



**UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” din BUCUREȘTI
ȘCOALA DOCTORALĂ DE INGINERIE MECANICĂ ȘI
MECATRONICĂ**

Nr. Decizie din

**TEZĂ DE DOCTORAT
- REZUMAT -**

**CONTRIBUȚII LA ANALIZA, REALIZAREA ȘI
UTILIZAREA DISTRIBUTOARELOR PNEUMATICE
PROPORȚIONALE COMANDATE ÎN IMPULSURI**

Doctorand: **Ing. Ioan-Alexandru SGÂRCIU**

COMISIA DE DOCTORAT

Președinte	Prof.dr.ing. Grigore Octavian DONȚU	de la	Univ.Politehnica din București
Conducător de doctorat	Prof.dr.ing. Mihai AVRAM	de la	Univ.Politehnica din București
Referent	Prof.dr.ing. Gheorghe GHEORGHE	de la	Univ.Valahia din Târgoviște
Referent	Prof.dr.ing. Gheorghe PRISACARU	de la	Univ.Gheorghe Asachi din Iași
Referent	Prof.dr.ing. Alexandru DOBROVICESCU	de la	Univ.Politehnica din București

BUCUREȘTI 2021

Prezentarea domeniului de doctorat

Lumea digitală, aferentă IIoT și Industry 4.0, în care producția de obiecte este realizată de linii de fabricație complet automatizate, cu echipamente capabile să „converseze” între ele, cuprinde o serie de subansambluri funcționale din cadrul sistemelor pneutronicice (sisteme complexe de conducere la care mediul de lucru de bază este aerul comprimat).

Domeniul pneutronicicii a cunoscut o dezvoltare rapidă în ultimii ani datorită unor avantaje de necontestat legate de componentele pneumatice folosite în construcția sistemelor din această categorie:

- o construcție stabilă funcțional la un preț de cost rezonabil, inferior celui aferent sistemelor electronice echivalente;
- performanțe statice și dinamice ridicate, ceea ce le conferă un avantaj de utilizare în industriei prelucrătoare robotizate;
- folosirea aerului comprimat conferă, pe lângă prețul scăzut al aplicațiilor, și o preferință a utilizării în medii curate (industriei precum cea alimentară sau cea farmaceutică);
- simbioza dintre pneutronică și electronică / informatică a permis elaborarea de soluții noi pentru aplicații la care consacrate erau – până nu demult – doar soluțiile electronice.

Sistemele pneutronicice folosesc componente pneumatice performante ca viteză de operare, ceea ce le fac de neînlocuit în multe aplicații, un exemplu elocvent fiind liniile de asamblare automate cu roboți industriali. Trebuie subliniat faptul că – în prezent – elementele de execuție, de la cele mai simple de tip on/off la cele mai complexe care presupun poziționări multiple, au – în varianta pneumatică – performanțe dinamice superioare celor electronice. În consecință s-au efectuat cercetări intense pentru creșterea performanțelor dispozitivelor pneumatice, literatura de specialitate tratând în monografii sau articole – punctuale, de mai mică întindere - principiile constructive, soluțiile inovative de dispozitive care minimizează neliniaritățile și histerezisul mecanic, construcții noi de componente electro-pneumatice. Aceste aspecte explică lista extinsă de referințe bibliografice atașate prezentei lucrări.

Domeniul tezei se încadrează în efortul manifestat de găsire a noi soluții adecvate pentru eficiența echipamentelor pneumatice, cu precădere a celor care folosesc actuatori (elemente de execuție) în care aerul comprimat constituie mediul natural de lucru.

Scopul tezei

Teza elaborată are ca obiectiv general analiza, construcția și utilizarea distribuitorilor pneumatice digitale on/off comandate în impulsuri modulate PWM, atât sub aspect teoretic cât și experimental, urmărindu-se etapele de la concepție la realizare fizică și folosire în aplicații.

Atingerea obiectivului general s-a făcut urmărindu-se o serie de obiective specifice, care au presupus:

- realizarea de distribuitori digitale on/off comandate în impulsuri PWM simple (construcție cu armătura mobilă cu translație, cu performanțe statice / dinamice bune pentru aplicații multiple);
- analiza performanțelor distribuitorilor realizate cu montaje specifice imaginate de autorul tezei;
- realizarea de experimente concordante scopului (obiectivului) general;
- aplicarea echipamentelor dezvoltate (realizate) în structuri pneutronicice care dovedesc atingerea unor performanțe ridicate (capitolele 5 și 6).

