



A XVIII-a Conferință internațională – multidisciplinară
„Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești”
CLUJ NAPOCA, 2018

NOI DIRECȚII DE DEZVOLTARE A SISTEMELOR PNEUMATICE DE ACȚIONARE ȘI CONTROL

Valentin-Nicolae COCOCI, Carmen-Anca SAFTA

NEW TRENDS IN SERVO-PNEUMATIC CONTROL SYSTEMS

The paper presents trends in the development of pneumatic equipment emphasizing the need to adapt them to the requirements of complex automation systems in the new era of industrial development 4.0 (IIoT).

Keywords: servo-pneumatic drives, control system, industrial development

Cuvinte cheie acționări servo-pneumatice, sisteme de control, dezvoltare industrială

1. Introducere

Sistemele de acționare servo-pneumatică sunt utilizate în numeroase aplicații industriale pentru a obține o poziționare cu eroare cât mai mică într-un timp cât mai scurt. Tehnologia acționărilor pneumatice tinde la ora actuală să înlocuiască, acolo unde este posibil, acționările hidraulice și electrice, [1].

Neliniaritățile ce domină comportarea dinamică a acestor tipuri de servomecanisme le-au restrâns domeniul de lucru. Și totuși, în literatura de specialitate din ultima decadă se menționează o preocupare constantă în reducerea neliniarităților, îmbunătățirea performanțelor și relansarea servomecanismelor pneumatice ca sisteme "integral pneumatics" (pneumatică integrală) în care comanda și generarea de putere folosind aerul comprimat este asociată cu comanda electronică.

Nelinearitățile sistemelor de acționare pneumatică sunt date de compresibilitatea fluidului de lucru – aerul comprimat, relația debit de aer-presiune la curgerea aerului prin orificii, efectul de frecare dintre suprafața actuatorului și etanșări, zona moartă din caracteristica amplificatorului pneumatic [2].

Servomotoarele pneumatice sunt sisteme pneumatice de comandă și control ce au în componență un amplificator pneumatic, un motor pneumatic (liniar sau rotativ) și un mecanism de transmisie a forțelor (sau momentelor) la sarcină, [3]. În figura 1 este prezentată structura de bază a unui servomecanism pneumatic.

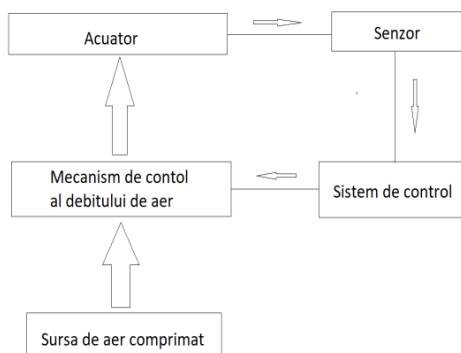


Fig.1 Structura de baza a unui servo-mecanism pneumatic [4]

Sistemele de acționare pneumatică a fost utilizată la început în industria de armament, pentru controlul stabilității navelor spațiale și a rachetelor de altitudine [4]. Apoi, în anul 1957, Shearer [5] a dezvoltat tehnologia pneumatică, realizând un sistem pneumatic de control,

iar Burrows [6, 7] a proiectat un dispozitiv de comutație aplicat servomecanismelor, pentru a putea realiza un control punct cu punct, dar cu mică precizie.

La sfârșitul anilor '80 a apărut tehnologia pneumaticii proporționale, mult mai precisă, care a dezvoltat toată gama de aparate: distribuitoare, supape, drosele, reglatoare. Odată cu apariția microcontrolerelor, s-au dezvoltat servomecanismele electro-pneumatice.

În secolul XXI, dezvoltarea tehnologiilor de comunicare industrială fieldbus și Ethernet au adus soluții noi în dezvoltarea componentelor pneumatice pentru a putea fi utilizate în scheme de automatizare complexe.

2. Caracteristicile sistemelor de acționare pneumatică

Avantajele acționărilor pneumatice, comparative cu alte tipuri de acționări sunt date de proprietățile aerului comprimat și caracteristicilor constructive și funcționale ale motoarelor pneumatice

liniare și rotative. Astfel, acționările pneumatice au avantajul unor rapoarte greutate-forță sau greutate-moment reduse deoarece gabaritul componentelor pneumatice este mic și materialele folosite sunt ușoare.

