTEM MMI4D ON ITS METROLOGICAL VALIDATION AND INDUSTRIAL IMPLEMENTATION IN SMART MEASUREMENT AND CONTROL PROCESSES	33
6.1. Measurements of standard parts / standards	34
6.2. Measurements of industrially machined parts	34
6.3. Parts measurements on the MMI4D mechatronic system	34
6.4. Determination of Metrological Values for the MMI4D Mechatronic System.....	35
Chapter 7. FINAL CONSIDERATIONS	36
7.1. Obtained results	36
7.2. Original contributions	36
7.3. List of original works.....	37
7.4. Prospects for further development	41
SELECTIVE BIBLIOGRAPHY	42
ANNEXES	44
Annex A – Patent No. 132678.....	44
Annex B – Patent No. 125124.....	45
Annex C – Patent No. 122874	46
Annex D – Patent No. 122847	47
Annex E – Patent Application A/00610/28.09.2020.....	48

Keywords: *MEMS, NEMS, Internet of Things, COBOT, mechatronic system, remote monitoring, remote control, virtual private network, 3D printing*

CHAPTER 1. INTRODUCTION

CHAPTER 1 presents a brief introduction to the field of MEMS and NEMS, of the technologies associated with the field and the moment of their appearance, highlighting the four industrial revolutions. The chapter continues with the presentation of the purpose and objectives of this doctoral thesis.

1.1. Presentation of PhD thesis field

National and international literature provides various information on microelectromechanical (MEMS) and nanoelectromechanical (NEMS) equipment and systems. If in the United States the terms MEMS and NEMS are mainly used, in Japan is used the term Micromachines and in Europe MST (microsystems technology). Past and present trends in manufacturing processes and ultra-precise measurements are inclined towards miniaturization, this trend being also found in the medium and long-term strategies of companies in this field.

MEMS and NEMS technologies and applications, as we know them today, have been influenced by moments such as the appearance of the first integrated circuit (IC - integrated circuit, (JS Kilby 1958 / Robert Noyce 1959), the invention of the microprocessor in 1971, the use of LIGA technology (acronym from German language for Lithographie / Lithography, Galvanoformung / Galvanization, Abformung / Casting) in 1982, the invention of the AFM atomic force microscope in 1986, the discovery of the CNT carbon nanotube in 1991, etc. Starting with 2000, MEMS and NEMS devices and applications have been constantly developed and are found applied in various fields facilitating their development.

MEMS and *NEMS* harness on the potential given by the Internet of Things (IoT), virtual reality (VR) and augmented reality (AR) providing the possibility to control and monitor remotely but also the possibility to visualize in virtual or augmented reality equipment, installations, materials and other with the aim of streamlining work processes and facilitating the development of human resources.

The development of manufacturing processes is correlated with the four identified industrial revolutions: the first industrial revolution took place at the end of the 18th century and the beginning of the 19th century, the second industrial revolution begins at the end of the 19th century, the third industrial revolution begins in the second half of the 20th century and the fourth industrial revolution begins with the 3rd

millennium.

1.2. The purpose of PhD thesis

This paper aims to realize, virtually and physically, an intelligent system that can be used for high-precision measurements in industrial manufacturing processes and to integrate MEMS and NEMS subsystems, dedicated software component and presentation of the working procedure for using the system.

Along with the achievement of the above-mentioned objective, experimental validations will be performed to validate the obtained results, which will generate measurement protocols.

1.3. Contents of the PhD thesis

The thesis has 7 chapters, bibliography and annexes. The thesis includes 8 tables, over 100 figures, 123 bibliographic sources and annexes. The current state of the art is presented, two mechatronic systems performed virtually and physically, including tests and experimental research performed with them. Finally, the scientific papers published during the PhD thesis are presented, where the author of the thesis has the quality of author or co-author but also perspectives for further development.

CHAPTER 2. GENERAL NOTIONS REGARDING MEMS AND NEMS USED IN MANUFACTURING PROCESSES AND HIGH-PRECISION MEASUREMENTS

CHAPTER 2 briefly describes MEMS and NEMS systems continuing with the presentation of integrated circuits, LIGA technology, microfabrication and Industry 4.0. Mechanical microfabrication techniques were selected for presentation, namely: micro-milling, micro-drilling, micro-turning, micro-grinding, micro-rubbing, micro-polishing and water jet abrasive micro-processing. For micro-forming, have been presented micro-forging, micro-extrusion, micro-stamping and micro-hydroforming. The last category of microfabrication presented in this chapter is electrical and chemical microfabrication.

MEMS systems represent the natural evolution of millimeter systems by resizing them to values close to or below 1 mm and NEMS systems represent the

natural evolution of MEMS systems by resizing them to values close to or below 1 μm . Figs. 2.1 exemplifies size at the micro and nano level by correlating sizes with images.

Figure 2.1: Micro and nano dimension

10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10^0	10^1	10^2	10^3	10^6	10^9
nano	micro	milli	centi	deci	0	deca	hecto	kilo	mega	giga
n	μ	m	c	d		da	h	k	M	G



Acidul DeoxiriboNucleic-ADN
Aproximativ 2 nm lățime



Cehule roșii
Aproximativ 7 μm



Păr uman
Aproximativ 80 μm



Purice
Aproximativ 1 mm



Minge de fotbal
Aproximativ 220 mm

2.1. Integrated circuits

An integrated circuit (IC) consists of a set of electronic circuits installed on a miniature silicon support of semiconductor material called a chip and is much smaller than a circuit consisting of independent components. IC is built up on a mini board of semiconductor material, which is usually made of silicon. It is extremely compact and can hold billions of transistors and other electronic components in a small area. The first IC made by Jack Kilby in 1958 is shown in Fig. 2.2.

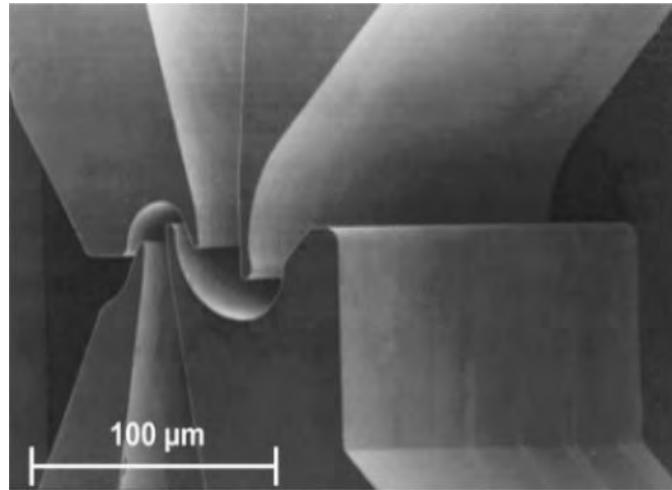
Figura 2.2: The first Integrated Circuit - 1958



2.2. LIGA Technology

The technology has been developed in Germany in the last 40 years, for the first time at Forschungszentrum Karlsruhe GmbH. LIGA technology was first mentioned in research articles in 1982 and shows results such as obtaining a uranium manufacturing nozzle using LIGA technology, as seen in Fig. 2.3.

Figure 2.3: Uranium separation nozzle manufactured using LIGA technology



2.3. Microfabrication

Globally, there is an ongoing concern for microfabrication, especially for its manufacturing methods / processes. One of the most popular microfabrication processes is microforming.

Microfabrication and microforming / microprofiling, sometimes used interchangeably, refers to the production of parts or the characteristics of parts with at least two dimensions in the submillimeter range. The size of the part can go up to a few millimeters, while the characteristics of the part are largely in the range of micrometers.

In order to further highlight the micro and nano domain, mechanical microfabrication and microforming techniques were selected for description. Mechanical microfabrication includes: micro-milling, micro-drilling, micro-turning, micro-grinding, micro-rubbing, micro-polishing and water jet abrasive microprocessing. Microforming includes: microforming, microextrusion, micro-stamping and microhydroforming. The last category of microfabrication presented in this chapter is electrical and chemical microfabrication.

Figure 2.4: Micro-milling and the eye of a ladybug



Source: Courtesy of Performance Micro Tool, Inc., USA.

Figure 2.5: Microfabrication of watch components



Source: Courtesy of Willemin-Macodel SA, Switzerland.

Figure 2.6: Micro-drilling - details

(a) Drill with a diameter of 50 μm presented next to an ant's foot

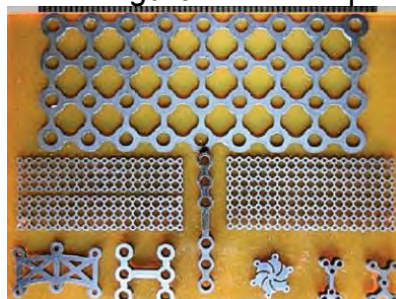


(b) close view



Source: Courtesy of Performance Micro Tool, Inc., Janesville, WI, USA.

Figure 2.7: Examples of abrasive parts micro processed with water jet



(a) Titanium and stainless steel orthopedic parts



(b) Chain made of a solid titanium tube (outer diameter is 0.64 mm)



(c) Bike on a matchstick

2.4. Industry 4.0

Industry 4.0 refers to the digitization of all industrial processes and their transformation into smart, efficient and autonomous processes through detection, connectivity, big data analysis and control.

Figure 2.8: Industry 4.0 Ecosystem



Source: www.xenrc.com [81]

2.5. 3D Printing

An important component of Industry 4.0 is 3D printing. Along with Additive Manufacturing (AM), we can use the name Rapid Manufacturing (RM) or Rapid Prototyping (RP). Other less common names are digital manufacturing / fabrication, layered manufacturing or DMF (Desktop Manufacturing).

2.6. Internet of Objects - IoT

We live in a connected world where billions of computers, tablets, smartphones, buildings, portable objects, medical devices, game consoles, and other smart items are constantly purchasing, processing, and providing information.

IoT is a global communications network infrastructure that connects physical and virtual entities around us, taking advantage of massive data capture and communication capabilities.

2.7. Augmented Reality, Virtual Reality, Cloud and Big Data

Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR), develops several applications that deal with virtual space and physical space. AR considers the actual space over which computer-generated objects overlap in that environment. VR builds an unreal or synthetic environment.

Cloud and Big Data are concepts used in IoT and Industry 4.0 where the amount of information collected and processed is huge. Cloud technology is usually used to succeed in data processing, making it easy to save and access data later in a fast and convenient way.

2.8. Collaborative robots

Today's industry has facilitated the rise of collaborative robots, called cobots, especially due to the need for a common work environment in which humans and cobots carry out complex activities. The cobot is a robot designed for physical interaction with humans in a common workspace.

Cobots are specially created to work with people, not just for them. Instead of being in a cage, they work in a cooperative environment and help with complex tasks that cannot be fully automated. For example, they can hand over components to the people they work with, who will perform more precise assemblies or quality control tasks.

2.9. VPN – Virtual Private Network

The transmission of data via internet connections is subject to a large number of risks. Symmetrical or asymmetrical algorithms are used to encrypt the transmitted data and eliminate the risk of it being intercepted.

A VPN is a set of two or more private networks or individual users that use secure tunnels on a public telecommunications infrastructure, such as the Internet, for connection. A VPN is commonly used to provide distributed offices or individual users with secure access to their organization's network.

CHAPTER 3 STUDY AND ANALYSIS OF MEMS AND NEMS CONSTRUCTIONS USED IN MANUFACTURING PROCESSES AND HIGH-PRECISION MEASUREMENTS

CHAPTER 3 presents equipment used by INCDMTM in the research activity or which were made as a result of the research activity in which the author of this thesis was involved. The equipment presented is suitable for MEMS and NEMS, they measure or make parts in the micro and nano field. The presented equipment addresses in particular the fields of mechatronics of intelligent measurement, robotics, including medical robotics, micro-nano technologies and more. Equipment presented in Chapter 3 facilitated the results presented in this PhD thesis.