Teza aduce o serie de contribuții în domeniul pneumaticii proporționale, care sunt prezentate pe scurt în acest rezumat.

O bogată bibliografie (peste 290 de referințe) a stat la baza realizării documentării, în special cea referitoare la partea de sinteză din capitolele 1 și 2.

Teza este structurată pe 8 capitole, cel final fiind de evidențiere a contribuțiilor personale și a direcțiilor noi de dezvoltare ulterioară, la care se adaugă o lista de trei anexe și o bibliografie adecvată atingerii obiectivului general și a obiectivelor specifice.

Contribuții originale

Teza aduce o serie de contribuții în domeniul pneumaticii proporționale, care sunt prezentate în continuare, urmărind conținutul conform capitolelor elaborate.

Lucrarea realizează o tratare graduală a mecanismelor integrării echipamentelor pneumatice în procesul de globalizare a producției de bunuri materiale, odată cu apariția Internetului și a utilizării lui prin dezvoltarea conceptelor IIoT și Industry 4.0.

Astfel, după o trecere în revistă a conceptelor de IIoT și Industry 4.0, lucrarea prezintă efortul integrării Internetului în industrii, prin analiza cercetărilor actuale ale IoT, a tehnologiilor generice esențiale, a aplicațiilor majore ale internetului în industrii și identifică tendințele și provocările cercetării. O *contribuție principală* (capitolul 1) a acestei lucrări se referă la faptul că rezumă în mod sistematic actuala tehnologie IoT de ultimă generație în ramuri industriale, precum și maniera în care dezvoltările pneumatice pot fi incluse în IIoT. Sunt o serie de argumente în sprijinul acestei idei, care pot fi sumarizate după cum urmează:

- numărul de dispozitive IoT crește de la an la an, ritmul de creștere fiind unul exponențial, motivul fiind acela că oferă confort în viața umană și realizează rezultate mai bune decât oamenii;
- pasul către lumea digitală complet conectată pentru mediul de producție, la care numărul de puncte de măsură necesare (senzori) și dispozitive controlate în mod activ (actuatoare) va crește în mod semnificativ este Industry 4.0. Ca urmare, cu ajutorul senzorilor și al sistemelor integrate cu software intensiv pot fi create obiecte inteligente;
- o arhitectură IoT de tip arbore are la rădăcină categoriile diverse de senzori (traductoare) și actuatoare, componente esențiale în sistemele pneuonice, iar tehnologiile IoT folosesc ca elemente de cuplare cu mediul extern cele două mari categorii de produse;
- în prezent sunt dezvoltate și/sau implementate numeroase aplicații IoT în diverse industrii, inclusiv monitorizarea mediului, servicii de asistență medicală, managementul inventarului și producției, lanțul de aprovizionare cu alimente, transportul, sprijinul la locul de muncă și la domiciliu, securitatea și supravegherea.

O *altă contribuție* se referă la analiza tendințelor viitoare privind cercetarea în IoT, în care se remarcă o serie de provocări legate de:

- arhitectura rețelei, dar mai ales de interconectarea prin diferite tehnologii de comunicare;
- standardizarea în cadrul IoT, care urmărește să reducă barierele de intrare pentru noii furnizori de servicii și utilizatori, să îmbunătățească interoperabilitatea diferitelor aplicații / sisteme și să permită produselor sau serviciilor să funcționeze mai bine la un nivel mai înalt;
- securitatea informațiilor și protecția vieții private;
- integrarea rețelelor sociale cu soluțiile IoT, dezvoltarea tehnologiilor energetice IoT, a tehnicilor de calcul bazate pe inteligența artificială;
- combinarea IoT și Cloud Computing pentru a dezvolta noi modele sau platforme care să ofere "percepția ca serviciu" pe cloud.

Sistemele mecatronice sunt – fără îndoială - compatibile cu noua revoluție industrială, întrucât mecatronica presupune o înlănțuire de aplicații din domeniul mecanicii cu cele ale electronicii și sistemelor informatice, astfel că produsele obținute poartă girul acestor mari ramuri industriale, fiind caracterizate de o calitate înaltă, cu structuri electronice de ultimă generație, capabile de a efectua operații cu grad mare de dificultate, ceea ce a permis migrarea către produse inteligente. Un sistem mecatronic poate fi considerat cu reglare automată, în sensul că reacționează – în timp real – la diverși stimuli externi (situații), deci presupune existența unor senzori / traductoare pentru preluarea informației externe, respectiv a unor actuatore pentru aplicarea comenzilor.

