

CREȚESCU Nadia-Ramona

Designul produselor mecatronice

Partea I - Fundamente



**Editura
Universității
Transilvania
din Brașov**

2025

EDITURA UNIVERSITĂȚII TRANSILVANIA DIN BRAȘOV

Adresa: Str. Iuliu Maniu nr. 41A
500091 Brașov
Tel.: 0268 476 050
Fax: 0268 476 051
E-mail: editura@unitbv.ro

Editură recunoscută CNCSIS, cod 81

ISBN 978-606-19-1745-7 (ebook)

Copyright © Autorul, 2025

Lucrarea a fost avizată de Consiliul Departamentului de Design de produs, Mecatronică și Mediu, Facultatea de Design de produs și mediu a Universității Transilvania din Brașov.

PREFATĂ

O investiție în cunoaștere aduce cea mai bună dobândă.

Benjamin Franklin

Un produs mecatronic integrează componentele mecanice, electronice și informatice cu scopul principal de a crea un produs inteligent, funcțional și performant.

Designul reprezintă un aspect esențial pentru realizarea unui produs mecatronic. Un design bun va asigura produsului o bună funcționalitate (produsul va îndeplini sarcinile pentru care a fost conceput), fiabilitate (produsul va funcționa în buni parametri pentru o perioadă mai lungă de timp), eficiență (produsul va consuma resurse minime de energie și materiale pentru a funcționa), dar și o estetică plăcută (produsul va fi ergonomic și va avea un aspect plăcut).

Principalele obiective ale acestei cărți sunt:

- Definirea termenului de mecatronică;
- Definirea termenului de produs mecatronic și particularități ale designului unui produs mecatronic;

- Identificarea elementelor componente ale produselor mecatronice;
- Concluzii.

Această monografie este prima din seria „Designul Produselor Mecatronice” și tratează fundamentele acestui vast domeniu, fiind utilă studenților de la secțiile de Design Industrial sau Robotică, precum și altor studenți de la inginerie, dar și specialiștilor din domeniu.

Brașov, 2025

Nadia Ramona Crețescu

CUPRINS

INTRODUCERE	9
1. ISTORIA MECATRONICII.....	12
1.1. Originile mecatronicii.....	15
1.2. Evoluția mecatronicii.....	16
1.3. Pionierii mecatronicii.....	18
1.4. Impactul mecatronicii asupra societății și industriei	19
1.5. Aplicații ale mecatronicii.....	21
1.6. Tendințe actuale și viitoare în mecatronică	22
1.7. Concluzii	22
1.8. Bibliografie	23
2. PRODUSE MECATRONICE.....	25
2.1. Elementele componente ale unui produs mecatronic	26
2.2. Exemple de produse mecatronice	29
2.2.1. Industria auto	29
2.2.1.1. Sisteme de siguranță auto	29
2.2.1.2. Sisteme de confort și performanță	30
2.2.2. Industria aerospațială.....	30
2.2.3. Electronice de larg consum	31
2.2.4. Echipamente medicale	32
2.2.5. Aplicații în fabricație	33
2.3. Concluzii	33

2.4. Bibliografie	34
3. PARTICULARITĂȚI ALE DESIGNULUI PRODUSELOR MECATRONICE	35
3.1. Etapele procesului de design al unui produs mecatronic	35
3.2. Ingineria concurentă în designul produselor mecatronice	36
3.3. Considerații importante în designul produselor mecatronice..	37
3.4. Instrumente software pentru designul unui produs mecatronic	38
3.5. Concluzii	38
3.6. Bibliografie	39
4. SENZORI UTILIZAȚI ÎN PRODUSELE MECATRONICE	40
4.1. Tipuri de senzori utilizați în mecatronică	41
4.1.1. Senzori de proximitate	42
4.1.2. Senzori ultrasonici	47
4.1.3. Senzori tactili	48
4.1.4. Senzori de presiune	50
4.1.5. Senzori de temperatură	54
4.1.6. Senzori optici	58
4.1.7. Senzori cu infraroșu	60
4.1.8. Senzori chimici	62
4.1.9. Senzori de gaz	62
4.1.10. Senzori de poziție	64
4.1.10.1. Senzori de poziție liniară	66

4.1.10.2. Senzori de poziție unghiulară	74
4.2. Exemple de utilizare a senzorilor în mecatronică	77
4.2.1. Senzori de proximitate.....	77
4.2.2. Senzori ultrasonici	78
4.2.3. Senzori tactili.....	78
4.2.4. Senzori de presiune	79
4.2.5. Senzori de temperatură	79
4.2.6. Senzori optici	79
4.2.7. Senzori cu infraroșu.....	80
4.2.8. Senzori chimici	80
4.2.9. Senzori de gaz.....	80
4.2.10. Senzori de poziție	81
4.3. Tendințe actuale în domeniul senzorilor pentru mecatronică .	83
4.4. Concluzii	84
4.5. Bibliografie	84
5. MOTOARE ȘI ACTUATOARE UTILIZATE ÎN PRODUSELE MECATRONICE.....	88
5.1. Motoare utilizate în produsele mecatronice.....	88
5.1.1. Motoare de curent continuu (CC)	89
5.1.1.1. Motoarele de curent continuu cu perii.....	92
5.1.1.2. Motoarele de curent continuu fără perii.....	96
5.1.2. Motoare de curent alternativ (CA).....	98
5.1.2.1. Motoarele de curent alternativ asincrone.....	98
5.1.2.2. Motoarele de curent alternativ sincrone.....	105

5.1.3. Motoare pas cu pas	114
5.1.4. Servomotoare.....	115
5.2. Actuatore utilizate în produsele mecatronice	118
5.2.1. Actuatore electrice	118
5.2.2. Actuatore electromagnetice	129
5.2.3. Actuatore electromecanice	130
5.3. Exemple de utilizare a motoarelor și actuatorelor în produse mecatronice.....	133
5.3.1. Aplicații ale motoarelor de curent continuu cu perii	133
5.3.2. Aplicații ale motoarelor de curent continuu fără perii.....	134
5.3.3. Aplicații ale motoarelor de curent alternativ	134
5.3.4. Aplicații ale motoarelor de alternativ asincrone trifazate.....	135
5.3.5. Aplicații ale motoarelor de curent alternativ asincrone cu rotor bobinat	135
5.3.6. Aplicații ale motoarelor de curent alternativ sincrone	137
5.3.7. Aplicații ale motoarelor de curent alternativ sincrone cu magneti permanenți	138
5.3.8. Aplicații ale motoarelor de curent alternativ sincrone cu reluctanță	138
5.3.9. Aplicații ale motoarelor pas cu pas	139
5.3.10. Aplicații ale servomotoarelor.....	140
5.3.11. Aplicații ale actuatorelor.....	140
5.4. Bibliografie	142
6. CONTROLUL PRODUSELOR MECATRONICE	144

6.1. Controlere de tip P (Proporțional), PD (Proporțional-Integrativ), PI (Proporțional-Integrativ) sau PID (Proporțional-Integrativ-Derivativ).....	148
6.1.1. Controler Proporțional (P).....	149
6.1.1.1. Aplicații ale controlerelor Proporționale.....	151
6.1.1.2. Avantajele și dezavantajele utilizării unui controler Proporțional.....	152
6.1.1.3. Concluzii.....	153
6.1.2. Controler Proporțional-Derivativ (PD)	153
6.1.2.1. Aplicații ale controlerelor PD	156
6.1.2.2. Avantajele și dezavantajele controlerelor PD	157
6.1.2.3. Concluzii.....	158
6.1.3. Controler Proporțional-Integrativ (PI).....	159
6.1.4. Controler Proporțional-Integrativ-Derivativ (PID).....	161
6.1.4.1. Avantajele și dezavantajele controlerelor PID.....	163
6.1.4.2. Aplicații ale controlerelor PID	164
6.1.4.3. Concluzii.....	165
6.2. Controlere logice programabile (PLC)	165
6.2.1.1. Avantajele și dezavantajele PLC-uri.....	168
6.2.1.2. Aplicații ale PLC-uri	170
6.2.1.3. Tipuri de PLC-uri.....	171
6.2.1.4. Concluzii.....	172
6.3. Microcontrolere.....	173
6.3.1. Avantajele și dezavantajele utilizării microcontrolerelor	175

6.3.2. Aplicații comune ale microcontrolerelor	177
6.3.3. Concluzii	178
6.4. Controlere fuzzy	178
6.4.1. Avantajele și dezavantajele utilizării controlerelor fuzzy	181
6.4.2. Aplicații ale controlerelor fuzzy	182
6.4.3. Tendințe actuale în domeniul controlului fuzzy	183
6.4.4. Concluzii	183
6.5. Controlere neuronale	184
6.5.1. Aplicații ale controlerelor neuronale	187
6.5.2. Concluzii	189
6.6. Tendințe actuale în controlul produselor mecatronice	190
6.7. Concluzii	191
6.8. Bibliografie	193

INTRODUCERE

Mecatronica este un domeniu complex al ingineriei care combină mecanica, electronica și informatica, având scopul principal de a crea sisteme mai fiabile.

Un produs mecatronic combină toate aceste elemente componente ale mecatronicii, pentru a putea realiza o funcționalitate specifică și reprezintă o evoluție importantă în inginerie, având un impact semnificativ asupra unei game largi de industrii și aplicații, de la roboți industriali, la autovehicule, imprimante 3D, drone, etc.

Datorită progreselor în microelectronică și tehnologia informației, produsele mecatronice au o tendință de miniaturizare, având dimensiuni tot mai reduse, făcându-le potrivite pentru o gamă tot mai largă de aplicații, facându-le mai fiabile și adaptabile la diverse medii

Utilizarea produselor mecatronice oferă o serie de beneficii, printre care se numără:

- **Performanță îmbunătățită:** produsele mecatronice pot oferi o precizie, viteză și eficiență mai bune în comparație cu un sistem tradițional.
- **Fiabilitate sporită:** integrarea componentelor electronice și informatice duc la o durată de viață mai mare, deci și la o fiabilitate crescută.
- **Costuri reduse:** miniaturizarea și automatizarea pot conduce la costuri de producție și întreținere mai reduse.
- **Flexibilitate crescută:** produsele mecatronice pot fi mai adaptabile la cerințele specifice ale unei anumite aplicații.

Cartea este structurată pe 6 capitole, astfel:

- Primul capitol este dedicat istoriei mecatronicii și definiții ale acesteia.
- Al doilea capitol prezintă definiții ale produselor mecatronice, prezentarea elementelor componente ale acestora, precum și evidențierea principalelor exemple de produse mecatronice, dar și a tendințelor în mecatronică.
- În capitolul al treilea sunt evidențiate principalele particularități ale designului unui produs mecatronic.
- Al patrulea capitol este dedicat identificării și analizei tipurilor de senzori utilizați în produsele mecatronice.

- În al cincelea capitol sunt prezentate principalele tipuri de motoare și actuatore utilizate la produsele mecatronice.
- Al șaselea capitol este dedicat controlului produselor mecatronice, prin identificarea tipurilor principale de controlere utilizate la produsele mecatronice.

1. ISTORIA MECATRONICII

Mecatronica, o disciplină relativ nouă în lumea ingineriei, a apărut din nevoia de a integra diverse domenii pentru a crea sisteme mai complexe și mai eficiente.

Mai exact, MECATRONICA = MECanică + elecTRONică + informatICĂ, ceea ce înseamnă, spus cu alte cuvinte: MATERIE + ENERGIE + INFORMAȚIE.

Este important să fie înțelese următoarele aspecte:

- **Tehnologia modernă se bazează pe mecatronică:** Majoritatea produselor de azi combină elemente mecanice, electrice/electronice și informatice (microcipuri/computere).
- **Ființa umană este complexă:** Oamenii sunt alcătuiți din corp fizic, energie și informație.

- **Fizica studiază universul în profunzime:** Această știință explorează materia, energia și, din ce în ce mai mult, informația.
- **Originile universului sunt surprinzătoare:** Conform teoriei Big Bang, universul ar fi pornit de la o cantitate uriașă de informație, care a generat ulterior energie și materie.
- **Dezvoltarea umanității a fost un proces gradual:**
 - Timp de milenii, omenirea s-a concentrat pe mecanică și materie.
 - Revoluția industrială, de acum 300 de ani, a marcat trecerea la noi surse de energie (abur, electricitate, nucleară, solară).

Astfel, prima mașina de calcul a fost realizată de Pascal încă din anul 1642, urmată de apariția primului sistem de feedback dezvoltat în anul 1765 de Polzunov. În fig. 1.1. a este reprezentat primul regulator plutitor utilizat pentru a regla nivelul de apă (plutitorul se ridică și coboară în funcție de nivelul apei, controlând supapa care blochează intrarea apei în boiler [1].

Mai târziu cu 4 ani, în anul 1769, a fost conceput regulatorul cu bilă al lui Watt, primul sistem cu control cu feedback, prin controlarea vitezei unui motor cu aburi (fig. 1.1. b). Astfel, atunci când viteza motorului crește,

se ridică sferele de metal și se depărtează de axa arborelui, închizând astfel supapa [1].

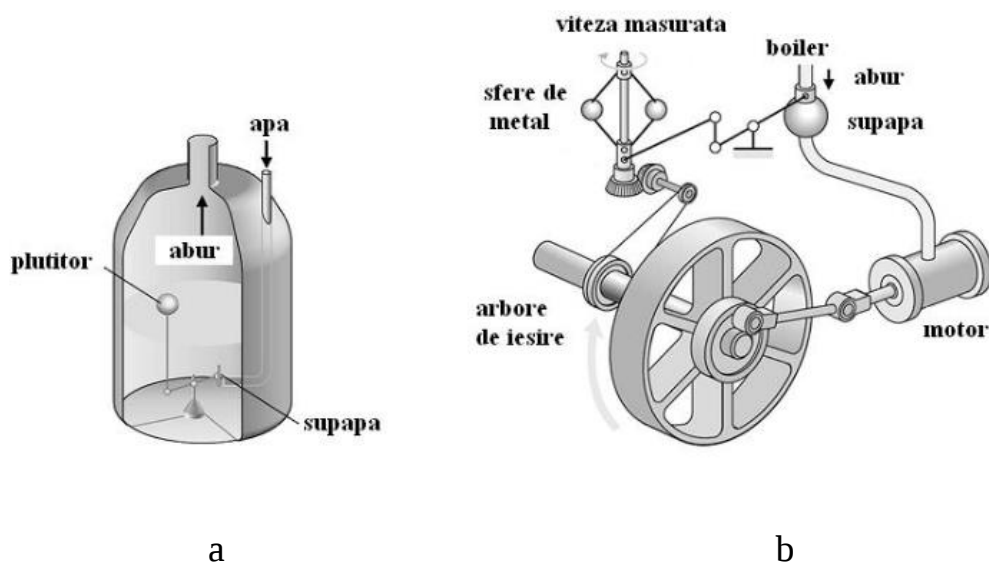


Figura 1.1. Regulatorul : a) cu plutitor; b) cu bile Watt [1]

- Revoluția informațională, începută acum 70 de ani, a adus computerele și microcipurile în prim-plan.

Acest capitol explorează originile, evoluția, pionierii și impactul mecatronicii asupra societății și industriei, precum și tendințele actuale și viitoare ale acestui domeniu fascinant.

1.1. Originile mecatronicii

Termenul „mecatronică” a fost inventat în 1969 de inginerul Tetsuo Mori de la compania japoneză Yaskawa Electric Corporation [2, 3]. El a combinat cuvintele „**mecanică**” și „**electronică**” pentru a descrie fuziunea celor două domenii în vederea creării de produse și sisteme noi. Inițial, termenul a fost folosit pentru a ilustra sistemele electromecanice utilizate în roboții industriali, fiind ulterior brevetat de companie și protejat până în 1982 [2, 4]. Abia în anii 1980, termenul a câștigat o recunoaștere pe scară mai largă [3].

Există mai multe definiții ale mecatronicii, reflectând evoluția și perspectivele diferite asupra acestui domeniu:

- Conform ASME (American Society of Mechanical Engineers), mecatronica este „o integrare sinergică a ingineriei mecanice cu electronica și controlul inteligent computerizat” [2].
- Standardul francez NF E 01-010 2008 - AFNOR definește mecatronica ca „un demers care vizează integrarea sinergică a mecanicii, electronicii, automaticii și informaticii, în concepția și fabricația produselor, în vederea îmbunătățirii și/sau optimizării funcționalității acestora” [3].
- În IEEE/Transactions on Mechatronics (1996), mecatronica a fost definită ca „integrarea sinergetică a ingineriei mecanice cu

controlul electronic și inteligent cu calculatoare în proiectarea și fabricația produselor și proceselor” [3].

- Mecatronica se diferențiază de tehnologia tradițională prin includerea informației ca element cheie, alături de material și energie [4]. Această integrare a informației a permis dezvoltarea de sisteme inteligente și a marcat o schimbare în inginerie, de la o abordare secvențială la una concurentă [4, 5].

În 2005, termenul „mecatronică” a apărut oficial în dicționarul Larousse, marcând o etapă importantă în recunoașterea și adoptarea acestui domeniu [3].

1.2. Evoluția mecatronicii

Evoluția mecatronicii poate fi împărțită în mai multe etape:

- **Etapă 1: Integrarea electromecanică**

Această etapă a fost stimulată de dezvoltarea tehnologiei electronice (și a microelectronicii). Progresele în miniaturizare au dus la un consum mai redus de energie și în același timp la creșterea performanței componentelor microelectronice, ducând la apariția unor dispozitive mai compacte și mai fiabile [6, 7]. De exemplu, apariția circuitelor integrate a permis integrarea unor funcții complexe de control într-un spațiu redus.

- **Etapa 2: Apariția sistemelor inteligente**

Odată cu integrarea microprocesoarelor în structurile electromecanice, acestea au devenit „inteligente” capabile să proceseze informații și să ia decizii. Această etapă a marcat apariției mecatronicii așa cum o cunoaștem în ziua de astăzi [3]. Microprocesoarele au permis implementarea unor algoritmi de control tot mai complecși.

- **Etapa 3: Dezvoltarea sistemelor mecatronice complexe**

În această etapă, mecatronica s-a extins dincolo de robotica industrială, fiind aplicată în diverse domenii, ca de exemplu industria auto, aeronautică, medicală și de consum [3]. Sistemele mecatronice au devenit din ce în ce mai complexe, integrate și sofisticate, încorporând o gamă largă de tehnologii, cum ar fi senzori avansați sau actuatori inteligenți.

Este important de menționat că mecatronica a introdus conceptul de „inginerie concurentă” [4]. În loc de o abordare secvențială, în care diferitele discipline ingineresti lucrau separat, mecatronica a promovat o abordare integrată, în care inginerii mecanici, electroniști și informaticieni lucrează împreună încă de la începutul procesului de proiectare. Această abordare a permis dezvoltarea de sisteme mai eficiente și mai ușor de produs.

De asemenea, este interesant de observat că încercările de a construi sisteme mecanice automate datează de dinainte de anii 1940, când compania Ford Motor a definit un proces de automatizare în care o mașină transfera un subansamblu de la o stație la alta și apoi îl poziționa cu precizie pentru operații de asamblare suplimentare [8].

Partea de modelare și de control joacă un rol important în mecatronică. Modelarea reprezintă procesul de creare a unor modele teoretice sau fizice ale sistemelor tehnice sau ale proceselor care au loc în aceste sisteme [6]. Aceste modele permit evaluarea proprietăților și transformărilor sistemelor și studiul comportării lor.

Controlul în mecatronică se referă la utilizarea unor algoritmi și dispozitive pentru a optimiza funcționarea. Un exemplu concludent este utilizarea traductoarelor (dispozitive care convertesc o mărime fizică într-un semnal electric) în sistemele de reglare automată [9].

1.3. Pionierii mecatronicii

Deși **Tetsuo Mori** (un inginer de la Yaskawa Electric) este creditat cu inventarea termenului „mecatronică”^{F@} (în anul **1969**), și alți ingineri și cercetători au contribuit semnificativ la dezvoltarea acestui domeniu. Printre aceștia se numără:

- **Ko Kikuchi:** președintele grupului Yaskawa, care a contribuit la popularizarea conceptului de mecatronică și la dezvoltarea primelor produse mecatronice [10].
- Profesorii **Pelecudi Cristian, Kovacs Francisc, Mureșan Tiberiu** și **Popov Mihai:** pionieri ai roboticii în România, care au contribuit la dezvoltarea primelor prototipuri de manipuloare și roboți în țară [11]. Acești profesori au adus contribuții semnificative la dezvoltarea teoriei și practicii roboticii, deschizând calea pentru cercetări și aplicații ulterioare în domeniu. Lucrările lor au fost recunoscute pe plan internațional, contribuind la prestigiul școlii românești de robotică.

1.4. Impactul mecatronicii asupra societății și industriei

Mecatronica a condus la un impact major asupra societății și industriei, transformând total modul în care producem, trăim și interacționăm cu mediul înconjurător. Mecatronica este astfel un motor al inovației în progresul tehnologic din diverse sectoare, contribuind semnificativ la creșterea economică și la îmbunătățirea calității vieții.

Mecatronica a permis dezvoltarea de produse și servicii mai performante, mai rezistente și mai ușor de utilizat. Un exemplu concludent sunt sistemele de siguranță auto, cum ar fi ABS-ul și

airbag-urile, ce au contribuit semnificativ la reducerea numărului de accidente rutiere.

Mecatronica a contribuit la automatizarea multor procese industriale și de zi cu zi. De exemplu, roboții industriali sunt utilizați în fabrici pentru a automatiza operațiuni de sudură, vopsire sau asamblare, scutind astfel muncitorii de sarcini repetitive și periculoase.

Mecatronica a creat noi oportunități de carieră în domenii precum inginerie, cercetare și dezvoltare. Pe măsură ce sistemele mecatronice devin tot mai complexe și mai des utilizate, cererea de specialiști în mecatronică este în continuă creștere.

Mecatronica a permis creșterea productivității în industrie prin automatizarea proceselor și optimizarea performanței mașinilor și echipamentelor [12]. De exemplu, în industria auto, roboții industriali și sistemele automate de control al producției au condus la reducerea timpilor de fabricație și la creșterea volumului de producție.

Prin integrarea componentelor și optimizarea proceselor, mecatronica a contribuit la reducerea costurilor de producție.

Mecatronica a stimulat inovația în industrie, ducând la dezvoltarea de noi produse și tehnologii. De exemplu, în domeniul aeronautic, mecatronica a facilitat dezvoltarea de aeronave cu performanțe superioare în ceea ce privește eficiența, siguranța și confortul.

Este important de menționat că mecatronica are și un impact asupra mediului. De exemplu, dezvoltarea de automobile electrice și hibride reprezintă un exemplu de cum mecatronica poate contribui la reducerea poluării aerului și la protejarea mediului.

1.5. Aplicații ale mecatronicii

Mecatronica își găsește utilitatea într-o gamă largă de industrii, de la cele cu tehnologie avansată, cum ar fi industria aerospațială și auto, până la cele din domeniul medical și al bunurilor de larg consum:

- **Industria auto:** sisteme de frânare ABS, airbag-uri, control electronic al stabilității, sisteme de navigație, suspensii active, motoare hibride.
- **Aeronautică:** sisteme de control al zborului, sisteme de navigație, piloți automat, sisteme de aterizare automată.
- **Medicină:** roboți chirurgicali, proteze inteligente, dispozitive medicale implantabile, sisteme de imagistică medicală.
- **Electronică de consum:** smartphone-uri, camere digitale, imprimante, aparate electrocasnice inteligente.
- **Robotica industrială:** roboți de sudură, vopsire, asamblare, manipulare a materialelor.

1.6. Tendințe actuale și viitoare în mecatronică

Mecatronica este un domeniu în continuă evoluție, iar tendințele actuale și viitoare indică o integrare și mai profundă a tehnologiilor, dar și o miniaturizare a componentelor. Printre cele mai importante tendințe se numără:

- Mașinile devin din ce în ce mai puțin mecanice și mai mult informaționale, bazându-se pe senzori și software pentru a-și îndeplini funcțiile. Această tendință este evidentă în dezvoltarea automobilelor autonome, a roboților colaborativi și a altor sisteme mai complexe.
- Componentele mecatronice devin din ce în ce mai mici, ceea ce permite crearea de dispozitive și sisteme mai compacte și mai performante [12]. Această tendință este evidentă în dezvoltarea micro și nano-roboților, a senzorilor miniaturalizați și a altor dispozitive cu aplicații în medicină, biologie sau explorarea spațială.
- Fuziunea dintre optică și mecanică, care permite dezvoltarea de noi tehnologii precum stocarea datelor pe discuri optice cu densități mai mari și crearea de holograme practice.

1.7. Concluzii

Mecatronica a parcurs un drum lung de la începuturile sale modeste din anii 1960. De la sisteme electromecanice simple la mașini

inteligente și integrate, mecatronica a transformat total modul în care trăim și lucrăm. Mecatronica a revoluționat diverse domenii, de la industria auto și aeronautică la medicină și electronică de consum. Prin integrarea mecanicii, electronicii și a informaticii, mecatronica a permis dezvoltarea de produse și sisteme mai performante și mai ușor de utilizat.

Tendențele actuale și viitoare în mecatronică, cum ar fi miniaturizarea, sistemele software-intensive și fuziunea cu biologia, indică un viitor promițător pentru acest domeniu. Mecatronica va avea în continuare un rol important în inovație și progres tehnologic, contribuind la rezolvarea unor probleme complexe și la îmbunătățirea calității vieții.

1.8. Bibliografie

1. Curs introductiv Sisteme mecatronice construcție și calcul:
http://www.mec.legacy.tuiasi.ro/ro/images/OMM/CURS_1_INTRODUCERE_CCSM_2015.pdf (accesat în aprilie 2025)
2. Istoric - Departamentul de Mecatronică - Universitatea Politehnica Timișoara, <https://mctr.mec.upt.ro/istoric/> (accesată în ianuarie 2025)
3. Mecatronică - Wikipedia,
<https://ro.wikipedia.org/wiki/Mecatronic%C4%83> (accesată în ianuarie 2025)
4. Mecatronica | PDF - Scribd,
<https://ro.scribd.com/doc/47296304/mecatronica> (accesată în ianuarie 2025)
5. MECATRONICĂ AUXILIAR - Blog Cariere De Succes,
https://blogcariere.tpsvision.ro/wp-content/uploads/2021/08/Mecatronica-auxiliar_mai_2021.pdf (accesată în ianuarie 2025)

6. MECATRONICA | Independența Română - Independența prin cultură, 2025, <https://www.independentaromana.ro/mecatronica/> (accesată în ianuarie 2025)
7. Sisteme Mecatronice. Comanda-Programare. Curs PDF - Scribd, <https://ro.scribd.com/doc/267650036/Sisteme-mecatronice-Comanda-programare-Curs-pdf> (accesată în ianuarie 2025)
8. SISTEME MECATRONICE –CONSTRUCȚIE ȘI CALCUL. Elemente introductive în mecatronică Mecatronica reprezintă o etapă, http://www.mec.legacy.tuiasi.ro/ro/images/OMM/CURS_1_INTRODUCERE_CCSM_2015.pdf (accesată în ianuarie 2025)
9. Mecatronica - Facultatea de Mecanică Iași - Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi”, http://www.mec.legacy.tuiasi.ro/diverse/Curs_CCD_MCT_Generala.pdf (accesată în ianuarie 2025)
10. Demonstratoare mecatronice pentru robotică - Universitatea Politehnica Timișoara, https://dspace.upt.ro/xmlui/bitstream/handle/123456789/237/BUPT_TD_Sandru.pdf?sequence=3 (accesată în ianuarie 2025)
11. Ivanescu M., Ionel Staretu, I., Nitulescu, M., Joni, N., Istoria roboticii in Romania, Editura AGIR, ISBN: 978-973-720-820-0, 2020.

2. PRODUSE MECATRONICE

Acest capitol este dedicat definirii noțiunii de produs mecatronic, a elementelor componente ale acestuia, precum și identificarea unor exemple reprezentative de produse mecatronice.

Un sistem mecatronic reprezintă o integrare sinergetică între componente mecanice, electronice și de comandă, gestionate de sisteme numerice de calcul, pentru a realiza un control inteligent al mișcărilor și a obține produse cu performanțe superioare în ceea ce privește funcționalitatea, flexibilitatea și inteligența [1].

Cu alte cuvinte, un produs mecatronic se poate defini ca un sistem complex care integrează componente mecanice, electronice și informatice pentru a obține funcționalități avansate și a răspunde nevoilor unei societăți aflate în continuă evoluție și pentru o aplicabilitate în diverse industrii, de la industria auto la cea medicală și agricolă.

2.1. Elementele componente ale unui produs mecatronic

Un produs mecatronic este format din patru componente principale [1]:

- Componenta operativă a produsului care este responsabilă pentru mișcarea și transmiterea energiei și include elementele precum motoarele, actuatorii, senzorii, roțile dințate, ghidajele, etc.
- Partea de comandă este secțiunea cheie responsabilă de asigurarea funcționării corecte și inteligentă a produsului; aici se îmbină ingredientele esențiale precum microcontrolerele și senzorii pentru a coordona mișcările eficient și precis.
- Comunicarea dintre diferitele sisteme mecatronice ale unui produs mecatronic este facilitată de partea de interfață mașină-mecanizare.
- Componentele interfeței om-mașină sunt responsabile de facilitarea comunicării dintre utilizator și produsele mecatronice și includ elementele precum butoane, afișaje, ecrane touch screen, joystick-uri, etc.

Așa cum a reieșit și din definițiile anterioare, un produs mecatronic este un sistem complex care integrează componente din diverse domenii pentru a obține funcționalități avansate. Aceste componente pot fi grupate în trei categorii principale:

1. Componente mecanice: acestea reprezintă structura fizică a produsului mecatronic și includ elemente precum:

- **Elemente de structură:** carcase, șasiuri, suporturi, etc.

- **Mecanisme:** angrenaje, roți dințate, lanțuri cinematice, sisteme de transmisie, etc.
- **Actuatori:** motoare electrice, cilindri pneumatici sau hidraulici, etc., care transformă energia în mișcare.

2. Componente electronice: acestea asigură funcționarea și controlul componentelor mecanice și includ:

- **Senzori:** dispozitive care măsoară diverse variabile fizice (temperatură, presiune, poziție, etc.) și le transformă în semnale electrice.
- **Circuite electronice:** plăci de circuite imprimate (PCB), microcontrolere, microprocesoare, etc., care procesează semnalele de la senzori și comandă actuatorii.
- **Interfețe:** componente care permit comunicarea între diferitele componente ale sistemului mecatronic.

3. Componente informatice: acestea asigură inteligența produsului mecatronic și includ:

- **Software:** programe care controlează funcționarea sistemului mecatronic, implementează algoritmi de control și permit comunicarea cu utilizatorul.
- **Sisteme de calcul:** calculatoare integrate, care procesează informațiile și iau decizii în timp real.

Un aspect esențial al unui produs mecatronic este integrarea armonioasă a acestor componente prin:

- **Interconectarea fizică:** utilizarea de cabluri, conectori, etc. pentru a conecta componentele între ele.
- **Comunicarea digitală:** utilizarea de protocoale de comunicare (ex: CAN bus) pentru a permite schimbul de informații între componente.
- **Controlul integrat:** utilizarea unui sistem de control centralizat care coordonează funcționarea tuturor componentelor.

Exemple de integrare a acestor componente:

- Într-un automobil modern, senzorii de viteză transmit informații către unitatea de control electronică a motorului, care ajustează injecția de combustibil și aprinderea pentru a optimiza performanța și consumul.
- Într-un robot industrial, senzorii de poziție detectează poziția brațului robotului, iar sistemul de control calculează traiectoria optimă pentru a efectua o anumită sarcină.
- Într-o imprimantă modernă, senzorii detectează prezența hârtiei și nivelul de cerneală, iar microcontrolerul comandă mișcarea capului de imprimare și a rolelor de alimentare cu hârtie.

Prin integrarea acestor componente, produsele mecatronice oferă funcționalități avansate, performanță sporită, fiabilitate crescută și o mai bună adaptabilitate la cerințele utilizatorilor.

2.2. Exemple de produse mecatronice

Un aspect remarcabil al mecatronicii este capacitatea sa de a imita natura prin crearea de mașini adaptabile la mediu și capabile să ofere informații printr-un nivel înalt de automatizare. Exemplele de mai jos pun în evidență diversitatea și complexitatea produselor mecatronice din diverse domenii.

2.2.1. Industria auto

2.2.1.1. Sisteme de siguranță auto

- **Sistemul de frânare anti-blocare (ABS):** sistemul mecatronic ABS (Anti-lock Braking System) este un element constitutiv esențial al sistemelor de siguranță activă ale autovehiculelor. Funcția sa principală este de a preveni blocarea roților în timpul frânării, asigurând astfel menținerea controlului direcțional și reducerea distanței de oprire. Sistemul ABS utilizează senzori de viteză pentru a monitoriza viteza de rotație a fiecărei roți. Aceste informații sunt transmise către unitatea electronică de control ABS, care analizează datele și, prin intermediul pompei hidraulice, ajustează presiunea de frânare la nivelul fiecărei roți [2].
- **Airbag-ul:** airbag-urile sunt sisteme de siguranță pasivă care se declanșează în cazul unui impact, protejând pasagerii de lovituri puternice [2]. Astfel, senzorii detectează impactul și activează

un detonator care inițiază o reacție chimică ce generează gaz, umflând airbag-ul în câteva milisecunde.

2.2.1.2. Sisteme de confort și performanță

- **Cutia de viteze automată DSG:** DSG (Direct Shift Gearbox) este un sistem mecatronic avansat care gestionează schimbările de trepte de viteză în funcție de condițiile de condus. Acesta interacționează cu senzori, procesează datele obținute și utilizează solenoizi pentru a controla ambreiajul și a efectua schimbările de trepte [2].