Acționările pneumatice au posibilitatea de supraîncărcare până la oprire completă, fără pericol de avarii. De asemeni, parametrii funcționali (viteză, forță, moment, turație ș.a.) pot fi modificați în limite largi, cu mijloace simple și costuri reduse.

Acționările pneumatice pot avea turații și viteze mari ceea ce permite creșterea productivității echipamentului acționat pneumatic, prin micșorarea timpilor de execuție ai cursei, [2].

Acționările pneumatice pot fi utilizate în medii explozive și au fiabilitate ridicată, deci determină costuri mici pentru activitatea de mentenanță.

Dezavantajele acționărilor pneumatice sunt date de randamentul energetic redus, mai ales în mediile de lucru cu temperaturi scăzute. De asemeni, există dezavantajul unei precizii mici la poziționarea intermediară, datorită compresibilității aerului.

Zgomotul produs la destinderea bruscă a aerului comprimat este tot un dezavantaj dat de mediul de lucru [2].

În tabelul 1 (Comparație între caracteristicile diferitelor tipuri de acționări [8]) sunt menționate caracteristicile acționărilor pneumatice, comparative cu acționările hidraulice și electrice.

Apariția microcontrolerelor și implementarea acestora în sistemele de acționare pneumatică, a dus la creșterea randamentului și la micșorarea semnificativă a mărimii acestor sisteme.

3. Scheme clasice de acționare pneumatică

Se prezintă în continuare tipuri de scheme clasice de acționare pneumatică, unele fiind însoțite și de schemele electrice de comandă electrică a electromagneților din aparatura de distribuție pneumatică și control.

În figura 2 este prezentată schema unui servo sistem pneumatic asimetric.

Sistemul este clasic dar folosind tehnica "hardware in the loop" el se poate simula în timp real. Tehnica "hardware in the loop" este folosită pentru a simula și testa sistemele complexe de tip "embedded".

În figura 3 se prezintă schema de acționare pneumatică și electrică a unui cilindru pneumatic cu temporizare.

Tabelul 1

Caracteristici	Acționare Pneumatică	Acționare Hidraulică	Acționare electrică
Complexitate	Simplă	Medie	Medie/Complexă
Puterea dezvoltată	Mare	Foarte mare	Mare
Dimensiuni	Mici	Foarte mici	Medii
Modul de Control	Supapă simplă	Supapă simplă	Controller
Acuratețe	Bună	Bună	Foarte bună
Viteză	Rapidă	Mică	Rapidă
Cost de achiziție	Scăzut	Mare	Mare
Cost de operare	Mediu	Mare	Scăzut
Cost mentenanță	Scăzut	Mare	Scăzut
Componente principale	Compresor/ conduce/ energie	Pompă/ conduce/ energie	Energie
Eficiență	Scăzută	Scăzută	Ridicată
Fiabilitate	Foarte bună	Bună	Bună
Necesar mentenanță	Scăzută	Medie	Medie

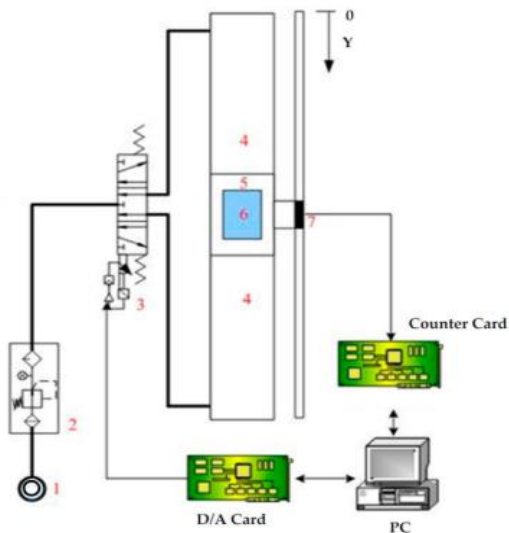


Fig. 2 Schema unui servo sistem pneumatic asimetric, cu elementele:
 1 compresor, 2 unitate de preparare aer,
 3 servovalvă pneumatică, 4 cameră actuator,
 5 piston actuator, 6 încărcarea utilă,
 7 traductor de poziție, [9]

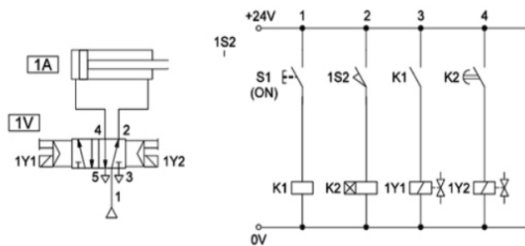


Fig. 3 Cilindru pneumatic cu temporizator [10]

Când întrerupătorul S1 este închis se alimentează linia de curent 1 care alimentează

releul K1. Contactul din linia 3 se închide și electromagnetul 1Y1 va comuta distribuitorul pe poziția din stânga. Pistonul cilindrului pneumatic avansează de la stânga la dreapta, până la poziția maximă, rămâne în această poziție un timp, după care revine automat la poziția inițială, comenzile electrice fiind alimentare releu K2 și electromagnet 1Y2.