La ora actuală pneumaticele sunt plasate în rândul tehnologiilor de vârf, eforturile de cercetare fiind îndreptate către rezolvarea neajunsurilor legate de viscozitatea și compresibilitatea mediului de lucru. Este de punctat faptul că, în anumite aplicații, structurile pneumatice sunt preferate în exclusivitate față de cele electrice, hidraulice, sau mecanice.

Prin definirea noțiunii de *sistem tehnic inteligent*, implementat prin diferite tehnici, algoritmi sau metode, capabil să emuleze funcții specifice ființelor umane sau ale altor sisteme din diferite domenii, a cărui funcționare are la bază cei 4 piloni ai conducerii inteligente de procese reprezentați prin sistemele expert, mulțimile fuzzy, rețelele neuronale și algoritmi genetici, a fost posibilă asocierea sistemelor pneumatice din lumea reală, cu o mare complexitate, asimilabile unor sisteme tehnice inteligente, care au configurații adaptate aplicației în care sunt folosite. Totuși, se face precizarea că, structura lor este orientată după un concept de proiectare ierarhic – de la proces la server-ul de aplicație – care constituie o îmbinare optimă între componentele hardware și aplicațiile software. Funcția obiectivă cuprinde sarcina pe care sistemul pneumatic trebuie să o îndeplinească. Pentru realizarea obiectivului, acesta trebuie corect descris și definit. În mod uzual se folosesc procedee adecvate de comunicare cu sistemul, cea mai întâlnită variantă presupunând utilizarea unui limbaj adecvat pentru descrierea obiectivului ce trebuie realizat.

În cadrul capitolului 2 s-a realizat o atentă evaluare a domeniului echipamentelor pneumatice proporționale, care a condus la identificarea principalelor tendințe și perspective, și anume:

- dezvoltarea puternică a pneumaticii în viitor;
- încorporarea informaticii în sistemele și echipamentele pneumatice de conducere, care contribuie la dezvoltarea sistemelor pneumatice;
- creșterea fiabilității, acuratețea funcțională și performanța statică și dinamică a dispozitivelor pneumatice reale;
- dezvoltarea și construirea de noi tipuri de echipamente pneumatice de înaltă performanță.

Prin *studiul unei bibliografii extinse* a fost posibil să se arate ca tendințe ireversibile integrarea senzorilor și a traductoarelor, ca și a electronicii aferente, în construcția celor mai noi echipamente, miniaturizarea construcțiilor, creșterea interesului față de siguranța mediului, trecerea la posibilitățile de reciclare a echipamentelor la sfârșitul ciclului lor de viață, construcția de echipamente cu consum redus de energie.

Pentru a fixa cadrul cercetărilor privind distribuitorii pneumatice proporționale s-au prezentat aspectele constructiv-funcționale ale acestora, plecând de la configurația cea mai simplă a unui distribuitor 2/2 (cu două poziții și 2 orificii), în varianta constructivă cea mai utilizată - cea cu sertar cilindric cu mișcare de translație. Distribuitorii pneumatice digitale on/off sunt preferate în multe aplicații în raport cu echipamentele proporționale analogice, deoarece acestea din urmă sunt scumpe și au – în general – un histerezis de valori ridicate, caracteristica poate avea zone cu pante diferite, performanțele sunt date de precizia cu care sunt realizate elementele constructive ale echipamentului, de frecările mecanice, de jocurile

existente, de existența sau inexistența controlului automat al poziției armăturii mobile a actuatorului. Prin comparație, echipamentele proporționale comandate în impulsuri modulate, la care nu este posibil un reglaj continuu al debitului instantaneu, dar realizează un control al debitului mediu, au o serie de avantaje ca: viteză mare de răspuns, preț de cost acceptabil (echipamentele sunt simple constructiv și nu impun condiții deosebite de execuție și montaj), eliminarea histerezisului și a efectelor sale nedorite, obținerea unei repetabilități foarte bune. Totodată, un sistem de acționare în care sunt integrate asemenea echipamente poate fi controlat cu ajutorul unui microprocesor / microcontroller, ceea ce simplifică foarte mult structura sistemului de comandă.

Teza aduce o contribuție importantă prin prezentarea tehnicilor de conducere în impulsuri modulate pentru comanda distribuitorilor digitale on/off, clasificate în două mari categorii:

- metode de reglare a debitului folosind semnale de comandă modulate, din care fac parte metoda PFM (“Pulse Frequency Modulation”) și metoda PWM (“Pulse Width Modulation”),
- metode de reglare a debitului bazate pe cuplarea mai multor distribuitoare, cum sunt metoda PNM (“Pulse Number Modulation”) și metoda PCM (“Pulse Cod Modulation”).