Impactul mecatronicii în industria auto: mecatronica a avut un impact major asupra industriei auto, contribuind la îmbunătățirea siguranței, a eficienței și a confortului în vehiculele moderne. Sistemele mecatronice, precum ABS, airbag-urile și cutiile de viteze automate, au devenit componente esențiale în mașinile moderne, oferind o experiență de condus mai sigură și mai plăcută.

2.2.2. Industria aerospațială

- **Pilotul automat:** pilotul automat este un sistem mecatronic care permite aeronavei să mențină o anumită altitudine, direcție și viteză fără intervenția pilotului. Acesta utilizează senzori pentru a monitoriza parametrii de zbor și ajustează automat comenzile aeronavei pentru a menține traiectoria dorită [3].

- **Dronele:** dronele sunt de fapt aeronave fără pilot la bord, controlate de la distanță sau prin intermediul unor sisteme autonome de navigație. Acestea integrează componente mecanice (motoare, elice, structură), electronice (senzori, controlere de zbor, sisteme de comunicație) și software (algoritmi de control, sisteme de navigație) [4]. Miniaturizarea componentelor, creșterea eficienței energetice și îmbunătățirea sistemelor de control au condus la dezvoltarea performanțelor dronelor, autonomiei, precum și a domeniului lor de utilizare.

Impactul mecatronicii în industria aerospațială: mecatronica a jucat un rol esențial în dezvoltarea industriei aerospațiale, permițând crearea de aeronave mai sigure, mai eficiente și mai autonome. Sistemele mecatronice, precum pilotul automat și dronele, au deschis noi posibilități în domeniul aviației, cu aplicații în transport, supraveghere, cercetare și multe altele.

2.2.3. Electronice de larg consum

- **Imprimantele:** imprimantele moderne sunt produse mecatronice complexe care combină diverse mecanisme de imprimare (cu jet de cerneală, laser) cu sisteme electronice de control și software. Acestea permit imprimarea de documente și imagini de înaltă calitate, cu o viteză și o precizie ridicată.

Impactul mecatronicii în electronicele de larg consum:

mecatronica a transformat radical electronicele de larg consum, oferind produse cu funcționalități avansate, design compact și interfețe intuitive.

2.2.4. Echipamente medicale

- **Roboții chirurgicali:** roboții chirurgicali, precum sistemul da Vinci, permit chirurgilor să efectueze intervenții complexe cu o precizie și o dexteritate sporită. Aceștia sunt controlați de la distanță de către chirurg, care vizualizează câmpul operator prin intermediul unor camere de înaltă rezoluție.
- **Protezele mecatronice:** protezele mecatronice sunt dispozitive avansate care înlocuiesc membrele amputate, oferind funcționalități apropiate de cele naturale. Acestea utilizează senzori pentru a detecta mișcările musculare și actuatori pentru a controla mișcarea protezei.

Impactul mecatronicii în echipamentele medicale: mecatronica a adus o contribuție semnificativă la dezvoltarea de echipamente medicale inovatoare, îmbunătățind precizia diagnosticelor, eficiența tratamentelor și calitatea vieții pacienților. Roboții chirurgicali și protezele mecatronice sunt doar două exemple ale modului în care mecatronica revoluționează medicina modernă.

2.2.5. Aplicații în fabricație

Mecatronica joacă un rol esențial în modernizarea proceselor de fabricație, contribuind la creșterea productivității, a calității și a flexibilității. Sistemele mecatronice sunt utilizate în diverse aplicații industriale, precum:

- **Mașini cu control numeric din computer (CNC):** mașinile CNC sunt controlate de un computer care ghidează mișcările sculelor, permițând prelucrarea precisă a pieselor complexe.
- **Sisteme de monitorizare a sculelor:** aceste sisteme utilizează senzori pentru a monitoriza starea sculelor și a detecta uzura sau defecțiunile, prevenind erorile și optimizând procesul de fabricație.
- **Sisteme avansate de fabricație:** sistemele flexibile de fabricație (FMS) și fabricarea integrată cu computer (CIM) utilizează tehnologii mecatronice pentru a automatiza și optimiza procesele de producție.

2.3. Concluzii

Produsele mecatronice reprezintă o evoluție a tehnologiei, combinând elemente din diverse discipline pentru a crea sisteme complexe și performante. Acestea se regăsesc într-o gamă largă de domenii, îmbunătățind calitatea vieții și eficiența proceselor industriale. Pe măsură ce tehnologia avansează, se poate anticipa o creștere a

complexității și a funcționalităților produselor mecatronice, cu aplicații tot mai diverse în viața de zi cu zi.

Tendințe emergente în mecatronică: o serie de tendințe emergente vor modela dezvoltarea de noi produse și aplicații, printre care se numără:

- Integrarea produselor mecatronice în rețele **IoT** (Internetul lucrurilor) va permite monitorizarea și controlul de la distanță, optimizarea performanței și crearea de noi servicii.
- Utilizarea **AI** (inteligență artificială) în produsele mecatronice va permite acestora să învețe din experiență, să se adapteze la situații noi și să ia decizii autonome.
- **AR** (Realitatea augmentată) și **VR** (realitatea virtuală) vor fi utilizate pentru a crea interfețe om-mașină mai intuitive, facilitând interacțiunea cu produsele mecatronice.

2.4. Bibliografie

1. Mecatronică - Wikipedia, <https://ro.wikipedia.org/wiki/Mecatronic%C4%83> (accesată în ianuarie 2025)
2. Manea, L., Manea, A., Mecatronica automobilului modern, ISBN: 973-685-097-8(2), Universitatea „Ovidius” din Constanța, 2020.
3. Funcționarea funcției de pilot automat inteligent - Kia Owner's Manual, https://ownersmanual.kia.com/docview/webhelp/doc/6a3a4e70-9630-4498-bb73-fa5d66909eb4/topics/chapter6_21_5.html (accesată în ianuarie 2025)
4. Drone Mechatronics, <https://www.sdu.dk/en/forskning/cim/research-areas/drone-mechatronics> (accesată în ianuarie 2025)

3. PARTICULARITĂȚI ALE DESIGNULUI PRODUSELOR MECATRONICE

Designul unui produs mecatronic este un proces complex care necesită o abordare interdisciplinară, integrând cunoștințe din domeniul mecanic, electronic și informatic. Acest proces implică o serie de etape cheie, de la definirea specificațiilor și a cerințelor sistemului până la prototipare și validare.

3.1. Etapele procesului de design al unui produs mecatronic

Procesul de design al unui produs mecatronic poate fi structurat în trei faze principale [1]:

1. **Modelare și simulare:** această fază implică crearea de modele matematice și simularea funcționării produsului mecatronic. Se

utilizează modele bazate pe principii fundamentale sau modele mai detaliate, care oferă o reprezentare mai precisă a comportamentului sistemului [1].

2. **Prototipare:** în această etapă se construiește un prototip al sistemului mecatronic, care permite testarea și validarea designului. Prototipul poate fi realizat utilizând componente reale sau componente simulate, în funcție de complexitatea sistemului și de resursele disponibile.
3. **Implementare:** după validarea prototipului, se trece la implementarea designului final. Această etapă implică fabricarea și asamblarea componentelor, programarea sistemului de control și testarea finală a produsului mecatronic.

3.2. Ingineria concurentă în designul produselor mecatronice

Designul produselor mecatronice promovează conceptul de inginerie concurentă, în care etapele de proiectare și fabricație sunt integrate. Această abordare permite o colaborare mai strânsă între echipele de design și producție, reducând timpul de lansare pe piață și optimizând costurile [1].

3.3. Considerații importante în designul produselor mecatronice

- **Cerințele sistemului:** definirea clară a cerințelor sistemului este esențială pentru succesul designului produsului mecatronic. Aceste cerințe includ specificații de performanță, funcționalitate, fiabilitate, costuri și termene de livrare [2].
- **Selecția senzorilor și actuatorilor:** senzorii și actuatorii sunt componente cheie ale unui sistem mecatronic. Selecția acestora trebuie să țină cont de o serie de factori, cum ar fi tipul de variabile măsurate, domeniul de măsurare, precizia, sensibilitatea, condițiile de mediu și costurile [2].
- **Sistemul de control:** sistemul de control este responsabil de gestionarea și coordonarea funcționării componentelor mecatronice. Alegerea tipului de sistem de control (buclă deschisă sau buclă închisă) depinde de cerințele specifice ale aplicației [2].
- **Integrarea componentelor:** integrarea componentelor mecanice, electronice și informatice este esențială pentru funcționarea corectă a sistemului mecatronic. Aceasta implică utilizarea de interfețe hardware și software adecvate, precum și asigurarea compatibilității între componente [2].
- **Designul pentru ciclul de viață:** designul unui produs mecatronic trebuie să țină cont de întregul ciclu de viață al

produsului, de la proiectare și fabricație, până la utilizare, întreținere și reciclare [1].

3.4. Instrumente software pentru designul unui produs mecatronic

Există o varietate de instrumente software disponibile pentru a sprijini procesul de design al unui produs mecatronic. Aceste instrumente includ software de modelare 3D, software de simulare, software de proiectare a circuitelor electronice și software de programare a sistemelor de control. Utilizarea acestor instrumente poate contribui la optimizarea designului, reducerea erorilor și accelerarea procesului de dezvoltare.

3.5. Concluzii

Designul unui produs mecatronic este un proces iterativ și complex, care necesită o abordare interdisciplinară și o bună înțelegere a interacțiunii dintre componentele mecanice, electronice și informatice. Prin utilizarea unei abordări a ingineriei concurente și a instrumentelor software adecvate, se poate optimiza designul, reduce costurile și timpul de dezvoltare și crea produse mecatronice inovatoare și performante.

3.6. Bibliografie

1. THE MECHATRONICS DESIGN PROCESS,
http://www.slpk.sk/eldo/2005/010_05/13.pdf (accesată în ianuarie 2025)
2. An Approach To Mechatronics System Design - RJ Wave,
<https://rjwave.org/ijedr/papers/IJEDR1902068.pdf> (accesată în ianuarie 2025)

4. SENZORI UTILIZAȚI ÎN PRODUSELE MECATRONICE

Senzorii joacă un rol esențial în diverse dispozitive și sisteme, de la smartphone-uri la automobile și roboți industriali. Aceștia acționează ca interfață între lumea fizică și cea digitală, permițând dispozitivelor să perceapă și să reacționeze la stimuli externi. În domeniul mecatronicii, care combină elemente de mecanică, electronică și informatică, senzorii sunt vitali pentru funcționarea sistemelor inteligente și automatizate.

Un senzor este un dispozitiv care detectează și măsoară o mărime fizică sau chimică, cum ar fi temperatura, presiunea, lumina, sau compoziția chimică a unui fluid, și o transformă într-un semnal electric ce poate fi interpretat de un sistem de control [1].

Cele mai importante caracteristici ale senzorilor sunt:

- **Miniaturizarea:** senzorii moderni sunt adesea foarte mici, permițând integrarea lor în dispozitive compacte. Această miniaturizare a permis dezvoltarea de tehnologii inovatoare, cum ar fi dispozitivele portabile (ceasuri inteligente, brățări fitness) și dispozitivele medicale implantabile [1].
- **Multiplicarea funcțională:** un singur senzor poate include mai multe elemente de detecție, permițând măsurarea simultană a mai multor parametri.
- **Fusiunea senzorială:** mai mulți senzori pot fi combinați pentru a oferi o imagine completă a mediului. De exemplu, datele de la un senzor de temperatură și un senzor de vibrații pot fi corelate pentru a detecta defecțiuni mecanice [1].

4.1. Tipuri de senzori utilizați în mecatronică

Există o varietate de senzori utilizați în mecatronică, fiecare cu propriul său principiu de funcționare și aplicații specifice. Printre cele mai utilizate tipuri de senzori utilizați se numără senzorii de proximitate, ultrasonici, tactili, de presiune, de temperatură, optici, cu infraroșu, chimici, de gaz, de poziție.

4.1.1. Senzori de proximitate

Aceștia detectează prezența sau absența unui obiect fără contact fizic.

Senzorii de proximitate pot fi **inductivi** (fig 4.1), care detectează obiecte metalice pe baza principiului inducției electromagnetice, **optici** (fig 4.2), care folosesc lumina (vizibilă sau infraroșie) pentru a detecta obiecte prin reflexie sau întrerupere a fasciculului luminos, sau **capacitivi** (fig 4.3), care detectează obiecte pe baza schimbării capacității electrice a unui condensator [2].

Un senzor de proximitate inductiv este alcătuit dintr-un oscilator, o bobină, un circuit de detecție și un circuit de ieșire. Oscilatorul induce un câmp magnetic cu polaritate alternantă în jurul bobinei. Atunci când un obiect metalic este în apropierea senzorului, câmpul magnetic este perturbat, iar această perturbare este detectată de circuitul de detecție. Circuitul de ieșire generează apoi un semnal care poate fi utilizat pentru a controla alte dispozitive, cum ar fi un releu sau un PLC (așa cum reiese din descrierea din fig.4.1.b).

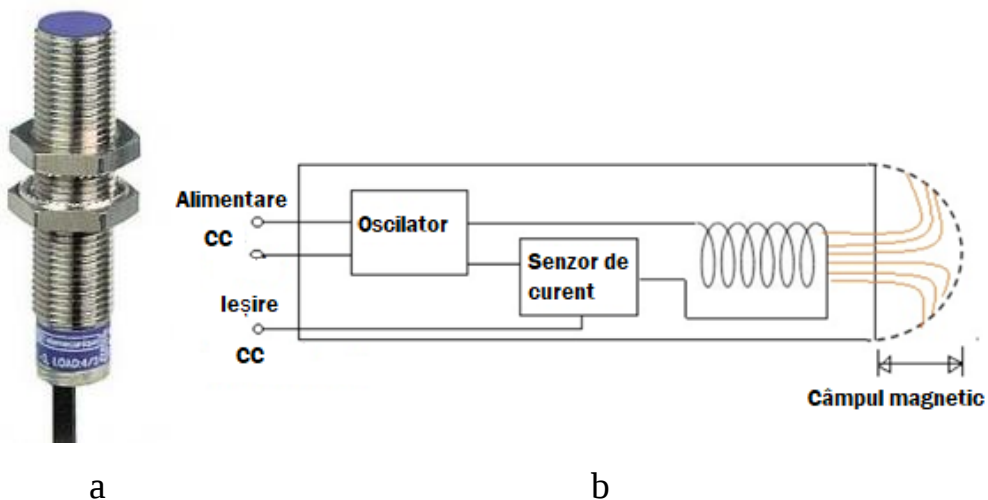


Figura 4.1. Senzor de proximitate inductiv: a) exemplu [3]; b) principiu de funcționare [4]

Senzorii de proximitate optici (fig. 4.2) se pot clasifica în funcție de modul de detecție a obiectului:

- **Senzori cu reflexie directă:** emițătorul și receptorul sunt amplasate în aceeași unitate. Lumina emisă de emițător este reflectată de obiectul țintă și recepționată de receptor. Acești senzori sunt ușor de utilizat și au un cost redus, dar pot fi afectați de culoarea și textura suprafeței obiectului.
- **Senzori cu reflexie pe reflector:** emițătorul și receptorul sunt amplasate în aceeași unitate, iar un reflector separat este utilizat pentru a reflecta lumina emisă către receptor. Acești senzori sunt mai puțin sensibili la variațiile de culoare și textură ale obiectului, dar necesită instalarea unui reflector.
- **Senzori cu barieră:** emițătorul și receptorul sunt amplasate în unități separate. Lumina emisă de emițător trebuie să ajungă la

receptor pentru ca senzorul să fie inactiv. Atunci când un obiect întrerupe fasciculul de lumină, senzorul se activează. Acești senzori oferă o precizie ridicată și sunt imuni la variațiile de culoare și textură, dar necesită alinierea precisă a emițătorului și receptorului.

Un senzor de proximitate optic este compus din următoarele elemente principale:

- **Emițătorul:** generează fasciculul de lumină, de obicei o diodă LED care emite lumină infraroșie sau vizibilă (roșie).
- **Receptorul:** detectează lumina reflectată de obiectul țintă, de obicei un fototranzistor sau o fotodiodă.
- **Lentila:** focalizează lumina emisă de emițător și colectează lumina reflectată către receptor.
- **Filtru optic:** filtrează lumina ambientală pentru a reduce interferențele și a îmbunătăți precizia senzorului.
- **Circuit electronic:** procesează semnalul electric generat de receptor și îl convertește într-un semnal de ieșire utilizabil.

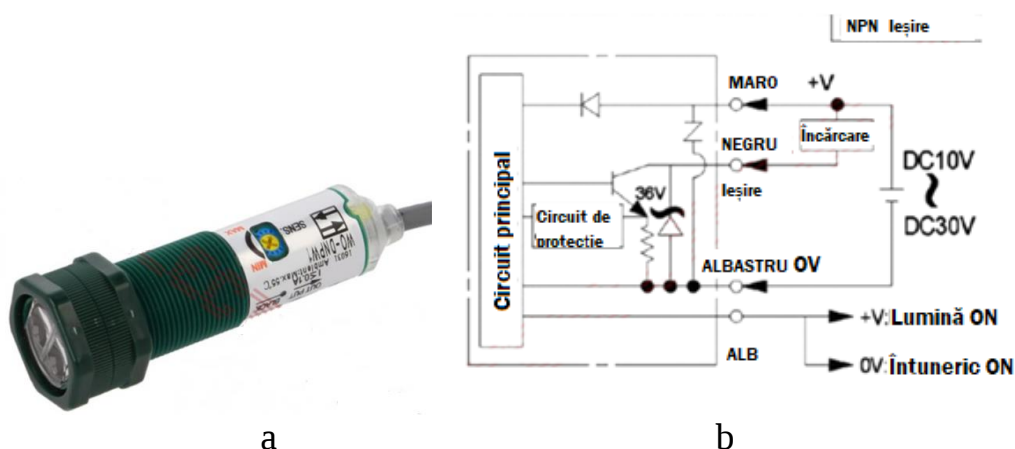


Figura 4.2. Senzor de proximitate optic: a) exemplu cu REFLEXIE pe filet M18; b) schema electrică [5]

Un senzor de proximitate capacitiv (fig.4.3) este un dispozitiv electronic care detectează prezența unui obiect în câmpul său de acțiune fără contact fizic. Acesta funcționează prin măsurarea modificării capacității electrice care apare atunci când un obiect se apropie de suprafața activă a senzorului; modificarea capacității este cauzată de modificarea dielectricului dintre senzor și obiect. În ceea ce privește semnalul de ieșire, senzorii capacitivi pot oferi atât ieșiri digitale (de tip releu), dar și ieșiri analogice (proportionale cu distanța sau constanta dielectrică a țintei).

Senzorii capacitivi au ca și componente de bază:

- **Carcasa:** poate avea diferite forme, mărimi și materiale de construcție (plastic, metal) în funcție de aplicație.
- **Elementul de senzor de bază:** este un condensator care poate fi de tip plan și cilindric. Condensatorul plan este format din

două plăci conductoare paralele, separate de un dielectric, în timp ce condensatorul cilindric este format din doi cilindri concentrici, separați de un dielectric.

- **Instalația electronică:** evaluează ce detectează senzorul și generează semnalul de ieșire. Circuitul electronic include un oscilator, un circuit de detectare și un amplificator. Oscilatorul generează un semnal de înaltă frecvență care este aplicat condensatorului. Circuitul de detectare monitorizează modificările capacității condensatorului, iar amplificatorul amplifică semnalul de ieșire.
- **Conexiunea electrică:** asigură alimentarea senzorului și transmiterea semnalului(elor) de ieșire. Conexiunea electrică poate fi realizată prin intermediul unui cablu sau a unui conector.

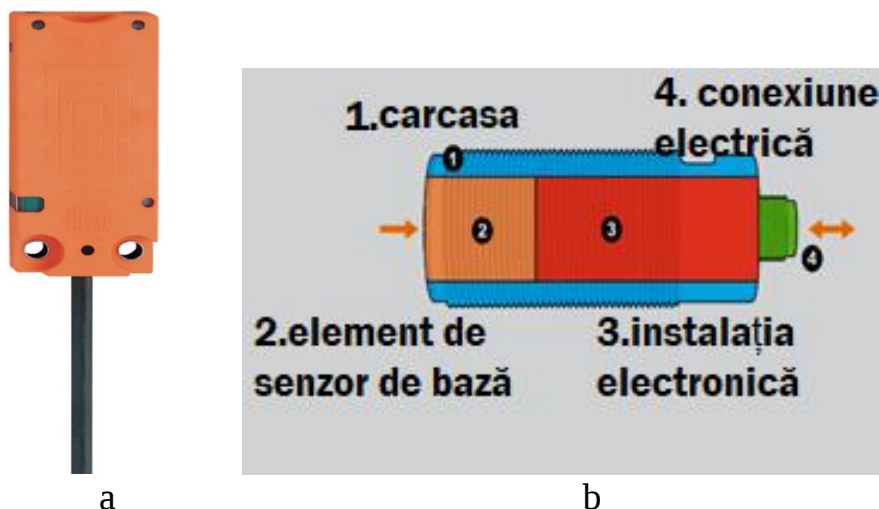


Figura 4.3. Senzor de proximitate capacitiv: a)exemplu; b) elemente componente [6]

De obicei, în fișele tehnice ale senzorilor capacitivi se specifică trei distanțe de detectare diferite:

- **Distanța de detectare nominală:** este distanța definită în condiții ideale de laborator, cu o țintă standard.
- **Distanța de detectare reală:** ia în considerare variațiile de temperatură și este, de regulă, cu 10% mai mică decât distanța nominală.
- **Distanța de operare:** ia în considerare și alți factori, cum ar fi umiditatea, și este, de obicei, cu 10% mai mică decât distanța reală.

4.1.2. Senzori ultrasonici

Aceștia detectează prezența și distanța față de obiecte prin emiterea de unde sonore și măsurarea timpului necesar pentru ca acestea să se întoarcă la senzor (fig.4.4). Sunt utilizați în diverse aplicații, de la sisteme de parcare la roboți industriali [7].

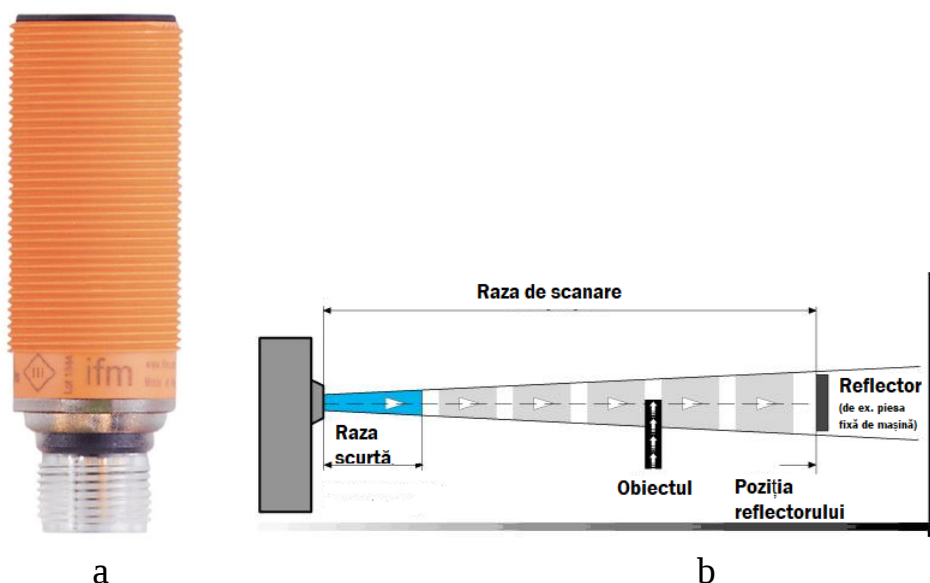


Figura 4.4. Senzor ultrasonic: a) exemplu [8]; b) descriere funcționare [9]

4.1.3. Senzori tactili

Aceștia detectează atingerea sau presiunea aplicată pe o suprafață (un exemplu este prezentat în fig. 4.5). Sunt utilizați în roboți industriali pentru a detecta contactul cu obiecte, precum și în ecranele tactile [10].

Senzorii funcționează similar unui comutator. Atunci când suprafața senzorului este atinsă sau este aplicată o presiune asupra sa, acesta acționează ca un comutator închis, permițând trecerea curentului electric. În absența atingerii sau a presiunii, senzorul acționează ca un comutator deschis, întrerupând circuitul electric.

Elementele componente ale unui senzor tactil variază în funcție de tipul și designul specific al senzorului. Cu toate acestea, majoritatea senzorilor tactili includ următoarele componente:

- **Suprafața de detectare:** este suprafața senzorului care detectează atingerea sau presiunea. Suprafața de detectare poate fi din diverse materiale, cum ar fi sticlă, plastic sau metal. De exemplu, senzorii tactili capacitivi KTE de la ifm electronic au suprafața de detecție disponibilă în oțel inoxidabil rezistent sau plastic luminos.
- **Electrozi:** sunt conductori electrici care sunt utilizați pentru a măsura schimbarea capacității sau a rezistenței electrice a senzorului. Electrozi sunt în general realizați din oxid de staniu de indiu (ITO), un aliaj care este conductiv și care se poate depune sub forma unui film transparent.
- **Circuit electronic:** este un circuit care procesează semnalele electrice generate de senzor și le transformă într-o formă utilizabilă de către alte sisteme.
- **Carcasa:** este o structură care protejează componentele interne ale senzorului și le oferă suport mecanic. Aceasta poate fi fabricată din plastic, metal sau alte materiale. Senzorii KTE de la ifm electronic au carcasă din oțel inoxidabil sau plastic M22 testată.



Figura 4.5. Senzori tactili capacitivi [11]

4.1.4. Senzori de presiune

Un senzor de presiune măsoară presiunea dintr-un fluid (lichid sau gaz) și transformă informațiile fizice primite în semnal electric. Un aspect important de menționat este că presiunea absolută se măsoară în raport cu vidul (adică un zero absolut). Ceea ce înseamnă că presiunea absolută este egală cu presiunea relativă la care se adaugă presiunea atmosferică. Deoarece presiunea atmosferică este variabilă în funcție de altitudine și condițiile meteorologice, măsurarea presiunii absolute este foarte importantă în anumite aplicații.

Elementele componente ale unui senzor de presiune pot varia în funcție de tipul de senzor și de tehnologia utilizată. Majoritatea senzorilor de presiune conțin următoarele componente principale:

- **Elementul sensibil la presiune:** este elementul care detectează și răspunde la schimbările de presiune. Poate fi o diafragmă, un cristal piezoelectric, un tub Bourdon sau o fibră optică.
- **Traductorul:** transformă schimbarea fizică cauzată de presiune (de exemplu, deformarea diafragmei) într-un semnal electric ce poate fi măsurat.
- **Circuitul de condiționare a semnalului:** amplifică, filtrează și convertește semnalul electric de la traductor într-o formă corespunzătoare pentru afișare, procesare sau control.
- **Carcasa:** protejează componentele interne ale senzorului de mediul extern și asigură o montare sigură.

Tehnologiile utilizate în construcția senzorilor de presiune au evoluat semnificativ, permițând dezvoltarea de senzori mai mici, mai precisi și mai fiabili. Unele dintre tehnologiile cheie includ:

- **Microelectromecanica (MEMS):** permite fabricarea de senzori miniaturali cu costuri reduse, prin utilizarea tehnicilor de microfabricație. Un exemplu este utilizarea MEMS în accelerometrele din smartphone-uri pentru a detecta mișcarea și orientarea dispozitivului.
- **Senzori piezoresistivi cu siliciu difuz:** oferă o sensibilitate ridicată, o precizie bună și o stabilitate pe termen lung. Senzorii piezoresistivi cu siliciu difuz sunt utilizați pe scară largă în instrumente industriale de presiune, monitorizarea nivelului lichidului, nave și echipamente de navigație, datorită

dimensiunilor mici, greutatea redusă, adaptabilității la diferite medii, sensibilității ridicate și preciziei ridicate.

- **Senzori capacitivi ceramici:** sunt robusti, rezistenți la coroziune și au o stabilitate excelentă la temperatură. Sunt utilizați în aplicații precum sistemele de tratare a apelor și măsurarea presiunii în instalații chimice, unde este necesară o rezistență sporită la medii corozive.
- **Tehnologia filmului subțire:** permite crearea de senzori flexibili și ușori, cu o sensibilitate ridicată. Această tehnologie este utilizată în aplicații medicale, cum ar fi măsurarea presiunii sanguine, unde este necesară o flexibilitate și o sensibilitate ridicată.

Printre cele mai importante tipuri de senzori de presiune se numără:

- **Senzori de presiune absolută:** sunt senzori care măsoară presiunea prin compararea acesteia cu un vid perfect (fig 4.6) [12].



Figura 4.6. Senzor de presiune absolută [13]

- **Senzori de presiune relativă:** sunt senzori care măsoară presiunea prin comparare cu presiunea atmosferică (fig 4.7) [14].



Figura 4.7. Senzor de presiune relativă [14]

- **Senzori de presiune diferențială:** sunt senzori care măsoară diferența de presiune între două puncte. Sunt utilizați în diverse aplicații, de la monitorizarea presiunii în anvelope la controlul presiunii în sisteme hidraulice (fig 4.8).



Figura 4.8. Senzor de presiune diferențială [15]

4.1.5. Senzori de temperatură

Temperatura este una dintre cele mai importante și des măsurate mărimi fizice în diferite aplicații, de la cele industriale la cele casnice. Senzorii de temperatură joacă un rol crucial în monitorizarea și controlul temperaturii, oferind informații precise și în timp real despre mediul înconjurător.

Aceștia măsoară temperatura unui obiect sau a unui mediu și o transformă într-un semnal electric.

Printre cele mai comune tipuri de senzori de temperatură se numără:

- **Senzori termoelectrice (termocupluri):** se bazează pe efectul Seebeck, care constă în generarea unei tensiuni electrice la joncțiunea a două metale diferite atunci când acestea sunt expuse la o diferență de temperatură. Termocuplurile sunt robuste, durabile și pot măsura temperaturi foarte ridicate (fig 4.9) [16].

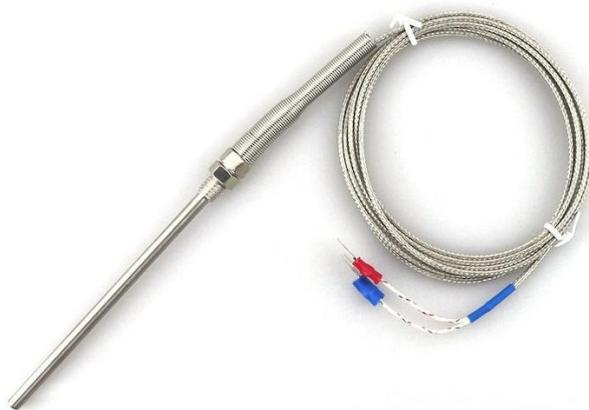


Figura 4.9. Termocuplu tip K [16]

- **Senzori termorezistivi:** se bazează pe principiul că rezistența electrică a unui material se modifică odată cu temperatura.
 - **Termorezistoare metalice (RTD):** sunt fabricate din metale pure, cum ar fi platina, nichelul sau cuprul, și oferă o precizie ridicată și o stabilitate excelentă pe o gamă largă de temperaturi. Măsoară temperatura prin variația rezistenței electrice a unui material conductor, a cărui elemente componente sunt detaliate în [17].

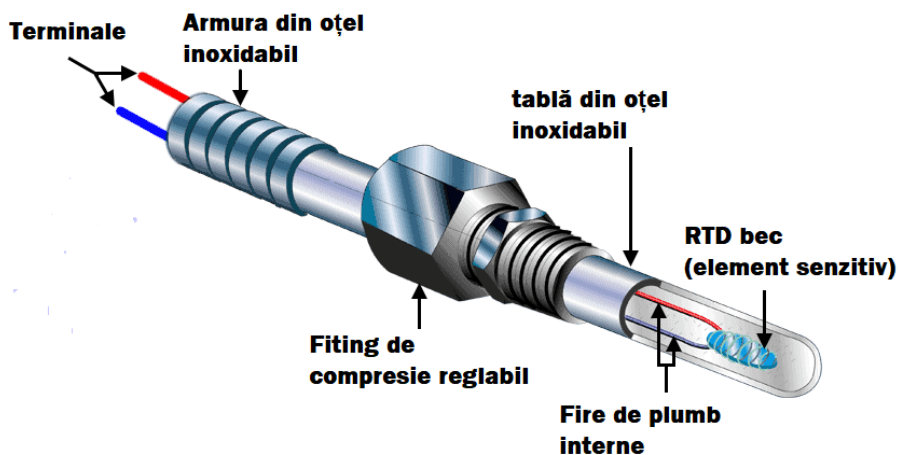


Figura 4.10. Senzor de tip RTD [17]

- **Termistori:** sunt fabricați din materiale semiconductoare și au o sensibilitate ridicată la schimbările de temperatură, dar o liniaritate mai mică decât RTD-urile. Sunt rezistențe a căror rezistență variază odată cu temperatura. Pot fi utilizați în diverse aplicații, de la controlul temperaturii în

sisteme de încălzire la monitorizarea temperaturii în motoare (fig.4.11) [18].



Figura 4.11. Termistor NTC [18]

- **Senzori cu semiconductori:** se bazează pe proprietățile semiconductoarelor pentru a determina temperatura și sunt utilizați frecvent în industrie și monitorizarea mediului.
- **Senzori cu infraroșu:** pot determina temperatura unui obiect fără a-l atinge, analizând radiația infraroșie pe care acesta o emite. Sunt utili în situații în care contactul direct cu obiectul măsurat este dificil sau imposibil.
- **Termometre cu lichid în sticlă:** sunt cele mai comune termometre și funcționează prin expansiunea unui lichid (de obicei mercur sau alcool) într-un tub capilar atunci când temperatura crește.