The National Institute of Research and Development for Mechatronics and Measurement Technique (INCDMTM) established in 1971 has accredited laboratories in fields such as smart measurement mechatronics, biomedical mechatronics, robotics or micro and nano mechatronic technologies.

3.1. Smart equipment used or developed in the research activity of INCDMTM

3.1.1 Smart measurement technology platform PLATHITECH - DIGITIL / DIGITIR / DIGITRIL

The smart control technology platform integrated with high-tech mechatronic microsystems for high-precision dimensional and angular measurements for the development of instrumentation engineering in industrial and laboratory environments - PLATHITECH-Digitil / Digitir / Digitril was realized through three research projects within the National RDI II Program (contract Relansin 2009 - Digitil, contract Invent 159 - Digitir and Calist 5230 - Digitril).

PLATHITECH-Digitil / Digitir / Digitril it is based on three patents in which the author of this work has the quality of inventor (Patent RO122847/2010, RO122874/2010 and RO125124/2013) and is presented in figure 3.1.

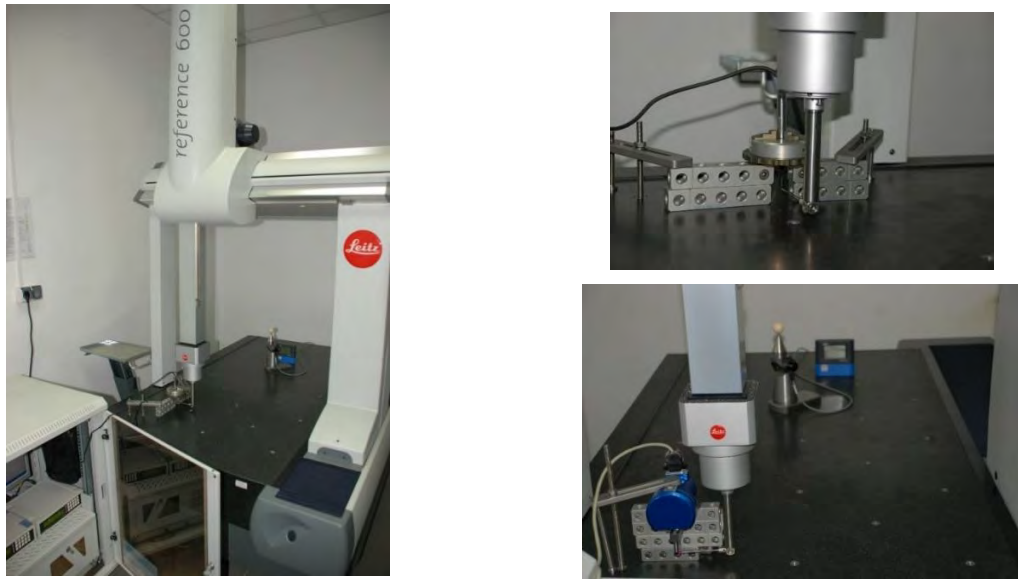
Figure 3.1 - PLATHITECH-DIGITIL / DIGITIR / DIGITRIL



3.1.2. 3D Measurement, Calibration and Testing Equipment -Leitz-Germany

The equipment with gasostatic bearing for measurement, calibration and testing in 3D - Leitz from Germany is technologically implemented and shown in Figure 3.2 and works with PC-DMIS CAD ++ software.

Figure 3.2: 3D Measurement, Calibration and Testing Equipment -Leitz



3.1.3. Atomic Force Microscope NT-MDT NanoLaboratory NTEGRA Probe

Atomic Force Microscope - AFM from Russian Federation, technologically implemented and presented in figure 3.3, is used in INCDMTM for the study and analysis of surfaces at micro and nano level. The movement accuracy is at the nanometer level and allows the system to amplify the displacement > 2000 times.

Figure 3.3: AFM Microscope, NTEGRA Probe NanoLaboratory NT – MDT



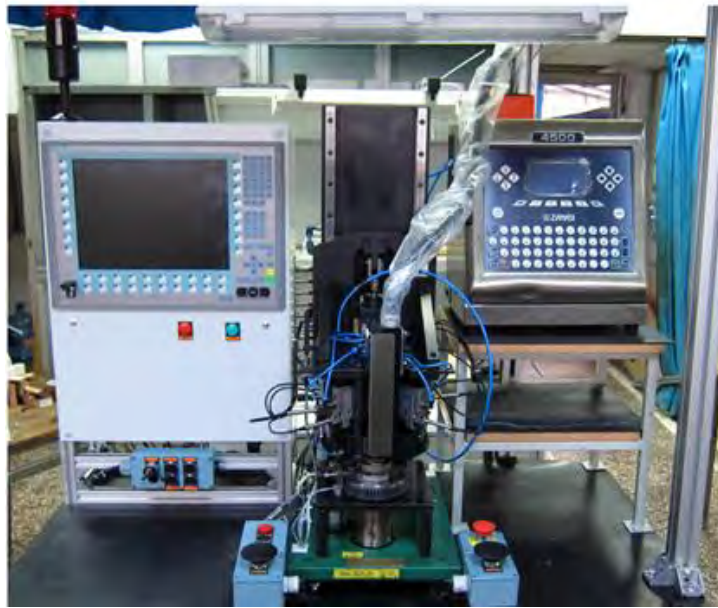
Legend:

- 1 – base unit;
- 2 – measurement head;
- 3 – vibrations isolation system;
- 4 – optical system visualization

3.1.4. Mechatronic geometric control and car drum marking equipment

The equipment is shown in Figure 3.4 and has the measurement accuracy: ± 0.005 mm and the measurement resolution: 0.001 mm.

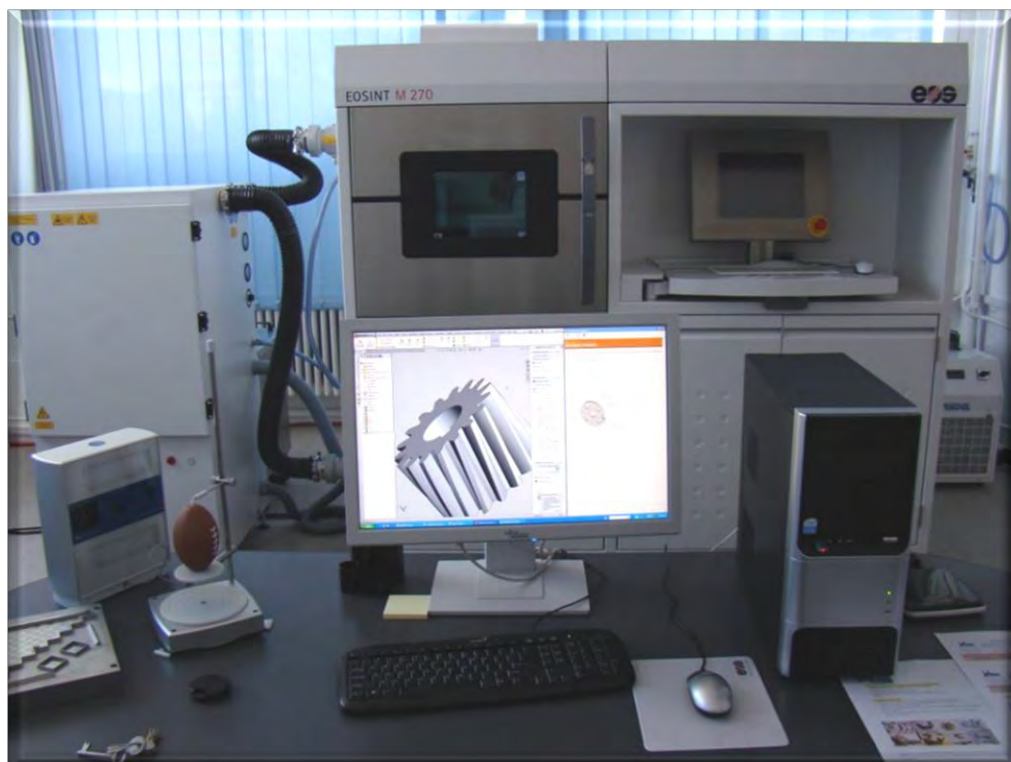
Figure 3.4: Mechatronic geometric control and drum marking equipment



3.1.5 EOSINT 270 M Dual Mode Prototyping equipment

EOSINT 270 M Dual Mode from Germany is an equipment technologically implemented and used in INCDMTM for selective prototyping with lasers using metal powders and is shown in Figure 3.5.

Figure 3.5: EOSINT 270 M Dual Mode Prototyping equipment



Main characteristics are:

- Exposure area: max. 250 x 250 mm
- Exposure height: max. 215 mm
- Exposure speed: max. 7000 mm/s (any type of piece can be made in a few hours; from the moment the command of the part is given to the machine, it no longer requires supervision).
- diameter of laser beam: 100 – 500 micrometers

3.1.6. EOS FORMIGA P110 plastics sintering processing equipment

EOS FORMIGA P110 from Germany is a technologically implemented equipment and used in INCDMTM for selective laser prototyping using powders made of plastic and is shown in Figure 3.6.

Figure 3.6: EOS FORMIGA P110 Prototyping equipment



The main features of the equipment are:

- working volume: minimum 200x200x300 mm;
- working gas: nitrogen from the built-in generator, with connection to the external source of compressed air;
- laser type: CO₂;
- laser power: minimum 30 W;
- optical system: F-theta lenses;
- scanning speed during the process: 5m / s with digital data transfer to the scanner;
- layer thickness: 0.06 ÷ 0.12 mm;

3.1.7. Robotic mechatronic and cyber-mixmechatronic microsystem for high-precision measurements

The microsystem is intended for precise and highly accurate measurement applications in special laboratories (metrological and industrial) according to DIN EN 61010-1, in a very clean environment (clean room). The robotic microsystem is also intended for positioning, adjusting and moving microtasks in 6 axes at different speeds and is shown in Figure 3.7

Figure 3.7: Robotic mechatronic and cyber-mixmechatronic microsystem for high-precision measurements



Figure 3.9 shows the measurement process with the mechatronic and cyber-mixmechatronic robotic microsystem and Table 3.2 shows its main characteristics and properties.

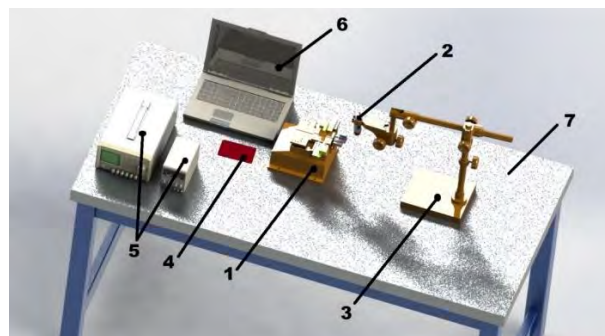
CHAPTER 4: DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A SMART INTEGRATED MECHATRONIC SYSTEM DESIGNED FOR MEMS & NEMS CONSTRUCTIONS USED IN MANUFACTURING PROCESSES AND HIGH-PRECISION MEASUREMENTS

CHAPTER 4 describes the design and realization, in its own conception, of an intelligent integrated mechatronic system designed for MEMS & NEMS constructions. The design and realization of the system has two directions in which parts are tested and analyzed using an arm made of metal powder such as a plastic arm. The tests performed were completed by comparing the results obtained with the two arms.