Se precizează totuși că, indiferent de maniera de comandă în impulsuri, tehnicile de conducere țin seama de caracteristicile dinamice ale procesului, astfel că trebuie aplicată o lege de reglare concordantă dinamicii procesului, dublată de asigurarea unor performanțe statice impuse de realitatea fizică a aplicației. În cadrul tezei s-au combinat conceptele dezvoltate de teoria sistemelor automate (teoria reglării) cu schemele electronice de obținere a semnalelor de comandă, astfel încât să se asigure performanțele conform funcției obiectiv asumate.

Teza aduce o contribuție semnificativă prin analiza produselor de firmă destinate unor sisteme pneumatice de acționare performante pentru controlul debitului și presiunii. Din baleierea produselor identificate de firmă am constatat folosirea schemelor analogice de reglare în buclă deschisă, respectiv buclă închisă, introducerea tehnicii digitale prin folosirea unor DSP-uri sau microcontrollere de ultimă generație (în esență pentru reglare digitală, dar și pentru comunicație cu posturi dispecer pentru automatizări complexe); o tehnică pe larg folosită în comanda părții electromecanice se bazează pe PWM, care presupune generarea unor impulsuri dreptunghiulare de frecvență mult mai mare decât maximum frecvenței proprii a părții electromecanice, lățimea impulsurilor fiind proporțională cu semnalul de comandă, media impulsurilor pe perioada fundamentală fiind astfel proporțională cu comanda. De asemenea, o analiză a lucrărilor de specialitate din domeniu arată preocupările specialiștilor referitoare la distribuitorul pneumatic proporțional canalizate – în principal - pe:

- analiza elementelor constructive care intră în configurația distribuitorului și modalitățile de creștere a performanțelor prin optimizarea acestora;
- dezvoltarea de soluții noi (particulare) de produse din această categorie, care să satisfacă cerințele de performanță, în special prin reducerea costurilor echipamentelor;
- realizarea de soluții inovatoare privind strategiile de automatizare, care să permită creșterea performanțelor dinamice ale structurilor pneumatice în care se folosesc distribuitoare pneumatice proporționale comandate în impulsuri;
- folosirea de structuri bazate pe distribuitoare comandate în impulsuri pentru obținerea unor precizii ridicate de poziționare.

O contribuție deosebită este adusă în capitolul 3 prin proiectarea distribuitorului pneumatic proporțional comandat în impulsuri cu armătură mobilă cu mișcare de translație.

Ideea de bază de la care s-a pornit în concepția distribuitorului a fost ca închiderea liniilor de câmp magnetic să se facă prin material feromagnetic caracterizat de o permeabilitate magnetică relativă $\mu_r \gg \mu_{\text{aer}}$. Dacă acest principiu se păstrează, atunci forța electromagnetică dezvoltată va fi suficient de mare pentru a atrage armătura mobilă spre miezul magnetic fix, operație care se poate realiza cu o frecvență ridicată. Dimensiunile distribuitorului au fost astfel calculate încât componentele acestuia să fie asamblate într-un corp normal de seringă.

Continuând ideea prezentată anterior, s-a conceput o variantă îmbunătățită de distribuitor, care are posibilitatea modificării ușoare a secțiunii de curgere, cuplarea rapidă (fără modificări) în cascadă a mai multor distribuitoare, simplificarea constructivă prin adoptarea unor repere simetrice. De asemenea, modelul proiectat cu programul Inventor, permite o funcționare de calitate privind maniera de procesare a debitului prin distribuitor.

Capitolul cuprinde o secțiune importantă de proiectare dimensională a categoriilor de distribuitoare anterior dezvoltate, stabilindu-se – prin formalizare matematică – dimensiunile de curgere (diametrul, cursa armăturii mobile) funcție de forma supapei și direcția de curgere a fluidului prin distribuitor. O componentă importantă este acordată dimensionării electromagnetului prin proiectarea componentelor sale, astfel încât să se încadreze spațial în formele dorite.

De asemenea, o contribuție însemnată este adusă la blocul electronic de achiziție și comandă, gândit și realizat de autorul tezei, care tratează aspectele de concepție și construcție a modalităților de generare semnale de comandă, precum și achiziție semnale analogice și numerice de la schemele elaborate. Se face precizarea că tehnica de bază constă în folosirea mediului de dezvoltare **LabVIEW**, la care cuplarea cu mediul extern este realizată prin modulul **NI USB 6001**. De asemenea, se prezintă etajul final de comandă a distribuitoarelor folosit în cadrul ridicărilor experimentale.