Elementele componente ale unui senzor de temperatură pot varia în funcție de tipul de senzor. În general, un senzor de temperatură include următoarele componente:

- **Elementul senzitiv:** este componentul care detectează schimbările de temperatură. Poate fi un termistor, un RTD, un termocuplu sau un alt material sensibil la temperatură.
- **Contactele:** sunt fire sau plăci conductive care asigură conexiunea electrică între elementul senzitiv și circuitul electronic exterior.
- **Stratul protector:** este un strat care protejează elementul senzitiv de mediul extern. Poate fi fabricat din sticlă, ceramică sau plastic.
- **Circuitul electronic:** este circuitul care procesează semnalul electric generat de elementul senzitiv și îl convertește într-o formă utilizabilă.

Alegerea senzorului de temperatură potrivit depinde de o serie de factori, inclusiv:

- **Gama de temperatură:** senzorul trebuie ales astfel încât să poată măsura temperatura în limitele necesare.
- **Liniaritatea:** teoretic un senzor are un răspuns perfect liniar, dar în realitate nu este perfect liniar.
- **Sensibilitatea:** sensibilitatea indică cât de mult se modifică semnalul de ieșire al senzorului pentru o anumită schimbare de temperatură.

- **Timpul de răspuns:** timpul necesar senzorului pentru a reacționa la o schimbare de temperatură.
- **Stabilitatea:** capacitatea senzorului de a menține o ieșire constantă la o temperatură dată.
- **Precizia:** acuratețea măsurărilor este influențată de alegerea senzorului, dar și de factori precum cablarea și ecranarea.

Alegerea corectă a senzorului de temperatură este esențială pentru a asigura măsurători precise și fiabile.

4.1.6. Senzori optici

Deși utilizarea pe scară largă a senzorilor optici este relativ recentă, conceptul de detectare a luminii și utilizarea acesteia pentru a obține informații despre mediul înconjurător datează de secole. Primele forme de senzori optici au fost dispozitive simple, cum ar fi celulele fotoelectrice, care au fost utilizate pentru a detecta lumina și a o converti într-un semnal electric. Odată cu dezvoltarea tehnologiei, senzorii optici au devenit tot mai complecși, fiind utilizați într-o gamă largă de aplicații.

Senzorii optici detectează lumina și o transformă într-un semnal electric. Pot fi utilizați pentru a măsura intensitatea luminii, culoarea, sau pentru a detecta prezența sau absența luminii. Un exemplu de senzor optic este prezentat în fig.4.12 [19].

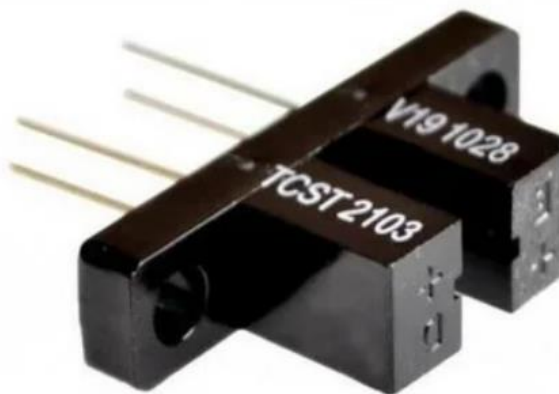


Figura 4.12. Senzor optic de tip TCST2103 [19]

Componentele unui senzor optic variază în funcție de tipul și complexitatea acestuia.

În general, un senzor optic include:

- **Emitator:** generează semnalul luminos, de obicei o diodă LED care emite lumină infraroșie sau vizibilă.
- **Receptor:** detectează lumina emisă de emițător, de obicei o fotodiodă sau un fototranzistor.
- **Optică:** include lentile, filtre și alte elemente optice care dirijează și focalizează lumina.
- **Electronică:** include circuite de amplificare, filtrare și procesare a semnalului electric.
- **Carcasă:** protejează componentele senzorului și asigură montarea acestuia.

Senzorii optici pot fi clasificați în funcție de mai multe criterii:

- **Domeniul spectral:** senzorii optici pot fi proiectați să funcționeze în diferite domenii ale spectrului electromagnetic, cum ar fi lumina vizibilă, infraroșu sau ultraviolet. Alegerea domeniului spectral depinde de aplicația specifică și de proprietățile obiectului care trebuie detectat.
- **Materialul utilizat:** senzorii optici pot fi fabricați dintr-o varietate de materiale, inclusiv siliciu, compuși semiconductori sau straturi subțiri. Materialul utilizat influențează sensibilitatea, performanța și costul senzorului.
- **Domeniul de aplicație:** senzorii optici sunt utilizați într-o varietate mare de domenii, de la senzori de imagine în camere digitale la senzori de proximitate în automatizări industriale.
- **Principiul de funcționare:** senzorii optici pot funcționa pe baza unor principii diferite, cum ar fi reflexia, bariera optică sau fibra optică.

4.1.7. Senzori cu infraroșu

Senzorii cu infraroșu au rolul de a detecta radiația infraroșie emisă de obiecte. Aceștia pot fi utilizați în diverse aplicații, de la telecomenzi până la sisteme de detectare a mișcării (ca cel prezentat în fig.4.13, care este un senzor de mișcare) [20].



Figura 4.13. Senzor cu infraroșu mini, PIR, HC-SR505 [20]

Elementele componente ale unui senzor cu infraroșu variază în funcție de tipul și complexitatea acestuia. În general, un senzor cu infraroșu include următoarele componente:

- **Elementul sensibil la infraroșu:** este elementul care detectează radiația infraroșie. Poate fi un senzor piroelectric, un termopil sau un fotodiodă.
- **Lentile:** focalizează radiația infraroșie pe elementul sensibil.
- **Filtru:** blochează radiația nedorită, cum ar fi lumina vizibilă.
- **Circuitul de amplificare:** amplifică semnalul electric generat de elementul sensibil.
- **Circuitul de procesare:** procesează semnalul electric și îl convertește într-o formă utilizabilă.

4.1.8. Senzori chimici

Aceștia detectează prezența sau concentrația anumitor substanțe chimice într-un mediu. Sunt utilizați în diverse aplicații, de la monitorizarea calității aerului la detectarea gazelor toxice [21].

Un senzor chimic este alcătuit din două componente principale:

- **Receptorul:** este elementul care interacționează cu analitul țintă (substanța chimică de interes). Receptorul poate fi o moleculă specifică, un polimer, un metal sau un material compozit, ales în funcție de analitul care trebuie detectat.
- **Traductorul:** convertește interacțiunea chimică dintre receptor și analit într-un semnal măsurabil, de obicei un semnal electric. Traductorul poate fi de diferite tipuri, cum ar fi electrochimic, optic, termic sau piezoelectric, în funcție de principiul de funcționare al senzorului.

Pe lângă aceste două componente principale, un senzor chimic poate include și alte elemente, cum ar fi: filtre, amplificatoare, microprocesoare, biosenzori sau carcase.

4.1.9. Senzori de gaz

Aceștia sunt similari cu senzorii chimici, dar sunt specializați în detectarea gazelor. Sunt utilizați în diverse aplicații, de la detectarea scurgerilor de gaze la monitorizarea calității aerului. Un exemplu de senzor de gaz este prezentat în fig.4.14 [22].



Figura 4.14. Senzor de gaz metan de tip MQ-4 [22]

Un senzor de gaz este de obicei compus din următoarele elemente:

- **Elementul sensibil:** este componenta principală a senzorului, care interacționează direct cu gazul țintă. Elementul sensibil poate fi din mai multe tipuri de materiale, cum ar fi oxizi metalici semiconductori, polimeri conductori sau materiale catalitice, în funcție de tipul de gaz detectat și de principiul de funcționare al senzorului.
- **Traductorul:** convertește modificările fizice sau chimice care au loc în elementul sensibil, ca urmare a interacțiunii cu gazul, într-un semnal electric măsurabil. Tipul de traductor utilizat depinde de tehnologia senzorului și poate fi electrochimic, optic, termic sau acustic.
- **Circuitul de condiționare a semnalului:** amplifică, filtrează și procesează semnalul electric generat de traductor, pentru a-l

face compatibil cu diferite dispozitive electronice, cum ar fi microcontrolere sau sisteme de alarmă.

- **Carcasa:** protejează componentele interne ale senzorului de mediul extern și asigură o interfață mecanică pentru montarea senzorului.

4.1.10. Senzori de poziție

Un senzor de poziție este un dispozitiv electronic care detectează și măsoară poziția liniară sau unghiulară a unui obiect.

Senzorii de poziție convertesc poziția fizică într-un semnal electric, care poate fi utilizat pentru a monitoriza, controla sau automatiza diverse procese. Aplicațiile senzorilor de poziție sunt diverse, de la controlul mișcării în robotică, la monitorizarea poziției în sistemele de transport, la măsurarea distanței și până la detectarea prezenței obiectelor.

Senzorii de poziție funcționează pe baza unor principii fizice diverse, cum ar fi:

- **Variația rezistenței electrice:** senzorii potențiometrici utilizează un cursor care se deplasează de-a lungul unui rezistor, modificând rezistența electrică proporțional cu poziția. De exemplu, la un controler de volum audio, poziția cursorului potentiometrului determină nivelul de rezistență și, implicit, volumul sunetului.

- **Inducția electromagnetică:** senzorii inductivi detectează prezența și distanța față de obiectele metalice prin variația câmpului magnetic. Un exemplu este senzorul de proximitate utilizat în sistemele de securitate pentru a detecta apropierea unei persoane de o ușă.
- **Înteruperea fasciculului luminos:** senzorii optici utilizează o sursă de lumină și un receptor pentru a detecta prezența sau absența unui obiect în calea fasciculului luminos. Un exemplu este senzorul de prezență utilizat pentru a activa automat luminile într-o încăpere.
- **Variația capacității electrice:** senzorii capacitivi detectează modificarea capacității electrice dintre senzor și obiectul țintă. Aceștia sunt utilizați, de exemplu, în ecranele tactile pentru a detecta atingerea degetului.
- **Câmpul magnetic:** senzorii magnetici detectează prezența și intensitatea câmpului magnetic generat de un magnet permanent sau un electromagnet. Un exemplu este senzorul de viteză utilizat în sistemele ABS ale automobilelor.
- **Reflexia undelor sonore:** senzorii ultrasonici emit unde sonore și măsoară timpul necesar pentru ca acestea să se reflecte de la un obiect, determinând astfel distanța. Un exemplu este senzorul de parcare utilizat în automobile pentru a detecta obstacolele din spate.

Senzorii de poziție pot fi clasificați în funcție de tipul de mișcare detectată (liniară sau rotativă) și de tehnologia utilizată.

4.1.10.1. Senzori de poziție liniară

Acești senzori măsoară deplasarea liniară a unui obiect de-a lungul unei axe. Ei pot fi de diverse tipuri, printre care cei mai utilizați sunt: potențiometrici, inductivi, capacitivi, magnetici, capacitivi.

- a. **Senzori potențiometrici:** utilizează un cursor care se deplasează de-a lungul unui rezistor. Sunt simpli și ieftini, dar au o durată de viață limitată din cauza uzurii mecanice.

Senzorii potentiometrici sunt o clasă importantă de senzori chimici utilizați pentru a determina concentrația unei substanțe chimice specifice, denumită analit, într-o soluție sau un gaz. Această diferență de potențial este proporțională cu logaritmul concentrației analitului, conform ecuației **Nernst**:

$$E = E^{\circ} + (RT/nF) \ln(a) \quad (4.1)$$

unde:

- E este potențialul măsurat (în volți) între electrodul de lucru și cel de referință.
- E° este potențialul standard al electrodului (în volți), o constantă specifică fiecărui tip de electrod.
- R este constanta universală a gazelor ($8.314 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$).
- T este temperatura absolută (măsurată în grade Kelvin).

- **n** este numărul de electroni implicați în reacția de electrod (un număr întreg).
- **F** este constanta Faraday (96,485 C/mol), care reprezintă sarcina electrică a unui mol de electroni.
- **a** este activitatea analitului, o măsură a concentrației efective a analitului în soluție.

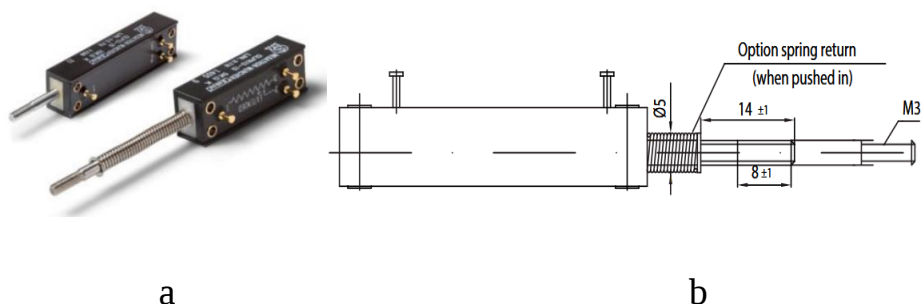


Figura 4.15. Senzor liniar potențiometric liniar: a) modelul CLP13; b) desen tehnic al modelului CLP13 [23]

Spre exemplificare, în fig. 4.15 este reprezentat un senzor potențiometric compact, utilizabil în aplicațiile care necesită un senzor de deplasare aplicabil într-un spațiu redus [23].

Elementele componente principale ale unui senzor potențiometric, evidențiate și în fig. 4.16 sunt:

- **Electrodul de lucru:** a cărui potențial variază în funcție de concentrația analitului. Alegerea electrodului de lucru depinde de natura analitului și de aplicația specifică. Există diverse tipuri de electrozi de lucru, printre care cei mai întâlniți sunt electrozi metalici, ion selectivi sau cu membrane selective.

- **Electrodul de referință:** este un electrod cu un potențial stabil și cunoscut, care servește ca punct de referință pentru măsurarea potențialului electrodului de lucru. Exemple de electrozi de referință includ electrodul de calomel saturat (SCE) și electrodul de argint/clorură de argint (Ag/AgCl).
- **Soluția de analizat:** este soluția care conține analitul a cărei concentrație se dorește a fi determinată.
- **Voltmetru:** este un instrument de măsură a diferenței de potențial electric între electrodul de lucru și electrodul de referință (potențiostat).

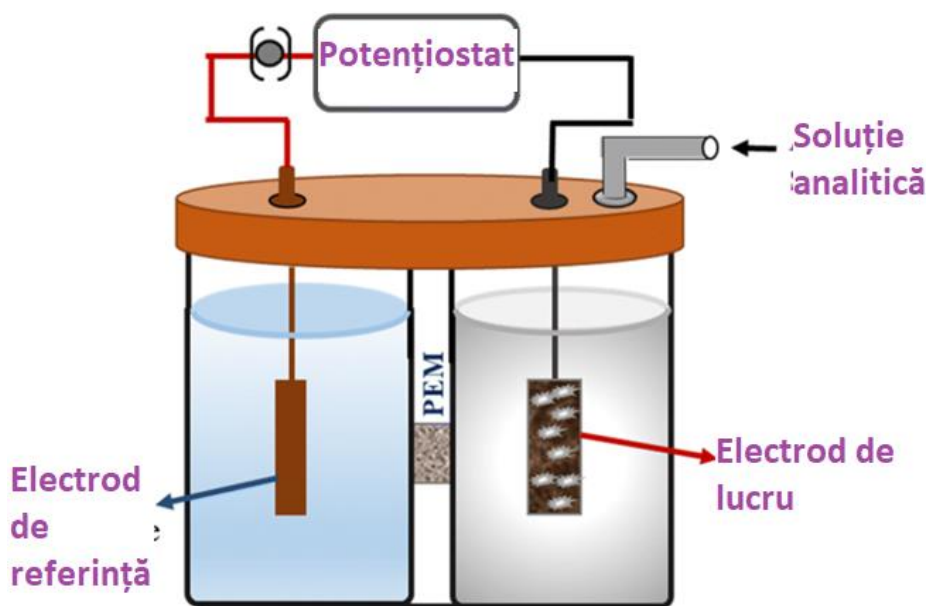


Figura 4.16. Elementele componente senzor potențiometric [24]

- b. **Senzori inductivi:** senzorii inductivi sunt dispozitive electronice utilizate pentru a detecta prezența sau absența

obiectelor metalice fără a fi nevoie de contact fizic. Aceștia funcționează pe principiul inducției electromagnetice și sunt utilizați în diverse aplicații industriale, precum automatizări sau robotică.

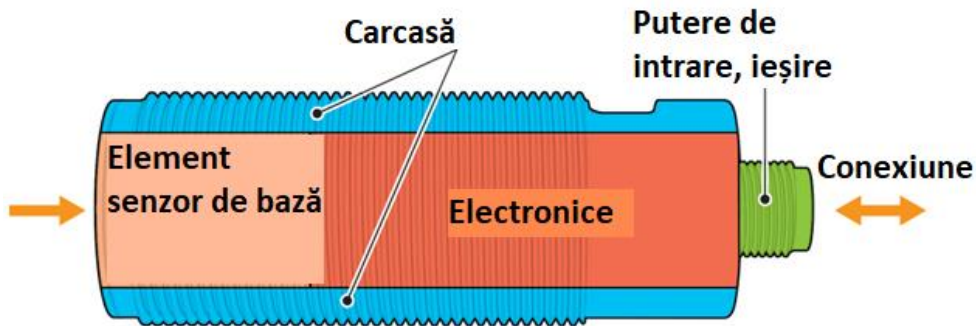


Figura 4.17. Elementele componente senzor inductiv [25]

Un senzor inductiv este alcătuit din următoarele elemente principale (fig. 4.17):

- **Carcasă:** protejează componentele interne ale senzorului și asigură montarea acestuia. Materialele carcasei pot fi diverse, precum oțel inoxidabil sau alamă.
- **Element senzor de bază:** poate varia în funcție de tehnologie.
- **Electronică:** evaluează informațiile primite de la senzor.
- **Conexiune electrică:** furnizează putere și semnal.

Pe piață există mai multe tipuri de senzori inductivi, ce pot fi clasificați după forma lor (cilindrici, ovali sau paralelipipedici) sau după forma de ieșire (cu 2, 3 sau 4 fire).

- c. **Senzori capacitivi:** este un dispozitiv electronic care detectează o gamă largă de materiale, inclusiv metale, lichide și pulberi și materiale dielectrice, fără contact fizic, prin generarea unui câmp electrostatic și măsurarea modificărilor capacității electrice cauzate de prezența obiectului.

Funcționarea unui senzor capacitiv are la bază principiul variației capacității electrice, generându-se un câmp electrostatic între electrozii săi. Atunci când un obiect se apropie de senzor, câmpul electrostatic este perturbat, ceea ce duce la o modificare a capacității electrice.

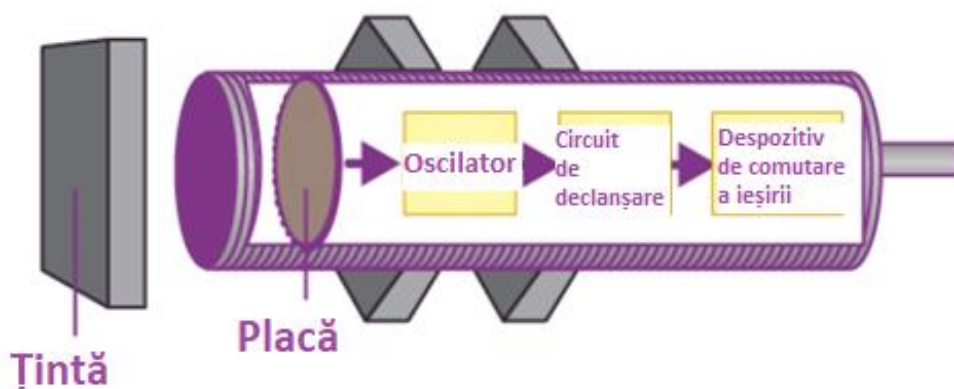


Figura 4.18. Elementele componente senzor capacitiv [26]

Un senzor capacitiv este alcătuit din următoarele elemente principale (fig. 4.18):

- **Electrozi:** formează un condensator și generează un câmp electrostatic. Unul dintre electrozi este senzorul însuși, iar celălalt este obiectul măsurat.
- **Oscilator:** generează un semnal electric de înaltă frecvență.

- **Unitate de evaluare:** detectează modificările capacității electrice cauzate de prezența unui obiect.
- **Treaptă de ieșire:** comută starea senzorului (detectie/nedetectie) și transmite un semnal electric către un sistem de control.
- **Carcasă:** protejează componentele interne ale senzorului și asigură montarea acestuia.

Senzorii capacitivi sunt dispozitive versatile și fiabile pot fi o soluție eficientă pentru detectarea fără contact a obiectelor, indiferent de materialul din care sunt fabricate, ducând la creșterea productivității, la o calitate superioară și la o siguranță sporită în diverse procese industriale.

- d. **Senzori magnetici:** sunt dispozitive care detectează prezența sau variația unui câmp magnetic și îl convertește într-un semnal electric măsurabil. Acești senzori pot detecta câmpuri magnetice statice sau dinamice și pot fi utilizați pentru a măsura intensitatea, direcția sau polaritatea câmpului magnetic.

Există diferite tipuri de senzori magnetici, fiecare cu propriile sale elemente componente. Unele dintre cele mai comune tipuri de senzori magnetici sunt senzorii Hall, senzori magnetorezistivi (MR) sau senzori cu bobină.

Cei mai cunoscuți și utilizați dintre aceștia sunt senzorii Hall. Acești senzori se bazează pe efectul Hall, care descrie apariția unei diferențe de potențial transversal pe un conductor prin care trece curentul electric, atunci când este plasat într-un câmp magnetic care este perpendicular pe direcția curentului.

Elementele componente ale unui senzor Hall (al cărui principiu de funcționare este prezentat în fig. 4.19) includ:

- Element Hall: este un material semiconductor subțire care generează o tensiune Hall la expunerea acestuia la un câmp magnetic.
- Amplificator: amplifică semnalul de tensiune Hall.
- Circuit de compensare a temperaturii: reduce influența temperaturii asupra măsurătorilor.

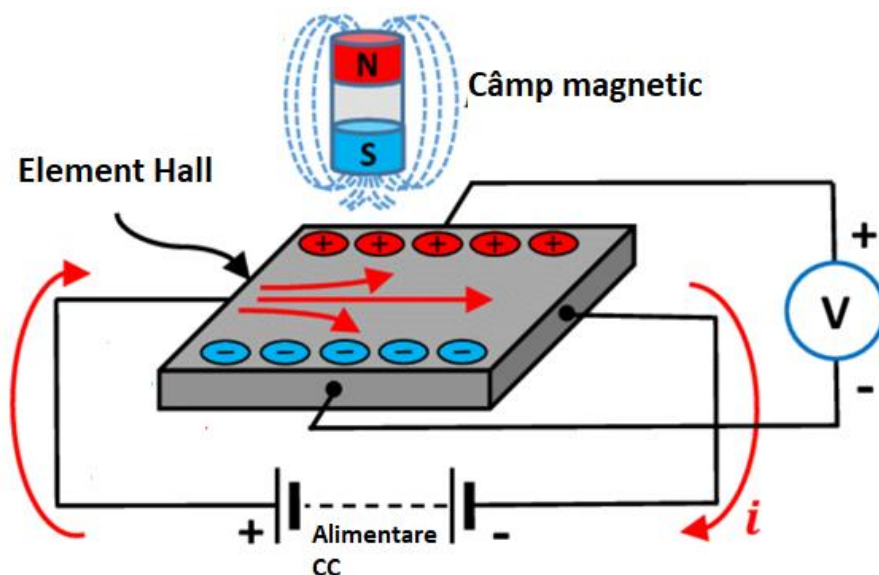


Figura 4.19. Principiul de funcționare al unui senzor Hall [27]

- e. **Senzori ultrasonici:** emit unde sonore și măsoară timpul de reflexie. Pot detecta obiecte la distanțe mari, indiferent de materialul, culoarea sau transparența lor, dar au un mare dezavantaj, și anume că sunt sensibili la praf și vapori de apă.

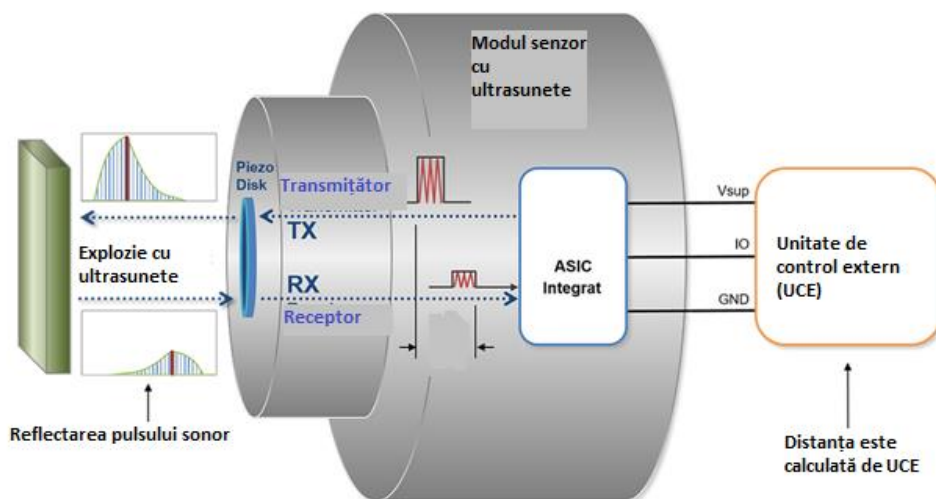


Figura 4.20. Principiul de funcționare al unui senzor ultrasonic [28]

Un senzor ultrasonic este alcătuit din următoarele elemente principale (fig. 4.20):

- **Transmițător ultrasonic:** generează impulsuri scurte de unde sonore ultrasonice, de obicei prin intermediul unui cristal piezoelectric care vibrează la o anumită frecvență atunci când este aplicată o tensiune electrică.
- **Receptor ultrasonic:** detectează undele sonore reflectate de obiect, care este de obicei tot un cristal piezoelectric, doar că de data aceasta convertește undele sonore în semnale electrice.

- **Unitate de control:** controlează emisia și recepția undelor sonore, măsoară timpul de zbor al undelor și astfel calculează distanța până la obiect.
- **Treaptă de ieșire:** generează un semnal electric proporțional cu distanța măsurată sau un semnal digital care indică prezența sau absența unui obiect.

4.1.10.2. Senzori de poziție unghiulară

Senzorii de poziție unghiulară sunt dispozitive esențiale în diverse aplicații industriale și de automatizare, permițând măsurarea precisă a unghiului de rotație a unui obiect sau a unei axe. Acești senzori convertesc mișcarea de rotație într-un semnal electric analogic sau digital, care poate fi utilizat pentru a determina poziția, viteza și direcția de rotație. Există o multitudine de senzori de poziție unghiulară disponibili, fiecare cu propriile sale caracteristici și avantaje, potriviți pentru diferite aplicații, printre care cei mai utilizați sunt encoderele și potențiometrele rotative.

- a. **Encodere rotative:** sunt cele mai comune tipuri de senzori de poziție unghiulară și principiul de funcționare se bazează pe detectarea modificărilor modelului ce apar pe un disc sau o roată codată. Encoderele rotative pot fi incrementale sau absolute. Encoderele incrementale (fig.4.21.a) generează impulsuri la fiecare increment de rotație, în timp ce encoderele absolute (fig. 4.21.b) oferă un cod unic pentru fiecare poziție a arborelui.

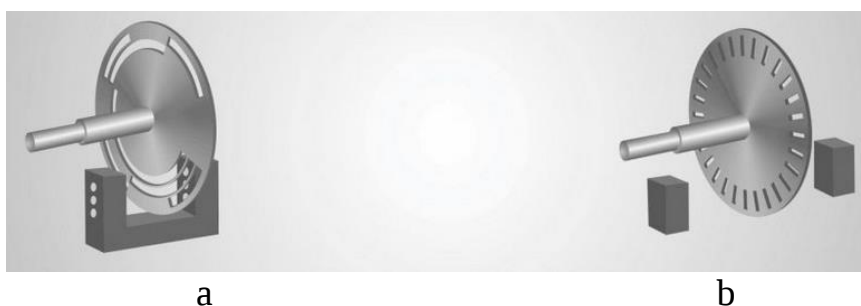


Figura 4.21. Encoder rotativ: a) absolut; b) incremental [29]

Un encoder rotativ (spre exemplificare în fig. 4.22 este prezentat encoderul incremental optic) este alcătuit în principal din următoarele elemente:

- **Arbore:** elementul rotativ ce conectat la obiectul a cărei mișcare urmează a fi măsurată.
- **Disc codat:** un disc cu un model specific de marcaje (optice sau magnetice) care este citit de senzorul encoderului.
- **Senzor:** detectează marcajele de pe discul codat și generează semnale electrice. Senzorii pot fi optici, magnetici sau mecanici.
- **Electronică de procesare:** procesează semnalele generate de senzor și le convertește în semnale digitale, analogice sau digitale, în funcție de formatul adecvat pentru utilizare.
- **Carcasă:** protejează componentele interne ale encoderului și asigură montarea acestuia.

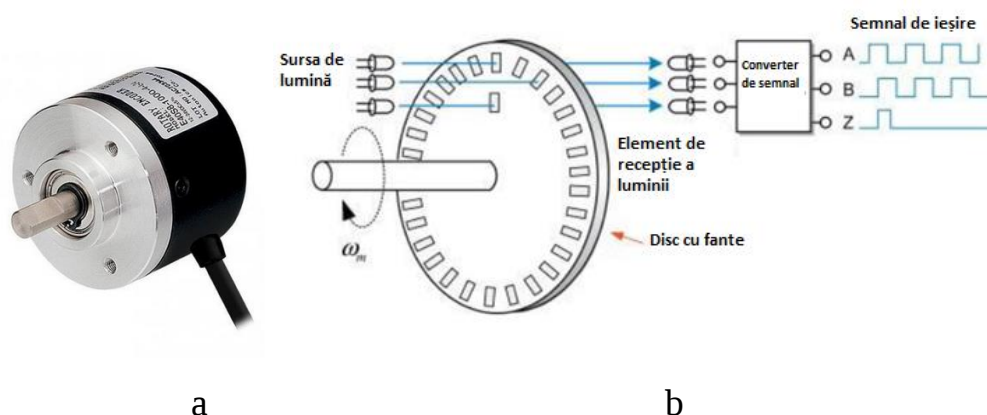


Figura 4.22. Encoder incremental rotativ: a) modelul CLP13; b) principiul de funcționare [29]

b. **Potențiometre rotative:** utilizează un element rezistiv și un cursor pentru a măsura unghiul de rotație. Rezistența elementului se modifică odată cu deplasarea cursorului, modificare ce este convertită într-un semnal electric proporțional cu unghiul.

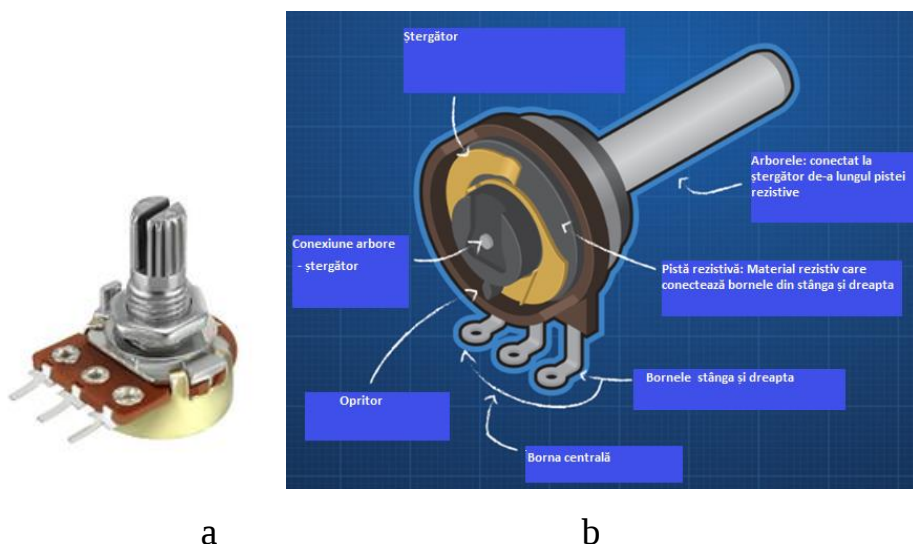


Figura 4.23. Potenziometru rotativ: a) cu o singură rotație ; b) elemente componente [30]

Un potențiomtru rotativ are în componență următoarele elemente principale (fig. 4.23b):

- **Element rezistiv:** o pistă rezistivă, de obicei circulară, realizată dintr-un material conductor.
- **Cursor:** un contact mobil care se deplasează de-a lungul pistei rezistive.
- **Arbore:** un element rotativ care este conectat la cursor și permite reglarea poziției acestuia.
- **Terminale:** trei terminale electrice: două conectate la capetele pistei rezistive și unul conectat la cursor.
- **Carcasă:** protejează componentele interne ale potențiometrului și asigură montarea acestuia

4.2. Exemple de utilizare a senzorilor în mecatronică

4.2.1. Senzori de proximitate

- În roboții industriali, pentru a detecta prezența obiectelor și a evita coliziunile.
- În mașini-unelte, pentru a controla poziția pieselor și a asigura o prelucrare mai precisă.
- În sisteme de control al accesului, pentru a detecta prezența persoanelor și a deschide ușile automat.

4.2.2. Senzori ultrasonici

- În sisteme de parcare, pentru a detecta obstacolele și a ajuta șoferii să parcheze în siguranță.
- În roboți mobili, pentru a naviga în medii complexe și a evita obstacolele.
- În echipamente medicale, pentru a măsura distanța și a crea imagini ale organelor interne.