4.1 Description of the smart integrated mechatronic system designed for MEMS & NEMS constructions used in manufacturing processes and ultra-precise measurements

Analyzing the current state of the art in the field of MEMS and NEMS, the author of this paper designed and developed a smart integrated mechatronic system for MEMS & NEMS constructions used in manufacturing processes and ultra-precise measurements. The structure of the smart integrated mechatronic system for ultra-accurate measurements is shown in Figure 4.1:

Figure 4.1: The structure of the smart integrated system for high-precision measurements



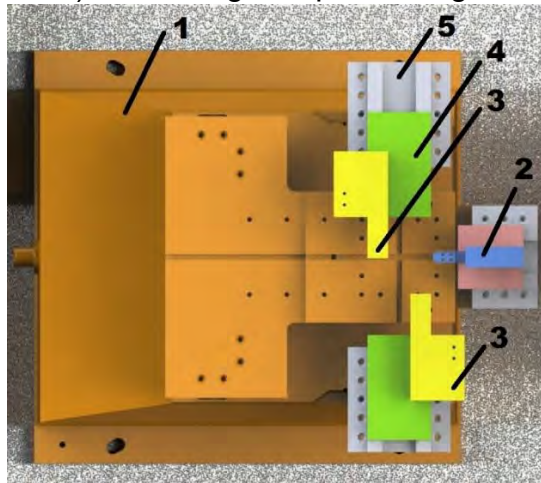
Legend:

- (1) measuring and positioning subassembly
- (2) digital microscope;
- (3) digital microscope support holder;
- (4) electronic board for measuring microrobot control;
- (5) power supplies;
- (6) PC data acquisition and subassembly measurement and positioning control;
- (7) anti-vibration laboratory table.

The purpose of the smart integrated mechatronic system for high-precision measurements is to high-precision measure parts with submillimeter dimensions so

that they can be used in MEMS and NEMS manufacturing processes. In order to be able to observe the measurement process, a digital microscope (part 2 of figure 4.1) is used positioned above the measuring part with the help of the microscope holder (part 3 of figure 4.1). In order to acquire the obtained data, a PC is used (reference 6 from figure 4.1) which stores and analyzes the recorded data but also allows the visualization of the part measurement process through a specialized software installed for the digital microscope. The power supplies (part 5 of Figure 4.1) and the electronic board (part 4 of Figure 4.1) are used to control the measuring microrobots in the measuring and positioning subassembly (part 1 of Figure 4.1). The measuring and positioning subassembly is shown in Figure 4.2.a).

Figure 4.2: a) Measuring and positioning subassembly

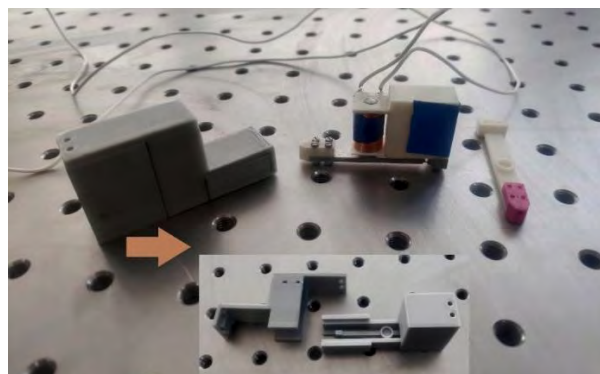


Legend:

- (1) Robotic positioning system HEXAPOD F-206, with 6 degrees of freedom
- (2) Measuring robot with metal arm;
- (3) Measuring robot with plastic arm;
- (4) Upper positioning plate measuring robots;
- (5) Bottom plate for positioning measuring robots

Figure 4.2.b shows the view of the robot with metal arm and plastic arm.

Figure 4.2: b) Real measurement robot view with metal arm and plastic arm

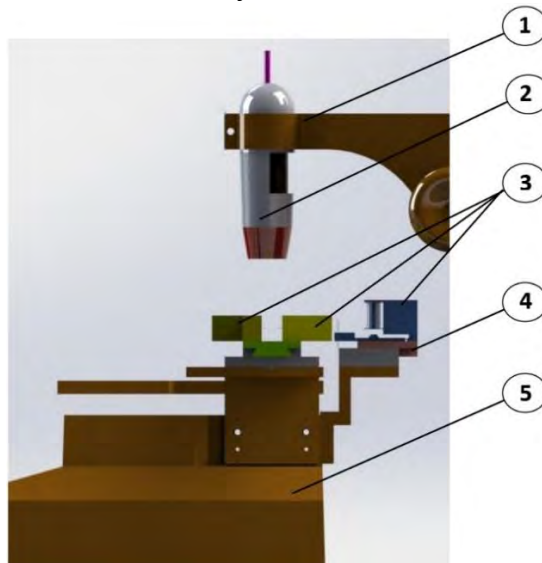


Micro-mechanical subsystem has the following characteristics:

- range of movement: X axis: -8..... + 5,7 mm; Y axis: - 5,7..... + 5,7 mm; Z axis: -6,7..... + 6,7 mm; θ X axis: - 5,7..... + 5,70; θ Y axis: - 6,6..... + 6,60; θ Z axis: - 5,5..... + 5,50;
- actuator resolution: 33 nm;
- minimum increment of displacement X, Y, Z: 0.1 μ m (movement on 6 axes);
- minimum increment of displacement θ X, θ Y, θ Z: 2 μ rad (0.4 sec arc) (movement on 6 axes);
- bidirectional repeatability X, Y, Z: 0.3 μ m; bidirectional repeatability θ X, θ Y, θ Z: 3.6 μ rad;
- speed X, Y, Z: 0.003 10 mm / s;
- maximum load: 2 kg (centered on the mobile platform)
- weight: 5.8 kg
- operating temperature range: -50 ° C ... + 50 ° C.

Figure 4.3 shows the front view of the measuring subassembly and the digital microscope.

Figure 4.3: Front view subassembly of measurement and digital microscope



Legend:

- (1) Support for mounting the digital microscope
- (2) Digital microscope
- (3) Measuring robot with metal and plastic arm
- (4) Robot positioning plate
- (5) hexapod

Micro-robots for measuring with metal arm (reference 2 in figure 4.2) and plastic (reference 3 in figure 4.2.a) slide with the help of the positioning plate (reference 4 in figure 4.2.a) fixed on the hexapod (reference 1 in figure 4.2) with the help of the

fixing plate (part 5 of figure 4.2.a). The positioning is done so that the measuring needle is positioned next to the measuring piece. The robot assembly for measurement - robot positioning system has for each of the 3 assemblies, 2 degrees of freedom (on X, Y and Z).

4.2 Trials and tests carried out in INCDMTM laboratories with the smart integrated mechatronic system designed for MEMS & NEMS used in manufacturing processes and high-precision measurements

Trials and tests were performed for the measuring robot with metal arm and plastic arm. The purpose of the tests was to determine the travel made by the measuring needle in the current range printed on the integrated system.

According to Table 4.1, for the set of 11 measurements a constantly increasing input voltage from 0 to 5 V was applied correlated with an intensity from 0 to 250 mA. The metal arm used in these tests moved, influenced by the applied voltage, from 0 to 215 μm .

Table 4.1: Measurements made by the robot with metal arm

No.	U_{IN} [V]	I_{IN} [mA]	Movement [μm]
0	0,00	0	0
1	0,10	5	13
2	0,60	30	29
3	1,00	50	41
4	1,40	70	62
5	2,00	100	79
6	2,50	125	104
7	3,00	150	123
8	3,40	175	139
9	4,00	200	165
10	4,60	230	184
11	5,00	250	215

According to Table 4.2, for the set of 11 measurements a constantly increasing input voltage from 0 to 5 V was applied correlated with an intensity from 0 to 250 mA. The plastic arm used in these tests moved, influenced by the applied voltage, from 0 to 549 μm .

Table 4.2: Measurements made by the robot with plastic arm

No.	U_{IN} [V]	I_{IN} [mA]	Movement [μm]
0	0,00	0	0
1	0,10	5	34
2	0,60	30	78
3	1,00	50	106

No.	U_{IN} [V]	I_{IN} [mA]	Movement [μ m]
4	1,40	70	159
5	2,00	100	203
6	2,50	125	267
7	3,00	150	316
8	3,40	175	355
9	4,00	200	419
10	4,60	230	468
11	5,00	250	549

According to Table 4.3, for the set of 10 measurements performed on a 0.5 mm hold with the 2 types of arms designed, the results obtained are similar, which shows that although the metal arm has a higher stroke in the gap, the quality of the results obtained in tests is similar. The repeatability obtained by the tests is compliant

Table 4.3: Measurements for the gauge of 0,5 mm

No / measurement	Micro-Robot with metal arm [μ m]	Micro-Robot with plastic arm [μ m]
1	496	500
2	503	496
3	500	496
4	502	498
5	504	503
6	503	505
7	500	505
8	495	497
9	497	500
10	501	502

According to Table 4.4, for the set of 10 measurements performed on a 1 mm hold with the 2 types of designed arms the results obtained are similar, which shows that although the metal arm has a higher stroke in the gap, the quality of the test results is similar.

Table 4.4: Measurements for the gauge of de 1 mm

No / measurement	Micro-Robot with metal arm [μ m]	Micro-Robot with plastic arm [μ m]
1	1008	998
2	1002	1000
3	1001	1005
4	998	1004
5	996	996
6	997	998
7	997	1000
8	1000	999
9	1001	1004
10	1000	1002

Figure 4.13 shows graphically the movement of the arms made of metal and plastic in tests to measure a path of 1 mm. It can be seen that the range obtained in

the tests is between 996 μm and 1008 μm for the metal arm and 996 μm and 1005 μm for the plastic arm.

In conclusion, for a voltage between 0 V and 5 V the measuring robots with metal and plastic arm move linearly with the mention that the range is longer for the robot with plastic arm.

4.3 Original analysis and interpretation regarding the microgeometry topography of the structures surfaces for the measured parts

The characterization of the surfaces of the structures of the metal parts used for the measurements was performed with the help of the atomic force microscope (AFM) in the MEMS & NEMS Mechatronics Laboratory from INCDMTM Bucharest. The microscope is of the NTEGRA Probe NanoLaboratory NT - MDT type, and is presented in figure 3.3.

The NTEGRA type microscope was integrated in the whole integrated system designed to perform the analysis of specific topographic parameters.

Following the scanning of $50 \times 50 \mu\text{m}$ surfaces, different topographic parameters could be analyzed (roughness, surface asymmetry, flattening coefficient), which provide information related to the surface quality of the measured part. In this way it was possible to characterize in detail the structure of the surfaces.

The determined topographic parameters (roughness R_a , maximum height h_{max} , height in 10 points R_z , asymmetry of the surface S_{sk} , flattening coefficient S_{ka}) following the AFM study provide information related to the analyzed surfaces.

The asymmetry index R_{sk} evaluates the degree of asymmetry of a distribution and characterizes, together with the flattening index S_{ka} , the shape of the distribution (illustrated as a histogram). The S_{sk} asymmetry index is negative or positive as the survey distribution is asymmetric to the left or to the right, respectively. A symmetrical distribution, such as the normal distribution, has zero asymmetry.

The flattening coefficient S_{ka} is part of the indices of appreciation of the shape of a distribution. A high flattening index shows a distribution with large “tails” (far from average categories are present), while a low flattening index shows a distribution in which fewer far from average categories are present. In the case of a distribution close to the normal distribution, the flattening coefficient is around 3. Based on this result, the excess E is defined as the difference between the flattening coefficient and three.

For $E > 0$, the distribution is called leptokurtic (the height of the curve is higher compared to normal), and for $E < 0$, it is called platykurtic (the curve is flattened). If $E = 0$, the distribution is mesokurtic. Excessively large data sets tend to have a distinct peak near the mean. Low excess data sets tend to have a flat maximum near the average rather than a sharp peak. A uniform distribution would be the extreme case.

In the synthesis of the experimental laboratory researches, in table 4.5 are presented the values of the main topographic parameters determined experimentally and their calculated average value for the measured part.