În cadrul capitolului 4 sunt analizate – atât teoretic, cât și experimental – modelele matematice ale sistemelor pneumatice propuse, care folosesc distribuitoare digitale comandate în impulsuri. Contribuțiile originale realizate în această secțiune se referă la:

- modelarea matematică a sistemelor pneumatice; astfel, plecând de la ecuația continuității debitului, se trece la ecuația variației presiunii într-un volum de lucru, care este urmată de expresia debitului într-o secțiune dată și ecuația de mișcare cu ajutorul căreia se exprimă echilibrul forțelor care acționează asupra elementelor mobile din echipamentele pneumatice;
- modelarea distribuitorului pneumatic proporțional comandat în impulsuri având armătura mobilă cu translație, la care se analizează în detaliu subsistemele aferente (electromagnetic și mecano-fluidic), stabilindu-se relațiile analitice care descriu funcționarea acestora, și se determină diametrul nominal de curgere și cursa armăturii mobile pentru categoria de distribuitoare proiectate în capitolul 3;
- simularea distribuitorului la anclanșarea / declanșarea releului electromagnetic; plecând de la ideile teoretice exprimate la dinamica distribuitorului în capitolul 3, se tratează – folosind tehnica transformatei Laplace directe și inverse – răspunsul în timp la activarea bobinei electromagnetului. Analiza teoretică detaliată s-a făcut pentru a studia timpul total de anclanșare, care este o parte critică în stabilirea frecvenței maxime de lucru pentru distribuitor. Se face precizarea că supozițiile teoretice asumate în acest paragraf au fost verificate pe cale experimentală prin determinările efectuate cu osciloscopul digital. De asemenea, a fost realizat un program de simulare în LabVIEW pentru această componentă, care permite determinarea rapidă a parametrilor folosiți în formalizarea matematică.
- pentru partea de declanșare s-a demonstrat teoretic și s-a confirmat experimental că timpul de închidere a supapei distribuitorului este mult redus în raport cu cel de deschidere

datorită diodei de stingere a impulsului plasată în paralel cu bobina releului electromagnetic.

- pentru demonstrarea avantajelor tehnicii de “speed up” s-a realizat un montaj adecvat folosind un comutator electronic de mare viteză comandat de un monostabil, astfel că a fost posibilă aplicarea unui semnal de menținere cu amplitudinea de 25% din cea normală, care a dus, atât la creșterea frecvenței de funcționare, cât și la scăderea considerabilă a consumului energetic.
- pentru dezvoltarea unui model al distribuitorului privind debitul masic instantaneu s-au expus conceptele teoretice în §.4.3.2.1, care au fost verificate prin ridicările experimentale.
- pentru verificarea raportului maxim de modulare a funcționării distribuitorului, expus teoretic în §.4.3.2.3, s-au realizat experimente care prezintă debitul instantaneu în funcție de presiunea de intrare, cu o restricție variabilă la ieșire pe evacuare, datele prezentate tabelar și grafic fiind în concordanță cu comportamentul teoretic în regim staționar și dinamic.
- modelul de debit masic instantaneu, care este stabilit prin reproducerea matematică a procesului de modulare al distribuitorului. De asemenea, se stabilește modelul debitului masic echivalent și raportul maxim de modulare a funcționării.
- simularea numerică a funcționării distribuitorului s-au folosit două medii diferite, și anume: mediul AMESim (Advanced Modelling Environment for performing Simulations - “Mediu avansat de efectuare a simulărilor”) și mediul Matlab Simulink. Din analiza rezultatelor obținute prin simulare se poate trage concluzia că debitul mediu poate fi controlat prin intermediul parametrului factor de umplere cât și prin intermediul frecvenței impulsurilor de comandă. Modelul realizat în mediul Simulink a fost făcut pe baza relațiilor stabilite în paragraful 4.2.2. Cele două metode de simulare au constituit obiectul unei analize comparative.
- s-a realizat analiza experimentală a modelelor propuse, pentru distribuitorul proiectat efectuându-se experimente pentru a evidenția comportarea distribuitorului în frecvență cu restricție, comportarea distribuitorului în frecvență fără restricție, comportarea distribuitorului la factor de umplere variabil, comportarea distribuitorului la factor de umplere variabil, presiune de intrare 2 ... 4 bari, restricție de 1 bar în ieșire.
- o analiză comparativă a rezultatelor teoretice și experimentale în conexiune directă cu echipamentele folosite, prin prisma performanțelor lor statice și dinamice.