În figurile 4 și 5 sunt prezentate schemele de acționare pneumatică ale cilindrului pneumatici având operația logică AND, respective OR.

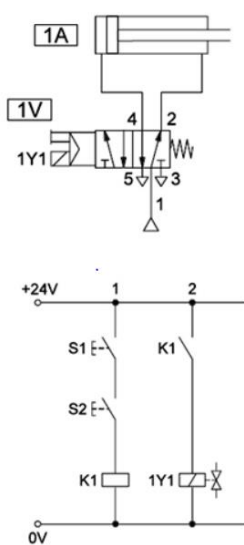


Fig. 4 Acționare electro-pneumatică pentru operația logică AND [10]

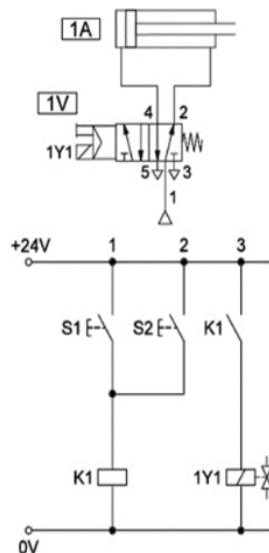


Fig. 5 Acționare electro-pneumatică pentru operația logică OR [10]

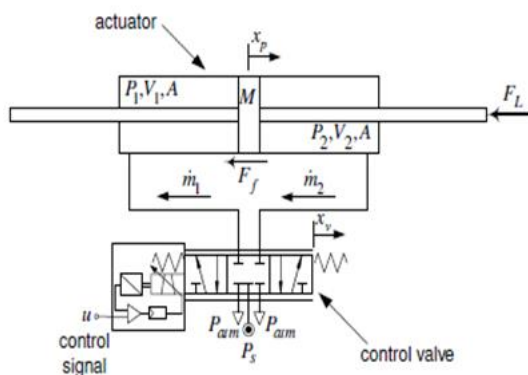
În cazul acționării electrice de tip ȘI (AND) pistonul pneumatic pornește numai dacă sunt comutate simultan întrerupătoarele S1 și S2.

În cazul acționării electrice de tip SAU (OR) pistonul pneumatic este acționat prin conectarea unuia dintre cele două întrerupătoare S1 sau S2.

În tabelul 2 (Comportamentul pistonului pneumatic in cazul unor acționari electrice având implementate operațiuni logice tip SI SAU) se prezintă modul în care se comportă pistonul pneumatic în cazul celor două tipuri de acționări electrice.

Tabel 2

Operatia logica SAU					
S1 conectat	S2 conectat	Tija piston avanseaza	S1	S2	1Y1
Nu	NU	NU	0	0	0
DA	NU	DA	1	0	1
NU	DA	DA	0	1	1
Da	DA	DA	1	1	1
Operatia logica SI					
S1 conectat	S2 conectat	Tija piston avanseaza	S1	S2	1Y1
Nu	NU	NU	0	0	0
DA	NU	NU	1	0	0
NU	DA	NU	0	1	0
Da	DA	DA	1	1	1



În figura 6 se prezintă schema de acționare a unui servomecanism pneumatic în care comanda servovalvei pneumatice se face cu un microcontroler (regulator).

Fig. 6 Cilindru pneumatic acționat de un microcontroler [11]

Performanțele micro-electronicii au facilitat adaptarea unor echipamente electronice relativ ieftine la tehnologia pneumatică. Astfel,

În figura 7 se prezintă acționarea unui sistem pneumatic (servovalvă și cilindru pneumatic) cu ajutorul unei plăci Arduino.