Table 4.5: The average of the selected parameters for 3 measured areas

Analyzed zone	R_a (nm)	h_{max} (nm)	S_{sk}	S_{ka}
Zona 1	99,95	358,25	0,21	-1,44
Zona 2	55,87	288,82	-0,27	-0,84
Zona 3	46,87	305,48	0,66	-0,01
Average calculated value	67,56	317,52	0,20	-0,76

CHAPTER 5 DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A 4D MECHATRONIC SYSTEM USED IN INDUSTRIAL AND METROLOGICAL PROCESSES OF MEASUREMENT AND INTEGRATED CONTROL -MMI4D

CHAPTER 5 describes the main realization of this doctoral thesis, namely the MMI4D smart mechatronic system. The hardware and software subsystems are presented successively. The procedures for using the system are described, including the procedures for connecting and accessing the operating menu via a private virtual network.

5.1. MMI4D System overview

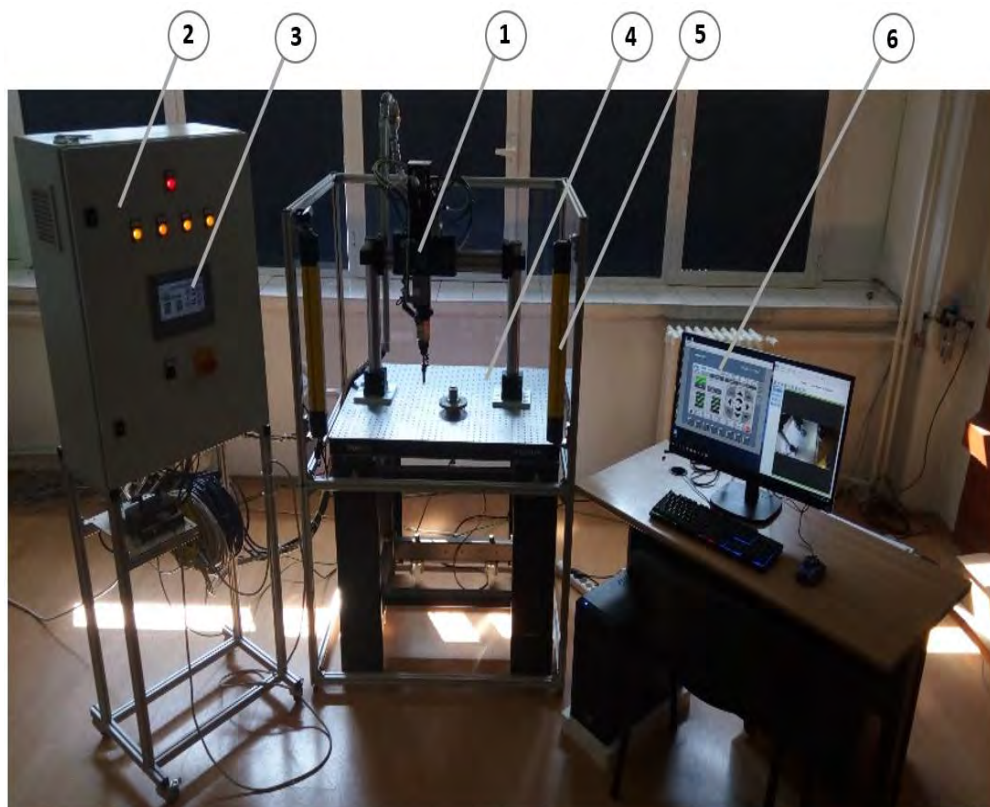
MMI4D is originally designed and made by the author of this paper based on the research contract PN 16 21 02 01/2016: Research on the design and implementation of mechatronic and adaptronic and cyber-mechatronic and cyber-adaptronic virtual and physical models for laboratory and industry, for measurements and applications in metrological and industrial processes.

From the structure of the presented Platform, the author of this paper dealt in the research of the INCDMTM team with the conception, design and realization in

original solutions of the smart mechatronic microsystem in 4D for measurements and applications in metrological and industrial processes - MMI4D (figure 5.1).

MMI4D consists of 3 linear electrical systems (X, Y, Z) and a rotation system (R) installed on the linear electrical system Z, which increases the capacity of the microsystem, and which allows further expansion of technical and technological services by connecting equipment profile, gripping, measuring probe, and other smart equipment required for integration into cyber-mix-electronic assemblies for remote control, remote measurement, remote monitoring and remote configuration.

Figura 5.1: Smart 4D mechatronic microsystem used in metrological processes of integrated measurement and control - real view



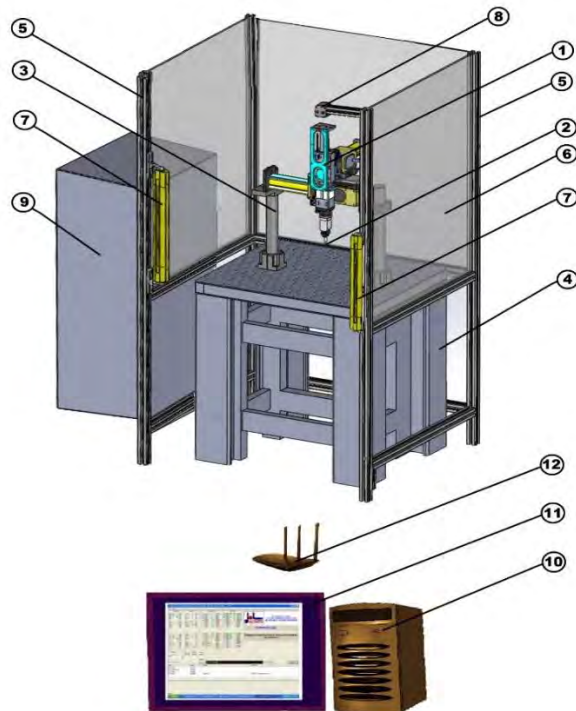
Legend:

- | | | |
|-------------------------------|---------------------------------|--|
| 1- 4D mechatronic system; | 3- HMI display; | 5- sensoristic barriers |
| 2- command and control panel; | 4- anti-vibration table system; | 6- PC display for remote monitoring and remote control |

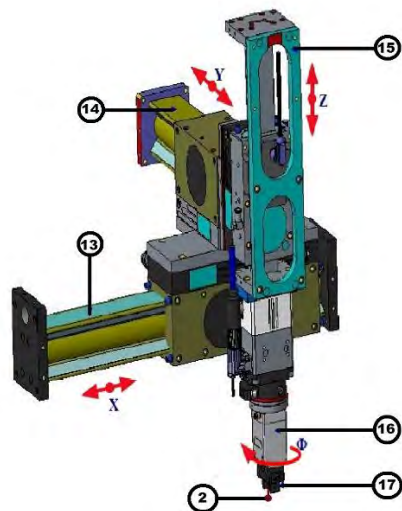
Figure 5.1 shows the physically made MMI4D equipment, the components being highlighted in Figure 5.2. showing the design of MMI4D equipment in the SolidWorks program.

The MMI4D system, as designed in the SolidWorks program, is shown in Figure 5.2.

Figure 5.2: MMI4D designed in SolidWorks program



a) MMI4D construction



b) 4D linear and rotating electrical assembly - 4D mechatronic system

Legend:

- 1- mechatronic system in 4D;
- 2- highly precise 3D Probe;
- 3- adjustable positioning system;
- 4- anti-vibration table system;
- 5- frame for protection;
- 6- protective walls made of transparent plastic;
- 7- sensory barriers;
- 8- IP camera;
- 9- command and control panel;
- 10- PC central unit;
- 11- PC monitor;
- 12- router;
- 13- linear electric system X;
- 14- linear electric system Y;
- 15- linear electric system Z;
- 16- electrical rotation system R;
- 17- parallel electric gripper system

The construction of MMI4D is shown in figure 5.2 position a, and the 4 linear and rotating electrical systems, together with the parallel gripping device are shown in figure 5.2 position b. According to figure 5.2 MMI4D contains:

- **mechatronic system in 4 coordinates XYZR** (1) which allows the direct positioning, with precision, of the parts to be tested, analyzed and measured;
- **Ultra-precise 3D probe** (2) for measuring and controlling small and medium-

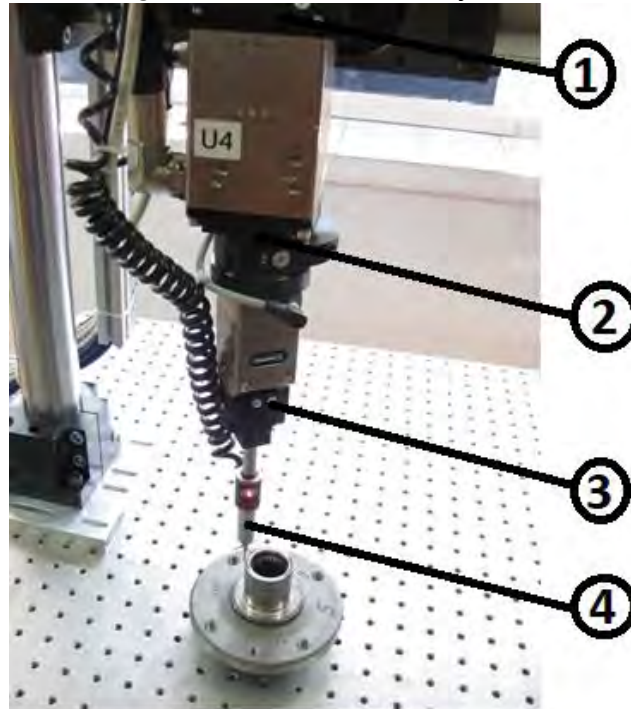
sized industrial parts. The integration of the 3D probe is done by positioning and technological fixation in the parallel gripper (17);

- **adjustable system** (3) for the precise positioning, in the desired position, of the mechatronic subsystem in 4D XYZR (1);
- **anti-vibration table subsystem** (4) with self-leveling mechanism in horizontal plane, to ensure the accuracy of positioning and measurement of the parts to be controlled;
- **integrable frame** (5) for the protection of the positioning and measuring process in the workspace;
- **transparent plastic protective walls** (6) to secure the positioning and measurement process in the workspace;
- **sensoristic barriers** (7) installed on the integrated frame (5) to secure the positioning and measuring process in the workspace;
- **IP camera** (8), destined to visualize the mechatronic subsystem in 4 XYZR remote coordinates (1) for remote control and remote monitoring;
- **command and control module** (9) made of special electronic components: **controllers** for the mechatronic - mixmechatronic subsystem in 4 coordinates XYZR (1); **programmable controllers - PLC, communication modem, GPRS 4G, power supply** etc.;
- **PC central unit** (10) for **software, MMI4D command, IP camera command** (8) etc.;
- **PC display** (11) for **display software and running programs** required for the measurement and positioning process;
- **router** (12) for connecting to **cyberspace**;
- **electric system X** (13) made in a structure defined by the nominal stroke of **200 mm**;
- **electric system Y** (14) made in a structure defined by the nominal stroke of **100 mm**;
- **electric system Z** (15) made in a structure defined by the nominal stroke of **100 mm**;
- **electric rotation system R** (16) with dedicated controller and positioned at the end of the power axis Z (15);
- **electric parallel gripper system** (17) is made for handling and positioning

small and miniaturized parts and for holding / fixing highly-precise 3D probe (2).

For an overview, figure 5.3 shows the subassembly consisting of the linear electrical system Z axis, rotary electrical system R, parallel gripper and highly-precise 3D feeler.

Figure 5.3: MMI4D Subsystem



Legend: 1-Linear electrical system Z; 2-Electric rotation system R; 3- Electric gripper electric system; 4- highly-precise 3D probe

The subassembly shown in figure 5.18 ensures the movement of the MMI4D system on the Z axis but also the rotation of the gripper installed on the Z axis and of the 3D probe.

5.2. Hardware component

The PLC model used in this project is S7-1512C-1PN, which is part of the family of compact processors and is shown in Figure 5.4. Compact CPUs can be used for smaller or medium applications and have integrated input / output modules for analog and digital signals, as well as integrated technological functions.

The processor used is installed in the command-and-control panel and has the role of processing the information received from the control elements of the X, Y, Z and R axes, the gripper and the signals received from the 3D high-precision probe. These signals transposed in the application designed by the thesis author for the MMI4D system.