În cadrul capitolelor 5 și 6 sunt analizate – atât teoretic, cât și experimental - două studii de caz pentru punerea în evidență a avantajelor distribuitorilor digitale on/off. Contribuțiile originale realizate în prima secțiune se referă la:

- cu referire la capitolul 5, intitulat *Comanda actuatorilor pneumatice cu distribuitoare comandate în impulsuri*, se pleacă de la un suport teoretic adecvat pentru comanda motoarelor pneumatice, insistând pe precizia de poziționare a soluțiilor expuse în literatura tehnică de specialitate.
- în paragraful *Modelarea matematică a sistemului electro-pneumatic* este studiat un model al sistemului electro-pneumatic care include distribuitoare on/off și un cilindru cu dublă acțiune fără tijă. Astfel, se prezintă: modelarea distribuitorului on/off, modelarea cilindrului cu dublă acțiune fără tijă, modelul mediat de intrare continuă folosind un suport matematic adecvat. Se scoate în evidență legătura dintre presiunea din camerele cilindrului și deplasare, dar și maniera în care pot fi folosite distribuitorii digitale on/off în probleme de poziționare.
- în paragraful intitulat *Proiectarea controlerului pentru sistemul electro-pneumatic*, se propune folosirea de semnale PWM cu faze modificabile pentru a îmbunătăți performanța de reglare. În acest sens se analizează cele șapte moduri de comutare a celor patru

distribuitoare folosite în controlul poziției, rezultând efectele prezentate pe direcția pozitivă denumită „avans”, respectiv direcția negativă denumită „retragere”. Aceste moduri, clasificate în Tabelul 5.A.1 funcție de comenzile logice ale distribuitoarelor, au efecte diferite și pot influența performanța controlului în condiții de presiune diferite.

- se propune strategia PWM cu schimbare de fază, la care comutarea de la modul x la modul y ($1 \leq x \leq 7, 1 \leq y \leq 7$) într-o perioadă PWM este definită ca modul M_{xy} , unde x reprezintă modul principal de control (pe durata cât lățimea impulsului este activă = “1” logic) și modul y reprezintă modul auxiliar de control (pe durata în care lățimea impulsului este inactivă = “0” logic). Strategia PWM cu schimbare de fază este implementată cu controlerul de mod glisant (urmărire), în plus, fiind alocate două traductoare de presiune TP_S și TP_D pentru a măsura presiunea ambelor camere.
- o analiză aparte este alocată secțiunii de selectare a parametrilor, în care sunt prezentate mai multe metode adecvate pentru a selecta parametrul diferenței de presiune, parametrii funcției de glisare α , β , χ și alți parametri critici din controlerul modului de glisare. Alegerea acestor parametri se face - în principal - pe baza erorii de poziție.
- prelucrarea datelor de la traductorul incremental de poziție a constituit o problemă importantă a poziționării, întrucât presupune preluarea – fără pierderi sau adaos de impulsuri – a deplasării efectuate de masa mobilă a motorului pneumatic. S-a apelat la o soluție inovativă, bazată pe proprietatea modulului **NI USB 6001** de numărare a impulsurilor, care a condus la o realizare practică de excepție, în sensul că programul din **LabVIEW** urmărește deplasarea de la traductorul incremental de poziție fără pierderi / adaos de impulsuri.
- cu configurarea generală a sistemului electro-pneumatic, având detaliate componenta pneumatică cât și cea electronică, s-a trecut la realizarea experimentelor, care au presupus mai multe situații expuse pe larg în teză. Toate rezultatele arată soliditatea controlerului propus împotriva incertitudinilor din model și fiabilitatea strategiei cu schimbare de fază PWM.