4.2.3. Senzori tactili

- În roboți industriali, pentru a permite manipularea delicată a obiectelor fragile.
- În ecranele tactile, pentru a detecta atingerea și a permite interacțiunea cu dispozitivele electronice.
- În proteze inteligente, pentru a oferi feedback tactil și a îmbunătăți controlul și dexteritatea.
- Întrerupătoare tactile pentru lumini, sisteme de control al climatizării, sisteme de securitate.
- Senzorii tactili joacă un rol important și în dezvoltarea realității virtuale (VR) și a realității augmentate (AR). Prin furnizarea de feedback tactil, aceștia contribuie la crearea unor experiențe mai imersive și mai realiste pentru utilizatori.

4.2.4. Senzori de presiune

- În sisteme de frânare antiblocare (ABS), pentru a monitoriza presiunea din sistemul de frânare și a preveni blocarea roților.
- În sisteme de control al tracțiunii, pentru a monitoriza presiunea în anvelope și a optimiza aderența la drum.
- În sisteme de climatizare, pentru a monitoriza presiunea refrigerantului și a asigura o funcționare eficientă.

4.2.5. Senzori de temperatură

- În sisteme de control al temperaturii ambientale, pentru a monitoriza temperatura și a regla sistemele de încălzire sau răcire.
- În motoare, pentru a monitoriza temperatura lichidului de răcire și a preveni supraîncălzirea.
- În cuptoare industriale, pentru a monitoriza temperatura și a asigura o coacere uniformă.

4.2.6. Senzori optici

- În camere digitale, pentru a captura imagini.
- În scanere de coduri de bare, pentru a citi codurile de bare.
- În sisteme de detectare a prezenței, pentru a detecta prezența persoanelor în încăperi.

4.2.7. Senzori cu infraroșu

- În telecomenzi, pentru a controla diverse dispozitive electronice.
- În sisteme de detectare a mișcării, pentru a putea detecta prezența persoanelor sau a obiectelor în mișcare.
- În termometre medicale, pentru a măsura temperatura corpului fără contact.

4.2.8. Senzori chimici

- În sisteme de monitorizare a calității aerului, pentru a detecta prezența poluanților.
- În sisteme de control al proceselor chimice, pentru a monitoriza compoziția chimică a fluidelor.
- În dispozitive medicale, pentru a monitoriza nivelul de glucoză din sânge.

4.2.9. Senzori de gaz

- În detectoare de scurgeri de gaze, pentru a detecta prezența gazelor inflamabile sau toxice.
- În sisteme de monitorizare a calității aerului, pentru a detecta prezența gazelor poluante.
- În sisteme de control al proceselor industriale, pentru a monitoriza concentrația gazelor în diverse medii.

4.2.10. Senzori de poziție

Senzorii de poziție sunt utilizați într-o multitudine de aplicații, printre care:

- **Automatizări industriale:**

- Roboți industriali: Senzorii de poziție permit roboților să execute mișcări precise și repetitive, cum ar fi sudarea, vopsirea sau asamblarea pieselor.
- Mașini-unelte: Senzorii de poziție controlează mișcarea axelor mașinilor-unelte, asigurând precizia prelucrării.
- Sisteme de control al proceselor: Senzorii de poziție monitorizează și controlează poziția elementelor mobile în diverse procese industriale, cum ar fi controlul nivelului lichidelor în rezervoare sau controlul poziției valvelor.

- **Autovehicule:**

- Sisteme de control al stabilității (ESP): Senzorii de poziție măsoară unghiul de viraj al volanului și accelerația laterală a vehiculului, permițând sistemului ESP să intervină pentru a menține stabilitatea vehiculului.
- Sisteme de asistență la parcare: Senzorii ultrasonici detectează obstacolele din jurul vehiculului, ajutând șoferul să parcheze în siguranță.
- Sisteme de navigație: Senzorii GPS utilizează semnalele de la sateliți pentru a determina poziția vehiculului.

- **Aeronautică:**

- Sisteme de control al zborului: Senzorii de poziție măsoară unghiul de înclinare, unghiul de rotație și altitudinea aeronavei, furnizând informații pilotului și sistemului de control automat al zborului.
- Sisteme de navigație: Senzorii inerțiali și GPS sunt utilizați pentru a determina poziția și orientarea aeronavei.

- **Electronică de consum:**

- Telefoane mobile: Senzorii de poziție, cum ar fi accelerometrele și giroscopurile, sunt utilizați pentru a detecta orientarea telefonului și pentru a controla diverse funcții, cum ar fi rotirea ecranului sau jocurile.
- Tablete: Similar cu telefoanele mobile, senzorii de poziție sunt utilizați pentru a detecta orientarea tabletei și pentru a controla diverse funcții.
- Camere digitale: Senzorii de poziție sunt utilizați pentru stabilizarea imaginii și pentru a detecta mișcarea camerei.

- **Medicină:**

- Echipamente medicale: Senzorii de poziție sunt utilizați în echipamente medicale, cum ar fi tomografele computerizate și aparatele de radiografie, pentru a controla poziția pacientului și a echipamentului.

- **Proteze:** Senzorii de poziție sunt utilizați în protezele robotizate pentru a detecta mișcarea membrelor și a controla mișcarea protezei.

4.3. Tendințe actuale în domeniul senzorilor pentru mecatronică

- **Integrarea senzorilor:** Se pune un accent tot mai mare pe integrarea senzorilor în sisteme complexe, pentru a crea produse cu funcționalități avansate. Această integrare prezintă o serie de provocări, cum ar fi asigurarea compatibilității între senzori, procesarea eficientă a datelor și gestionarea consumului de energie.
- **Miniaturizarea:** Senzorii devin tot mai mici, permițând integrarea lor în dispozitive compacte și portabile.
- **Senzori inteligenți:** Senzorii moderni includ adesea funcții de procesare a semnalului și de comunicare, permițându-le să ia decizii și să transmită informații în mod autonom.
- **Nanosenzori:** Nanotehnologia a permis dezvoltarea de senzori extrem de mici și sensibili, cu aplicații în diverse domenii, de la medicină la monitorizarea mediului. De exemplu, nanosenzorii pot fi utilizați pentru a detecta celule canceroase în stadiu incipient sau pentru a monitoriza poluarea aerului la nivel molecular.

- **Senzori MEMS:** Senzorii MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) sunt dispozitive miniaturizate care combină elemente mecanice și electronice pe un singur cip. Aceștia oferă avantaje în ceea ce privește dimensiunea, costul și consumul de energie.

4.4. Concluzii

Senzorii sunt componente esențiale în produsele mecatronice, permițând acestora să interacționeze cu mediul și să îndeplinească funcții complexe. Varietatea de senzori disponibili și tendințele actuale în domeniu contribuie la dezvoltarea de produse mecatronice tot mai inteligente, eficiente și versatile, cu aplicații în diverse domenii, de la industrie la medicină și la viața de zi cu zi. Integrarea senzorilor, miniaturizarea, dezvoltarea de senzori inteligenți, nanosenzori și senzori MEMS sunt doar câteva exemple ale direcțiilor în care se îndreaptă tehnologia senzorilor în mecatronică. Aceste inovații deschid noi posibilități pentru crearea de produse și sisteme cu funcționalități avansate, care pot îmbunătăți calitatea vieții și pot contribui la rezolvarea unor probleme complexe în diverse domenii.

4.5. Bibliografie

3. Tipuri de senzori. Senzori smart pentru proiectele tale automatizate IoT, <https://blog.robofun.ro/2020/04/13/tipuri-de-senzori-senzori-smart-pentru-proiectele-tale-automatizate-iot/> (accesată în ianuarie 2025)
4. www.compec.ro, <https://www.compec.ro/articole-tehnice/diferitele-tehnologii-ale-senzorilor-de-proximitate#:~:text=Un%20senzor%20de%20proximitate%20este,preze>

- n%C8%9Ba%20sau%20absen%C8%9Ba%20unui%20obiect. (accesată în ianuarie 2025)
5. [www. electroshops.ro, https://electroshops.ro/senzor-de-proximitate-inductiv-dc--1-no--sn-4-mm--cablu-5-m--pnp--xs612b1pal5--schneider-electric/5273.htm](https://electroshops.ro/senzor-de-proximitate-inductiv-dc--1-no--sn-4-mm--cablu-5-m--pnp--xs612b1pal5--schneider-electric/5273.htm) (accesată în ianuarie 2025)
 6. [ro.fmuser.ro, https://ro.fmuser.net/content/?8805.html](https://ro.fmuser.net/content/?8805.html) (accesată în ianuarie 2025)
 7. [www. tor-online.ro, https://tor-online.ro/produse/533-automatizari/1091-senzori-optici/28581-senzor-de-proximitate-optic-cu-reflexie-pe-filet-m18-npn-dark-on-light-on-sensibilitate-reglabila-distanta-0...-0.4m-alimentare-10...30vdc-cu-cablu-2m-clasa-ip66-wodnpw1tm.html](https://tor-online.ro/produse/533-automatizari/1091-senzori-optici/28581-senzor-de-proximitate-optic-cu-reflexie-pe-filet-m18-npn-dark-on-light-on-sensibilitate-reglabila-distanta-0...-0.4m-alimentare-10...30vdc-cu-cablu-2m-clasa-ip66-wodnpw1tm.html) (accesată în ianuarie 2025)
 8. [www. ifm.ro,](https://www.ifm.com/ro/ro/product/KQ5100?source=gs&gad_source=1&gclid=Cj0KCQiA19e8BhCVARIsALpFMgGpa-nyXgQFcPVXCiS44ig_T3NjDL9tPyyjqe-DWDW-lpK305mwfHAaAtS_EALw_wcB)
 9. https://www.ifm.com/ro/ro/product/KQ5100?source=gs&gad_source=1&gclid=Cj0KCQiA19e8BhCVARIsALpFMgGpa-nyXgQFcPVXCiS44ig_T3NjDL9tPyyjqe-DWDW-lpK305mwfHAaAtS_EALw_wcB (accesată în ianuarie 2025)
 10. Diferitele tehnologii ale senzorilor de proximitate? - Aurocon COMPEC, <https://www.compec.ro/articole-tehnice/diferitele-tehnologii-ale-senzorilor-de-proximitate> (accesată în ianuarie 2025)
 11. [www. ifm.ro,](https://www.ifm.com/ro/ro/product/UGT211?source=gs&gad_source=1&gclid=Cj0KCQiA19e8BhCVARIsALpFMgHByHOpSAdAdYnZAQ8juz-3W21AOTNQxWBRQw3arW2to2gNUhN69CwaAugwEALw_wcB)
 12. https://www.ifm.com/ro/ro/product/UGT211?source=gs&gad_source=1&gclid=Cj0KCQiA19e8BhCVARIsALpFMgHByHOpSAdAdYnZAQ8juz-3W21AOTNQxWBRQw3arW2to2gNUhN69CwaAugwEALw_wcB (accesată în ianuarie 2025)
 13. [www. electromatic.ro,](https://electromatic.ro/senzori-de-proximitate-ultrasonici/)
 14. <https://electromatic.ro/senzori-de-proximitate-ultrasonici/> (accesată în ianuarie 2025)
 15. Mecatronică și automatizare în fabricație - 2.4 Senzori de viteză, mișcare, forță și presiune - Google Sites, <https://sites.google.com/site/mecatronicasifabricatie/mecatronica/2-sensors-and-signal-processing/2-4-senzori-de-viteza-miscare-fora-si-presiune> (accesată în ianuarie 2025)
 16. [www. ifm.ro,](https://www.ifm.com/ro/ro/shared/technologien/kapazitiv/products/kte-ktv/capazitive-touch-sensors)
 17. <https://www.ifm.com/ro/ro/shared/technologien/kapazitiv/products/kte-ktv/capazitive-touch-sensors> (accesată în ianuarie 2025)
 18. Înțelegerea senzorilor de presiune: tipuri, aplicații și importanță - Sensor One Stop, <https://sensor1stop.com/ro/knowledge/understanding-pressure-sensor/> (accesată în ianuarie 2025)
 19. [www. ifm.ro,](https://www.ifm.com/ro/ro/shared/technologien/kapazitiv/products/kte-ktv/capazitive-touch-sensors)

20. https://www.ifm.com/ro/ro/category/200_020_010_190#/best/1/100 (accesată în ianuarie 2025)
21. [www. ge-tech.ro](http://www.ge-tech.ro),
22. <https://www.ge-tech.ro/gefran-tk.html> (accesată în ianuarie 2025)
23. [www. hausfabrik.ro](http://www.hausfabrik.ro),
24. https://hausfabrik.ro/senzor-de-presiune-diferentiala-dpi-0-0.6-bar-grundfos-96611522-3.html?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiA19e8BhCVARIsALpFMgEct6bweS2RhXKeFveQ8cwpQejXQx4L90qkge5LLkuknUzAg83J08waAvgqEALw_wcB (accesată în ianuarie 2025)
25. [www. emag.ro](http://www.emag.ro),
26. [https://www.emag.ro/termosonda-termocuplu-tip-k-f5x100mm-pana-la-400-c-16715/pd/DZF3KRBBM/?cmpid=146618&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=\(RO:eMAG!\)_3P_NO_SALES_%3e_Iluminat_and_electrice&utm_content=76376892625&gad_source=1&gclid=Cj0KCQiA19e8BhCVARIsALpFMgFzdIL8nvp5HasE3JIOTqN1TgU3tQ7PXXKcOJaRw4b0nD9vI9coAGtoaAkQGEALw_wcB](https://www.emag.ro/termosonda-termocuplu-tip-k-f5x100mm-pana-la-400-c-16715/pd/DZF3KRBBM/?cmpid=146618&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=(RO:eMAG!)_3P_NO_SALES_%3e_Iluminat_and_electrice&utm_content=76376892625&gad_source=1&gclid=Cj0KCQiA19e8BhCVARIsALpFMgFzdIL8nvp5HasE3JIOTqN1TgU3tQ7PXXKcOJaRw4b0nD9vI9coAGtoaAkQGEALw_wcB) (accesată în ianuarie 2025)
27. [www. electricaltechnology.org](http://www.electricaltechnology.org), (accesată în ianuarie 2025)
28. <https://www.electricaltechnology.org/2022/05/rtd-resistance-temperature-detector.html> (accesată în ianuarie 2025)
29. [www. electricaltechnology.org](http://www.electricaltechnology.org),
https://www.electronicmarket.ro/ro/product/termistor-ntc-2k-3mm?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiA19e8BhCVARIsALpFMgE04SKgSKc0PKEKlr3rgWWmyZjXpu8vMfTRYsrcnGKfzr3SIcChi70aArUjEALw_wcB (accesată în ianuarie 2025)
30. [www. sigmanortec.ro](http://www.sigmanortec.ro), https://www.sigmanortec.ro/senzor-optic-tcst2103?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiA19e8BhCVARIsALpFMgGovfo1Is92RhZ2jHvDuZt-H6ELT6yKvpaQVZkLzr3IQaHgkMHbuXAaAtxxEALw_wcB (accesată în ianuarie 2025)
31. [www. sigmanortec.ro](http://www.sigmanortec.ro), https://www.sigmanortec.ro/senzor-infrarosu-mini-pir-hc-sr505?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiA19e8BhCVARIsALpFMgFqJTQ7ogejPbrzlY2-8jKFkLI9JMnX3BM9JxZg-61fyKER4yhsWEsaAnmwEALw_wcB (accesată în ianuarie 2025)
32. Chesler, P., Vladut, C., SENZORI CHIMICI REZISTIVI, 2020, ISBN 978-606-9036-60-0.
33. [www. sigmanortec.ro](http://www.sigmanortec.ro), https://www.sigmanortec.ro/Senzor-Gaz-MQ-4-Metan-Gaz-Natural-p126101312?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiA19e8BhCVARIsALpFM

- gGBhRgIGQ79P_ayhJu_6MhOv8QTRd1zzqql4_7PLuFvnfLGAS3SQL4aAuY7EALw_wcB (accesată în ianuarie 2025)
34. romsenzo.ro, <https://romsenzor.ro/product/clp13-senzor-liniar-potentiometric-model-compact/> (accesată în ianuarie 2025)
 35. Non-enzymatic potentiometric malathion sensing over chitosan-grafted polyaniline hybrid electrode - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-of-potentiometric-sensor_fig1_332819723 (accesată în februarie 2025)
 36. www. ifm.ro, <https://www.ifm.com/us/en/us/overview/inductive/technology-overview/tech-overview> (accesată în februarie 2025)
 37. Byjus.com, <https://byjus.com/physics/capacitive-sensors/> (accesată în februarie 2025)
 38. Skewed-redundant Hall-effect Magnetic Sensor Fusion for Perturbation-free Indoor Heading Estimation - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: https://www.researchgate.net/figure/Single-axis-Hall-effect-sensor-principle-45-The-output-signal-from-a-Hall-effect_fig2_339272237 (accesată în februarie 2025)
 39. www.tdk-electronics.tdk.com, https://www.tdk-electronics.tdk.com/en/ultrasonic_sensor_module (accesată în februarie 2025)
 40. www.omchsmmps.com, <https://www.omchsmmps.com/incremental-rotary-encoder/> (accesată în februarie 2025)
 41. www. tti.com, <https://www.tti.com/content/ttiinc/en/resources/blog/potentiometers.html> (accesată în februarie 2025)

5. MOTOARE ȘI ACTUATOARE UTILIZATE ÎN PRODUSELE MECATRONICE

Produsele mecatronice se bazează pe o combinație de motoare și actuatoare pentru a genera mișcare și a efectua diverse sarcini. Motoarele transformă energia electrică în energie mecanică, în timp ce actuatoarele convertesc diverse forme de energie (electrică, hidraulică, pneumatică) în mișcare controlată.

În continuare, se vor analiza pe rând principalele tipuri de motoare și actuatoare utilizate în produsele mecatronice.

5.1. Motoare utilizate în produsele mecatronice

Motoarele electrice joacă un rol crucial în produsele mecatronice, asigurând mișcarea și controlul precis al diferitelor componente.

Există o varietate de motoare utilizate în mecatronică, fiecare cu propriile caracteristici și avantaje. Alegerea motorului potrivit depinde de cerințele specifice ale aplicației, cum ar fi cuplul necesar, viteza, precizia și eficiența energetică.

Cele mai importante tipuri de motoare utilizate în produsele mecatronice sunt motoarele de curent continuu (CC), motoarele de curent alternativ (AC), motoarele pas cu pas și servomotoarele.

5.1.1. Motoare de curent continuu (CC)

Motoarele de curent continuu sunt utilizate pe scară largă în produsele mecatronice datorită simplității, costului redus și ușurinței de control. Acestea funcționează pe baza principiului interacțiunii dintre un câmp magnetic și un curent electric continuu pentru a genera o forță de rotație. Mai exact, un curent electric care trece printr-o bobină plasată într-un câmp magnetic permanent creează o forță electromagnetică. Această forță acționează asupra rotorului, determinându-l să se rotească. Prin schimbarea polarității curentului electric sau a câmpului magnetic, se poate inversa direcția de rotație a motorului.

Motoarele de curent continuu au diverse dimensiuni și puteri, de la motoare mici folosite frecvent în jucării, la cele de dimensiuni medii folosite la diverse aparate casnice, roboți, etc. și până cele de dimensiuni mari folosite la ascensoare, scări rulante etc.

Primul motor electric a fost brevetat în SUA, în anul 1837 de către Davenport Thomas (nu a fost primul care a construit un motor electric, dar a fost primul care l-a brevetat). [1]

Încă din 1834, **Moritz Jacobi** a construit și a demonstrat un motor electric cu o putere de trei ori mai mare decât cel patentat ulterior de Davenport. Simultan, Sibrandus Stratingh și Christopher Becker au deschis drumul aplicațiilor practice pentru motoarele electrice, prezentând un model de mașină funcționat electric în 1835 [1].

Primul motor de curent continuu cu perii a fost inventat de **Sprague Frank Julian** în 1886, invenție care a condus în 1887 la apariția primului troleu cu motor și mai târziu, în anul 1892 a primului lift electric. Motorul continuu Sprague a deschis oportunitatea de a fi aplicat la o varietate de aplicații, schimbând semnificativ domeniul industrial [1].

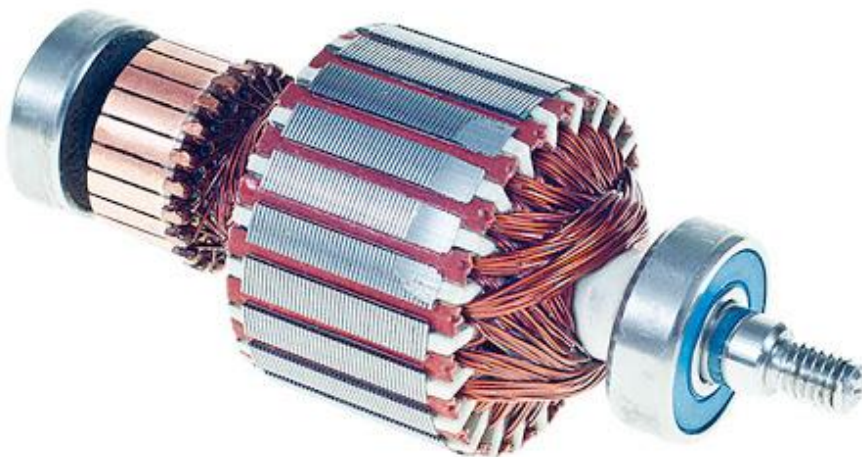


Figura 5.1. Motor de curent continuu [1]

Un motor de curent continuu este compus din două părți principale: statorul (inductorul) și rotorul (indusul) (fig. 5.1). **Statorul** este elementul fix al motorului, în timp ce rotorul este componenta rotativă. Statorul constă dintr-o carcasă din fontă sau oțel care susține polii (principali și auxiliari), înfășurați cu bobine (inductoare) sau, în cazul magneților permanenți, fără înfășurări. **Rotorul** are un colector cilindric format din lamele de cupru izolate, fixate pe un butuc al arborelui prin intermediul unui sistem de prindere în formă de coadă de rândunică.

Există mai multe tipuri de motoare de curent continuu, printre care cele mai cunoscute tipuri de motoare de curent continuu sunt: cu perii și fără perii. O imagine comparativă a celor două tipuri este prezentată în fig. 5.2, de unde reiese marele avantaj al motoarelor fără perii, și anume eficiența energetică superioară.

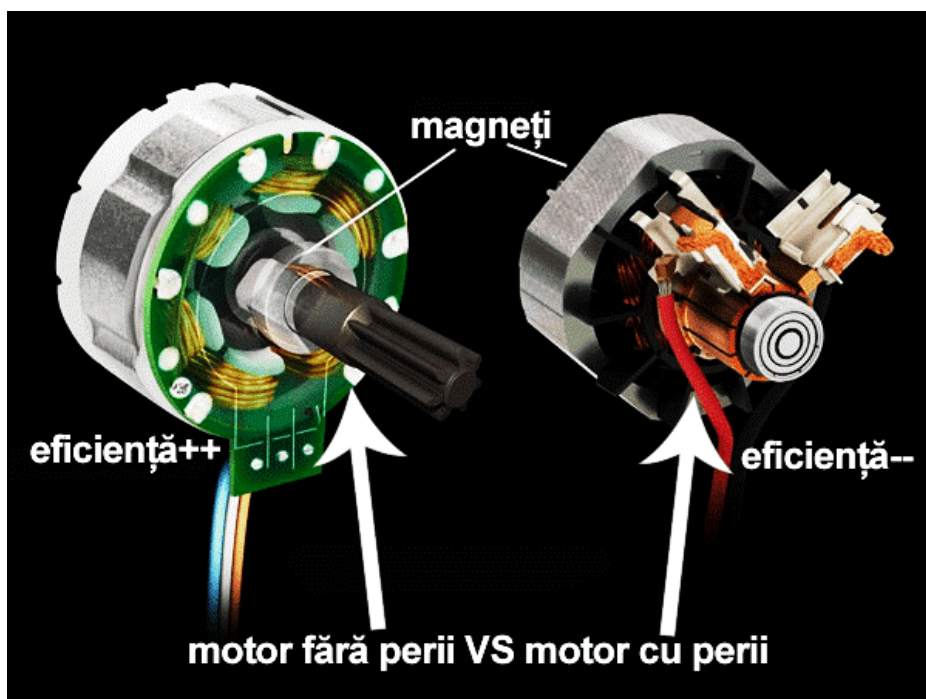


Figura 5.2. Motor de curent continuu cu perii versus motor de curent continuu [2]

În continuare vor fi detaliate cele două tipuri de motoare de current continuu.

5.1.1.1. Motoarele de curent continuu cu perii

Motoarele de current continuu cu perii sunt folosite în special în aplicații cu un sistem simplu de control ca de exemplu pentru echipamente industriale de bază, jucării sau electrocasnice.

Motorul funcționează pe baza principiului forței electromagnetice, cunoscută și sub numele de forță Lorentz, care se exercită asupra unui conductor purtător de curent electric într-un câmp magnetic.

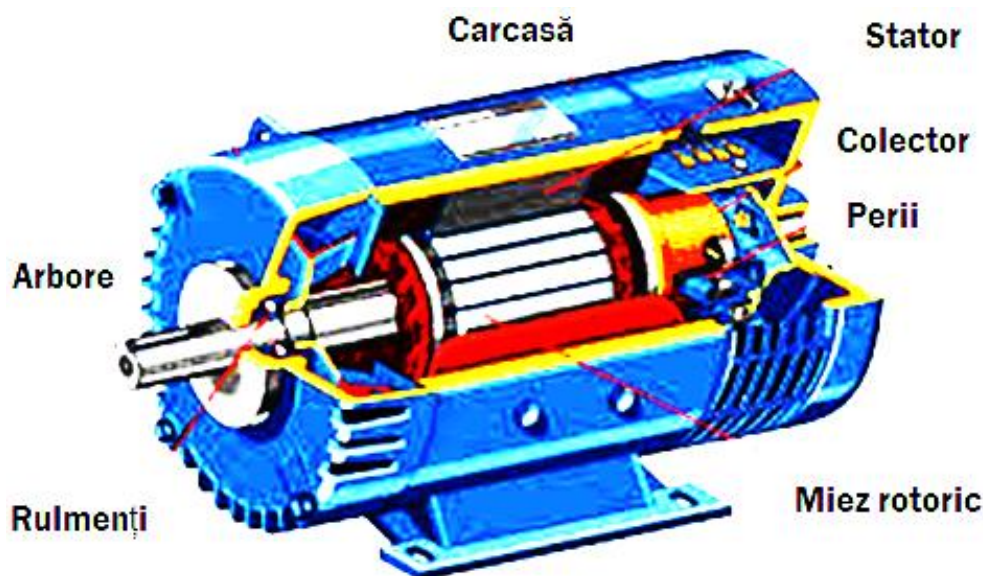


Figura 5.2. Elemente componente motor de curent continuu cu perii
[2]

Principiul de funcționare al motorului de curent continuu cu perii se bazează pe interacțiunea dintre un câmp magnetic și un curent electric. Motorul este alcătuit din următoarele componente principale (fig. 5.3):

- **Stator:** partea staționară a motorului, care conține magneți permanenți sau electromagneți. Aceștia generează un câmp magnetic static.
- **Rotor:** partea rotativă a motorului, care conține o bobină de sârmă numită armătură. Curentul electric trece prin această bobină, generând un câmp magnetic propriu.

- **Comutator:** un inel metalic segmentat care se rotește odată cu rotorul. Acesta are rolul de a inversa periodic sensul curentului electric în armătură.
- **Perii:** contacte electrice din carbon sau grafit care alunecă pe comutator. Acestea transmit curentul electric de la sursa de alimentare la armătură.

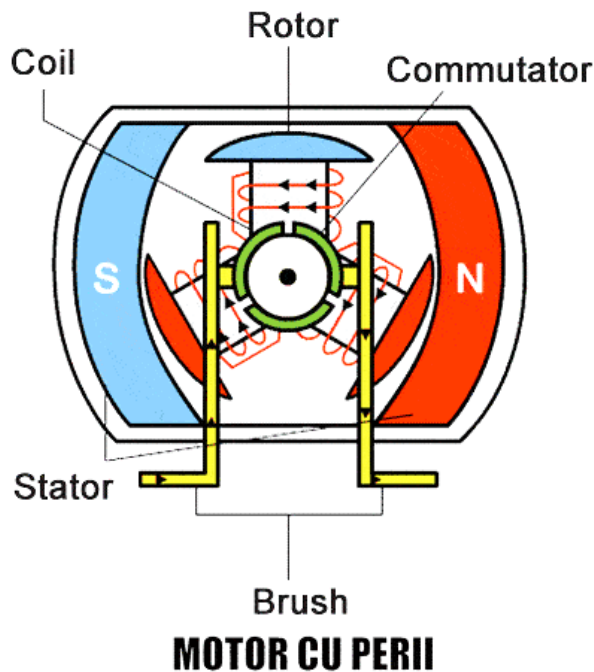


Figura 5.3. Principiul de funcționare al motorului de curent continuu cu perii [2]

Principiul de funcționare al unui motor de curent continuu cu perii:

- Curentul electric este furnizat armăturii prin intermediul periiilor și comutatorului.

- Curentul electric care trece prin armătură generează un câmp magnetic în jurul acesteia.
- Interacțiunea dintre câmpul magnetic al armăturii și câmpul magnetic al statorului produce o forță electromagnetică care rotește rotorul.
- Comutatorul inversează periodic sensul curentului în armătură, astfel încât forța electromagnetică să continue să rotească rotorul în aceeași direcție.

Motoarele de curent continuu cu perii pot fi clasificate în funcție de modul în care bobina armăturii este conectată la circuitul electric:

- **Motor cu excitație serie:** în acest tip de motor, bobina armăturii și bobina de excitație (care generează câmpul magnetic al statorului) sunt conectate în serie. Caracteristica principală a acestui motor este cuplul de pornire ridicat, fiind potrivit pentru aplicații care necesită o forță mare la pornire, cum ar fi macaralele sau trenurile electrice.
- **Motor cu excitație paralel (shunt):** în acest tip de motor, bobina armăturii și bobina de excitație sunt conectate în paralel. Acest tip de motor oferă o viteză relativ constantă, indiferent de sarcină, fiind utilizat în aplicații precum mașini-unelte și pompe.
- **Motor cu excitație mixtă (compound):** acest tip de motor combină caracteristicile motoarelor serie și shunt, având atât o bobină de excitație serie, cât și una paralel. Această configurație

oferă un compromis între cuplul de pornire și viteza constantă, fiind utilizat în aplicații precum ascensoare și compresoare.

Motoarele de curent continuu cu perii prezintă o serie de avantaje care le fac potrivite pentru diverse aplicații:

- ✓ **Simplitate:** designul simplu al acestor motoare le face ușor de fabricat și de întreținut.
- ✓ **Cost redus:** comparativ cu alte tipuri de motoare, motoarele de curent continuu cu perii sunt relativ ieftine.
- ✓ **Control facil:** viteza și cuplul motorului pot fi ușor controlate prin variația tensiunii de alimentare sau a curentului.
- ✓ **Cuplu de pornire ridicat:** motoarele cu excitație serie oferă un cuplu de pornire ridicat, fiind potrivite pentru aplicații care necesită o forță mare la pornire.

5.1.1.2. Motoarele de curent continuu fără perii

Motoarele de curent continuu (CC) fără perii au câștigat popularitate considerabilă în ultimii ani, datorită avantajelor semnificative pe care le oferă față de motoarele CC tradiționale cu perii. Aceste motoare se regăsesc într-o multitudine de aplicații, de la electronice de consum la vehicule electrice și automatizări industriale.

Spre deosebire de motoarele CC cu perii, unde comutarea curentului se realizează mecanic prin intermediul periilor și colectorului, motoarele CC fără perii utilizează comutarea electronică. Aceasta

înseamnă că rotorul motorului este format din magneți permanenți, iar statorul conține bobinele. Un circuit electronic extern, numit driver de motor, controlează alimentarea cu curent a bobinelor statorului, creând un câmp magnetic rotativ care interacționează cu magneții rotorului și generează mișcarea.

Pentru a determina poziția rotorului și a comuta corect curentul în bobine, motoarele de curent continuu fără perii utilizează adesea senzori Hall. Acești senzori detectează câmpul magnetic al magneților rotorului și furnizează informații driverului de motor pentru a sincroniza alimentarea bobinelor cu poziția rotorului.

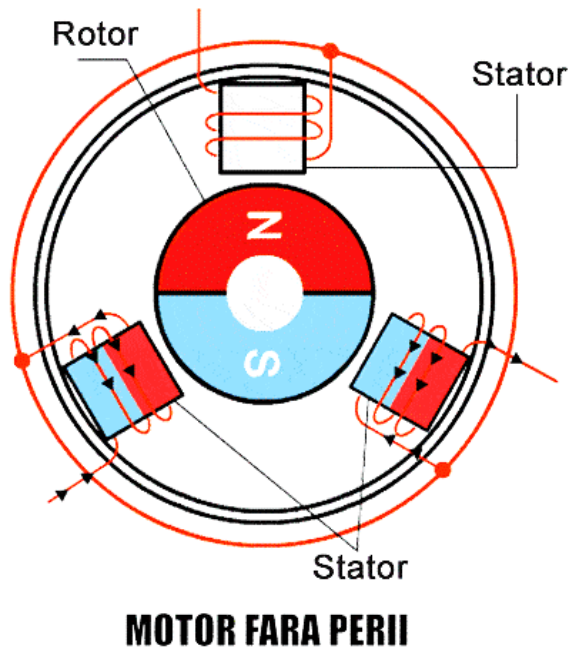


Figura 5.4. Principiul de funcționare al motorului de curent continuu fără perii [2]

În funcție de construcția rotorului există două tipuri principale de motoare CC fără perii:

- **Motoare Outrunner:** În acest tip de motor, rotorul se află în exteriorul statorului. Această configurație permite o inerție mai mare a rotorului, ceea ce este benefic pentru aplicații care necesită o viteză constantă, cum ar fi dronele, modelele de aeronave și ventilatoarele.
- **Motoare Inrunner:** În acest tip de motor, rotorul se află în interiorul statorului. Această configurație permite o viteză de rotație mai mare și este utilizată în aplicații precum sculele electrice, aspiratoarele și automodelele.