Figure 5.4: PLC: S7-1512C-1PN



Source: <https://mall.industry.siemens.com/>

The screen used is installed on the main side of the command-and-control panel and is accessible to the operator for use during the work process. The main role of the screen is to access the MMI4D system and to activate and touch control the X, Y, Z, R axes and the gripper for the work process and the application used.

Secomea SiteManager are robust aluminum devices designed to industrial specifications. They support all the features needed to function as secure access gateways for industrial installations - from small machines to complete production lines and entire factories.

IndraDrive CS (HCS01) compact converters cover the lower power range of the power field. They combine power and control units into a single unit and offer Ethernet communications, a multi-encoder interface and integrated Security technology.

Internationally recognized interfaces are available for communication with top control systems: Sercos, PROFIBUS, Multi-Ethernet (Sercos, PROFINET IO, Ethernet / IP, EtherCAT), CANopen, DeviceNet, analog and parallel. The role of converters is to control the X, Y, Z and R axes by converting their movements into signals, movements visualized through the above-mentioned screen.

5.3. Software component

The full integrated automation portal offers unlimited access to the full range of digital automation services, from digital planning and integrated engineering to seamless operation.

It offers many programming languages such as LAD, FBD, SCL, STL and SFC so that the programmer can use the language with which he feels most comfortable, and in the same time can be able to use them as needed.

SIMATIC WinCC is a control and data acquisition system (SCADA) and human-

machine interface (HMI) from Siemens. SCADA systems are used to monitor and control the physical processes involved in industry and infrastructure on a large scale and over long distances.

5.4. Command and control panel

The MMI4D system consists of the command-and-control panel shown in Figure 5.5 which includes the software components abovementioned.

On the right-side side of the command-and-control panel is the general switch for powering the cabinet. It has two possible positions, ON and OFF. In ON position of the command-and-control panel it will be supplied with voltage.

On the front of the command-and-control panel are several status lamps with two switches.

At the top side there is a red lamp that detects the presence or lack of voltage in the control cabinet.

There are 4 more yellow lamps, one for each axis that indicates the status. Thus, if the lamp is lit continuously means that the shaft is activated and ready for operation. If the lamp is flashing it means that the axis is moving. If the lamp is off, the axis is not active.

The **Reset** switch also includes a system-wide status lamp. Thus, if the system is completely turned off, this lamp will flash. To restart the system, it is necessary to press the **Reset** button, which will also turn off the lamp.

Figura 5.5: Panoul de comandă și control

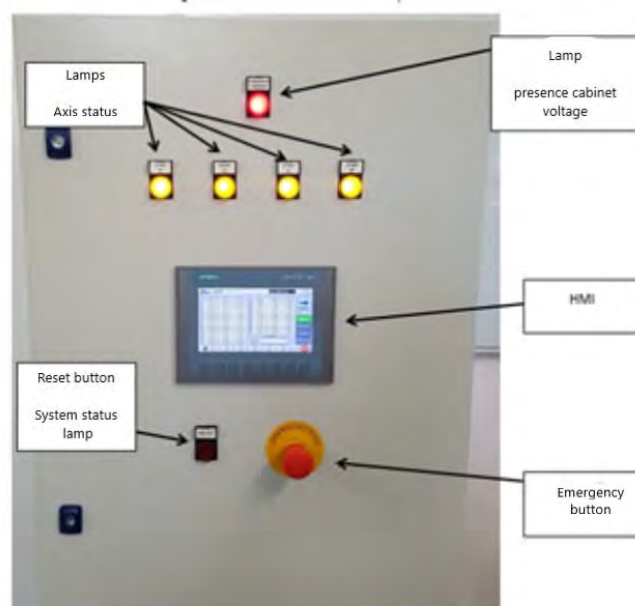
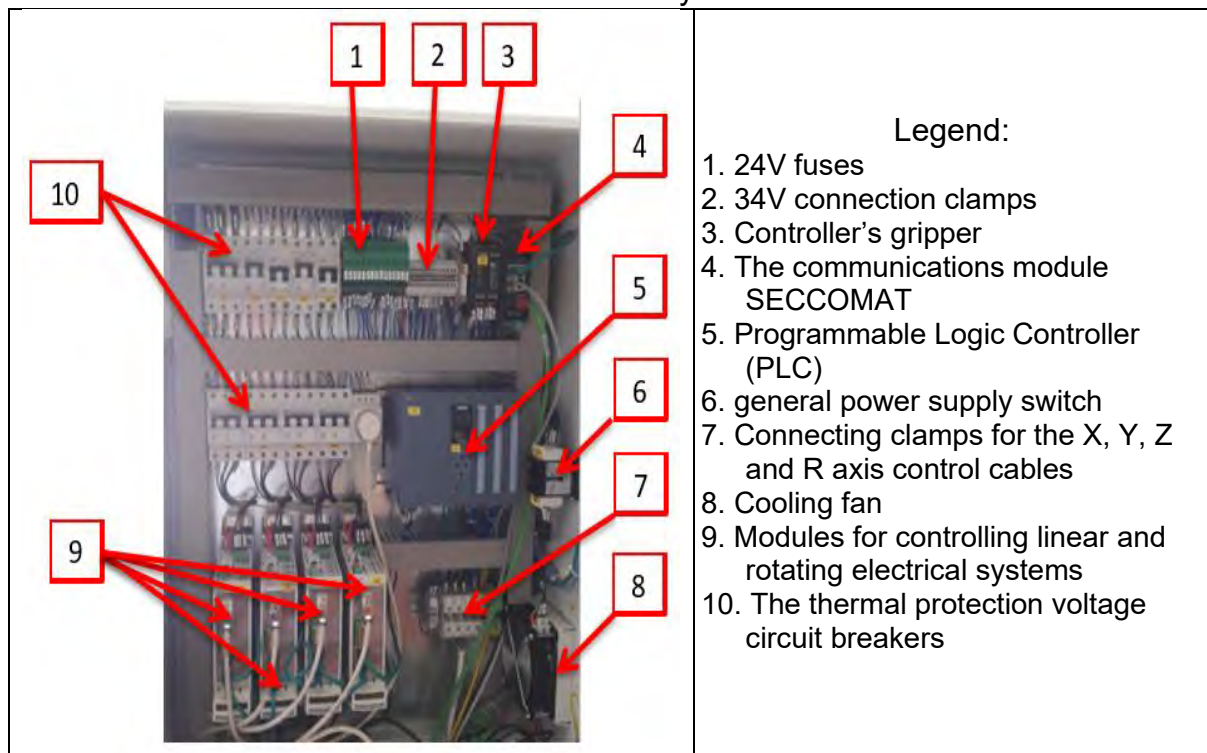


Figure 5.6: The command and control panel, with the included software component, of the MMI4D system



MMI4D System is controlled through **touch screen HMI display** (fig. 5.7 a) with **innovative high-resolution displayers with 64 000 colors** (fig. 5.7 b). **USB Interface** allows connecting a **keyboard**, a **mouse** or a **scanner** of barcodes and allows a **simple storage** of data on an USB flash drive.

Figure 5.7: HMI display



a- HMI display installed on the command-and-control panel

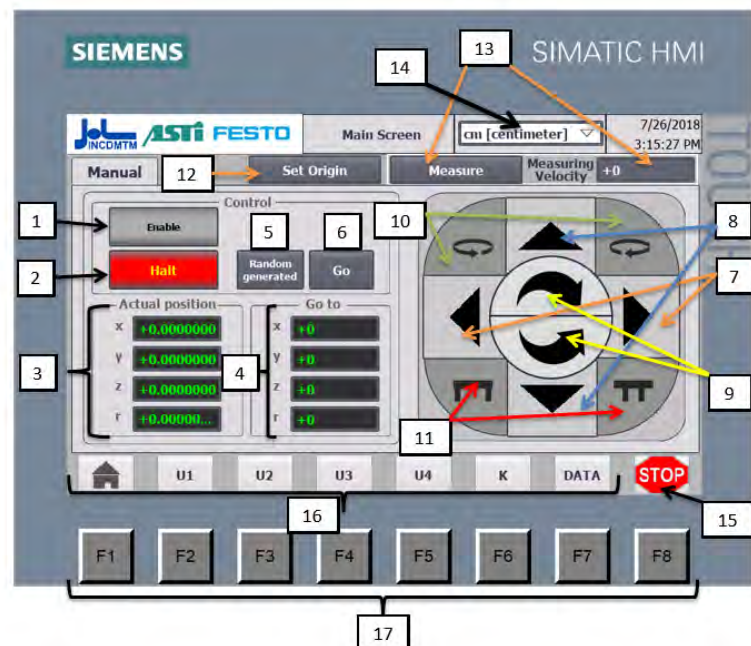


b- HMI display for command and control of the MMI4D system

By using the touch screen display placed on the command or control panel or

projected on the display of the PC unit (fig. 5.7), the MMI4D system can be controlled and set. Figure 5.8 shows the main switches used in MMI4D

Figure 5.8: MMI4D system command and control panel



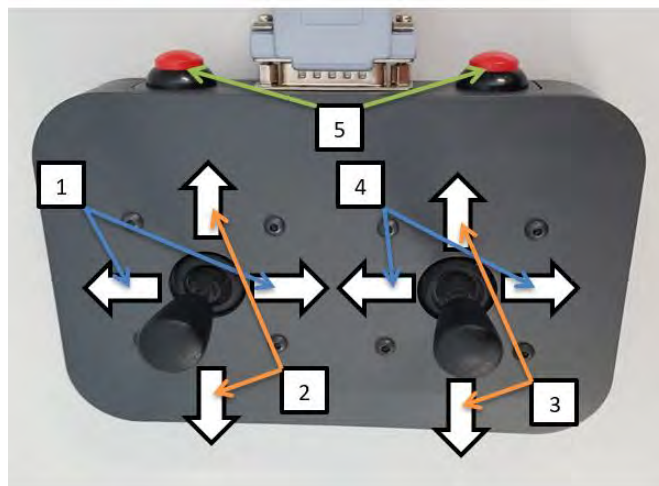
According to figure number 5.8 we have the following description of the switches:

1. The **Enable** switch has the function of activating all the axes and setting them in the "ready" state. When pressed, it will change color to green, a sign that all axes are activated. To deactivate all axes, press this switch again;
2. The **Halt** switch is used to stop all axes from moving. If this switch is pressed, it will flash red. Pressing the switch releases the axes and they can be set in motion;
3. In this section the current positions of the axes in their coordinate system will be displayed. The values can be displayed in the following units of measurement: centimeter, millimeter or micrometer;
4. Certain positions can be entered in these fields where the axis system is to be positioned;
5. The **Random generated** switch is used to generate random positions in which to move the axis system;
6. The **Go** switch moves the axes to the positions specified in point 4;
7. The two switches move the system on the **X** axis;
8. These switches move the system on the **Y** axis;
9. Using these switches, the system can be moved on the **Z** axis;

10. With the help of these switches rotations can be made on the **R** axis;
11. Closing and opening the gripper can be done with these two switches;
12. If you want to measure an object, set the origin of this object will be done using the **Set Origin** button. The coordinates of the axes will remain the same, but the measured coordinates will be reported at the point of origin;
13. In this section you can start / stop the measurement process and also set a measurement speed between 0 and 250,000 tenths of a micron. Outside of this speed, the measurement will suffer drastically;
14. From this field you can select the unit of measurement for displaying current positions, but also for measuring objects;
15. The **STOP** button deactivates the axes and the gripper completely;
16. With these graphic switches you can navigate between the pages of the HMI screen;
17. These physical switches have the same role as the switches at number 16 plus the **STOP** button function.

A joystick can also be used to control the MMI4D system, as shown in Figure 5.9.