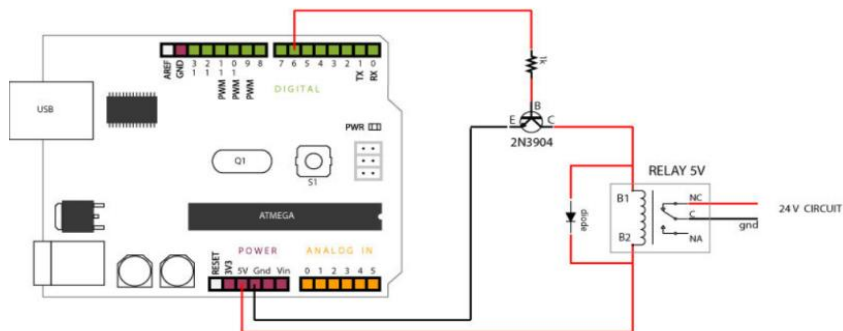


Fig. 7 Circuit cu placă Arduino pentru controlul unui servomecanism

Placa Arduino este un microcontroler care facilitează controlul unei acționări pneumatice sau orice alt tip de acționare.

Dacă sistemul pneumatic are 2 sau mai multe servovalve atunci, pentru fiecare servovalvă în plus la sistemul cu placă Arduino se adaugă încă un releu, [12]. Pentru cazul din Figura 7, ieșirile de la releu sunt conectate cu intrările etajului electric de comandă al servovalvei.

4. Electronica și sistemele de acționare pneumatică

Dacă, în zilele noastre majoritatea sistemelor de comandă și control sunt automatizate încă prin PLC (Controler Logic Programabil) tendința tehnologică este de a integra componentele pneumatice în sisteme complexe de automatizare în care interfața Ethernet și protocoalele de interfațare cu elementele pneumatice să asigure siguranța și eficiența cerute de aplicație. Aplicațiile viitorului sunt dedicate noii ere industriale Industry 4.0 (Industrial Internet of Things - IIoT) [13].

Tehnologia de comunicare industrială Ethernet (față de Fieldbus [14]) oferă soluții de comunicare industrială mai ieftine, cu performanțe îmbunătățite și costuri reduse. Se permite o descentralizare și o flexibilitate mai mare a sistemelor de automatizare și o monitorizare parametrizabilă software pentru senzorii și servomotoarele analogice [15]. În figura 8 se prezintă o soluție

constructivă de sistem de acționare pneumatică la care comunicarea se face cu tehnologie Ethernet.

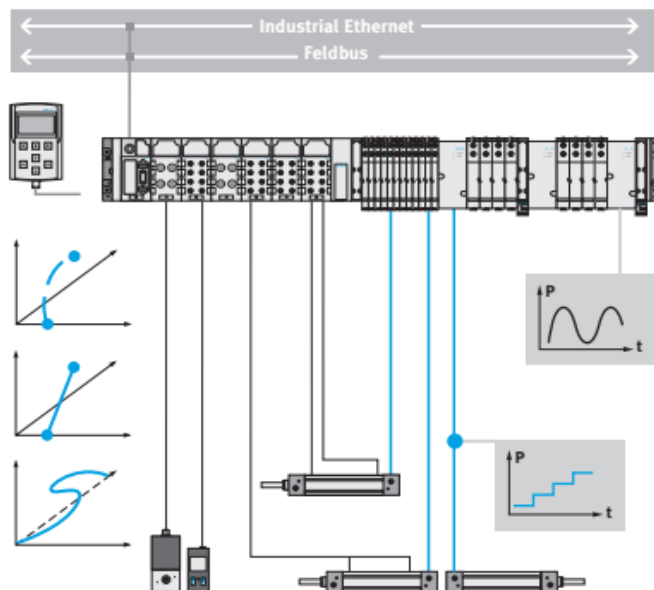


Fig. 8.
Soluție
Festo pentru
sistemul de
acționare
pneumatică
și control al
unui sistem
de
poziționare
în 3 axe,
[15]

Dezvoltarea industrială viitoare are nevoie de subsisteme care pot fi pornite autonom, sisteme ciber_fizice "cyber-physical systems, CPS" adaptate mediilor industriale 4.0 (IIoT). Ca urmare a descentralizării sistemelor de control și noii tehnologii de comunicare Ethernet se va permite amplasarea elementelor de comandă (de exemplu servovalvă pneumatică) cât mai aproape de elementul de execuție, ceea ce duce la micșorarea traseelor pneumatice și electrice [15].