5.1.2. Motoare de curent alternativ (CA)

Motoarele de curent alternativ (CA) sunt dispozitive electromecanice care transformă energia electrică de curent alternativ în energie mecanică. Acestea sunt utilizate în diverse aplicații industriale și domestice, datorită eficienței, fiabilității și costului relativ scăzut.

Motoarele de curent alternativ pot fi de tip asincron sau sincron.

5.1.2.1. Motoarele de curent alternativ asincrone

Motoarele de curent continuu asincrone se bazează pe principiul inducției electromagnetice, unde curentul alternativ din stator induce un curent în rotor, creând un câmp magnetic rotativ care pune rotorul în mișcare (fig. 5.5). Viteza de rotație a rotorului este puțin mai mică

decât viteza câmpului magnetic rotativ, de unde și denumirea de „asincron”. Motoarele asincrone sunt simple, robuste și au un cost redus de producție.

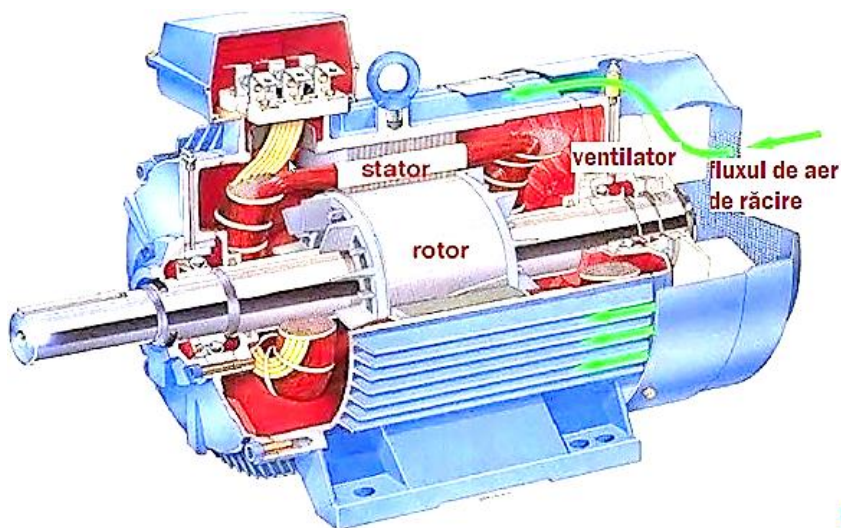


Figura 5.5. Elementele motorului de curent alternativ asincron [3]

Motorul asincron se poate clasifica în funcție de tipul de rotor, se poate clasifica în:

a) Motorul asincron trifazat cu rotor în scurtcircuit:

acest tip de motor are rotorul format din bare de aluminiu sau cupru, care sunt scurtcircuitate la capete de inele. Este cel mai simplu și mai ieftin tip de motor asincron, fiind utilizat în aplicații care nu necesită un cuplu de pornire mare, cum ar fi ventilatoarele, pompele și compresoarele.

Dezvoltarea motorului asincron trifazat este strâns legată de descoperirile și inovațiile din domeniul electricității de la sfârșitul secolului al XIX-lea.

- **1831:** Michael Faraday descoperă legea inducției electromagnetice, punând bazele teoretice pentru dezvoltarea motoarelor electrice.
- **1885:** Galileo Ferraris, un fizician italian, demonstrează principiul câmpului magnetic învârtitor.
- **1888:** Nikola Tesla brevetează motorul asincron trifazat, deschizând calea pentru utilizarea pe scară largă a acestui tip de motor.
- **1889:** Mihail Dolivo-Dobrovolsky, un inginer rus, perfecționează motorul asincron trifazat, introducând rotorul în colivie.

Subansamblele motorului asincron trifazat cu rotorul în scurtcircuit prezentate în fig. 5.6 [4] sunt: 1. Carcasa motorului; 2. Cutia de borne; 3. Plăcuța de identificare; 4. Inel de prindere (pentru manevrarea motorului); 5. Înfășurarea statorică; 6. Rotorul motorului; 7. Rulmenți; 8. Axul motorului; 9. Capace laterale; 10. Prezoane de fixare a capacelor laterale; 11. Ventilator; 12. Capac ventilator.

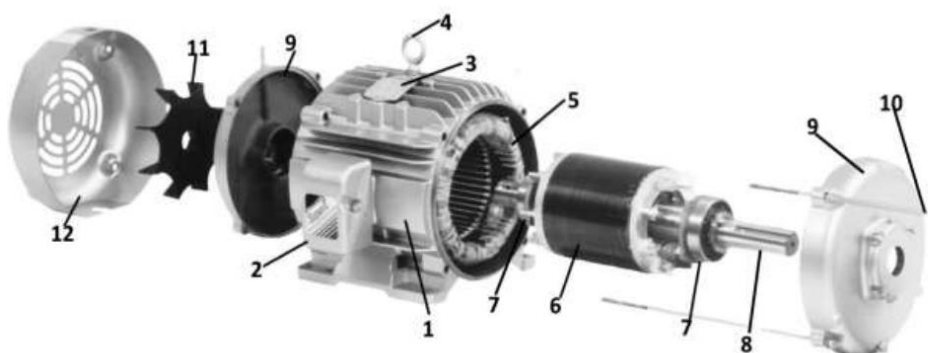


Figura 5.6. Elementele motorului de curent alternativ asincron în scurtcircuit [4]

Motorul asincron trifazat este o mașină electrică de curent alternativ utilizată pe scară largă în diverse aplicații industriale și domestice, datorită simplității constructive, fiabilității și costului redus. Funcționarea sa se bazează pe principiul inducției electromagnetice, un fenomen fundamental în electromagnetism.

Legea inducției electromagnetice, descoperită de Michael Faraday în 1831, descrie fenomenul prin care o variație a fluxului magnetic printr-o suprafață închisă produce o tensiune electromotoare indusă în circuitul respectiv. Această lege stă la baza funcționării multor dispozitive electrice, inclusiv a generatoarelor, transformatoarelor și motoarelor electrice.

Statorul motorului asincron trifazat este format din trei înfășurări dispuse la 120 de grade una față de cealaltă. Aceste înfășurări sunt alimentate de un sistem trifazat de curenți alternativi, care au aceeași frecvență, dar sunt defazați cu 120 de grade.

Rotorul motorului asincron este format din conductoare electrice, de obicei sub formă de bare de cupru sau aluminiu, scurtcircuitate la capete. Aceste bare sunt încorporate într-un miez feromagnetic, formând o structură similară unei cuști de veveriță, de unde și denumirea alternativă de „motor cu rotor în colivie”.

Printre avantajele motoarelor asincrone trifazate se numără:

- **Simplitate constructivă:** au un design robust și relativ simplu, fără contacte electrice glisante la rotor.
- **Fiabilitate:** sunt mai puțin predispuse la defecțiuni decât alte tipuri de motoare, datorită absenței colectorului și periilor colectoare.
- **Cost redus:** sunt mai ieftine de produs decât motoarele de curent continuu sau motoarele sincrone.
- **Eficiență energetică:** au o eficiență ridicată, în special la sarcini mari.

b) Motorul asincron cu rotor bobinat: acest tip de motor are rotorul format din bobine conectate la inele colectoare. Prin intermediul unor rezistențe conectate la inelele colectoare, se poate controla cuplul de pornire și viteza motorului. Este utilizat în aplicații care necesită un cuplu de pornire mare, cum ar fi macaralele și ascensoarele.

La fel ca motorul asincron cu rotor în scurtcircuit, motorul asincron cu rotor bobinat funcționează pe baza principiului inducției electromagnetice. Curentul alternativ care parcurge înfășurările statorice generează un câmp magnetic rotitor în stator. Acest câmp magnetic rotitor intersectează înfășurările rotorice, inducând în acestea o tensiune electromotoare. Deoarece înfășurările rotorice sunt conectate la inele colectoare, formează un circuit închis, iar tensiunea electromotoare indusă determină apariția unui curent electric în rotor. Interacțiunea dintre câmpul magnetic rotitor al statorului și curentul din înfășurările rotorice produce un cuplu electromagnetic care pune rotorul în mișcare.

Diferența principală față de motorul asincron cu rotor în scurtcircuit constă în faptul că rotorul bobinat are înfășurări trifazate conectate la inele colectoare. Prin intermediul unor perii colectoare, se poate conecta un reostat de pornire la înfășurările rotorice. Acest reostat permite modificarea rezistenței circuitului rotoric, influențând astfel curentul rotoric și cuplul motorului.

Motorul asincron cu rotor bobinat (așa cum este și cel prezentat în fig. 5.7, rotorul fiind bobinat cu inele colectoare) este alcătuit din două părți principale: statorul și rotorul.

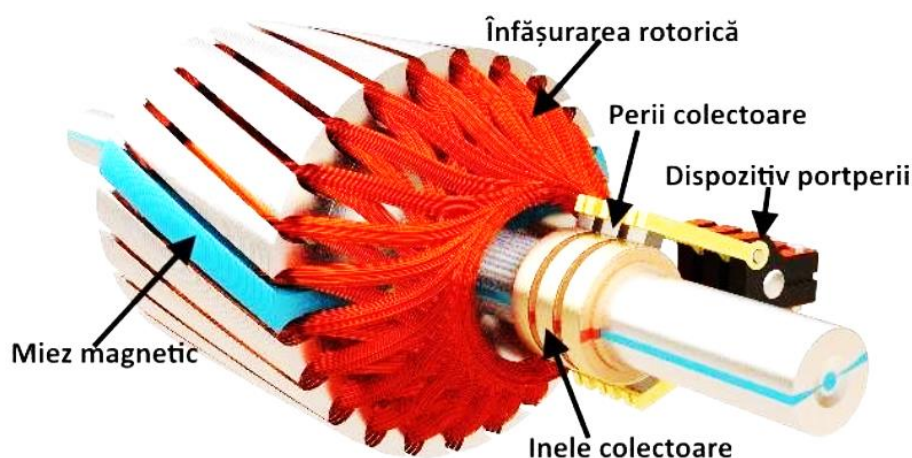


Figura 5.7. Elementele motorului de curent alternativ asincron în cu rotor bobinat cu inele colectoare [4]

Statorul: Statorul este partea fixă a motorului și este similar cu cel al motorului asincron cu rotor în scurtcircuit. În creștăturile statorului sunt plasate înfășurările trifazate, realizate de obicei din cupru. Aceste înfășurări sunt conectate la rețeaua de alimentare cu curent alternativ trifazat.

Rotorul: Rotorul este partea mobilă a motorului și are o construcție distinctă față de rotorul în scurtcircuit. Înfășurările rotorice sunt conectate la trei inele colectoare, montate pe arborele rotorului. Periile colectoare, realizate din grafit sau metal, fac contact cu inelele colectoare și permit conectarea unui reostat de pornire la înfășurările rotorice.

Avantajele utilizării motorului de curent alternativ cu rotor bobinat sunt:

- **Cuplu de pornire ridicat:** Permite pornirea motorului în sarcină, fără a solicita excesiv rețeaua electrică.
- **Curent de pornire redus:** Protejează motorul și rețeaua electrică de solicitări excesive la pornire.
- **Posibilitatea reglării turației:** Oferă flexibilitate în funcționare, permițând adaptarea turației la cerințele aplicației.

5.1.2.2. Motoarele de curent alternativ sincrone

Descoperirea principiului inducției electromagnetice de către Michael Faraday în 1831 a pus bazele dezvoltării motorului sincron. Nikola Tesla a avut un rol esențial în această evoluție, în special prin inventarea motorului de inducție bifazat cu curent alternativ în 1887. Totuși, este important de menționat că și alți inventatori, precum Mordey (cu motorul sincron monofazat din 1884) și Behn-Eschenburg (cu motorul sincron trifazat din 1888), au contribuit semnificativ la dezvoltarea timpurie a acestor motoare.

De-a lungul timpului, motorul sincron a cunoscut o evoluție remarcabilă, grație noilor materiale și tehnologii. Un exemplu important este utilizarea magneților permanenți de înaltă performanță, care a condus la apariția motoarelor sincrone cu magneți permanenți (PMSM), cu aplicații diverse în prezent.

Motorul sincron își bazează funcționarea pe atracția și respingerea dintre polii magnetici. În interiorul statorului, înfășurările alimentate cu curent alternativ trifazat generează un câmp magnetic rotativ.

Rotorul, de obicei un electromagnet, are nevoie de o sursă de curent continuu separată pentru a crea propriul câmp magnetic. Acest proces se numește excitație. Odată excitat, rotorul se aliniază cu câmpul magnetic rotativ al statorului și se rotește sincron cu acesta.

Un aspect important este existența unui spațiu de aer („air gap”) între rotor și stator, a cărui dimensiune influențează performanța motorului. Anumite motoare sincrone utilizează magneți permanenți pe rotor, eliminând necesitatea unei surse de excitație externe.

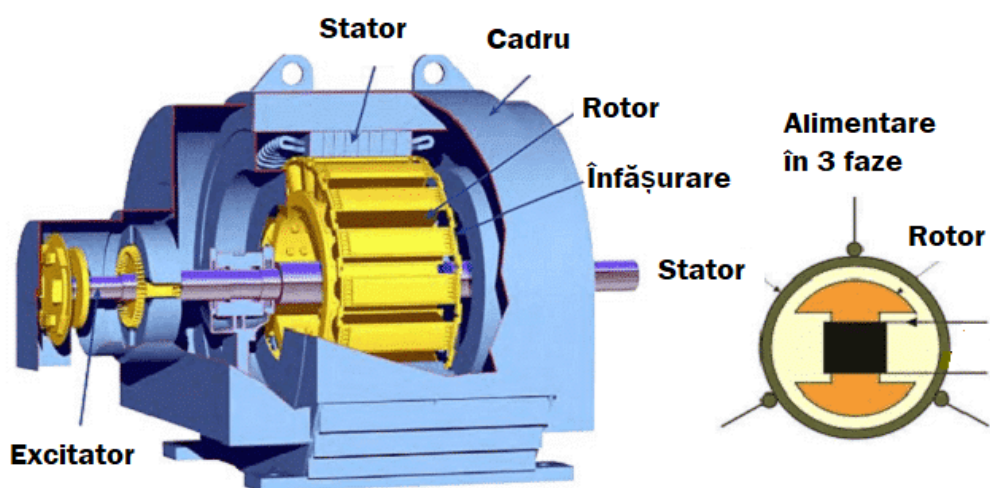


Figura 5.8. Elementele motorului de curent alternativ sincron [5]

Deoarece nu poate porni singur de la staționare, motorul sincron are nevoie de un mecanism auxiliar. Inerția rotorului îl împiedică să se sincronizeze instantaneu cu câmpul magnetic rotativ al statorului. Acest mecanism auxiliar poate fi un motor de curent continuu separat care accelerează rotorul, sau un mecanism de pornire asincron, care induce curenți în rotor și îl pune în mișcare. După ce rotorul atinge o

viteză apropiată de cea a câmpului magnetic rotativ, mecanismul auxiliar este deconectat, iar motorul funcționează sincron.

Motoarele sincrone sunt utilizate în special în aplicații ce necesită o viteză constantă și precizie, cum ar fi ceasurile electrice și compresoarele.

Un motor sincron (fig. 5.8) este alcătuit din două părți principale: statorul și rotorul.

- **Statorul:** este partea statică a motorului și este format dintr-un miez de fier laminat cu bobine de sârmă de cupru înfășurate în jurul său. Aceste bobine sunt alimentate cu curent alternativ trifazat, care creează un câmp magnetic rotativ în interiorul statorului.
- **Rotorul:** este partea rotativă a motorului și poate fi de două tipuri principale: cu poli aparenti și cu poli înecați.
 - **Rotorul cu poli aparenti:** are poli magnetici proeminenți pe suprafața sa, creați de magneți permanenți sau electromagneți. Acești rotori sunt utilizați în general în motoarele de viteză mică și medie.
 - **Rotorul cu poli înecați:** are bobine de sârmă de cupru înfășurate în sloturi practicate în miezul de fier al rotorului. Aceste bobine sunt alimentate cu curent continuu prin intermediul unor inele colectoare și perii, creând un câmp magnetic. Rotorii cu poli înecați sunt utilizați în general în

motoarele de mare viteză, deoarece au o construcție mai robustă și o distribuție mai uniformă a câmpului magnetic.

Pe lângă stator și rotor, motorul sincron mai include următoarele componente:

- **Carcasă:** protejează componentele interne ale motorului.
- **Lagăre:** susțin rotorul și îi permit să se rotească liber.
- **Cutie de borne:** asigură conexiunea electrică la bobinele statorului și la circuitul de excitație al rotorului.
- **Excitator:** furnizează curent continuu rotorului pentru a crea câmpul magnetic necesar. Excitatorul poate fi o sursă externă de curent continuu, un generator de curent continuu cuplat la arborele motorului sau un sistem de redresare a curentului alternativ.
- **Înfășurări de amortizare:** sunt înfășurări suplimentare plasate în polii rotorului pentru a îmbunătăți pornirea și stabilitatea motorului. Aceste înfășurări ajută motorul să atingă viteza sincronă și să reducă oscilațiile în timpul funcționării.
- **Ventilator:** asigură răcirea motorului.

Motorul sincron se poate clasifica în principal în două categorii:

a) Motorul sincron cu magneți permanenți (PMSPM):

acest tip de motor are magneți permanenți montați pe rotor, care creează câmpul magnetic necesar. Este utilizat în aplicații care necesită o eficiență ridicată și un

control precis al vitezei, cum ar fi servomotoarele și generatoarele eoliene.

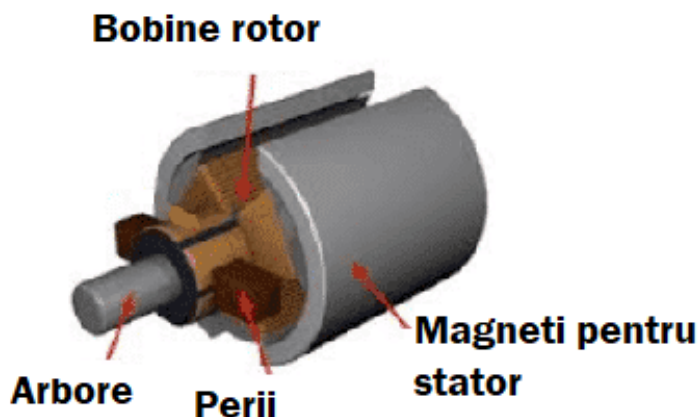


Figura 5.8. Elementele motorului sincron cu magneți permanenți
[5]

Un PMSM (fig. 5.8) este alcătuit din următoarele componente principale:

- **Stator:** partea statică a motorului, care conține înfășurări trifazate. Aceste înfășurări sunt responsabile pentru generarea câmpului magnetic rotativ.
- **Rotor:** partea mobilă a motorului, care are magneți permanenți montați pe el. Magneții permanenți creează un câmp magnetic constant care interacționează cu câmpul magnetic rotativ al statorului.
- **Lagăre:** acestea susțin rotorul și permit rotirea acestuia cu frecare minimă.

- **Carcasă:** protejează componentele interne ale motorului de mediul extern.

Există diferite tipuri de PMSM, clasificate în funcție de modul în care sunt montați magneții permanenți pe rotor:

- **PMSM cu magneți permanenți montați la suprafață:** în acest tip de motor, magneții permanenți sunt montați pe suprafața rotorului. Această construcție este simplă și ieftină, dar poate duce la o performanță mai scăzută la viteze mari, din cauza forțelor centrifuge care acționează asupra magneților.
- **PMSM cu magneți permanenți îngropați:** în acest tip de motor, magneții permanenți sunt îngropați în interiorul rotorului. Această construcție oferă o rezistență mecanică mai mare și o performanță mai bună la viteze mari, dar este mai complexă și mai costisitoare.

Printre avantajele utilizării PMSM-urilor se numără:

- **Eficiență ridicată:** PMSM-urile au o eficiență mai mare decât motoarele de inducție, în special la sarcini parțiale.
- **Densitate mare de putere:** PMSM-urile pot genera un cuplu mai mare pentru o anumită dimensiune și greutate, comparativ cu alte tipuri de motoare.
- **Fiabilitate excelentă:** datorită absenței periiilor și a colectorului, PMSM-urile sunt mai fiabile și necesită mai puțină întreținere decât motoarele de curent continuu.

- **Control precis al vitezei și cuplului:** PMSM-urile pot fi controlate cu precizie utilizând sisteme electronice de control.

b) Motorul sincron cu reluctanță: acest tip de motor nu are magneți permanenți pe rotor. Câmpul magnetic al rotorului este creat de variația reluctanței magnetice a rotorului în funcție de poziția sa față de stator. Este utilizat în aplicații care necesită o viteză constantă și o construcție simplă, cum ar fi pompele și ventilatoarele.



Figura 5.9. Elementele motorului sincron cu reluctanță [5]

Motorul sincron cu reluctanță este un tip de motor electric sincron care funcționează pe baza principiului reluctanței magnetice variabile. Acest principiu se bazează pe tendința naturală a fluxului magnetic de a urma calea cu cea mai mică reluctanță (rezistență magnetică) [6].

Motorul sincron cu reluctanță este alcătuit din două părți principale:

- **Stator:** partea statică a motorului, similară cu cea a unui motor sincron convențional, care conține înfășurări trifazate. Alimentarea cu curent alternativ trifazat a acestor înfășurări generează un câmp magnetic rotativ.
- **Rotor:** partea rotativă a motorului, care are o structură specială cu creștături sau proeminente. Această structură creează o variație a reluctanței magnetice în funcție de poziția rotorului față de câmpul magnetic rotativ al statorului.

Există și motoare sincrone cu reluctanță asistate de magneți permanenți [7]. Acestea combină avantajele motoarelor sincrone cu reluctanță (eficiență ridicată, cost redus) cu cele ale motoarelor sincrone cu magneți permanenți (cuplu mai mare).

Principiul de funcționare al motorului sincron cu reluctanță cuprinde următoarele etape:

1. **Câmp magnetic rotativ:** înfășurările statorului fiind alimentate cu curent alternativ trifazat, conduc la generarea unui câmp magnetic rotativ în stator.
2. **Alinierea rotorului:** rotorul, cu structura sa specială, tinde să se alinieze cu direcția câmpului magnetic rotativ al statorului, astfel încât reluctanța magnetică să fie minimă. Pentru a înțelege mai bine acest proces, imaginați-vă un magnet care atrage o bucată de fier. Fierul se va roti și se va alinia cu magnetul pentru a minimiza rezistența magnetică. În mod similar, rotorul

motorului sincron cu reluctanță se rotește pentru a se alinia cu câmpul magnetic rotativ al statorului.

3. **Rotația sincronă:** pe măsură ce câmpul magnetic rotativ se deplasează, rotorul îl urmează, rotindu-se sincron cu acesta. Aceasta înseamnă că viteza de rotație a rotorului este direct proporțională cu frecvența curentului alternativ aplicat statorului.

Printre avantajele motorului sincron cu reluctanță se numără:

- **Eficiență ridicată:** datorită absenței magneților permanenți pe rotor (în cazul motoarelor sincrone cu reluctanță standard), pierderile de energie sunt reduse, ceea ce duce la o eficiență energetică mai mare, în special la viteze mari.
- **Cost redus:** lipsa magneților permanenți reduce costul de producție al motorului.
- **Robustețe și fiabilitate:** construcția simplă și robustă a rotorului face ca motorul să fie fiabil și să necesite o întreținere redusă.
- **Funcționare la temperaturi ridicate:** absența magneților permanenți permite motorului să funcționeze la temperaturi mai ridicate decât motoarele sincrone cu magneți permanenți.

5.1.3. Motoare pas cu pas

Motoarele pas cu pas (MPP) sunt motoare electrice care se rotesc în pași discreți, unghiulari, la comanda unui semnal de impuls. Acestea sunt ideale pentru aplicații care necesită poziționare precisă și control al mișcării. Funcționarea lor se bazează pe activarea secvențială a unor electromagneți în stator, care atrag rotorul, determinându-l să se rotească pas cu pas. Numărul de pași pe rotație și unghiul de pas determină precizia motorului.

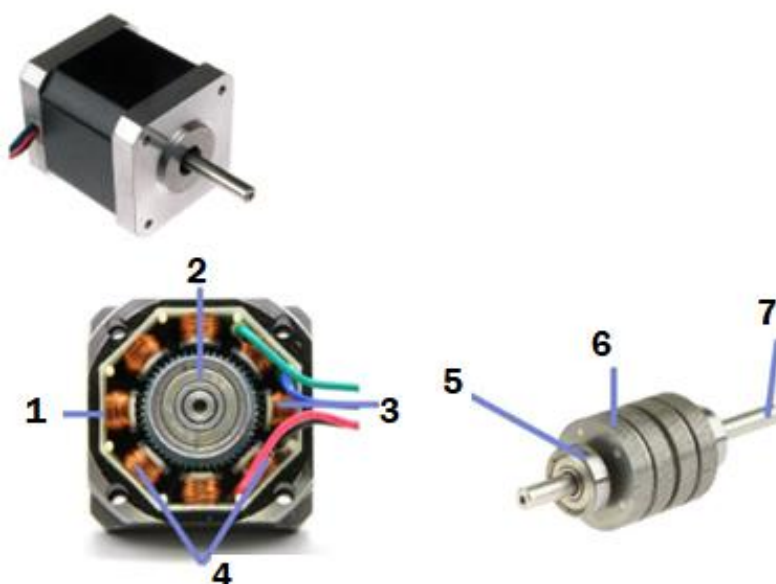


Figura 5.10. Elementele motorului pas cu pas: 1) carcasa motorului; 2) colivia de rulmenți; 3) polii statorului; 4) bobinele statorului; 5) arborele rulment; 6) polii statorului; 7) arborele magnetic [8]

Un motor pas cu pas este alcătuit dintr-un stator static cu bobine electromagnetice și un rotor mobil, care poate fi un magnet permanent sau un miez de fier cu dinți (vezi fig. 5.10).

Funcționarea unui motor pas cu pas se bazează pe atracția magnetică:

- **Secvență de energizare:** bobinele statorice sunt alimentate cu curent electric într-o ordine precisă.
- **Câmp magnetic rotativ:** această secvență de energizare generează un câmp magnetic care se rotește în jurul statorului.
- **Atracție și rotire:** rotorul, fiind magnetic, este atras de câmpul magnetic rotativ și se rotește odată cu acesta.
- **Pași discreți:** mișcarea rotorului nu este continuă, ci se face în pași distincți, corespunzători fiecărei schimbări în configurația câmpului magnetic.

Principalele tipuri de motoare pas cu pas sunt:

- **Motoare cu reluctanță variabilă (VR):** acestea sunt cele mai simple și mai puțin costisitoare, dar au un cuplu redus.
- **Motoare cu magnet permanent (PM):** acestea oferă un cuplu mai mare și o eficiență mai bună.
- **Motoare hibride:** acestea combină caracteristicile motoarelor cu reluctanță variabilă și cu magnet permanent, oferind un cuplu ridicat, o precizie bună și o eficiență ridicată.

5.1.4. Servomotoare

Servomotoarele sunt motoare de curent continuu sau alternativ cu un sistem de control în buclă închisă care permite poziționarea precisă și controlul vitezei. Acestea sunt utilizate în aplicații care necesită

performanțe dinamice ridicate și precizie. Servomotoarele includ un senzor de poziție (de exemplu, un encoder) care furnizează feedback sistemului de control, permițând ajustarea continuă a poziției și vitezei motorului.

Un servomotor (fig.5.11) este alcătuit din următoarele componente principale:

- **Motor:** acesta este elementul principal care generează mișcarea. Poate fi un motor de curent continuu (DC) sau de curent alternativ (AC).
- **Sistem de feedback:** acesta este un senzor care măsoară poziția actuală a arborelui motorului. Informațiile de la senzor sunt trimise către controler pentru a ajusta poziția motorului.
- **Controler:** acesta este un circuit electronic care primește semnale de comandă și controlează motorul pentru a atinge poziția dorită. Controlerul compară poziția dorită cu poziția actuală și ajustează puterea motorului pentru a minimiza eroarea.
- **Carcasă:** aceasta protejează componentele interne ale servomotorului.
- **Stator:** partea statică a motorului.
- **Rotor:** partea rotativă a motorului.
- **Înfășurări motor:** acestea sunt încorporate în stator și generează câmpul magnetic care rotește rotorul.

- **Sistem de răcire (opțional):** unele servomotoare au un sistem de răcire pentru a disipa căldura generată în timpul funcționării.

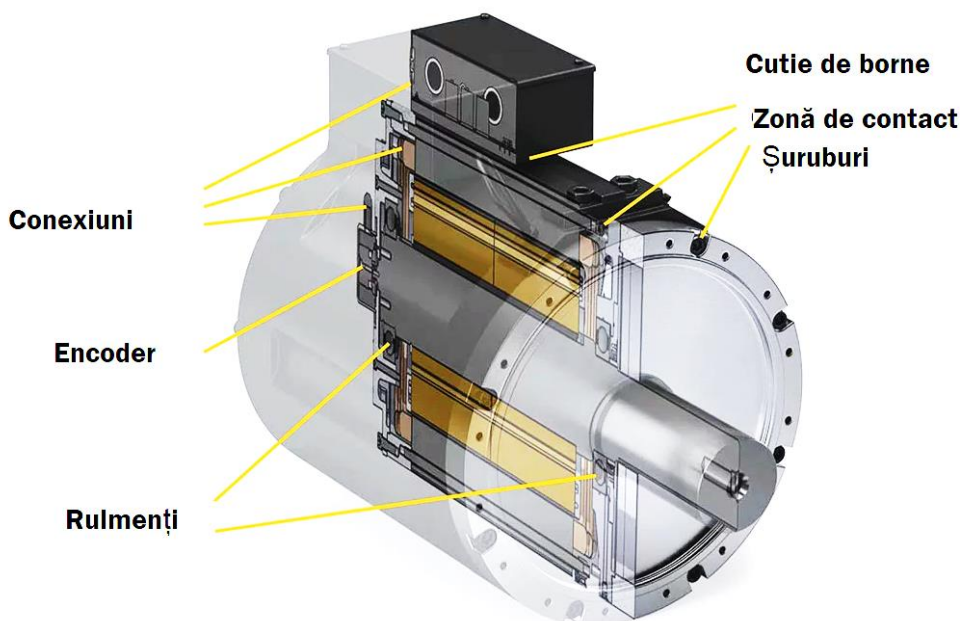


Figura 5.11. Elementele principale ale unui servomotor [9]

Există diferite tipuri de servomotoare, clasificate în funcție de tipul de motor, tipul de feedback și aplicație. Cele mai cunoscute tipuri de servomotoare sunt:

- **Servomotoare DC:** utilizate în aplicații ce necesită un răspuns rapid și o precizie ridicată.
- **Servomotoare AC:** utilizate în aplicații industriale care necesită o putere mare și o fiabilitate ridicată.
- **Servomotoare liniare:** generează o mișcare liniară în loc de una rotativă.

- **Servomotoare fără perii:** au o eficiență ridicată și o durată de viață mai lungă decât servomotoarele cu perii.

5.2. Actuatore utilizate în produsele mecatronice

Un actuator este un dispozitiv care convertește diferite forme de energie (electrică, hidraulică sau pneumatică) în mișcare mecanică. Alegerea actuatorului are un impact semnificativ asupra performanței, costului și eficienței unui sistem mecatronic, deoarece este responsabil pentru mișcarea și controlul precis al componentelor mecanice. Actuatorele permit funcționarea roboților, mașinilor-unelte, automobilelor și a unei game largi de alte produse.

Există o varietate de actuatore utilizate în produsele mecatronice, fiecare cu propriile caracteristici, avantaje, dezavantaje și aplicații specifice.

Cele mai cunoscute tipuri de actuatore sunt cele electrice, electromagnetice sau electromecanice.

5.2.1. Actuatore electrice

Aceste tipuri de actuatore sunt cele mai utilizate actuatore în mecatronică datorită simplității, fiabilității și costului redus. Acestea funcționează prin conversia energiei electrice în mișcare mecanică prin intermediul motoarelor electrice, pe baza principiului electromagnetismului. Mai exact, un motor electric este utilizat

pentru a genera mișcare rotativă, care este apoi transformată în mișcare liniară sau rotativă, în funcție de tipul de actuator, prin intermediul unor mecanisme (de exemplu angrenaje) [10].

Există mai multe tipuri de actuatoare electrice disponibile, ca de exemplu:

- a) **Actuatoare liniare:** acestea sunt cele mai comune tipuri de actuatoare electrice și sunt utilizate pentru a produce mișcare liniară.

Există mai multe tipuri de actuatoare liniare, iar alegerea unuia dintre ele depinde de anumite caracteristici ale acestuia, precum cursa pe care o poate parcurge tija sau pistonul actuatorului, precizia și viteza maximă de operare a acestuia sau forța cu care poate împinge sau trage o sarcină.

Există trei tipuri principale de actuatoare liniare:

- **Actuatoare electrice:** acestea sunt alimentate de un motor electric. Sunt cunoscute pentru precizia și fiabilitatea lor.

Principiul de funcționare al unui actuator electric liniar se bazează pe transmiterea mișcării de rotație de la motorul electric prin intermediul sistemului de transmitere, care poate fi de mai multe feluri, printre care poate fi, așa cum reiese din fig. 5.12, un sistem de tip șurub piuliță.