Figure 5.9: Joystick used to control the MMI4D system



Legend:

1. U1 Axis control
2. U2 Axis control
3. U3 Axis control
4. U4 Axis control
5. Gripper control

5.5. Data acquisition and file deletion

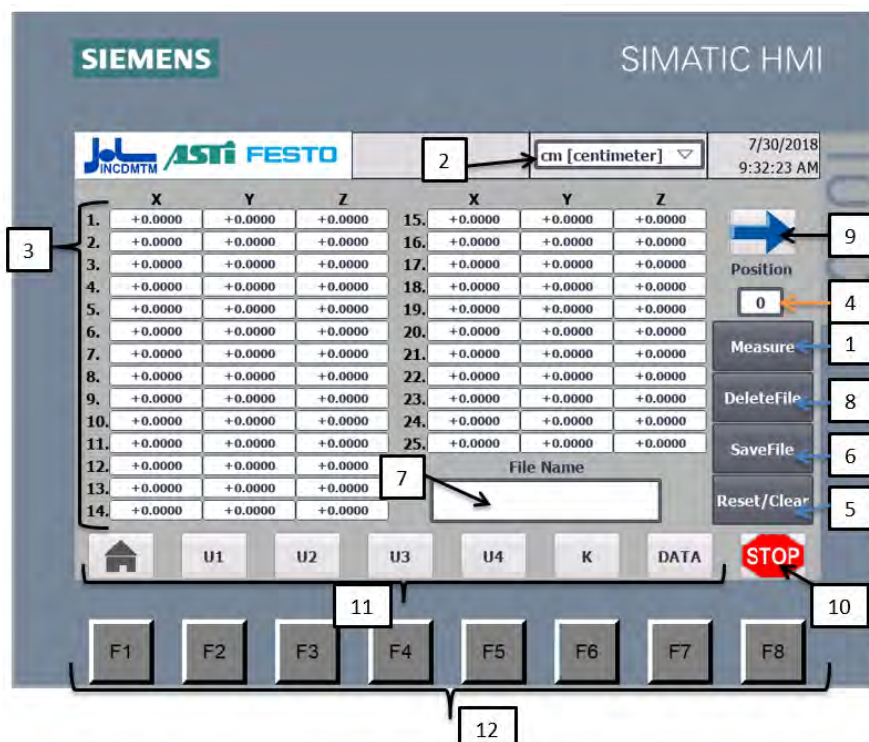
DATA ACQUISITION is presented, as a working procedure, below:

❖ Measuring coordinates

The display for measuring coordinates is shown in Figure 5.10:

1. Start / Stop measurement.
2. Setting the unit of measurement to be measured.
3. Measured coordinates.
4. Measurement number.
5. Deleting measurements and reset to initial settings.
6. Save the data in files in the PLC memory.
7. The name of the file in which the measured data will be saved.
8. Delete the data file from the PLC memory.
9. Navigating to the second data screen, this being identical to the one above, the only difference being the measurement index.
10. The **STOP** button deactivates the axes.
11. With these graphic switches you can navigate between the pages of the HMI.
12. These physical switches have the same role as the buttons at number 16 plus the **STOP** button function.

Figure 5.10 Coordinate measurement with the MMI4D system



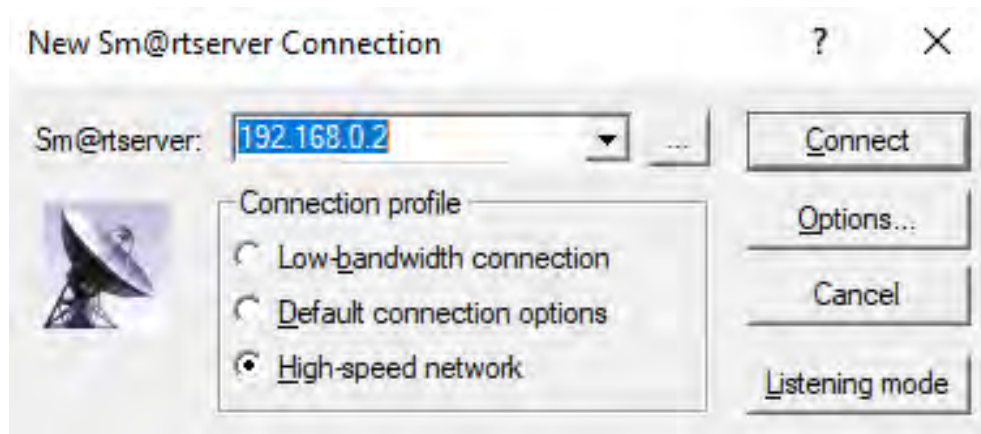
❖ REMOTE Connection

To perform the remote-control and remote-command function, the PC Unit of the MMI4D system connects to the internet, then the user connects to the interface provided by LinkManager to make the VPN (Virtual Private Network) connection. Through the SmartClient application installed on the PC unit, it is connected to the MMI4D system, thus visualizing the HMI touch screen installed on the command-and-control panel.

The connection with the HMI will be made differently:

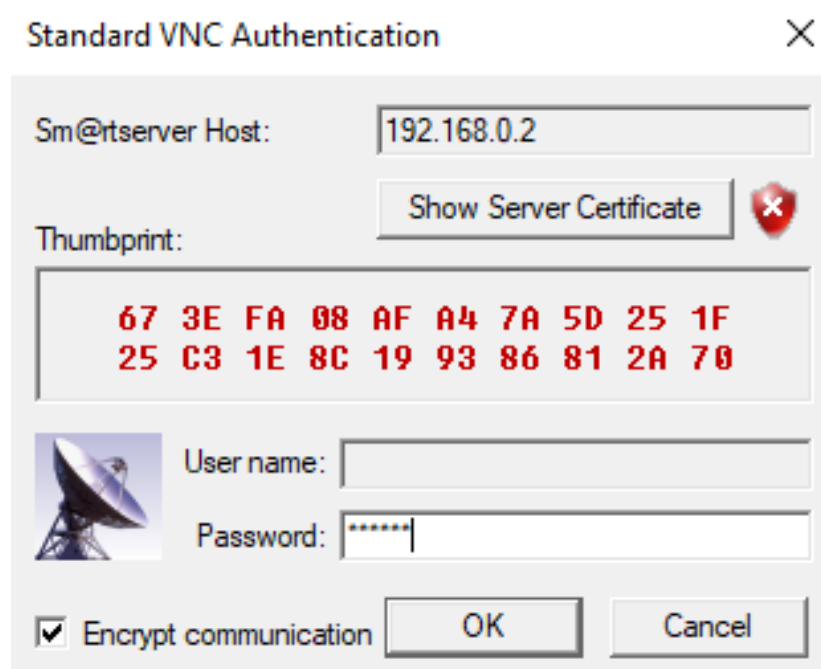
1. The Sm rtClient software application offered by Siemens opens.
2. Enter the HMI IP: 192.168.0.2

Figure 5.11: Enter IP to make the connection



3. Enter password

Figure 5.12: Enter password



4. Now we can visualize the graphical interface of the HMI and we can control the axis system.

Figure 5.13: center panel view



CHAPTER 6 EXPERIMENTAL RESEARCHES FOR THE MECHATRONIC SMART MEASUREMENT SYSTEM MMI4D ON ITS METROLOGICAL VALIDATION AND INDUSTRIAL IMPLEMENTATION IN SMART MEASUREMENT AND CONTROL PROCESSES

CHAPTER 6 is dedicated to experimental research for the mechatronic smart measurement system MMI4D on its metrological validation for smart measurement and control processes. The calculations presented in Chapter 6 according with protocols attached to this PhD thesis are completed by metrological validation of the MMI4D mechatronic system for industrial implementation.

For the **metrological validation** of this MMI4D mechatronic system, the **Metrological Flowchart for metrological validation** is built, as follows:

6.1. Measurements of standard parts / standards

The measurements were performed in the RENAR certified metrological laboratory for lengths, from the National Institute for Research-Development in Mechatronics and Measurement Technique, for measurement characteristics of standard dimensions of 1, 5, 10, 20, 50, 150 mm by means of the measuring machine equipment in 3D coordinates, type Leitz from Germany, with a resolution of 0.0001 mm and the mechatronic system MMI4D.

Measurements made with a gauge (1mm, 5mm, 10mm, 20mm, 50mm and 150 mm) within the metrological protocol of high-precision tests and measurements, for 10 measurements related to each of the mentioned standards, by means of the 3D-Leitz measuring machine, ensuring metrological values of repeatability as follows:

- (a) for standard gauge of 1mm: between 0,0003÷0,0004 mm;
- (b) for standard gauge of 5mm: between 0,0004÷0,0006 mm;
- (c) for standard gauge of 10mm: between 0,0004÷0,0006 mm;
- (d) for standard gauge of 20mm: between 0,0004÷0,0007 mm;
- (e) for standard gauge of 50mm: between 0,0005÷0,0007 mm;
- (f) for standard gauge of 150mm: between 0,0005÷0,0008 mm;

The following were performed: Repeatability of the standard measurement, Determination of the calculated average value; Determining the variation of repeatability, through the mathematical relation; Determination of the measurement uncertainty, through the mathematical relation; Determination of the metrological decision.

6.2. Measurements of industrially machined parts

The following were performed: Repeatability of the measurement with parts on the MMI4D system; Determination of calculated average value; Determining the Repeatability Variation; Determination of measurement uncertainty; Determination of the metrological decision.

6.3. Parts measurements on the MMI4D mechatronic system

All the measurements characteristic to the 10 industrial parts for 10 measurements corresponding to the 10 parts, determined on the 4D mechatronic system, compared to those on the certified mechatronic equipment, were, as an example:

- (a) Parts measurements (1mm): from 1,00030 mm to 1,00061 mm;

- (b) Parts measurements (5mm): from 5,00056 mm to 5,00061 mm;
- (c) Parts measurements (10mm): from 10,00050 mm to 10,00060 mm;
- (d) Parts measurements (20mm): from 20,00056 mm to 20,00066 mm;
- (e) Parts measurements (50mm): from 50,00066 mm to 50,00070 mm;
- (f) Parts measurements (150mm): from 150,00061 mm to 150,00084 mm;

From the analysis of these metrological results obtained as well as the annexes from the thesis, it results that the 4D mechatronic system is METROLOGICALLY VALIDATED.

6.4. Determination of Metrological Values for the MMI4D Mechatronic System

The determined metrological values were performed on standard metrological installations from the Metrological Laboratory for Lengths (measuring machine in 3D Leitz-Germany type coordinates, with an accuracy of 0.000001 mm) from the National Institute of Research-Development for Mechatronics and Measurement Technique.

The following were achieved: Metrological values; Determining the error of accuracy; Determination of Repeatability Uncertainty; Determination of the Global Metrological Variation for the MMI4D Mechatronic System; Determination of the global metrological standard deviation of the MMI4D mechatronic system; Determination of Repeatability Variation for Standard; Determination of the standard repeatability standard deviation; Determination of the global metrological measurement uncertainty; Determining the Metrological Validation of the MMI4D mechatronic system; Metrological validation of the MMI4D mechatronic system.

In conclusion, considering all the protocols presented and prepared as a result of the experimental research carried out in the metrologically certified laboratories of the National Institute for Research-Development in Mechatronics and Measurement Technique in Bucharest, in compliance with this Metrological Flowchart, it resulted that the Smart Mechatronic System is Metrologically Validated to be used in smart measurement and control processes in the car manufacturing industry and for the automotive industry in Romania.

Chapter 7. FINAL CONSIDERATIONS

MEMS and NEMS have experienced accelerated development in recent years, especially due to their ability to capitalize on the potential offered by technologies and applications specific to the fourth industrial revolution but also by the new concept called Industry 4.0.

The frequency with which new requests arise for the development of new smart manufacturing processes and high-precision measurements, in the micro and nano field, facilitates the discovery and development of a diversified range of solutions and principles. The systems developed in this PhD thesis are designed for high-precision measurements in manufacturing processes, which reinforce the importance of the micro and nano concept in the studied field.