Al doilea studiu de caz – prezentat în capitolul 6 - se referă la reglarea presiunii într-un rezervor cu pierderi variabile folosind distribuitoare comandate în impulsuri modulate. Contribuțiile originale realizate în această secțiune se referă la:

- folosirea distribuitorului cu supapă sferică prezentat în capitolul 3. Acest echipament, integrat în structura sistemului, este un distribuitor comandat în impulsuri modulate, de mici dimensiuni ($D_n = 2$ mm), cu poziție preferențială, tip 2/2, comandat electric, cu un electromagnet ce poate funcționa la frecvențe mari de lucru, obținându-se astfel, la orificiul de consumator, un debit de aer ce corespunde valorii medii a debitului efectiv ce traversează circuitul intern al echipamentului.
- elaborarea modelului matematic pentru incinta de volum constant, plecând de la variația presiunii în incinta de volum constant V – funcție de debitul de alimentare a acesteia. Se stabilesc astfel relații care permit analiza funcționării sistemului automat de reglare a presiunii atât într-o modalitate analitică cât și în una pe cale experimentală.
- tratarea distinctă a celor trei cazuri corespunzătoare celor trei situații de funcționare (detalii despre notații în cadrul tezei, subcapitolul 5.B). Relațiile pentru cele trei cazuri au fost integrate într-un program dezvoltat în mediul **LabVIEW 2011**, iar rezultatele au confirmat supozițiile teoretice.
- în cadrul paragrafului destinat determinării experimentale a variației de presiune în incinta de volum constant s-au prezentat experimente cu un montaj dezvoltat de autorul tezei, prin care s-a demonstrat valabilitatea analizei teoretice din paragraful 5.B.3, precum și alte proprietăți legate de comanda în impulsuri a distribuitoarelor digitale. Experimentele și-au propus să scoată în evidență comportarea distribuitorului comandat în impulsuri în reglarea presiunii folosind comenzi digitale cu frecvențe și factor de umplere diferite,

precum și la modificarea pragurilor P_p , P_r și a debitului de evacuare prin droselul pneumatic. S-a observat că, la aceeași valoare a pierderilor, pusă în evidență pe debitmetrul electronic, răspunsul sistemului de reglare a presiunii este mai bun cu cât factorul de umplere este mai mare și frecvența impulsurilor de comandă – de asemenea – mai mare (acest aspect era de așteptat întrucât este în concordanță cu analiza teoretică expusă în capitolele 3 și 4.

- pentru efectuarea buclei de reglare a presiunii în rezervor s-a realizat montajul din figura 5.B.4, la care, pentru o bună efectuare a experimentului, valoarea achiziționată de la traductorul de presiune a fost multiplicată cu factorul constant 10, după care a fost trecută prin filtrul digital de netezire. Rezultatele experimentelor – cu comentarii detaliate – sunt prezentate în cadrul tezei, acestea fiind în concordanță cu supozițiile teoretice prezentate în prima parte a subcapitolului 5.B.

Diseminarea rezultatelor

Lucrări prezentate la conferințe internaționale:

1. M Avram, A I Sgârciu and C Bucșan - *Trends and perspectives in proportional pneumatics*, Published under licence by IOP Publishing Ltd, [IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 997, The 9th International Conference on Advanced Concepts in Mechanical Engineering - ACME 2020 4-5 June 2020, Iași, Romania](#), ISSN: 17578981, DOI: 10.1088/1757-899X/997/1/012034, indexare ISI, SCOPUS.

2. I A Sgârciu, A S Cernian, A M Anghel and V Sgârciu - *Maximum energy efficiency on photovoltaic solar panels by using an innovative solar tracker*, Published under licence by IOP Publishing Ltd, [IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 997, The 9th International Conference on Advanced Concepts in Mechanical Engineering - ACME 2020 4-5 June 2020, Iași, Romania](#), indexare ISI, SCOPUS.

3. Nedelcu A., Nedelcu B., Sgarcu A.I., Sgarcu V. - *Mining Data for Human Resources*, 2019, Proceedings of the 11th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence, ECAI 2019, DOI: 10.1109/ECAI46879.2019.9042148, ISBN: 978-1-7281-1624-2, ISSN: 2378-7147, WOS:000569985400156, indexare ISI, SCOPUS, IEEE.

4. [Nedelcu, A.](#), [Nedelcu, B.](#), [Sgarcu, A.I.](#), [Sgarcu, V.](#) - [Data Mining Techniques for Employee Evaluation](#), Proceedings of the 12th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence, ECAI 2020, ISBN: 978-172816843-2, DOI: 10.1109/ECAI50035.2020.9223165, indexare ISI, SCOPUS, IEEE.

Patent de invenție:

5. Inventor(s): Sgarcu I.A., Sgarcu V. - ANTI-THEFT PROTECTION DEVICE, Patent Number(s):RO131336-A2, Derwent Primary Accession Number: 2016-525372, International Patent Classification: [B60R-025/02](#); [B60R-025/04](#); [B60R-025/06](#); [B60R-025/10](#); [E05B-013/10](#); [E05B-065/10](#), Derwent Class Code(s): [Q47](#) (Locks, window and door fittings (E05)); [X22](#) (Automotive Electrics), Derwent Manual Code(s): [Q47-A](#); [Q47-U](#); [X22-D01](#); [X22-D03A](#); [X22-F04](#); [X22-X06X](#), RO131336-A2 , 30 Aug 2016.