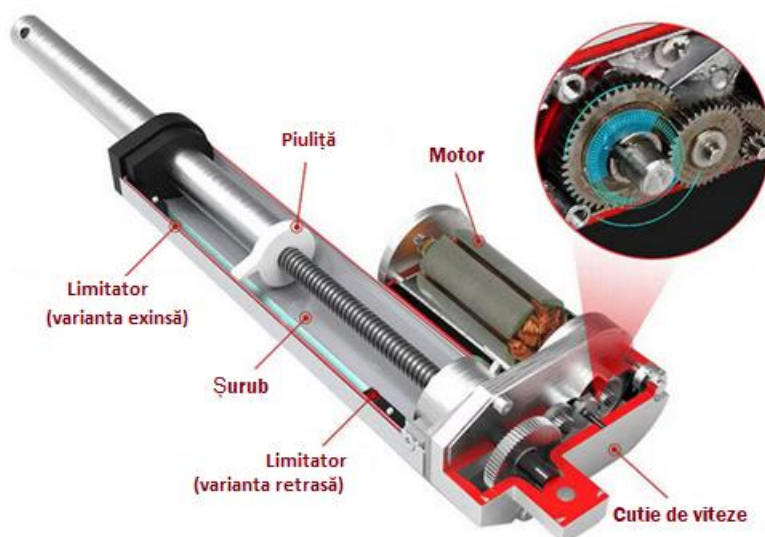


Figura 5.12. Elementele principale ale unui actuator liniar electric [11]

Pe lângă elementele principale enunțate anterior, actuatorii electrici liniari includ și alte elemente esențiale pentru funcționarea lor optima, precum senzori de poziție, (encodere sau potențiometre), un sistem electronic de control care ajută la reglarea poziției și a vitezei actuatorului în funcție de informațiile primite de la senzori, limitatoare de cursă, carcasă.

De exemplu, în fig. 5.13a este prezentat un astfel de actuator, un actuator liniar marca MXM de 12V curent continuu, cu o cursă maximă de 200mm (dar există din această game și actuatoare care pot atinge curse mai mari) și o forță dinamică de până la 6000N. Acest tip de actuator permite o poziționare precisă combinată cu o asamblare ușoară și o întreținere redusă, făcându-l potrivit pentru o

varietate de aplicații, așa cum reiese din fig. 5.13b, de la deschiderea electrică a ferestrelor, la scaune sau mese de masaj [12].



Figura 5.13. Actuator electric liniar MXM: a) actuatorul MTM200;
b) exemple de utilizare [12]

- **Actuatoare hidraulice:** Aceste actuatoare utilizează fluide hidraulice pentru a genera forță și mișcare. Sunt potrivite pentru aplicații care necesită forțe mari și viteze reduse.

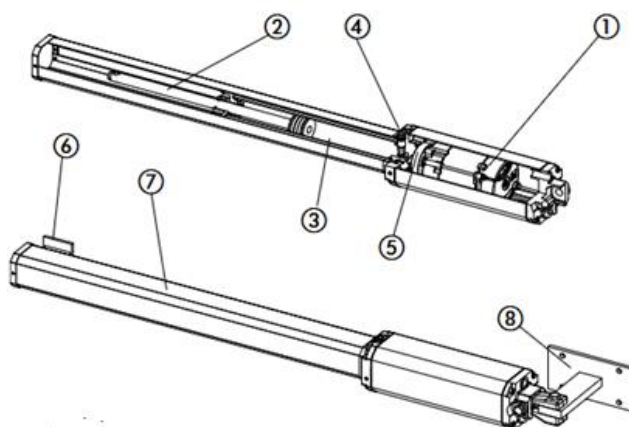
Actuatoarele hidraulice sunt componente esențiale în numeroase sisteme mecanice și industriale, oferind o forță considerabilă și o precizie ridicată în controlul mișcării. Termenul „actuatoare hidraulice” se referă la dispozitive mecanice care utilizează energia fluidului hidraulic pentru a genera o forță mecanică liniară sau rotativă. Aceste dispozitive transformă energia hidraulică, sub formă de presiune a fluidului, în lucru mecanic, permițând controlul precis al mișcării, poziției și forței.

Principiul fundamental al funcționării actuatoarelor hidraulice este **Principiul lui Pascal**. Acest principiu afirmă că presiunea aplicată unui fluid închis se transmite uniform în toate direcțiile.

Un actuator hidraulic constă dintr-un cilindru care conține un piston. Fluidul hidraulic sub presiune este pompat în cilindru, exercitând o forță asupra pistonului și determinând mișcarea acestuia. Direcția mișcării pistonului (extensie sau retragere) este controlată prin direcționarea fluidului hidraulic către una dintre fețele pistonului.

Elementele principale ale unui actuator hidraulic, așa cum reiese și din fig. 5.14, sunt:

- **Cilindrul hidraulic:** acesta este corpul principal al actuatorului și conține pistonul și fluidul hidraulic.
- **Pistonul:** este o componentă mobilă în interiorul cilindrului care se deplasează sub acțiunea fluidului hidraulic.
- **Tija pistonului:** transmite forța generată de piston către elementul care trebuie acționat.
- **Garnituri:** asigură etanșeitatea sistemului, prevenind scurgerile de fluid hidraulic.
- **Capacele cilindrului:** închid ermetic cilindrul la ambele capete.
- **Porturi de admisie și evacuare:** permit intrarea și ieșirea fluidului hidraulic în cilindru.
- **Carcasă:** partea exterioară a actuatorului.



a



b

Figura 5.14. Elementele componente ale unui actuator liniar hidraulic: 1) motor electric; 2) piston hidraulic; 3) cilindru; 4) supape by-pass; 5) pompa Gerotor; 6) atașament frontal; 7) carcasă ; 8) atașament spate [13]



Figura 5.15. Exemplu de utilizare ale unui actuator liniar hidraulic la un sistem deschidere porți [13]

- **Actuatoare pneumatice:** aceste actuatoare utilizează aer comprimat pentru a genera mișcare. Sunt simple, fiabile, au un cost redus, făcându-le astfel ideale pentru aplicații care necesită viteze mari și forțe moderate (de exemplu aplicații industriale sau comerciale).

Principiul de funcționare al unui actuator pneumatic are la bază aerul comprimat care este introdus în una dintre camerele cilindrului, exercitând o forță asupra pistonului. Această forță determină deplasarea pistonului și a tijei pistonului, generând mișcare liniară. Controlul direcției și a vitezei mișcării pistonului se face prin controlul fluxului de aer către și dinspre camerele cilindrului. Un mare avantaj al acestora este faptul că pot șocurile sunt absorbite, aerul comprimat acționând ca un amortizor, prevenind astfel deteriorarea actuatorului.

Un actuator pneumatic are următoarele componente principale (fig. 5.16):

- **Cilindru:** un tub cilindric închis la ambele capete, în interiorul căruia se mișcă pistonul.
- **Piston:** un disc sau un cilindru mobil care se deplasează în interiorul cilindrului sub acțiunea aerului comprimat.
- **Tijă piston:** o bară rigidă conectată la piston, care transmite mișcarea liniară către elementul de lucru.

- **Supape de control:** dispozitive care reglează fluxul de aer comprimat către și dinspre cilindru, controlând astfel mișcarea pistonului.
- **Elemente de etanșare:** garnituri și inele O-ring care previn scurgerile de aer și asigură o funcționare eficientă.

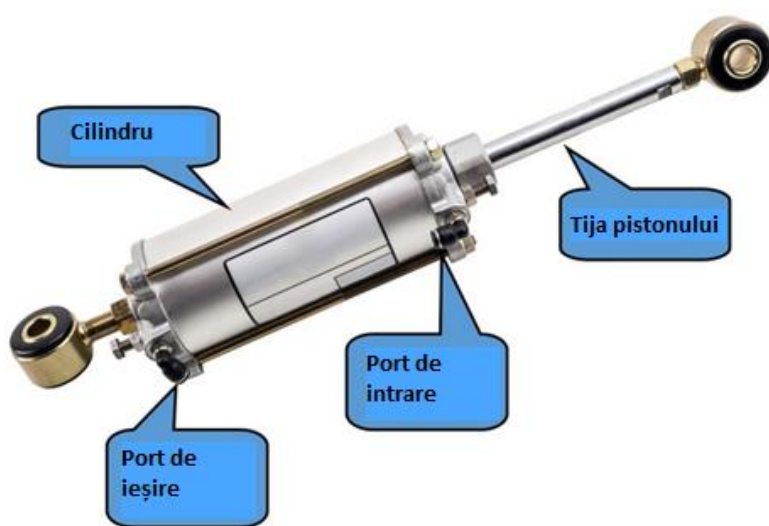


Figura 5.16. Elementele principale ale unui actuator liniar pneumatic [14]

În plus față de aceste componente principale, actuatorele pneumatice pot include și alte elemente, cum ar fi: senzori de poziție, amortizoare și alte conexiuni pneumatice (fitinguri, tuburi flexibile).

- b) **Actuatore rotative:** aceste actuatore produc mișcare rotativă și sunt utilizate în aplicații precum controlul supapelor rotative și robotică.

Actuatoarele electrice rotative sunt dispozitive esențiale în automatizare, oferind o metodă precisă și eficientă în a controla mișcarea de rotație a mecanismelor. Acestea convertesc energia electrică în mișcare mecanică rotativă, oferind o alternativă la actuatoarele pneumatice sau hidraulice utilizabile într-o gamă largă de aplicații industriale, precum poziționarea precisă a unor componente ale mașinilor-unelte, precum și a controlului fluxului de fluide în sistemele HVAC (**H**eating, **V**entilation, **A**ir **C**onditioning).

Există diverse tipuri de actuatoare electrice rotative, iar alegerea tipului potrivit depinde de cerințele aplicației, cum ar fi cuplul necesar, viteza de rotație, precizia și mediul de operare. Cele mai întâlnite tipuri sunt: **cu motor sincron**: se caracterizează printr-o viteză constantă și un cuplu ridicat, fiind ideale pentru aplicații care necesită o poziționare precisă, **cu motor asincron**: oferă o precizie mai mică și sunt utilizate în aplicații care nu necesită precizie ridicată, sau **cu motor pas cu pas**: oferă o poziționare extrem de precisă (se rotesc în pași discreți) și sunt utilizate în aplicații care necesită un control fin al mișcării (echipamentele medicale, CNC-uri).

Un exemplu de actuator rotativ este prezentat în fig. 5.17, cu elementele sale componente. Mai exact este vorba despre un actuator rotativ de tip ARM360-125, ale cărui elemente componente sunt: 1) șurub de reglare din oțel galvanizat; 2) șurub pentru capul de fixare din oțel zincat; 3) chiuloasă din aluminiu turnat sub presiune; 4)

garnitură; 5) carcasă; 6) bloc ghidaj; 7) corp cilindric rotativ din aluminiu; 8) pinion din oțel nitrurat; 9) rulment cu bile; 10) cremalieră; 11) inel magnetic; 12) garnituri piston; 13) piston; 14) șurub de blocare al pistonului [15].

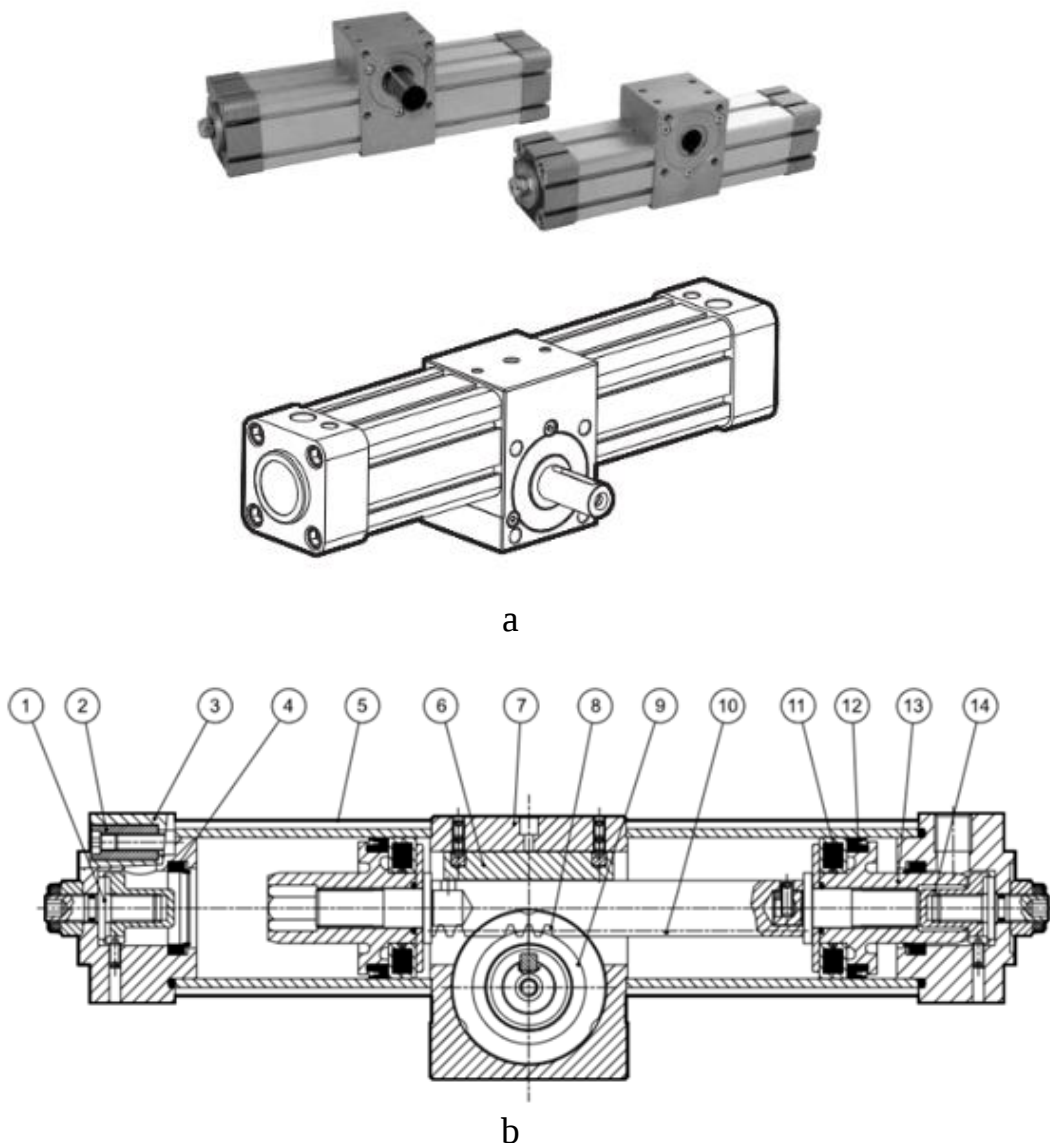


Figura 5.17. Actuator rotativ de tip ARM360-125 cu evidențierea elementelor sale componente [15]

5.2.2. Actuatoare electromagnetice

Actuatoarele electromagnetice sunt dispozitive esențiale care convertesc energia electrică în energie mecanică, generând mișcare controlată. Acestea oferă o combinație de precizie, viteză și eficiență, ceea ce le face potrivite pentru o gamă largă de aplicații, de la roboți industriali complecși care necesită mișcări precise la dispozitive medicale pentru administrarea precisă a medicamentelor. Actuatoarele electromagnetice funcționează pe baza principiilor electromagnetismului, utilizând forța generată de un câmp magnetic pentru a produce mișcare. Mai precis, ele folosesc fizica pentru a genera câmpuri magnetice pentru a executa comenzi în sistemele automate.

Spre exemplificare, în fig.5.18 este prezentat un actuator electromagnetic liniar proiectat pentru precizie de poziționare submicronică.

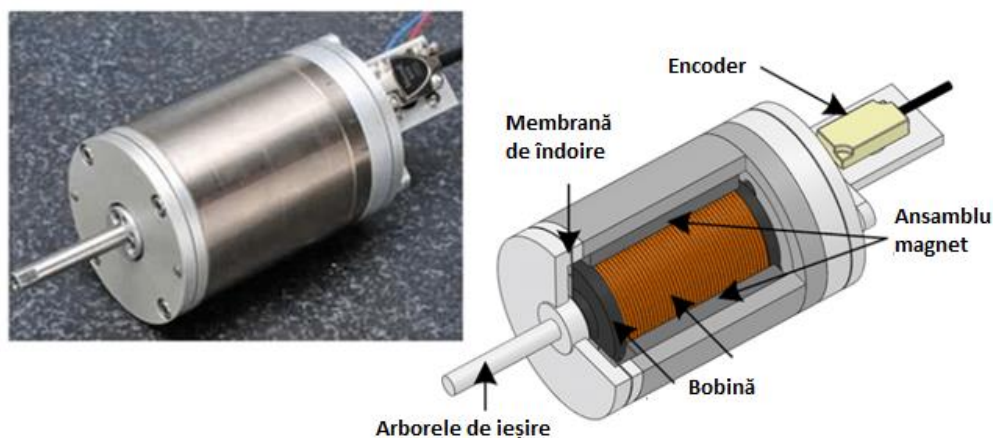


Figura 5.18. Actuator electromagnetic cu evidențierea elementelor sale componente [16]

Solenoidii reprezintă un tip comun de actuator electromagnetic care funcționează pe baza principiului inducției electromagnetice, dar diferă în tipul de mișcare pe care o produc. Solenoidii sunt actuatore liniare care constau dintr-o bobină de sârmă și un miez feromagnetic mobil. Trecerea unui curent electric prin bobină creează un câmp magnetic ce atrage miezul, rezultând într-o mișcare liniară. Solenoidii sunt utilizați în diverse aplicații, cum ar fi **electrovalvele** (controlează fluxul de lichide sau gaze în sistemele hidraulice și pneumatice), **încuietori electrice** (utilizate în sisteme de securitate pentru a bloca și debloca ușile) sau **sisteme de injecție a combustibilului** (controlează injecția de combustibil în motoarele cu ardere internă).

5.2.3. Actuatore electromecanice

Actuatorele electromecanice convertesc energia electrică în mișcare mecanică. Această conversie are loc prin utilizarea motoarelor electrice ce pot fi controlate cu o precizie ridicată. Spre deosebire de actuatorele tradiționale (precum actuatorele pneumatice sau hidraulice), actuatorele electromecanice nu au nevoie de fluide pentru a funcționa și sunt, de obicei, mai ușor de întreținut, mai curate și mai potrivite pentru mediile în care contaminarea este o problemă. În același timp, acestea oferă o eficiență energetică și capacități de control mai bune.

Actuatorele electromecanice sunt împărțite în principal în două tipuri: liniare sau rotative.

Actuatore liniare electromecanice: la care conversia mișcării se realizează prin cuplarea dintre motor și mecanismul șurubului, care transformă rotația motorului în mișcare liniară de-a lungul unei axe.

Actuatore rotative electromecanice: au capacitatea lor de a oferi cupluri mari și o gestionare eficientă a puterii prin configurații care pot include angrenaje planetare, cicloidale sau armonice pentru a reduce viteza și a crește cuplul de ieșire.

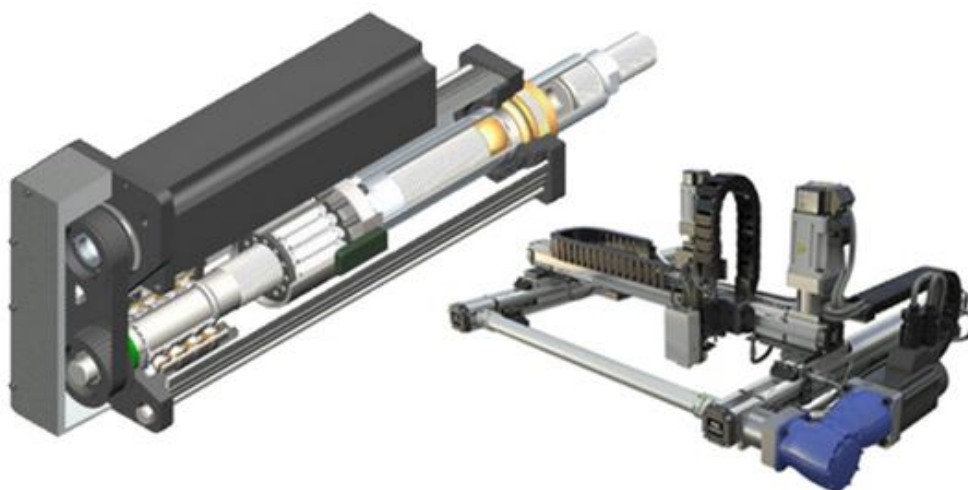


Figura 5.19. Actuator electromecanic [17]

Un exemplu de actuator electromecanic este prezentat în fig. 5.19, cu evidențierea utilizării lui în industrie, iar în fig. 5.20 sunt prezentate elementele principale componente ale unui actuator electromecanic.

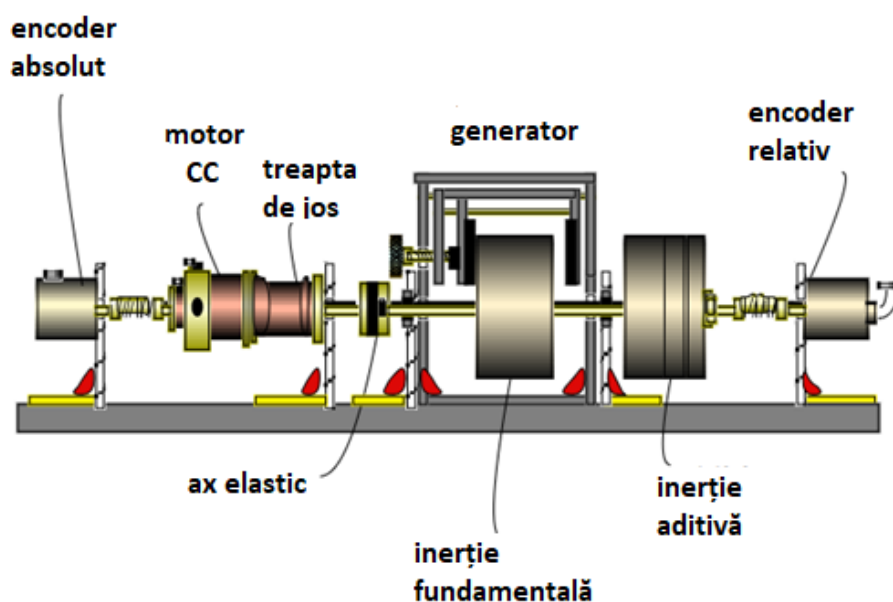


Figura 5.20. Evidențierea elementelor componente ale unui actuator electromecanic [18]

Selecția actuatorului potrivit pentru o anumită aplicație depinde de o serie de factori, precum viteza și accelerația dorite, precizia și repetabilitatea, forța și cuplul necesare, eficiența energetică, costul, etc.

Dezvoltarea actatoarelor pentru mecatronică este un domeniu în continuă evoluție, cu accent pe îmbunătățirea performanței, eficienței și miniaturizării.

5.3. Exemple de utilizare a motoarelor și actuatorilor în produse mecatronice

Utilizarea motoarelor și actuatorilor în cadrul produselor mecatronice este diversă, de la utilizarea la aparatele electrocasnice (de dimensiuni mici și medii) și până la utilizare în domeniul industrial (de dimensiuni mici, medii și mari).

5.3.1. Aplicații ale motoarelor de curent continuu cu perii

Motoarele de curent continuu cu perii sunt utilizate într-o gamă extinsă de aplicații, datorită simplității, costului redus și ușurinței de control. Câteva exemple comune includ:

- **Jucării:** Motoare de curent continuu cu perii de dimensiuni mici sunt utilizate în jucării precum mașinuțe, trenulețe și roboți.
- **Electrocasnice:** Aceste motoare se găsesc în aparate precum aspiratoare, blendere, mașini de spălat și uscătoare de păr.
- **Automobile:** Motoarele de curent continuu cu perii sunt utilizate în sistemele de pornire, ștergătoarele de parbriz, geamurile electrice și reglarea scaunelor.
- **Echipamente industriale:** Aceste motoare sunt utilizate în diferite aplicații industriale, cum ar fi benzi transportoare, macarale, pompe și ventilatoare.

5.3.2. Aplicații ale motoarelor de curent continuu fără perii

Motoarele CC fără perii sunt utilizate în diferite aplicații, dintre care cele mai utilizate sunt:

- **Vehicule electrice (EV):** motoarele BLDC sunt componente cheie în EV-uri, contribuind la reducerea emisiilor de carbon și la creșterea eficienței energetice.
- **Electronice de consum:** se regăsesc în hard disk-uri, unități CD/DVD, imprimante, ventilatoare și multe alte dispozitive.
- **Automatizări industriale:** sunt utilizate în roboți industriali, mașini-unelte CNC, sisteme de control al mișcării și alte aplicații industriale.
- **Aeromodelism:** motoarele outrunner sunt populare în drone și modele de aeronave datorită inerției mari a rotorului, care oferă o stabilitate mai bună în zbor.

5.3.3. Aplicații ale motoarelor de curent alternativ

Motoarele de curent alternativ sunt utilizate într-o gamă largă de aplicații, inclusiv:

- **Industria:** acționarea pompelor, compresoarelor, ventilatoarelor, benzilor transportoare, mașinilor-unelte etc.
- **Transporturi:** în locomotive electrice, tramvaie, troleibuze și vehicule electrice hibride.
- **Electrocasnice:** în frigidere, mașini de spălat, aspiratoare, aparate de aer condiționat etc.

- **Electronică:** în unități de disc, imprimante, ventilatoare de răcire etc.

5.3.4. Aplicații ale motoarelor de alternativ asincrone trifazate

Motoarele asincrone trifazate sunt utilizate în diverse aplicații, precum:

- **Aplicații industriale:** acționarea pompelor, ventilatoarelor, compresoarelor, benzilor transportoare, mașinilor-unelte, etc.
- **Aplicații domestice:** electrocasnice precum mașini de spălat, frigidere, aspiratoare, aparate de aer condiționat, etc.
- **Tracțiune electrică:** locomotive electrice, tramvaie, troleibuze.

5.3.5. Aplicații ale motoarelor de curent alternativ asincrone cu rotor bobinat

Datorită caracteristicilor sale de pornire și funcționare, motorul asincron cu rotor bobinat este utilizat în aplicații industriale unde este necesar un cuplu de pornire ridicat sau o reglare a turației.

Exemple de aplicații includ:

- **Macarale și elevatoare:** cuplul de pornire ridicat este esențial pentru a ridica sarcini grele de la zero. Motoarele asincrone cu

rotor bobinat permit pornirea lină și controlată a macaralelor și elevatoarelor, chiar și cu sarcini maxime.

- **Pompe și compresoare:** reglarea turației permite ajustarea debitului sau presiunii în funcție de necesități. În cazul pompelor, motorul asincron cu rotor bobinat poate fi utilizat pentru a controla debitul de lichid, iar în cazul compresoarelor, pentru a regla presiunea aerului comprimat.
- **Motoare de tracțiune:** în trecut, motoarele asincrone cu rotor bobinat au fost utilizate în locomotive electrice, unde reglarea turației era importantă pentru controlul vitezei trenului. În prezent, această aplicație este mai puțin comună, fiind înlocuită de motoare de curent continuu cu excitație separată sau de motoare sincrone cu magneți permanenți, controlate prin invertoare de frecvență.
- **Concassoare și mori:** în industria minieră și a materialelor de construcții, motoarele asincrone cu rotor bobinat sunt utilizate pentru a acționa concassoare și mori, unde este necesar un cuplu de pornire ridicat pentru a sparge sau măcina materiale dure.
- **Laminare:** în industria siderurgică, motoarele asincrone cu rotor bobinat sunt utilizate pentru a acționa laminoarele, unde este necesară o reglare precisă a turației pentru a controla viteza de laminare a metalului.

5.3.6. Aplicații ale motoarelor de curent alternativ sincrone

Motoarele sincrone sunt utilizate în aplicații precum:

- **Generatoare de energie electrică:** în centrale hidroelectrice, termoelectrice și nucleare. Motoarele sincrone sunt utilizate ca generatoare în majoritatea centralelor electrice, transformând energia mecanică în energie electrică.
- **Compresoare:** în industria petrolieră și chimică. Motoarele sincrone sunt utilizate pentru a acționa compresoare de aer și gaze, datorită capacității lor de a funcționa la viteze constante și de a oferi un cuplu ridicat.
- **Pompe:** pentru apă, petrol și alte fluide. Motoarele sincrone sunt utilizate pentru a acționa pompe de mare putere în diverse aplicații industriale și municipale.
- **Ventilatoare:** în sisteme de ventilație și climatizare. Motoarele sincrone sunt utilizate pentru a acționa ventilatoare industriale de mare capacitate, asigurând un flux constant de aer.
- **Motoare de tracțiune:** în locomotive electrice și trenuri de mare viteză. Motoarele sincrone sunt utilizate în unele sisteme de tracțiune electrică, oferind o eficiență ridicată și o viteză constantă.
- **Servomotoare:** în roboți industriali, mașini-unelte și alte sisteme de control al mișcării. Servomotoarele sincrone oferă un control precis al poziției și vitezei, fiind esențiale în automatizarea industrială.

5.3.7. Aplicații ale motoarelor de curent alternativ sincrone cu magneti permanenți

PMSM-urile sunt utilizate în aplicații diverse, printre care:

- **Vehicule electrice:** PMSM-urile sunt utilizate pe scară largă în vehiculele electrice și hibride datorită eficienței lor ridicate și densității mari de putere.
- **Aplicații industriale:** PMSM-urile sunt utilizate în diverse aplicații industriale, cum ar fi acționări de mașini-unelte, pompe, compresoare și ventilatoare.
- **Electronică de consum:** PMSM-urile sunt utilizate în aparate electrocasnice, cum ar fi mașini de spălat, frigidere și aparate de aer condiționat.
- **Aerospațială:** PMSM-urile sunt utilizate în sisteme de control al zborului și în alte aplicații aerospațiale.
- **Robotica:** PMSM-urile sunt utilizate în roboți industriali și în alte aplicații robotice datorită preciziei și dinamicii lor ridicate.

5.3.8. Aplicații ale motoarelor de curent alternativ sincrone cu reluctanță

Motoarele sincrone cu reluctanță sunt utilizate într-o varietate de aplicații, inclusiv:

- **Pompe și ventilatoare:** eficiența ridicată a motoarelor sincrone cu reluctanță le face ideale pentru aplicații de pompare și

ventilație, unde se pot realiza economii semnificative de energie.

- **Compresoare:** în aplicațiile de compresie a aerului, motoarele sincrone cu reluctanță oferă o eficiență ridicată și o fiabilitate excelentă.
- **Acționări industriale:** în diverse aplicații industriale, cum ar fi mașini-unelte, benzi transportoare și roboți industriali, motoarele sincrone cu reluctanță oferă un control precis al vitezei și o eficiență energetică ridicată.
- **Automobile electrice:** motoarele sincrone cu reluctanță asistate de magneți permanenți sunt din ce în ce mai utilizate în automobilele electrice datorită eficienței lor ridicate și a costului redus.

5.3.9. Aplicații ale motoarelor pas cu pas

Motoarele pas cu pas sunt utilizate în diverse aplicații, precum:

- **Imprimante 3D:** motoarele pas cu pas controlează mișcarea precisă a extruderului și a platformei de imprimare în imprimantele 3D.
- **Mașini CNC:** în mașinile CNC, motoarele pas cu pas controlează mișcarea sculelor de așchiere pe axe X, Y și Z.
- **Scanere:** scanerele utilizează motoare pas cu pas pentru a deplasa capul de scanare cu precizie.

- **Automatizări industriale:** roboți industriali, mașini-unelte CNC - în aceste aplicații, precizia mișcării este esențială pentru a asigura calitatea și consistența producției.
- **Dispozitive electronice de larg consum:** camere digitale, playere DVD.

5.3.10. Aplicații ale servomotoarelor

Servomotoarele sunt utilizate într-o varietate de aplicații, inclusiv:

- **Roboți industriali:** pentru controlul precis al mișcării brațelor robotice.
- **Mașini-unelte CNC:** pentru controlul precis al poziției și vitezei sculelor de tăiere.
- **Imprimante 3D:** pentru controlul precis al poziției capului de extrudare.
- **Sisteme de automatizare:** în diverse aplicații industriale, cum ar fi controlul proceselor, ambalare și manipulare materiale.
- **Electronică de larg consum:** în camere digitale, playere DVD și alte dispozitive.

5.3.11. Aplicații ale actuatorilor

Exemple de produse mecatronice și actuatori utilizați în mecatronică:

- **Robotică:** roboții industriali utilizează o varietate de actuatore pentru mișcarea articulațiilor, actuatore pneumatice pentru prindere și actuatore hidraulice pentru sarcini grele.
- **Industria auto:** automobilele moderne utilizează actuatore pentru o gamă largă de funcții, cum ar fi controlul direcției (servodirecție), frânarea (ABS), controlul motorului (injecție de combustibil) și reglarea scaunelor.
- **Mașini-unelte:** mașinile-unelte cu comandă numerică (CNC) utilizează actuatore electrice și hidraulice pentru a controla mișcarea precisă a sculelor de așchiere.
- **Echipamente medicale:** echipamentele medicale, cum ar fi pompele de perfuzie și aparatele de ventilație, utilizează actuatore pentru a controla cu precizie administrarea de fluide și gaze.
- **Electronică de consum:** dispozitivele electronice de consum, cum ar fi imprimantele și camerele digitale, utilizează actuatore pentru a controla mișcarea componentelor mecanice.