7.1. Obtained results

The research carried out within the doctoral topic aimed at identifying and constructing solutions and principles used in the field of MEMS and NEMS assimilated in manufacturing processes and high-precision measurements. The next step was the outlook, design and realize mechatronic subsystems and systems that can be integrated into high-precision manufacturing and measurement processes. In this sense, 7 chapters were realized and present the activity carried out by the author of the thesis to achieve the proposed objective.

The paper ends with Chapter 7 which summarizes the main results obtained, with the original contributions made by the author of the thesis and mentions the existing possibilities for the development of the results obtained and presented in Chapters 4 and 5.

7.2. Original contributions

The results presented during this paper, in particular chapters 4, 5 and 6, are based on original contributions by the author. The identification of the solutions presented in the three chapters mentioned above are substantiated by the studies carried out in chapters 1, 2 and 3. An important role is played by the systems consisting of MEMS and NEMS elements but also their integration in robots and robots used in high-precision manufacturing and measurements. The results presented in this paper

are supported by scientific publications, technical books and applications or patents that are mentioned in this chapter.

The author's original contributions are:

- Nomination of the topic chosen by the thesis, in the category of important ones by placing it in the current context of technological development;
- Syntheses from the literature on: integrated circuits, LIGA technology, mechanical microfabrication and microforming techniques and Industry 4.0, including the Internet of Things, and collaborative robots;
- Conception, design and realization of an smart integrated mechatronic system designed for MEMS & NEMS constructions used in ultra-precise measurement processes:
- Conception, design and realization of an intelligent mechatronic system in 4D - MMI4D- [121] used in industrial and metrological processes of integrated measurement and control
- Realization of the procedure for accessing the linear axes, the axis of rotation and the equipment for handling the parts;
- Realization of the possibility to manipulate the MMI4D mechatronic system through the control panel, a joystick;
- Carrying out the procedure that ensures the telemonitoring and remote control of MMI4D by using a private virtual connection;
- Carrying out the measurement procedure, acquisition of measured data, saving of quotas;
- Metrological flow chart was designed and applied for metrological validation of the MMI4D mechatronic system

7.3. List of original works

- **Articles published in ISI journals**

1. Gheorghe I. Gheorghe, Constantin Anghel, and **Ilie Iulian**, „Original and scientific contributions to cyber – mecatronics systems development for industrial, economical and societal environments”, of the 12-th edition of the International Conference on Aerospace, Robotics, Mechatronics, Mechanical

- Engineering, Manufacturing systems, Neurorehabilitation and Bioengineering, OPTIROB 2017, factor 0,15;
2. Gheorghe I. Gheorghe, Anghel Constantin, **Ilie Iulian**, „Mechatronics and Cyber-Mechatronics in intelligent Applications from industry and society”, International Conference OPTIROB 2016, Jupiter, Romania, Applied Mechanics and Materials, Vol.841; factor 0,15;
 3. Gheorghe I. Gheorghe, **Iulian ILIE**, Anghel C-tin „Scientific evolution from Mix-Integrating Mechatronics to Cyber-Intelligent Mechatronics and to Claytronics Science”, International Conference OPTIROB 2016, 29 iunie – 2 iulie 2016, Jupiter, Romania, Applied Mechanics and Materials, Vol.841, cotata ISI; factor impact: 0,15;
 4. Gheorghe I. Gheorghe, **Ilie Iulian**, Gornoavă Valentin „Adaptronic engineering used in the construction of intelligent mechatronic equipment and systems for the automotive industry”, International Conference OPTIROB 2015, Jupiter, Romania, p-ISSN: 1660-9336 e-ISSN: 1662-7482; factor 0,15;
 - **Articole publicate in reviste si volume ale conferintelor BDI**
 5. **Iulian Ilie**, Gh. Ion Gheorghe Intelligent 4D mechatronic microsystem used in metrological measurement and integrated control processes, The Scientific Bulletin of VALAHIA University MATERIALS and MECHANICS, 2018 –Vol. 16, No. 15
 6. Gheorghe Gheorghe, Constantin Anghel, and **Ilie Iulian**, Original and Scientific Contributions to Cyber–Mechatronics Systems Development for Industrial, Economical and Societal Environments”, DOI: 10.7763/IJMO.2017.V7.590, International Journal of Modeling and Optimization, Vol. 7, No. 4, August 2017, indexata Proquest, INSPEC;
 7. Gh. Ion Gheorghe, Constantin Anghel, **Iulian Ilie** - New cyber-mixmechatronic concept for the realization of smart cybernetic systems with applications in the industry, economy and society, The Scientific Bulletin of VALAHIA University – MATERIALS and MECHANICS – No. 11, revista indexata BDI (INDEX COPERNICUS INTERNATIONAL), pg. 47-58
 8. Gh. Ion Gheorghe, **Iulian Ilie**, Mechatronics, Integronics & Adaptronics, excellence in the field of intelligent specialization, The Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Mechatronics, nr.47, cotată B+ în Scopus, EBSCO si Proquest, ISSN: 1584-5982 (pentru print), ISSN: 2247-8418 (pentru

- online), pg. 17-22
9. **Iulian Ilie**, Analysis of sustainable development in production fields from Romania, The Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Mechatronics, nr.47, cotată B+ în EBSCO și Scopus, ISSN: 1584-5982 (pentru print), ISSN: 2247-8418 (pentru online), pg. 91-94
 10. **Iulian Ilie**, Gh. Ion Gheorghe New MEMS & NEMS solutions for intelligent mechatronics microsystems used for ultraprecise measurements, Al XIII-lea Simpozion Național de Mecatronica și Inginerie Mecanică, Microtehnologii și Materiale Noi – MIM-MMN, revista indexată BDI (INDEX COPERNICUS INTERNATIONAL), 26 iunie 2015, Targoviste, Romania
 11. Gh. Ion Gheorghe, **Iulian Ilie**, Simona Istrițeanu Intelligent Micro-Nano-Fabrication, The Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Mechatronics, nr.46, cotată B+ în EBSCO și Scopus, ISSN 1584-5982, 2014, Romania
 12. Gh. Ion Gheorghe, **Iulian Ilie**, Simona Istrițeanu, Valentina Bajenaru Research In Micro-Nano-Robotics, The Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Mechatronics, nr.46, cotată B+ în Scopus, EBSCO si Proquest, ISSN 1584-5982, 2014, Romania pp 83-89
 13. Gh. Ion Gheorghe, **Iulian Ilie**, Simona Istrițeanu Aspects And Theory Regarding Nonlinearity Effects On Static And Dynamics Performance Of Mems, The Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Mechatronics, nr.46, cotată B+ în Scopus, EBSCO si Proquest, ISSN 1584-5982, 2014, pp. 97-103 Romania
 14. **Iulian Ilie**, Gh. Ion Gheorghe Role of Technological Transfer for MEMS & NEMS in intelligent manufacturing process, The Romanian Review Precision Mechanics, Optics & Mechatronics, nr.45, cotată B+ în Scopus, EBSCO si Proquest, ISSN: 1584-5982 (pentru print), ISSN: 2247-8418 (pentru online), 2014, pg. 175-178
 15. **Iulian Ilie**, Gh. Ion Gheorghe Design and contruction of a mechatronic system with photoelectric incremental transducer for high precision mini-dimensional measurement, The Scientific Bulletin of VALAHIA University - MATERIALS and MECHANICS, revista indexată BDI (INDEX COPERNICUS INTERNATIONAL), ISSN: 1844-1076, 2014, pg. 143-146

- **Papers presented at international conferences**

16. **Ilie Iulian**, Some issues regarding the innovation process in romania «6th International Conference on Innovations, Recent Trends and Challenges in Mechatronics, Mechanical Engineering and New High-Tech Products Development MECAHITECH'14», București, România, 04-05 Septembrie 2014

- **Published books**

17. Sisteme Inteligente, Tehnologii Inovative, Roboți, Arhitecturi Industriale, Tehnici&Materiale Noi, Elemente&Componente Electronice, Generația 5 în Comunicație (5G), Internet of Things (IoT) și Inteligența Artificială (IA) pentru Industria Inteligentă din România, Gheorghe Ion Gheorghe, Simona Istrițeanu, **Iulian Ilie**, ISBN 978-606-8261-20-1, Ed. CEFIN, 2020;
18. Ingineria Mecatronică și Cyber-MixMecatronică pentru Construcția Intreprinderii Digitale și Industriei Inteligente (4.0)” – 2019, Gheorghe Ion Gheorghe, Valentina Băjenaru, **Iulian Ilie**, ISBN 978-606-8261-29-4, Ed. CEFIN, 2019;

- **Patents**

19. Sistem mecatronic-mixmecatronic de control 4D în laborator și în industrie, autori: Gheorghe Gheorghe, **Ilie Iulian**, Anghel Constantin, *B.I.132678/26.02.2021*
20. Sistem cobotic cyber-mixmecatronic cu structură serie – paralel de măsurare ultraprecisă și control inteligent în laborator și industria digitalizată 4.0, autori: Gheorghe Gheorghe, Anghel Constantin, **Ilie Iulian**, Alex. Constantinescu, *A/00610/28.09.2020*
21. Sistem mecatronic inteligent de mare precizie pentru măsurarea microdeplasărilor liniare, autori: Georghe Gh., Beca Paul, Olaru M., Mocanu Neculai, Ancuța Paul, **Ilie Iulian**, Munteanu Iulian, *B.I. 125124 / 28.02.2013*
22. Sistem mecatronic pentru masurarea deplasărilor unghiulare, autori: Georghe Gh., Beca Paul, Mocanu Neculai, Ancuța Paul, Olaru Mircea, **Ilie Iulian**, *B.I. 122847 / 30.03.2010*
23. Microsistem mecatronic inteligent pentru măsurări dimensionale de înaltă precizie – DIGITIL”, Autori: Gheorghe I. Gheroghe, Beca Paul, Mocanu Neculai, Ancuta Paul, Olaru Mircea, **Ilie Iulian**, *B.I. 122874/30.03.2010*

7.4. Prospects for further development

Starting from the conception, design and realization of the two mechatronic systems at micro and medium level, but also from the theoretical research carried out in the field of MEMS and NEMS, possible research-developments in the future are outlined, thus:

- Research on the realization of a working procedure to describe the way in which the remote control and remote monitoring of the complex mechatronic systems implemented in Industry 4.0 are implemented;
- Research on the realization of a mechatronic ecosystem to improve the speed and stability with which a complex system (MMI4D system) is controlled and monitored remotely;
- Research on the implementation of an improved intelligent constructive solution for the protection of the human operator;
- Research on the development of the complex system (MMI4D) by adding a complex collaborative robot subsystem that offers the possibility to add work operations such as video identification in the workspace, automatic handling of parts and others;
- Research on the development of the MMI4D system by adding a mobile platform subsystem that offers the possibility to access the space around the MMI4D system so that work paths can be implemented for the positions of the parts analyzed with the mentioned system;
- Research on the mapping of the workspace so that we can accurately identify, at any time, the position of the analyzed parts at a defined time;
- Research on the implementation of an interchangeable head that offers the possibility to interchange the MEMS and NEMS devices necessary for applications specific to the field of interest;
- Research on the development of a virtual application that offers the possibility to train an operator to operate the system (MMI4D);