Lucrări publicate în reviste:

6. B.Nedelcu, A.Nedelcu and A.I.Sgarcu - *Cybersecurity - The Cloud and Government Intervention within Cyberspace*, International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT), ISSN: 2509-0119. © 2020 International Journals of Sciences and High Technologies, Vol. 23 No. 1 October 2020, pp. 468-472, <http://ijpsat.ijsh-journals.org>

Lucrări în curs de publicare:

7. V.Sgârciu, A.S.Cernian, M.A.Anghel, C.Chițu, D.Floarea, A.Năstase, **A.I.Sgârciu** - *Process Control using Cloud Computing Architectures*, in volumul *Big Data Platforms and Applications; Case Studies, Methods, Techniques, and Performance Evaluation*, Editors: **Pop**, Florin, **Neagu**, Gabriel (Eds.), apariție septembrie 2021.

Lucrări trimise spre publicare:

8. **I.A.Sgârciu**, A.A.Năstase, A.Nedelcu, B.Nedelcu, V.Sgârciu - *Theoretical and experimental analyzing on digital pneumatic valves*, CSCS-23, mai 2021.

Perspective de dezvoltare ulterioară

Perspectivile de dezvoltare ulterioară în domeniul pneumaticii proporționale, ca și activitatea mea de cercetare, vor urma direcțiile începute în cadrul tezei, al căror punct comun îl constituie distribuitorii digitale on/off comandați în impulsuri, prin:

- Concepția, proiectarea și realizarea de echipamente cu raport performanță / preț ridicat, având configurații simple și sigure în funcționare;
- Integrarea sistemelor pneumatice în arhitecturi hibride;
- Procesul de armonizare cu arhitecturile IIoT;
- Aplicarea soluțiilor dezvoltate la sisteme pneuonice complexe.

În privința cercetărilor din acest domeniu consider că mai sunt oportunități legate de noi tehnologii, chiar principii de funcționare, astfel că voi avea ocazia să mă preocup de găsirea unor căi specifice de rezolvare. Totodată, bazându-mă pe experiența dobândită în cadrul pregătirii doctorale, voi încerca să imaginez configurații de distribuitori digitale on/off, cu un număr minim de repere, care să poată fi realizate cu utilaje din dotarea laboratorului departamentului de Mecatronică și Mecanică de Precizie.

Referitor la integrarea sistemelor pneumatice în arhitecturi hibride cred că realizarea unor soluții integrate care folosesc microcontrollere tip Arduino sau Raspberry Pi cu distribuitori digitale comandați în impulsuri vor fi frecvent folosite în viitor.

Un alt domeniu în care se vor canaliza cercetările viitoare este legat de dezvoltarea unor soluții flexibile pentru automatizări diverse, legate de folosirea distribuitorilor digitale on/off de mare frecvență (ultrarapide), prin tipizarea subansamblurilor, asigurându-se astfel o instalare ușoară în paralel cu o miniaturizare deosebită.

O pondere importantă a cercetărilor – în viitorii ani – se va concentra pe obiectele inteligente, ca produse integrate IoT, în rețele complexe interconectate prin cloud. În consecință, se vor pune probleme de indexare a acestora, ca și de organizare și gestiune eficientă a lor. Produsele mecatronice, în particular distribuitorii pneumatice proporționale, nu pot lipsi din acest vast proces tehnologic novativ. Vor apărea noi provocări legate de gestiunea datelor în aceste rețele complexe, sincronizarea tranzacțiilor în IoT, securitatea și confidențialitatea acestora.

O cercetare intensă, cu caracter inovator, se va produce în sfera produselor și sistemelor pneuonice. Cred că multe din soluțiile actuale, care folosesc structuri electronice consacrate, vor fi preluate de configurații hibride (pneumo-electronice), la care aerul comprimat va fi mediul de lucru, în special acolo unde cerințele microbiologice impun medii de lucru curate și cu consum energetic redus.

Consider că eforturile făcute pentru finalizarea acestei teze vor deschide noi oportunități pentru domeniul studiat, în care se vor regăsi cercetări conexe cu cele ale mele, potențial aplicabile în sfera producției materiale.