5.4. Bibliografie

1. [www.blog.robofun.com, https://blog.robofun.ro/2021/03/17/motorul-de-curent-continuu-principiu-de-functionare-si-tipuri-de-motoare/](https://blog.robofun.ro/2021/03/17/motorul-de-curent-continuu-principiu-de-functionare-si-tipuri-de-motoare/) (accesată în ianuarie 2025)
2. [www.bitmi.ro, https://www.bitmi.ro/blog/motor-fara-perii-vs-motor-cu-perii-de-ce-ar-trebui-sa-sti-diferenta.html](https://www.bitmi.ro/blog/motor-fara-perii-vs-motor-cu-perii-de-ce-ar-trebui-sa-sti-diferenta.html) (accesată în ianuarie 2025)
3. [www.motoaretestat.weebly.com, https://motoaretestat.weebly.com/motoare-cu-curent-continuu.html](https://motoaretestat.weebly.com/motoare-cu-curent-continuu.html) (accesată în ianuarie 2025)
4. [www.eprof.ro, https://eprof.ro/docs/tehnica/practica-laborator/teorie/instalatii-electrice/2.3motorul-asincron-trifazat.pdf](https://eprof.ro/docs/tehnica/practica-laborator/teorie/instalatii-electrice/2.3motorul-asincron-trifazat.pdf) (accesată în ianuarie 2025)
5. [www.electricalfunblog.com, https://electricalfundablog.com/synchronous-motor/](https://electricalfundablog.com/synchronous-motor/) (accesată în ianuarie 2025)
6. Motoare cu reluctanță comutată - Electronica Azi, <https://electronica-azi.ro/motoare-cu-reluctanta-comutata/> (accesată în ianuarie 2025)
7. Producător și furnizor de motoare sincrone cu reluctanță seria SCZ ..., <http://ro.sunvimmotor.com/permanent-magnet-assisted-three-phase-synchronous-reluctance-motors-product/> (accesată în februarie 2025)
8. [www.upet.ro, https://www.upet.ro/simpozioane/ztsp/2017/lucrari/CDZTSP2017-IE.pdf](https://www.upet.ro/simpozioane/ztsp/2017/lucrari/CDZTSP2017-IE.pdf) (accesată în februarie 2025)
9. [www.baumueller.com, https://www.baumueller.com/en/insights/basics/servo-motors-structure-uses-special-features](https://www.baumueller.com/en/insights/basics/servo-motors-structure-uses-special-features) (accesată în ianuarie 2025)
10. Mândru, D.,ș.a., 2004 , Actionari in mecanica fina si mecatronica, Ed. Alma Mater, Cluj-Napoca.
11. [www.emag.ro, https://www.emag.ro/actuator-liniar-electric-mmgoqqt-1500n-12v-300mm-rezistent-la-apa-si-praf-capacitate-330lbs-ds240930123180/pd/DYGPVZYBM/](https://www.emag.ro/actuator-liniar-electric-mmgoqqt-1500n-12v-300mm-rezistent-la-apa-si-praf-capacitate-330lbs-ds240930123180/pd/DYGPVZYBM/) (accesată în februarie 2025)
12. [www.securetek.ro, https://www.secutek.ro/actuator-electric-liniar-dc-12v-6000n-200mm-e127791.htm](https://www.secutek.ro/actuator-electric-liniar-dc-12v-6000n-200mm-e127791.htm) (accesată în februarie 2025)
13. [bnt.ro, https://bnt.ro/produse/12805/Automatizari-FAAC/Batante/KIT-402-CBC/Actuator-hidraulic?path=2554](https://bnt.ro/produse/12805/Automatizari-FAAC/Batante/KIT-402-CBC/Actuator-hidraulic?path=2554) (accesată în februarie 2025)
14. [www.act-u8.com, https://act-u8.com/what-is-a-linear-actuator/](https://act-u8.com/what-is-a-linear-actuator/) (accesată în februarie 2025)
15. [pneumatikashop.eu, https://pneumatikashop.eu/ro/magazin/cilindrii-pneumatici/cilindri-rotativi/cilindri-rotativi-cu-pinion-](https://pneumatikashop.eu/ro/magazin/cilindrii-pneumatici/cilindri-rotativi/cilindri-rotativi-cu-pinion-)

- tat%C4%83/brat360-125-cilindru-rotativ-cu-ax/ (accesată în februarie 2025)
16. Model-Based Compensation of Thermal Disturbance in a Precision Linear Electromagnetic Actuator - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: https://www.researchgate.net/figure/Flexure-based-electromagnetic-linear-actuator_fig1_262417585 (accesată în ianuarie 2025)
 17. <https://www.venturemfgco.com/blog/advantages-of-electro-mechanical-actuators/> (accesată în februarie 2025)
 18. On Disturbance Decoupled Observers for a Class of Bilinear Systems - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: https://www.researchgate.net/figure/electromechanical-actuator_fig1_29649924 (accesată în ianuarie 2025)

6. CONTROLUL PRODUSELOR MECATRONICE

Într-un produs mecatronic, partea de control este o componentă esențială pentru a asigura funcționarea acestuia în mod sigur, eficient și precis. Pentru asta se utilizează controlere, care gestionează și coordonează funcționarea întregului sistem. Ca și principiu de funcționare, acesta primește informații de la senzori despre starea sistemului și a mediului înconjurător, le procesează și generează semnale de comandă pentru motoare sau actuatori, care acționează asupra componentelor mecanice ale sistemului.

Controlul automat este o ramură a ingineriei care se ocupă cu utilizarea sistemelor automate pentru a gestiona și regla procesele fără intervenție umană directă. Există două tipuri principale de control automat: controlul în buclă deschisă și controlul în buclă închisă.

Controlul în buclă deschisă este un tip de sistem de control în care ieșirea sistemului nu are niciun efect asupra acțiunii de control. Cu alte cuvinte, sistemul nu își monitorizează ieșirea și nu face ajustări pentru a o menține la valoarea dorită.

Un exemplu simplu de sistem de control în buclă deschisă este un sistem de irigare automat care pornește și se oprește la intervale de timp predefinite, indiferent de nivelul de umiditate al solului. Sistemul nu măsoară umiditatea și nu ajustează durata de udare în funcție de aceasta.

Avantajele controlului în buclă deschisă:

- Simplitate: sistemele în buclă deschisă sunt, în general, mai simple de proiectat și implementat decât sistemele în buclă închisă.
- Cost redus: datorită simplității lor, sistemele în buclă deschisă sunt de obicei mai ieftine de construit și întreținut.

Dezavantajele controlului în buclă deschisă:

- Lipsa de precizie: sistemele în buclă deschisă sunt sensibile la perturbații externe și la variațiile parametrilor sistemului, ceea ce poate duce la erori și la o precizie scăzută.
- Necesitatea calibrării: pentru a funcționa corect, sistemele în buclă deschisă necesită o calibrare precisă, care poate fi dificil de realizat în practică.

Aplicații ale controlului în buclă deschisă:

- Mașini de spălat automate: majoritatea mașinilor de spălat automate funcționează pe baza unui program predefinit, fără a lua în considerare factori precum cantitatea de rufe sau gradul de murdărie.
- Uscătoare de păr: uscătoarele de păr funcționează la o temperatură și o viteză constante, fără a măsura temperatura părului.
- Cuptoare cu microunde: cuptoarele cu microunde funcționează pe baza unui timer, fără a măsura temperatura alimentelor.

Controlul în buclă închisă, cunoscut și sub numele de control cu feedback, este un tip de sistem de control care își monitorizează constant ieșirea și face ajustări pentru a o menține la valoarea dorită. Acest lucru se realizează prin utilizarea unui senzor pentru a măsura ieșirea sistemului și a unui controler pentru a compara ieșirea măsurată cu valoarea dorită.

Un exemplu clasic de sistem de control în buclă închisă este un sistem de control al temperaturii unei încăperi. Un termostat măsoară temperatura actuală a camerei și o compară cu temperatura dorită. Dacă există o diferență între cele două valori, termostatul activează sistemul de încălzire sau răcire pentru a aduce temperatura la valoarea dorită.

Avantajele controlului în buclă închisă:

- Precizie ridicată: prin utilizarea feedback-ului, sistemele în buclă închisă pot compensa perturbațiile externe și variațiile parametrilor sistemului, asigurând o precizie ridicată.
- Robustețe la perturbații: sistemele în buclă închisă sunt mai puțin sensibile la perturbații decât sistemele în buclă deschisă, deoarece pot detecta și corecta erorile.
- Adaptabilitate: sistemele în buclă închisă se pot adapta la schimbările condițiilor de funcționare, menținând în același timp performanța dorită.

Dezavantajele controlului în buclă închisă:

- Complexitate: sistemele în buclă închisă sunt mai complexe de proiectat și implementat decât sistemele în buclă deschisă.
- Cost ridicat: datorită complexității lor, sistemele în buclă închisă sunt de obicei mai scumpe de construit și întreținut.
- Riscul instabilității: în anumite condiții, sistemele în buclă închisă pot deveni instabile, ceea ce poate duce la oscilații sau la un comportament imprevizibil.

Aplicații ale controlului în buclă închisă:

- Sisteme de control al temperaturii: termostatele inteligente, sistemele de climatizare și frigidererele utilizează controlul în buclă închisă pentru a menține o temperatură constantă.

- Sisteme de control al vitezei: controlul automat al vitezei de croazieră la automobile și sistemele de control al vitezei motoarelor electrice utilizează controlul în buclă închisă pentru a menține o viteză constantă.
- Roboți industriali: roboții industriali utilizează controlul în buclă închisă pentru a realiza mișcări precise și a se adapta la schimbările din mediul de lucru.

Cele mai utilizate tipuri de controlere utilizate în produsele mecatronice, tocmai datorită feedback-ului oferit sunt cele în buclă închisă.

Există o varietate de tipuri de controlere în buclă închisă utilizate în produsele mecatronice, fiecare cu propriile caracteristici și principii de funcționare specifice, printre care se numără și controlerul de tip P, PD sau PID sau controlerul logice programabile (PLC-uri), microcontrolere sau controlere neuronale.

6.1. Controlere de tip P (Proporțional), PD (Proporțional-Integrativ), PI (Proporțional-Integrativ) sau PID (Proporțional-Integrativ-Derivativ)

Controlul automat fiind o component esențială a multor sisteme mecatronice, de la roboți industriali, la drone, autohehiculele modern și până la sistemele automate de deschidere/închidere porți. Printre cele mai utilizate la scară largă se numără controlerele de tip P

(proportional), de tip PD (proportional derivativ) , de tip PI (proportional integrativ).sau PID (proportional integrativ și derivativ).

6.1.1. Controler Proporțional (P)

Un controler proporțional este un dispozitiv care generează un semnal de ieșire proporțional cu eroarea dintre valoarea dorită (setpoint) și valoarea măsurată a unei variabile de proces. Acest semnal de ieșire este utilizat pentru a acționa asupra procesului și a reduce eroarea.

Conceptul de control proporțional are rădăcini în mecanismele de reglare automată utilizate în secolul al XVIII-lea, cum ar fi regulatorul de viteză centrifugal pentru motoarele cu aburi. Dezvoltarea ulterioară a teoriei controlului automat în secolul al XX-lea a dus la formalizarea și aplicarea pe scară largă a controlerului proporțional în diverse domenii.

Controlerul proporțional funcționează pe baza unui principiu simplu: amplificarea erorii. Eroarea este diferența dintre valoarea dorită și valoarea măsurată. Controlerul înmulțește această eroare cu un factor constant, numit **constantă proporțională (K_p)**. Rezultatul este semnalul de ieșire al controlerului, care este utilizat pentru a ajusta variabila de proces.

Este important de menționat că reglarea fină a factorului proporțional (K_p) este esențială pentru a obține performanța dorită a sistemului.

Un K_p prea mic poate duce la un răspuns lent și o eroare statică semnificativă, în timp ce un K_p prea mare poate conduce la oscilații în sistem și chiar la instabilitatea sistemului.

Ecuția matematică care descrie funcționarea unui controler proporțional este:

$$u(t) = K_p * e(t) \quad (6.1)$$

unde:

- **$u(t)$ -** **Ieșire** este semnalul de ieșire al controlerului.
- **K_p** este factorul proporțional.
- **$e(t)$ -** **Eroare** este diferența dintre valoarea dorită și valoarea măsurată.

Funcționarea unui controler proporțional poate fi reprezentată grafic printr-o diagramă bloc, diagrama reprezntată în fig. 6.1. Astfel, dacă eroarea este mai mare decât maximul admisibil, se aplică sistemului un factor proporțional, ulterior senzorii vor măsura noile valori obținute, iar procesul se reia până când eroarea este mai mică decât maximul admisibil.

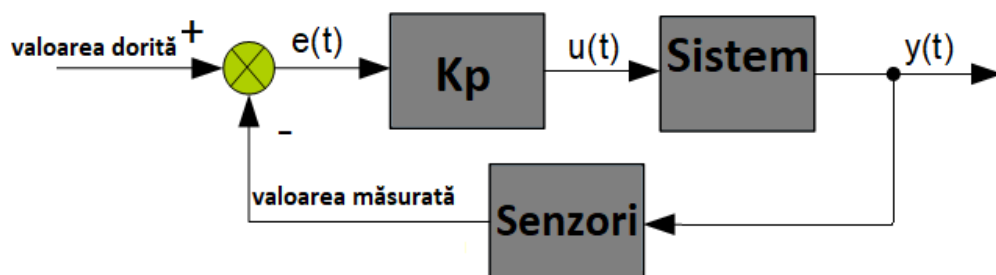


Figura 6.1. Diagrama bloc a unui controler proporțional

6.1.1.1. Aplicații ale controlerelor Proporționale

Controlerele proporționale sunt utilizate într-o varietate de aplicații, inclusiv:

- **Controlul temperaturii:** în sisteme de încălzire, ventilație și aer condiționat (HVAC).
- **Controlul nivelului:** în rezervoare sau în alte sisteme de stocare a lichidelor, controlerele proporționale pot fi utilizate pentru a menține un nivel constant al lichidului, ca de exemplu nivelului apei într-un rezervor de apă utilizat la alimentarea unei centrale electrice.
- **Controlul debitului:** în sisteme de alimentare cu apă sau gaze, controlerele proporționale pot fi utilizate pentru a menține debitul constant, ca de exemplu, prin reglarea debitul de gaz dintr-o conductă de gaz.
- **Controlul poziției:** în roboții industriali sau în alte sisteme de poziționare, controlerele proporționale pot fi utilizate pentru a controla poziția unui obiect. În robotică, controlul proporțional poate fi utilizat pentru a controla mișcarea brațului unui robot, asigurând o poziționare precisă a acestuia pentru operațiuni precum sudarea sau vopsirea.
- **Controlul vitezei:** în motoare electrice și alte sisteme de acționare, controlerele proporționale sunt utilizate pentru a controla viteza de rotație, ca de exemplu pentru a reliza controlul

vitezei unei benzi transportoare într-o fabrică sau a unui motor electric într-un vehicul electric.

6.1.1.2. Avantajele și dezavantajele utilizării unui controler Proporțional

Printre avantajele utilizării unui controller proportional se numără:

- **Simplitate:** controlerele proporționale sunt simple, făcându-le simplu de implementat și de înțeles.
- **Cost redus:** tocmai datorită simplității lor, controlerele proporționale sunt de obicei mai ieftine în comparație cu alte tipuri de controlere.

Printre avantajele utilizării unui controller proportional se numără:

- **Eroare statică:** controlerele proporționale nu pot elimina în totalitate eroarea statică, adică va exista tot timpul o diferență între valoarea dorită și valoarea măsurată. Această eroare mai este cunoscută și sub numele de „offset”.
- **Oscilații:** un factor proporțional prea mare poate conduce la oscilații în sistem.
- **Performanță limitată:** în unele aplicații, controlerele proporționale nu pot oferi performanța dorită, fiind necesare controlere mai complexe.

6.1.1.3. Concluzii

Controlerul proporțional este un dispozitiv utilizat pe scară largă în sistemele de control automat datorită simplității și eficienței sale. Principiul său de funcționare se bazează pe amplificarea erorii cu o constantă proporțională în funcție de diferența dintre valoarea dorită și valoarea măsurată. Controlerele proporționale sunt utilizate într-o varietate de aplicații, de la controlul temperaturii și până la controlul poziției. Deși prezintă unele dezavantaje, cum ar fi eroarea statică (offset) și posibilitatea oscilațiilor, controlerele proporționale rămân o soluție comună datorită simplității sale constructive și a costului său redus.

6.1.2. Controler Proporțional-Derivativ (PD)

Un controler proporțional-derivativ (PD) este un mecanism de control în buclă închisă care utilizează o combinație de acțiune proporțională și derivativă pentru a calcula un semnal de control. Este utilizat pe scară largă în sistemele de control automat pentru a îmbunătăți performanța și stabilitatea acestora, oferind un răspuns mai rapid și mai precis la schimbările din sistem.

Un controler PD funcționează prin calcularea semnalului de control pe baza erorii dintre valoarea dorită (setpoint) și valoarea reală a variabilei controlate. Acțiunea proporțională este direct proporțională cu eroarea, în timp ce acțiunea derivativă este proporțională cu rata de schimbare a erorii.

Formula generală a unui controler de tip PD este:

$$u(t) = K_p * e(t) + K_d * de(t)/dt \quad (6.2)$$

unde:

- **$u(t)$ -** **Ieșire** este semnalul de ieșire al controlerului.
- **K_p** este factorul proporțional.
- **K_d** este factorul derivativ.
- **$e(t)$ este Eroarea**, calculată ca și diferență între valoarea dorită și valoarea reală.
- **$de(t)/dt$ este Derivata Erorii** în raport cu timpul și este diferența dintre valoarea dorită și valoarea măsurată.

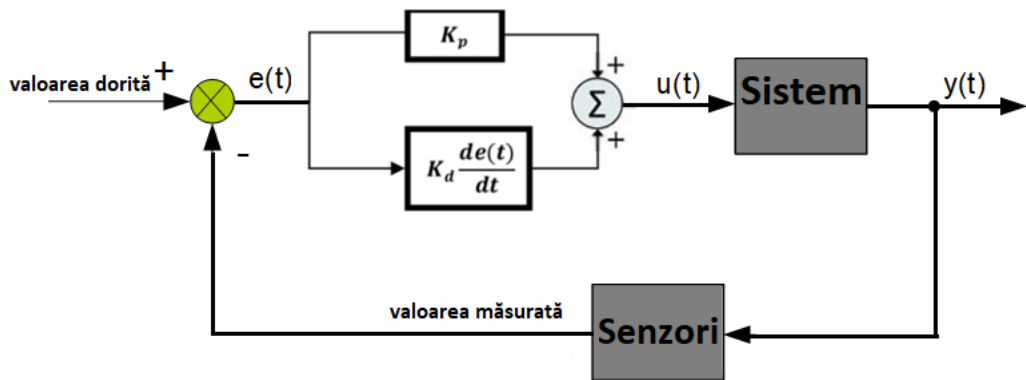


Figura 6.2. Diagrama bloc a unui controler proporțional-derivativ

În această diagramă (fig.6.2), se poate observa cum controlerul PD primește ca și intrare eroarea dintre valoarea dorită și valoarea reală (măsurată), calculează semnalul de control utilizând acțiunile factorului proporțional și derivativ, și apoi trimite acest semnal către sistemul de controlat.

Acțiunea proporțională corectează eroarea curentă, aducând sistemul mai aproape de valoarea dorită. Acțiunea derivativă, pe de altă parte, anticipează erorile viitoare pe baza ratei de schimbare a erorii. Aceasta înseamnă că, dacă eroarea crește rapid, controlerul PD va reacționa mai puternic pentru a preveni o depășire semnificativă a valorii dorite. Prin combinarea acestor două acțiuni, controlerul PD poate reduce timpul de răspuns al sistemului și poate minimiza depășirea (overshoot), îmbunătățind astfel performanța generală a sistemului.

Reglarea parametrilor K_p și K_d este esențială pentru a obține performanța dorită a sistemului. Există diverse metode de reglare, fiecare cu propriile sale avantaje și dezavantaje:

- **Metoda Ziegler-Nichols:** aceasta este o metodă empirică care utilizează răspunsul sistemului la un semnal de intrare de tip treaptă. În primul rând, se mărește factorul proporțional (K_p) până când sistemul începe să oscileze la limită de stabilitate. Această valoare a lui K_p se numește factorul critic (K_u). Se măsoară apoi perioada de oscilație la limită de stabilitate (P_u). Utilizând valorile K_u și P_u , se pot calcula valorile K_p și K_d conform formulelor specifice definite de metoda Ziegler-Nichols.
- **Reglarea manuală:** această metodă implică ajustarea parametrilor K_p și K_d prin observarea răspunsului sistemului și efectuarea de modificări până când se obține performanța dorită.

De obicei, se începe cu o valoare mică pentru K_p și se crește treptat până când se observă o îmbunătățire a răspunsului sistemului. Apoi, se ajustează K_d pentru a reduce depășirea și a îmbunătăți stabilitatea.

- **Metode de optimizare:** aceste metode utilizează algoritmi de optimizare pentru a găsi valorile optime ale parametrilor K_p și K_d . Aceste algoritmi pot lua în considerare diverse criterii de performanță, cum ar fi timpul de răspuns, depășirea și eroarea staționară, pentru a determina valorile optime ale parametrilor.

6.1.2.1. Aplicații ale controlerelor PD

Controlerele PD sunt utilizate într-o gamă largă de aplicații, datorită capacității lor de a oferi un control precis și stabil. Cercetările au demonstrat eficiența controlerelor PD în diverse domenii, inclusiv:

- **Controlul temperaturii în sistemele de încălzire și răcire:** controlerele PD sunt utilizate pentru a menține o temperatură constantă într-o încăpere sau într-un proces industrial. De exemplu, într-un sistem de încălzire centrală, un controler PD poate regla fluxul de agent termic către calorifere pentru a menține temperatura dorită în casă.
- **Controlul poziției în sistemele robotizate:** în robotică, controlerele PD sunt utilizate pentru a controla poziția și mișcarea brațelor robotice. De exemplu, un controler PD poate

fi utilizat pentru a ghida un braț robotic să urmeze o traiectorie specifică sau să prindă un obiect.

- **Controlul vitezei în motoare electrice:** controlerele PD sunt utilizate pentru a regla viteza de rotație a motoarelor electrice. De exemplu, într-un vehicul electric, un controler PD poate controla viteza motorului pentru a menține o viteză constantă sau pentru a accelera/decelera conform comenzilor șoferului.
- **Controlul nivelului în rezervoare:** în industria chimică și alimentară, controlerele PD sunt utilizate pentru a menține un nivel constant al lichidului într-un rezervor. De exemplu, un controler PD poate controla debitul de lichid care intră sau iese dintr-un rezervor pentru a menține nivelul dorit.
- **Controlul presiunii în sisteme hidraulice și pneumatice:** controlerele PD sunt utilizate pentru a regla presiunea în sistemele hidraulice și pneumatice. De exemplu, într-un sistem de frânare hidraulică, un controler PD poate controla presiunea fluidului de frână pentru a asigura o forță de frânare adecvată.

6.1.2.2. Avantajele și dezavantajele controlerelor PD

Utilizarea controlerelor PD prezintă atât avantaje, cât și dezavantaje.

Printre avantaje se numără:

- Răspuns rapid la schimbările din sistem.
- Îmbunătățirea stabilității sistemului.

- Ușor de implementat și de reglat.

Printre dezavantaje se numără:

- Sensibil la zgomotul de măsurare.
- Poate provoca oscilații în sistem dacă parametrii nu sunt reglați corect.
- Nu poate elimina eroarea staționară în prezența perturbațiilor constant.

6.1.2.3. Concluzii

Controlerele PD sunt o componentă importantă în sistemele de control automat moderne. Prin combinarea acțiunii proporționale și derivative, aceste controlere oferă un răspuns rapid și precis la schimbările din sistem, îmbunătățind performanța și stabilitatea.

Utilizarea pe scară largă a controlerelor PD în diverse aplicații, de la controlul temperaturii la robotica industrială, demonstrează versatilitatea și eficiența acestora. Alegerea tipului de controler depinde de cerințele specifice ale aplicației, iar înțelegerea principiilor de funcționare și a metodelor de reglare a parametrilor este esențială pentru a obține performanța dorită.

Pe măsură ce tehnologia avansează, este de așteptat ca rolul controlerelor PD să devină și mai important în dezvoltarea sistemelor de control automat din ce în ce mai complexe și performante.

6.1.3. Controler Proportional-Integrativ (PI)

Controlerele de tip PI (Proportional-Integrativ) sunt un tip de sistem de control cu feedback utilizat pe scară largă în aplicații industriale pentru a regla automat un proces sau o variabilă.

Controlerul PI combină acțiunea proporțională (P) cu acțiunea integrativă (I) pentru a obține un control precis și robust.

- **Acțiunea proporțională (P):** aceasta furnizează o acțiune de control proporțională cu eroarea actuală (diferența dintre valoarea dorită și valoarea reală). Cu cât eroarea este mai mare, cu atât acțiunea de control este mai puternică.
- **Acțiunea integrativă (I):** aceasta furnizează o acțiune de control proporțională cu integrală erorii de-a lungul timpului. Aceasta ajută la eliminarea erorilor de stare staționară și la îmbunătățirea preciziei controlului.

Formula generală pentru un controler PI (a cărei schema bloc este pusă în evidență în fig. 6.3) este:

$$u(t) = K_p * e(t) + K_i * \int e(\tau) d\tau \quad (6.3)$$

Unde:

- **$u(t)$** este semnalul de control la momentul t .
- **K_p** este factorul proportional.
- **K_i** este factorul integrative.
- **$e(t)$** este eroarea la momentul t .
- **$\int e(\tau) d\tau$** este integrală erorii de la 0 la t .

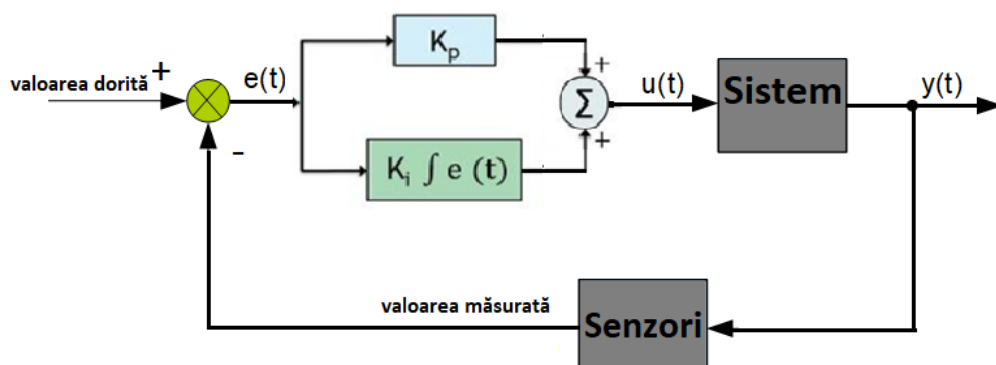


Figura 6.3. Diagrama bloc a unui controler proporțional-integrativ

Controlerele PI sunt utilizate într-o gamă largă de aplicații industriale, cum ar fi:

- **Controlul temperaturii:** un controler PI poate fi utilizat pentru a menține temperatura unui cuptor sau a unui reactor chimic la o valoare dorită.
- **Controlul presiunii:** un controler PI poate fi utilizat pentru a menține presiunea unui fluid într-o conductă sau într-un rezervor la o valoare dorită.
- **Controlul debitului:** un controler PI poate fi utilizat pentru a menține debitul unui fluid printr-o conductă la o valoare dorită.
- **Controlul nivelului:** un controler PI poate fi utilizat pentru a menține nivelul unui lichid într-un rezervor la o valoare dorită.
- **Controlul vitezei:** un controler PI poate fi utilizat pentru a menține viteza unui motor electric la o valoare dorită.

Controlerele PI sunt un instrument versatil și eficient pentru controlul automat al proceselor industriale. Ele oferă un echilibru bun între precizie, robustețe și ușurință de implementare.

6.1.4. Controler Proportional-Integrativ-Derivativ (PID)

Un controler PID combină acțiunea proporțională, integrativă și derivativă. Acțiunea integrativă ia în considerare eroarea acumulată în timp, eliminând eroarea de stare staționară.

Controlerele PID sunt utilizate la scară largă în sistemele de control pentru a regla o variabilă de proces, cum ar fi temperatura, presiunea sau viteza, în funcție de o valoare dorită (setpoint). Ele funcționează prin calcularea unei erori între valoarea dorită și valoarea reală a variabilei de proces și apoi ajustează ieșirea controlerului pentru a minimiza această eroare.

Formula generală a unui controler PID este:

$$u(t) = K_p * e(t) + K_i * \int e(t) dt + K_d * de(t)/dt \quad (6.4)$$

unde:

- **u(t)** este semnalul de control.
- **K_p** este factorul proportional.
- **e(t)** este eroarea.
- **K_i** este factorul integrativ.
- **K_d** este factorul derivativ.

Un controler PID funcționează prin calcularea erorii dintre valoarea dorită (setpoint) și valoarea măsurată a variabilei de proces. Această eroare este apoi utilizată pentru a genera un semnal de comandă care ajustează variabila manipulată, cu scopul de a reduce eroarea și de a menține variabila de proces la valoarea dorită [1].

Cele trei componente ale unui controler PID sunt:

- **Componenta proporțională (P):** aceasta generează un semnal de comandă proporțional cu eroarea curentă. Cu cât eroarea este mai mare, cu atât este mai puternică acțiunea de control.
- **Componenta integrativă (I):** aceasta integrează eroarea în timp, acumulând erorile anterioare. Această componentă elimină erorile de stare stabilă, asigurând că variabila de proces se apropie de valoarea dorită în timp.
- **Componenta derivativă (D):** aceasta anticipează schimbările viitoare ale erorii pe baza ratei de schimbare a erorii. Această componentă ajută la reducerea suprareglajului și la îmbunătățirea stabilității sistemului.

Combinăția dintre aceste trei acțiuni permite controlerului PID să reacționeze rapid la erorile prezente, să elimine erorile de stare stabilă și să anticipeze schimbările viitoare ale erorii, oferind astfel un control precis și stabil [1].

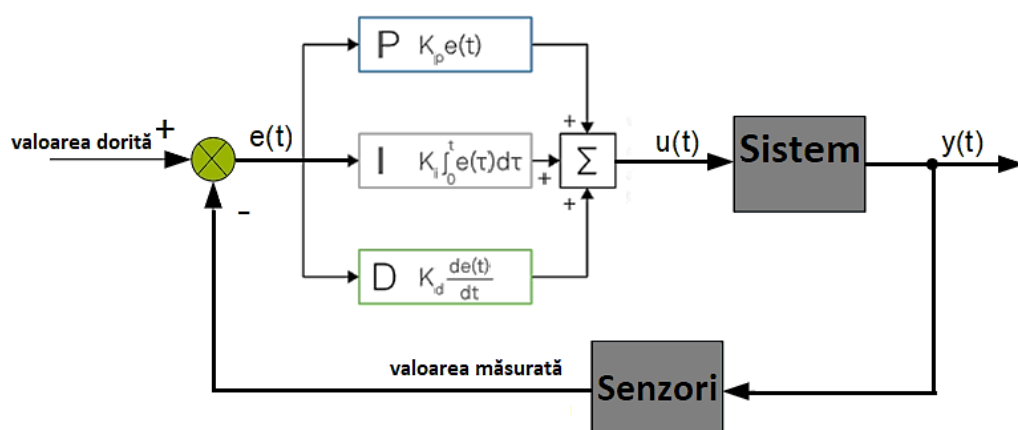


Figura 6.4. Diagrama bloc a unui controler proporțional-integrativ-derivativ (PID)

Ajustarea parametrilor unui controler PID (K_p , K_i și K_d) este esențială pentru a obține o performanță optimă. Aceasta se poate realiza prin diverse metode, cum ar fi:

- **Metoda Ziegler-Nichols:** o metodă empirică care utilizează răspunsul sistemului la un semnal de intrare treaptă [2].
- **Metoda Cohen-Coon:** o altă metodă empirică care se bazează pe caracteristicile răspunsului sistemului.
- **Ajustarea manuală:** prin observarea răspunsului sistemului și ajustarea parametrilor în mod iterativ [3].

6.1.4.1. Avantajele și dezavantajele controlerelor PID

Utilizarea controlerelor PID prezintă atât avantaje, cât și dezavantaje. Printre avantaje se numără:

- Elimină erorile de stare stabilă.

- Răspuns rapid la schimbările setpoint-ului.
- Îmbunătățește stabilitatea sistemului.
- Versatil și adaptabil.

Printre dezavantaje se numără:

- Dificil de reglat.
- Sensibil la zgomot.
- Poate provoca suprareglaj sau oscilații.
- Complexitate mai mare față controlerul P și PD.

În general, controlerele PID sunt cele mai utilizate în produsele mecatronice, deoarece oferă cel mai bun echilibru între performanță și complexitate.

6.1.4.2. Aplicații ale controlerelor PID

Controlerele PID sunt utilizate într-o gamă largă de aplicații, inclusiv:

- **Controlul temperaturii:** în sistemele de încălzire, ventilație și aer condiționat (HVAC), controlerele PID mențin temperatura constantă.
- **Controlul nivelului:** în rezervoare și alte sisteme de stocare a lichidelor, controlerele PID mențin nivelul lichidului la o valoare dorită.
- **Controlul debitului:** în sistemele de alimentare cu apă sau alte fluide, controlerele PID reglează debitul.

- **Controlul vitezei:** în motoare electrice și alte sisteme de acționare, controlerele PID mențin viteza constantă.
- **Controlul poziției:** în roboți și alte sisteme de poziționare, controlerele PID asigură o poziționare precisă.

6.1.4.3. Concluzii

Controlerele PID sunt instrumente puternice și versatile pentru reglarea automată a proceselor. Prin combinarea acțiunii proporționale, integrative și derivative, acestea oferă o performanță superioară în comparație cu alte tipuri de controlere, eliminând erorile de stare stabilă, asigurând un răspuns rapid și îmbunătățind stabilitatea sistemului. Alegerea corectă a parametrilor K_p , K_i și K_d este esențială pentru a obține o performanță optimă a sistemului de control. Controlerele PID sunt utilizate pe scară largă în diverse industrii și aplicații, având un rol crucial în automatizarea și controlul proceselor.