SELECTIVE BIBLIOGRAPHY

- [1] Sreelakshmi Krishnamoorthy, Amit Dua, Shashank Gupta. Role of emerging technologies in future IoT-driven Healthcare 4.0 technologies: a survey, current challenges and future directions. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing (2021)
- [2] Ardelean, I., Giuroiu, H., Petrescu, L., Circuite integrate CMOS. Manual de utilizare, Editura Tehnică, București (1986)
- [3] "Multi-layer microstructure fabrication by combining bulk silicon micromachining and UV-LIGA technology," Microelectronics Journal, vol. 38, pp. 120-124, 2007
- [4] Karkouch, A.; Mousannif, H.; AL Moatassime, H.; Noel, T.: Data quality in Internet of Things: A state-of-the-art survey. Journal of Network and Computer Applications, Vol. 73, 2016, pp. 57-81.
- [5] Chavez, B.; Bayona, S.: Virtual Reality in the Learning Process; Trends and Advances in Information Systems and Technologies. Advances in Intelligent Systems and Computing (746) Pages: 1345-56 Part: vol.2 Published: 2018
- [6] Lee, Jay; Kao, Hung-An; Yang, Shanhu: Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment; Conference: 6th CIRP Conference on Industrial Product-Service Systems (IPSS) Location: Univ Windsor, Windsor, CANADA Date: MAY 01-02, 2014
- [7] Xu, Li Da; Xu, Eric L.; Li, Ling: Industry 4.0: state of the art and future trends; INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH Volume: 56 Issue: 8 Pages: 2941-2962 Published: 2018
- [8] Rose K, Eldridge S, Chapin L (2015) The Internet of Things: an overview understanding the issues and challenges of a more connected world. Internet Soc (ISOC) 22
- [9] Rayes A, Salam S (2017) Internet of Things (IoT) overview, in Internet of Things from hype to reality. Springer International Publishing, Cham, pp 1–34
- [10] Sauciuc Gheorghe- Roboți umanoizi, istoric, exemple, caracteristici principale, socializare, noutăți și viitor (2020).
- [11] "CoBot Robots". Carnegie Mellon University. Retrieved 12 March 2013.
- [12] Gheorghe I. Gheorghe, Iulian ILIE, Anghel C-tin „Scientific evolution from Mix-Integrating Mechatronics to Cyber-Intelligent Mechatronics and to Claytronics Science”, International Conference OPTIROB 2016, 29 iunie – 2 iulie 2016, Jupiter, Romania, Applied Mechanics and Materials, Vol.841, cotata ISI; factor impact: 0,15;
- [13] Mecatronica, Integronica si Adaptronica, Autori: Prof. univ. dr. ing. Gheorghe Ion

Gheorghe; Simona Istriteanu, Veronica Despa, Alexandru Constantinescu, Adrian Voicu, ISBN: 978-606-8261-17-1, Ed. CEFIN, 2012

[14] Viviana Filip, Cornel Marin, Lucian Gruionu, and Alexis Negrea, Proiectarea, modelarea, simularea sistemelor mecanice, utilizând Solidworks, CosmosMotion și CosmosWorks. Târgoviște: Valahia University Press, 2008

[15] Marin Cornel, REZISTENȚA MATERIALELOR Partea a II a – Teoria elasticității și solicitări complexe. Editura Bibliotheca 2014, 978-973-712-936-9

[16] Octavian Dontu, Stergios Ganatsios, Daniel Besnea, Stand pentru testarea fiabilitatii la vibratii a aparaturii de contorizare pentru apa calda si rece, The 7 th International Conference on Mechatronics and Precision Engineering, Bucharest 27-29 Mai 2004, pp 217-218. ISBN 973-866886-1-2

[17] Daniel Besnea, Octavian Dontu, Alina Spanu, Gheorghe I. Gheorghe, S. Ganatsios, „Rapid Prototyping technologies applied for prosthesis tests”, International Conference „The 8th International Conference on Innovations, Recent Trends and Challenges in Mechatronics, Mechanical Engineering and New High-Tech Products Development - MECAHITECH'16”, 8-9 september 2016, Bucharest, Romania;

[18] Ilie Iulian si Gh. I. Gheorghe, „Intelligent 4D mechatronic microsystem used in metrological measurement and integrated control processes”, The Scientific Bulletin of VALAHIA University, MATERIALS and MECHANICS –Vol. 16, No. 15, DOI: 10.1515/bsmm-2018-00XX; 2018, indexat BDI: EBSCO, Index Copernicus, Inspec;

[19] Gheorghe I. Gheorghe, Constantin Anghel, and Ilie Iulian, „Original and scientific contributions to cyber – mecatronics systems development for industrial, economical and societal environments”, of the 12-th edition of the International Conference on Aerospace, Robotics, Mechatronics, Mechanical Engineering, Manufacturing systems, Neurorehabilitation and Bioengineering, OPTIROB 2017

[20] Iulian Ilie, Gh. Ion Gheorghe Intelligent 4D mechatronic microsystem used in metrological measurement and integrated control processes, The Scientific Bulletin of VALAHIA University MATERIALS and MECHANICS, 2018 –Vol. 16, No. 15

[21] Ingineria Mecatronică și Cyber-MixMecatronică pentru Construcția Intreprinderii Digitale și Industriei Inteligente (4.0)” – 2019, Gheorghe Ion Gheorghe, Valentina Băjenaru, Iulian Ilie, ISBN 978-606-8261-29-4, Ed. CEFIN, 2019;

ANNEXES

Annex A – Patent No. 132678



Annex B – Patent No. 125124

ROMÂNIA



DUPLICAT

ELIBERAT INVENTATORULUI
în baza Art.35 alin.(2),
din Legea nr.64/1991 republicată

OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI

Brevet de invenție

Nr. 125124

Acordat în temeiul Legii nr.64/1991 privind brevetele de invenție, republicată în Monitorul Oficial al României, Partea I, nr.541, din 08 august 2007.

Titular: INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU MECATRONICĂ ȘI TEHNICA MĂSURĂRII - INCDMTM, BUCUREȘTI, B, RO

Titlul invenției: SISTEM MECATRONIC INTELIGENT DE MARE PRECIZIE PENTRU MĂSURAREA MICRODEPLASĂRIILOR LINIARE

Inventatori: GHEORGHE I. GHEORGHE, BUCUREȘTI, B, RO; BECA PAUL, BUCUREȘTI, B, RO; MOCANU NECULAI, BUCUREȘTI, B, RO; ANCUȚA PAUL, BUCUREȘTI, B, RO; OLARU MIRCEA, BUCUREȘTI, B, RO; ILIE IULIAN, BUCUREȘTI, B, RO; MUNTEANU IULIAN SORIN, BUCUREȘTI, B, RO

Descrierea invenției, revendicările și desenele la care se face referință în acestea, fac parte integrantă din prezentul brevet de invenție.
Durata brevetului de invenție este de 20 ani, cu începere de la data de 23.05.2008, cu condiția plății taxelor anuale de menținere în vigoare a brevetului.

Confirm: cels de mai sus (prin semnarea și aplicarea sigiliului)
Director General

București, Data eliberării 28.02.2013



Annex C – Patent No. 122874



Annex D – Patent No. 122847



Annex E – Patent Application A/00610/28.09.2020



CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

Nr. referința solicitant/mandatar	Registratura OSIM (numarul și data primirii)
-----------------------------------	--

Se completează de către OSIM

Numarul cererii de brevet de invenție	
Data primirii la Registratura Generală a OSIM	
Data de depozit	
Data primirii părții lipsă la Registratura Generală a OSIM	
Data de depozit după primirea părții lipsă la Registratura Generală a OSIM	
Data primirii cererii de retragere a părții lipsă la Registratura Generală a OSIM	
Data de depozit atribuită cererii de brevet	

1. Solicitanți (nume și prenume/denumire, adresă de domiciliu/sediu, telefon, fax, e-mail) INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE DEZVOLTARE PENTRU MECATRONICĂ ȘI TEHNICA MĂSURĂRII – INCDMTM, București ȘOS. PANTELIMON NR. 6 + 8, SECTOR 2, 021631, BUCUREȘTI, ROMÂNIA, 021631, Nr. Reg. Comerțului: J40/1074/1997 Tel: 021. 252.30.68/69; Fax: 021. 252.34.37 E-mail: incdmtm@incdmtm.ro, geocefin@yahoo.com ☐ continuare pe pag. 3
--

2. Solicitam în baza Legii nr. 64/1991 privind brevetele de invenție, republicată, modificată prin Legea nr. 83/2014 privind invențiile de serviciu acordarea unui brevet de invenție cu titlul:
SISTEM COBOTIC CYBER- MIXMECATRONIC CU STRUCTURĂ SERIE – PARALEL DE MĂSURARE ULTRAPRECISĂ ȘI CONTROL INTELIGENT ÎN LABORATOR ȘI INDUSTRIA DIGITALIZATĂ 4.0

2.1. Solicitantul este îndreptățit la depunerea cererii de brevet de invenție în baza :

- ☐ Legii nr. 64/1991 privind brevetele de invenție, republicată;
☐ Legii nr. 83/2014 privind invențiile de serviciu.
☒ unui contract de cercetare

2.2. Referința la o cerere depusă anterior (numar, data de depozit, țara/oficiu):

3. Declarăm că inventatorii sunt cei desemnați în formularul „Declarație conținând desemnarea inventatorilor” ☒ anexat ☐ care va fi transmis ulterior

4. Rezumatul invenției se publică împreună cu figura numărul: 1

5. Revendicăm prioritatea convențională (stat, număr, data depozit):

6. Revendicăm prioritatea internă (numar cerere de brevet, data depozit):

1/3

FORM. B 01 - citiți Ghidul de completare

PERSONAL INFORMATION



Ilie Iulian

 Valea Lungă 7, district 6, 061502, Bucharest, Romania

 0040743025035

 iuliancefin@yahoo.com

Sex Male | Date of birth 18/10/1981 | Nationality Romanian

WORK EXPERIENCE

Replace with dates (2006 - current)

Director of Relay Centre of Technological Transfer and Consultancy (from 2006) and Innovation Manager (from 2019)

National Institute of Research and Development in Mechatronics and Measurement Technique

- Head of the technology transfer;
- Coordinating projects in partnership and member or expert in different projects
- Conception, design, and distribution of promotional materials for National Institute of Research and Development for Mechatronics and Measurement Technique and Relay Centre of Technological Transfer and Consultancy;
- Developing ideas and writing projects proposals;
- Organize conferences – at this moment I am part of organizing committee of <<ICORSE>>;
- Organize and participate to national and international fairs: Romania (TIB), Croatia (ARCA), France (The European
- Research and Innovation Research), Switzerland (International Exhibitions of Inventions), Kuwait (IIFME), etc.;
- Writing and consulting for patents applications.
- Manage innovation in INCDMTM Bucharest

Business or sector Research and development

Replace with dates (2005 - 2006)

CATI operator

Mercury Research

- Market research by phone interviews;
- Data processing

Business or sector Research

EDUCATION AND TRAINING

Replace with dates (2013 - current)

PHD. Student

Valahia University of Târgoviște – Doctoral School, Târgoviște, Romania

- Mechatronics, mems and nems

Replace with dates (2005 - 2007)

Postgraduate specialization diploma – mechanical engineering

Polytechnic University of Bucharest – Faculty of Mechanical Engineering

- Mechanical engineering

Replace with dates (from - to)

Higher education diploma - mechanical engineering

Polytechnic University of Bucharest – Faculty of Mechanical Engineering

- Mechanical engineering

PERSONAL SKILLS

Mother tongue(s)

Romanian

Other language(s)

	UNDERSTANDING		SPEAKING		WRITING
	Listening	Reading	Spoken interaction	Spoken production	
English	C1	B2	B2	C1	B2
	Replace with name of language certificate. Enter level if known.				
French	A1	A1	A1	A1	A1
	Replace with name of language certificate. Enter level if known.				

Levels: A1/2: Basic user - B1/2: Independent user - C1/2 Proficient user
Common European Framework of Reference for Languages

Communication skills

- good communication skills gained through my experience as project manager in research field

Organisational / managerial skills

- Industrial property counsellor
- Technology broker
- Manager of innovation
- Trainer certificate

Job-related skills

- 4 Romanian patents and 1 patent application

Computer skills

- MS OFFICE (Word, Excel, Power Point), Internet , Outlook Express;
- Corel Draw; Adobe Photoshop; Adobe Editor;
- Solid Works; CATIA, Solid Edge;

Other skills

- Soccer (2 times national champion U 18)

Driving licence

- B