5. Concluzii

Lucrarea de față prezintă tendințele de dezvoltare ale acționărilor pneumatice cu accent pe servomecanismele pneumatice, fără însă a epuiza subiectul. Din bibliografia avută la dispoziție, în lucrare se subliniază tendința actuală de miniaturizare a componentelor pneumatice, îmbunătățirea performanțelor și a comportării dinamice în buclele de control prin diminuarea neliniarităților caracteristice, și nu în

ultimul rând adaptarea echipamentelor electronice de tipul microcontrolerelor pentru optimizarea acestor sisteme.

Astfel, producătorii consacrați de echipamente de acționare pneumatică (BOSCH-REXROTH, FESTO, HYDAC, PARKER; SMC, și nu numai) au răspuns necesităților care se impun de noua dezvoltare industrială IIoT, și au lansat produse în care s-a pus accentul pe nevoia de integrare structurală (la nivel de component pneumatic în sistem de acționare) și de integrare sistemică cu interfață Ethernet și protocoale de interfațare cu echipamentele pneumatice în sistemele de control.

De asemeni, miniaturizarea și integrarea în sistemele industriale moderne necesită tehnologii noi și materiale noi pentru realizarea acestor echipamente.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Saravanakumar, D., Mohan B., Muthuramalingam, T., *A review on recent research trends in servo pneumatic positioning systems*, Journal of Precision Engineering 49, 2017, pp 481–492.
- [2] Ritter, C. S., Valdiero, A. C., Andrighetto, P. L., Zago, F., Endler, L., *Nonlinear characteristics Systematic Study in Pneumatic Actuators*, ABCM Symposium series in Mechatronics, Vol. 4, pp 818-826, 2010.
- [3] Stănescu, A.M., Banu, V. Gh., Atodiroae,i M., Găburici, V., *Sisteme de automatizare pneumatice. Proiectarea asistată de calculator a blocurilor funcționale*, Editura Tehnică, 1987.
- [4] Ning, F., Shi, Y., Cai, M., Wang, Y., Xu W., *Research Progress of Related Technologies of Electric-Pneumatic Pressure Proportional Valves*, Appl. Sci. 2017, 7, 1074; doi:10.3390/app7101074, www.mdpi.com/journal/applsci.
- [5] Shearer, J.L. *Study of Pneumatic Process in the Continuous Control of Motion with Compressed Air*, Trans. ASME 1956, 2, pp 233–242.
- [6] Burrows, C.R.; Webb, C.R. *Simulation of an On-Off Pneumatic Servomechanism*, Proc. Inst. Mech. Eng. 1967,182, pp 631–642.
- [7] Burrows, C.R.;Webb, C.R. *Further Study of a Low-Pressure on-off Pneumatic Servomechanism*, Proc. Inst. Mech. Eng. 1969, 184, pp 849–858.
- [8] - <https://library.automationdirect.com/why-use-pneumatics>
- [9] Hao-Ting Lin, *A Novel Real-Time Path Servo Control of a Hardware-in-the-Loop for a Large-Stroke Asymmetric Rod-Less Pneumatic System under Variable Loads*, Sensors 2017, 17, 1283; doi:10.3390/s17061283, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5492239/pdf/sensors-17-01283.pdf>
- [10] * * *<http://www.nptel.ac.in/courses/112102011/electropneumatics/relay%20control%20system.html>
- [11] Karpenko, M., Sepehri, N., *Design and Experimental Evaluation of a Nonlinear Position Controller for a Pneumatic Actuator with Friction*, Proceeding

of the 2004 American Control Conference Boston, Massachusetts June 30 - July 2, 2004, pp 5079

[12] * * * * <https://reactivesystems.wordpress.com/2012/02/11/pneumatic-actuators/>

[13] * * * <https://inductiveautomation.com/what-is-iiot>

[14] * * * <https://www.controldesign.com/articles/2016/ethernet-vs-fieldbus-the-right-network-for-the-right-application/>

[15] Hanbury, J., *White paper. The future role of Ethernet and the trend to decentralised control solutions*, 2015, Festo AG & Co., https://www.festo.com.cn/net/SupportPortal/Files/381592/WhitePaper_ETHERNET_en_V01_L.pdf

Drd. Ing. Valentin-Nicolae COCOCI,
Universitatea Politehnică București, Facultatea de Energetică,
e-mail: valentin.nicolae.cococi@gmail.com

Prof. Dr. Ing. Carmen-Anca SAFTA,
Universitatea Politehnică București, Facultatea de Energetică,
e-mail: safta.carmenanca@gmail.com