6.2. Controlere logice programabile (PLC)

Controlerele logice programabile (PLC-uri) au revoluționat modul în care sunt controlate procesele industriale. Aceste dispozitive electronice robuste și versatile oferă o soluție flexibilă și eficientă pentru automatizarea unei game largi de aplicații, de la linii de producție complexe la sisteme simple de control al iluminatului. Inițial, PLC-urile au fost concepute pentru a înlocui logica bazată pe

relee, dar au evoluat semnificativ de-a lungul anilor, devenind capabile să gestioneze sarcini complexe de control și automatizare.

PLC-urile funcționează prin citirea semnalelor de intrare de la senzori, procesarea acestor semnale conform unui program logic și apoi generarea semnalelor de ieșire pentru a controla actuatori, cum ar fi motoare, valve și relee. PLC-urile sunt utilizate pe scară largă în automatizarea industrială, controlul proceselor și sistemele de control al clădirilor. Prin automatizarea sarcinilor repetitive, reducerea erorilor umane și optimizarea consumului de energie, PLC-urile contribuie la reducerea costurilor de operare.

Un PLC funcționează prin scanarea continuă a intrărilor, executarea unui program stocat în memoria sa și actualizarea ieșirilor în funcție de logica programului. Ciclul de scanare al unui PLC constă în următoarele etape:

1. **Citirea intrărilor:** PLC-ul citește starea semnalelor de intrare de la senzori, butoane, întrerupătoare etc.
2. **Executarea programului:** PLC-ul execută programul stocat în memoria sa, care conține instrucțiuni logice și operații matematice.
3. **Actualizarea ieșirilor:** pe baza rezultatelor programului, PLC-ul actualizează starea semnalelor de ieșire, controlând astfel dispozitivele conectate, cum ar fi motoare, valve, relee etc.

4. **Comunicarea:** PLC-ul poate comunica cu alte dispozitive, cum ar fi HMI-uri (Human Machine Interface), alte PLC-uri sau sisteme SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), pentru a permite monitorizarea și controlul de la distanță. Această comunicare se realizează prin intermediul unor protocoale specifice, cum ar fi Modbus, Profibus și Ethernet/IP.

Pentru a ilustra mai clar ciclul de scanare al unui PLC, în fig. 6.5 este reprezentată o diagramă simplificată a acestuia.

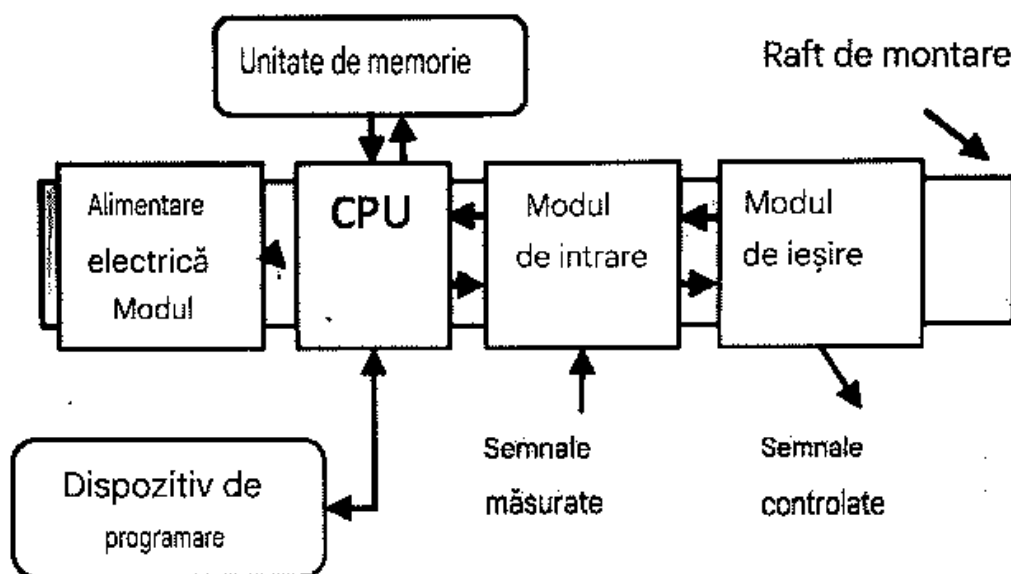


Figura 6.5. Diagrama bloc a unui controler PLC [4]

Componentele principale ale unui PLC (fig. 6.5):

- **Unitatea centrală de procesare (CPU):** creierul PLC-ului, responsabil de executarea programului și controlul întregului sistem. CPU-ul unui PLC utilizează diverse limbaje de

programare, cum ar fi ladder logic (LD), structured text (ST) și function block diagrams (FBD), pentru a implementa logica de control.

- **Memoria:** stochează programul utilizatorului, datele de intrare/ieșire și alte informații necesare funcționării PLC-ului.
- **Modulul de intrare/ieșire (I/O):** interfața dintre PLC și lumea exterioară, permițând conectarea senzorilor, actuatorilor și altor dispozitive.
- **Sursa de alimentare:** furnizează energia electrică necesară funcționării PLC-ului.

6.2.1.1. Avantajele și dezavantajele PLC-uri

Controlerele PLC oferă o serie de avantaje semnificative față de alte sisteme de control, inclusiv:

- **Fiabilitate:** acestea sunt construite pentru a funcționa în medii industriale cu temperaturi extreme, vibrații și interferențe electromagnetice.
- **Flexibilitate:** programele PLC-urilor pot fi ușor modificate, făcându-le adaptabile ușor la schimbările din procesul de producție.
- **Costuri reduse:** PLC-urile pot reduce costurile de operare prin automatizarea sarcinilor repetitive, reducerea erorilor umane și optimizarea consumului de energie. Deși costul inițial al unui sistem PLC poate fi mai mare decât cel al altor sisteme de

control, economiile pe termen lung generate de creșterea eficienței și reducerea timpilor de nefuncționare pot compensa această investiție inițială.

- **Ușurință în utilizare:** programarea și depanarea PLC-urilor pot fi relativ ușoare pentru aplicații simple, însă aplicațiile complexe pot necesita cunoștințe specializate și experiență în programare.
- **Funcționalități avansate:** PLC-urile moderne oferă o gamă largă de funcționalități avansate, cum ar fi comunicații în rețea și funcții de diagnosticare.

Deși oferă numeroase avantaje, PLC-urile prezintă și câteva dezavantaje:

- **Costul inițial:** costul inițial al unui sistem PLC poate fi mai mare decât cel al altor sisteme de control, în special pentru aplicații simple.
- **Complexitate:** pentru aplicații complexe, programarea și depanarea PLC-urilor pot necesita cunoștințe specializate.
- **Dependența de software:** funcționarea PLC-ului depinde de software-ul de programare și de sistemul de operare, ceea ce poate crea vulnerabilități de securitate.
- **Limitări în procesarea semnalelor analogice:** PLC-urile sunt optimizate pentru procesarea semnalelor digitale, iar procesarea semnalelor analogice poate necesita module suplimentare și o configurare mai complexă.

6.2.1.2. Aplicații ale PLC-uri

Controlerele PLC sunt utilizate într-o varietate de aplicații industriale, inclusiv:

- **Controlul proceselor de fabricație:** automatizarea liniilor de producție, controlul mașinilor-unelte, roboților industriali și a altor echipamente. De exemplu, într-o fabrică de automobile, PLC-urile controlează roboții care assemblează caroseriile, mașinile de sudură care unesc componentele și sistemele de vopsire care aplică finisajul final.
- **Sisteme de control al clădirilor:** controlul iluminatului, HVAC (încălzire, ventilație și aer condiționat), sisteme de securitate și de acces. De exemplu, într-o clădire de birouri, PLC-urile pot controla iluminatul în funcție de prezența persoanelor în încăperi, pot regla temperatura și umiditatea pentru a asigura confortul ocupanților și pot monitoriza sistemul de securitate pentru a detecta eventualele intruziuni.
- **Industria alimentară și a băuturilor:** controlul proceselor de producție, ambalare și etichetare. De exemplu, într-o fabrică de bere, PLC-urile controlează procesul de fermentare, dozarea ingredientelor, îmbutelierea și etichetarea produsului finit.
- **Industria auto:** controlul liniilor de asamblare, testarea vehiculelor și controlul calității. De exemplu, PLC-urile controlează roboții care assemblează motoarele, sistemele de testare care verifică funcționarea componentelor electronice și

sistemele de inspecție vizuală care detectează defectele de fabricație.

- **Industria energetică:** controlul generatoarelor, turbinelor și altor echipamente din centralele electrice. De exemplu, într-o centrală hidroelectrică, PLC-urile controlează deschiderea și închiderea vanelor care reglează debitul apei către turbine, monitorizează parametrii de funcționare ai generatorului și asigură protecția echipamentelor în caz de avarie.

6.2.1.3. Tipuri de PLC-uri

Există o varietate de tipuri de PLC-uri disponibile, fiecare cu propriile caracteristici și aplicații specifice:

- **Mini PLC-uri:** compacte și cu costuri reduse, ideale pentru aplicații simple cu un număr redus de intrări/ieșiri. Acestea sunt adesea utilizate în automatizarea locuințelor, controlul accesului și sistemele de irigații.
- **PLC-uri modulare:** oferă o flexibilitate sporită prin posibilitatea de a adăuga module suplimentare pentru a extinde funcționalitatea. Acestea sunt potrivite pentru aplicații de dimensiuni medii, cum ar fi controlul mașinilor de ambalat, liniilor de producție simple și sistemelor de control al clădirilor.
- **PLC-uri rack-mount:** montate în rack-uri standard de 19 inch, utilizate în aplicații industriale complexe cu un număr mare de

intrări/ieșiri. Acestea sunt utilizate în fabrici mari, uzine chimice și centrale electrice.

- **PLC-uri de siguranță:** special concepute pentru aplicații critice de siguranță, cu funcții de redundanță și auto-dagnosticare. Acestea sunt utilizate în sisteme de control al roboților industriali, mașini-unelte și alte echipamente care prezintă riscuri pentru siguranța operatorilor.

6.2.1.4. Concluzii

Controlerele PLC sunt o componentă esențială a automatizării industriale moderne, oferind o soluție fiabilă, flexibilă și eficientă pentru controlul proceselor. De la începuturile lor ca înlocuitori pentru logica bazată pe relee, PLC-urile au evoluat într-o tehnologie sofisticată, capabilă să gestioneze o gamă variată de aplicații, de la cele mai simple la cele mai complexe.

Alegerea tipului de PLC depinde de cerințele specifice ale aplicației, de la mini PLC-uri pentru aplicații simple la PLC-uri modulare complexe pentru sisteme de control sofisticate. Pe măsură ce tehnologia continuă să avanseze, este de așteptat ca PLC-urile să joace un rol din ce în ce mai important în automatizarea industrială și în alte domenii.

6.3. Microcontrolere

Un microcontroler este un circuit integrat (cip) care încorporează un microprocesor, memorie (RAM și ROM) și periferice de intrare/ieșire (I/O). Microcontrolerele sunt concepute pentru a fi dedicate unei anumite sarcini, spre deosebire de microprocesoarele de uz general, care se găsesc în computerele personale.

Un microcontroler funcționează prin executarea unui set de instrucțiuni stocate în memoria sa. Aceste instrucțiuni sunt scrise într-un limbaj de programare specific (cum ar fi de exemplu limbajul de programare C) și sunt compilate într-un cod mașină pe care microcontrolerul îl poate înțelege.

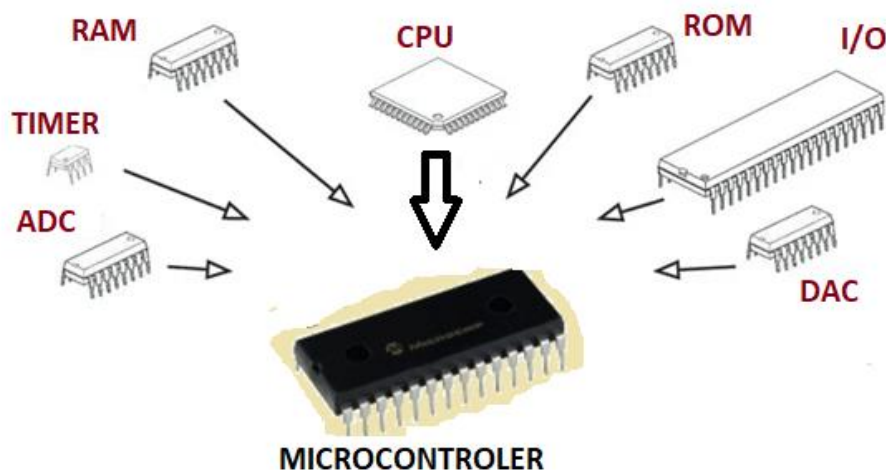


Figura 6.5. Diagrama bloc a unui microcontroler [5]

Componentele principale ale unui microcontroler (fig. 6.5):

- **Microprocesor (CPU):** „Creierul” microcontrolerului, responsabil de executarea instrucțiunilor.

- **Memorie RAM (Random Access Memory):** memorie volatilă utilizată pentru stocarea datelor temporare și a variabilelor utilizate de program.
- **Memorie ROM (Read-Only Memory):** memorie **nevolatilă** utilizată pentru stocarea programului care controlează microcontrolerul.
- **Periferece de intrare/ieșire (I/O):** interfețe care permit microcontrolerului să interacționeze cu lumea exterioară, primind semnale de la senzori și trimițând semnale către actuatori. Exemple de periferece I/O includ:
 - **Convertitoare analog-digital (ADC):** transformă semnalele analogice (de exemplu, de la un senzor de temperatură) în semnale digitale pe care microcontrolerul le poate procesa. Un exemplu concret este utilizarea unui ADC pentru a citi valoarea unui potențiometru și a ajusta luminozitatea unui LED în funcție de poziția acestuia.
 - **Convertitoare digital-analog (DAC):** transformă semnalele digitale în semnale analogice (de exemplu, pentru a controla un motor). Un DAC poate fi utilizat pentru a genera un semnal audio cu o anumită frecvență și amplitudine.
 - **Porturi seriale (UART, SPI, I2C):** permit comunicarea cu alte dispozitive, cum ar fi senzori, module GPS sau afișaje LCD. UART este utilizat pentru comunicarea cu un

computer prin intermediul unui cablu serial, SPI pentru comunicarea rapidă cu periferice pe distanțe scurte, iar I2C pentru comunicarea cu multiple dispozitive pe același bus.

- **Timer/Counter:** utilizate pentru a măsura timpul și a genera semnale periodice. Un timer poate fi utilizat pentru a genera o întârziere într-un program sau pentru a controla frecvența de clipire a unui LED.

Programarea unui microcontroler implică scrierea unui program într-un limbaj de programare specific (cum ar fi C, Assembly sau Python), compilarea acestuia într-un cod mașină și încărcarea codului în memoria ROM a microcontrolerului. Acest proces se realizează de obicei cu ajutorul unui software specializat numit „Integrated Development Environment” (IDE) și a unui programator hardware care conectează microcontrolerul la un computer. IDE-ul oferă instrumente pentru scrierea, compilarea și depanarea codului, iar programatorul transferă codul compilat în memoria microcontrolerului.

6.3.1. Avantajele și dezavantajele utilizării microcontrolerelor

Microcontrolerelor conduc la o serie de avantaje față de alte sisteme de control, printre care:

- **Cost redus:** microcontrolerelor sunt relativ ieftine, ceea ce le face o soluție atractivă pentru o gamă largă de aplicații.

- **Dimensiuni reduse:** integrarea tuturor componentelor într-un singur cip permite miniaturizarea dispozitivelor electronice.
- **Consum redus de energie:** microcontrolerele sunt concepute pentru a funcționa cu un consum redus de energie, făcându-le ideale pentru aplicații portabile și alimentate de la baterii.
- **Flexibilitate:** microcontrolerele pot fi programate pentru a îndeplini o varietate de sarcini, ceea ce le face extrem de versatile.
- **Fiabilitate:** microcontrolerele sunt componente electronice robuste și fiabile, cu o durată lungă de viață.
- **Simplificarea designului:** utilizarea microcontrolerelor poate simplifica designul unui sistem electronic prin reducerea numărului de componente discrete necesare. Aceasta reduce complexitatea circuitului și costurile de producție.
- **Eficiență sporită:** microcontrolerele permit crearea de dispozitive mai compacte și mai eficiente, ceea ce a dus la inovații în diverse domenii, cum ar fi electronica de consum, industria auto și medicina.

Deși oferă numeroase avantaje, microcontrolerele prezintă și unele dezavantaje:

- **Capacitate de procesare limitată:** comparativ cu microprocesoarele de uz general, microcontrolerele au o putere de procesare mai mică și o memorie limitată.

- **Complexitate de programare:** programarea microcontrolerelor poate fi complexă și necesită cunoștințe de limbaje de programare specifice și de arhitectură hardware.
- **Dependență de hardware:** funcționalitatea unui microcontroler este limitată de hardware-ul disponibil pe cip.

6.3.2. Aplicații comune ale microcontrolerelor

Microcontrolerele sunt utilizate într-o gamă diversificată de aplicații, precum:

- **Electrocasnice:** mașini de spălat, frigidere, cuptoare cu microunde, aspiratoare robotizate.
- **Automobile:** sisteme de control al motorului, ABS, airbag-uri, sisteme de navigație, sisteme de entertainment.
- **Dispozitive medicale:** monitoare cardiace, pompe de insulină, aparate de imagistică medicală.
- **Sisteme de control industrial:** automatizări, roboți industriali, sisteme de control al proceselor.
- **Internet of Things (IoT):** microcontrolerele sunt componente cheie în dispozitivele IoT, permițându-le să se conecteze la internet și să colecteze și să transmită date. Exemple includ senzori inteligenți, sisteme de iluminat inteligent și dispozitive portabile.

6.3.3. Concluzii

Microcontrolerele sunt componente esențiale în electronica modernă, oferind o soluție eficientă și flexibilă pentru controlul unei game largi de dispozitive. Deși prezintă unele dezavantaje, avantajele lor în ceea ce privește costul, dimensiunile, consumul de energie și fiabilitatea le fac o alegere populară pentru numeroase aplicații. Utilizarea microcontrolerelor a simplificat designul sistemelor electronice și a permis crearea de dispozitive mai compacte și mai eficiente, contribuind la inovații în diverse domenii.

Pe măsură ce tehnologia avansează, microcontrolerele devin din ce în ce mai puternice și mai versatile. Aplicațiile precum Internetul lucrurilor (IoT) și inteligența artificială (AI) impun cerințe tot mai mari asupra capacității de procesare și a conectivității microcontrolerelor. Dezvoltarea de noi arhitecturi și tehnologii de fabricație va permite microcontrolerelor să joace un rol și mai important în viitorul electronicii și al automatizărilor.

6.4. Controlere fuzzy

Logica fuzzy, apărută în anii 1960 prin lucrările lui Lotfi A. Zadeh, a deschis calea către o nouă abordare în controlul sistemelor complexe. Controlerele fuzzy, bazate pe această logică, oferă o alternativă flexibilă și robustă la metodele tradiționale de control, permițând gestionarea incertitudinii și imitarea raționamentului uman în luarea deciziilor.

Controlerele fuzzy operează pe baza unui set de reguli „dacă-atunci” exprimate în limbaj natural, care definesc relația dintre intrările și ieșirile sistemului. Aceste reguli utilizează variabile lingvistice, precum „mic”, „mediu” sau „mare”, pentru a descrie valorile de intrare și ieșire. Un concept fundamental în logica fuzzy este cel de „funcții de apartenență”. Aceste funcții mapează valorile de intrare la un interval $[0, 1]$, indicând gradul de adevăr al unei variabile lingvistice, adică cât de mult aparține o valoare unei anumite categorii lingvistice. Spre deosebire de controlerele tradiționale care se bazează pe modele matematice precise, controlerele fuzzy utilizează aceste funcții de apartenență pentru a reprezenta informații imprecise sau vagi.

Procesul de control fuzzy implică următorii pași:

1. **Fuzificare:** valorile de intrare sunt convertite în valori fuzzy utilizând funcțiile de apartenență.
2. **Inferență:** regulile fuzzy sunt evaluate pentru a determina gradul de activare al fiecărei reguli. Există două metode principale de inferență: Mamdani și Sugeno. Metoda Mamdani utilizează reguli fuzzy cu consecințe fuzzy, în timp ce metoda Sugeno utilizează reguli cu consecințe precise. Alegerea metodei depinde de aplicația specifică și de complexitatea sistemului.
3. **Compoziție:** rezultatele individuale ale regulilor sunt combinate pentru a obține o ieșire fuzzy agregată.

4. **Defuzificare:** ieșirea fuzzy este convertită într-o valoare numerică clară, care poate fi utilizată pentru a controla sistemul.

Există diverse metode de defuzificare, cum ar fi:

- **Metoda centroidului:** calculează centrul de greutate al ieșirii fuzzy.
- **Metoda mediei maximelor:** calculează media valorilor de ieșire care au cel mai mare grad de apartenență.
- **Metoda celui mai mic dintre maxime:** selectează valoarea de ieșire cu cel mai mic grad de apartenență dintre cele cu grad maxim.

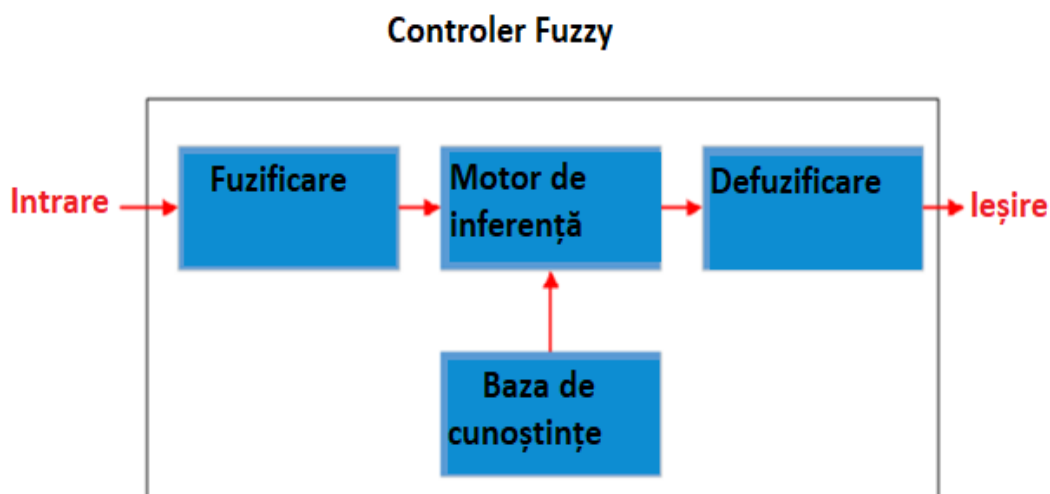


Figura 6.6. Diagrama bloc a unui Controler Fuzzy [6]

Un controler fuzzy este compus din următoarele elemente principale (fig. 6.6):

- **Baza de reguli:** un set de reguli „dacă-atunci” care definesc comportamentul controlerului.

- **Baza de date:** conține definițiile variabilelor lingvistice și funcțiile de apartenență asociate.
- **Motor de inferență:** evaluează regulile fuzzy și determină ieșirea fuzzy.
- **Interfață de fuzificare:** convertește valorile de intrare în valori fuzzy.
- **Interfață de defuzificare:** convertește ieșirea fuzzy într-o valoare numerică.

6.4.1. Avantajele și dezavantajele utilizării controlerelor fuzzy

Controlerele fuzzy prezintă o serie de avantaje și dezavantaje, care trebuie luate în considerare în funcție de aplicația specifică.

Avantaje	Dezavantaje
Capacitatea de a gestiona sisteme complexe și neliniare, mai ales în situațiile în care modelele matematice precise sunt dificil de obținut.	Dificultatea în alegerea funcțiilor de apartenență și a regulilor fuzzy.
Robustețe la zgomot și incertitudine.	Performanță dependentă de calitatea regulilor fuzzy.
Implementare simplă.	Dificultatea în analiza stabilității.

Avantaje	Dezavantaje
Flexibilitate.	
Imitarea raționamentului uman.	

Comparativ cu controlerele PID (Proporțional-Integral-Derivativ), controlerele fuzzy oferă avantaje în gestionarea neliniarității și a incertitudinii. Cu toate acestea, controlerele PID pot fi mai potrivite pentru sisteme cu modele bine definite și care necesită un control precis. Alegerea tipului de controler depinde de caracteristicile sistemului și de obiectivele de control.

6.4.2. Aplicații ale controlerelor fuzzy

Controlerele fuzzy au o gamă largă de aplicații în diverse domenii, inclusiv:

- **Controlul proceselor industriale:** controlul temperaturii în cuptoare, presiunii în reactoare chimice, debitului în conducte, etc.
- **Robotica:** controlul mișcării brațelor robotice, navigarea autonomă a roboților mobili, planificarea traiectoriei pentru roboții industriali.
- **Electronica de larg consum:** controlul temperaturii în frigidere, a ciclurilor de spălare în mașinile de spălat, a puterii de aspirare în aspiratoare.

- **Autovehicule:** sisteme de control al tracțiunii pentru a preveni deraparea, frânare antiblocare pentru a optimiza distanța de frânare, asistență la parcare pentru a facilita manevrele.
- **Medicină:** diagnosticarea bolilor pe baza simptomelor și a analizelor medicale, monitorizarea pacienților în secțiile de terapie intensivă, controlul dispozitivelor medicale precum pompe de insulină sau ventilatoare mecanice.
- **Finanțe:** predicția evoluției pieței bursiere pe baza indicatorilor economici, gestionarea riscurilor asociate investițiilor, evaluarea creditelor acordate clienților.

6.4.3. Tendințe actuale în domeniul controlului fuzzy

Cercetarea în domeniul controlului fuzzy continuă să evolueze, cu accent pe dezvoltarea de noi tehnici și metode. Printre tendințele actuale se numără utilizarea controlerelor fuzzy adaptive, care își ajustează parametrii în timp real pentru a se adapta la schimbările din sistem, și a sistemelor neuro-fuzzy, care combină logica fuzzy cu rețele neuronale artificiale pentru a îmbunătăți performanța controlului.

6.4.4. Concluzii

Controlerele fuzzy oferă o abordare flexibilă și robustă pentru controlul sistemelor complexe și neliniare, fiind capabile să gestioneze incertitudinea și să imite raționamentul uman. Aceste

caracteristici le fac potrivite pentru o gamă largă de aplicații, de la controlul proceselor industriale la robotica și medicina.

Deși proiectarea și implementarea controlerelor fuzzy necesită o analiză atentă a sistemului și o selecție adecvată a funcțiilor de apartenență și a regulilor fuzzy, avantajele lor în ceea ce privește gestionarea neliniarității și a incertitudinii le fac o alternativă valoroasă la metodele tradiționale de control. Cercetările continue în domeniu, cu accent pe dezvoltarea de controlere fuzzy adaptive și sisteme neuro-fuzzy, demonstrează relevanța și potențialul acestei tehnologii în viitor.

6.5. Controlere neuronale

Controlerele neuronale sunt inspirate de structura și funcționarea creierului uman. Ele sunt compuse din rețele de neuroni artificiali interconectați, care pot învăța din date și își pot adapta comportamentul în funcție de experiență. Controlerele neuronale sunt utilizate în aplicații precum recunoașterea imaginilor, controlul adaptiv sau robotică.

Controlerele neuronale reprezintă o tehnologie emergentă cu un potențial imens în diverse domenii, de la medicină la robotică și interfețe om-computer. Aceste sisteme complexe, ale căror rădăcini se regăsesc în cercetările din anii 1960 asupra interfețelor creier-computer, utilizează rețele neuronale artificiale pentru a decodifica

activitatea neuronală și a o traduce în comenzi pentru dispozitive externe.

Un controler neuronal este un sistem care utilizează rețele neuronale artificiale pentru a interpreta semnalele neuronale și a genera comenzi pentru a controla un dispozitiv extern, cum ar fi o proteză, un computer sau un exoschelet. Aceste sisteme sunt concepute pentru a imita funcțiile sistemului nervos, permițând utilizatorilor să controleze dispozitivele prin intermediul gândurilor lor. Există două tipuri principale de controlere neuronale: invazive, care necesită implantarea de electrozi în creier, și non-invazive, care utilizează electrozi plasați pe scalp pentru a înregistra activitatea cerebrală.

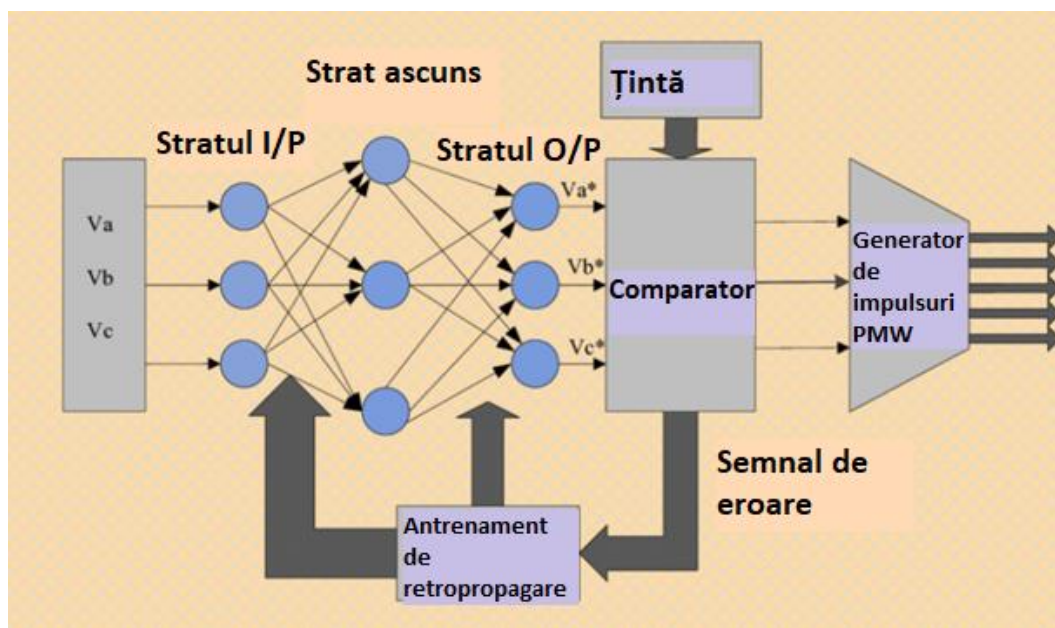


Figura 6.7. Diagrama bloc a unui Controler Neuronal [7]

Controlerele neuronale se bazează pe principiul că activitatea neuronală poate fi decodificată și utilizată pentru a *interpreta* intențiile utilizatorului. Prin intermediul electrozilor, controlerele neuronale pot înregistra activitatea electrică a neuronilor. Aceste semnale sunt apoi procesate de o rețea neuronală artificială, care învață să asocieze anumite tipare de activitate neuronală cu intenții specifice, cum ar fi mișcarea unui braț sau selectarea unei opțiuni pe un ecran.

Funcționarea unui controler neuronal implică mai multe etape cheie:

1. **Achiziția semnalelor neuronale:** semnalele neuronale sunt înregistrate prin intermediul electrozilor implantați în creier sau plasați pe scalp. Acești electrozi detectează activitatea electrică a neuronilor, care este apoi transmisă către un sistem de procesare.
2. **Preprocesarea semnalelor:** semnalele brute înregistrate de electrozi sunt adesea contaminate cu zgomot și artefacte. În această etapă, semnalele sunt filtrate și amplificate pentru a elimina zgomotul și a îmbunătăți calitatea datelor.
3. **Decodificarea semnalelor:** o rețea neuronală artificială este antrenată să decodifice semnalele neuronale preprocesate și să le asocieze cu intențiile utilizatorului. Aceasta implică identificarea tiparelor de activitate neuronală care corespund

unor comenzi specifice. Algoritmi de învățare automată, cum ar fi rețelele neuronale recurente, filtrele Kalman și algoritmi de clasificare, sunt utilizați pentru a analiza semnalele și a extrage informații relevante.

4. **Generarea comenzilor:** pe baza semnalelor decodificate, controlerul neuronal generează comenzi pentru a controla dispozitivul extern. Aceste comenzi pot fi sub formă de semnale electrice, care sunt trimise către dispozitivul extern pentru a-l acționa.
5. **Feedback:** controlerul neuronal poate primi feedback de la dispozitivul extern, ceea ce permite ajustarea comenzilor și îmbunătățirea performanței sistemului. Acest feedback poate fi sub formă de senzori care monitorizează mișcarea dispozitivului sau informații despre starea mediului înconjurător. Feedback-ul ajută la adaptarea controlerului neuronal la nevoile individuale ale utilizatorului și la îmbunătățirea preciziei controlului.

6.5.1. Aplicații ale controlerelor neuronale

Controlerile neuronale au un potențial imens în diverse domenii, inclusiv:

- **Controlul membrelor protetice:** persoanele cu amputări pot utiliza controlere neuronale pentru a controla proteze avansate, care le permit să efectueze mișcări complexe și să recâștige o parte din funcționalitatea pierdută. Aceste proteze pot interpreta

semnalele neuronale pentru a realiza mișcări precise și naturale, cum ar fi apucarea obiectelor sau mersul.

- **Interfețe creier-computer:** controlerele neuronale sunt o componentă esențială a interfețelor creier-computer (ICC), care permit utilizatorilor să controleze computere, dispozitive mobile sau alte tehnologii prin intermediul gândurilor lor. ICC-urile pot fi utilizate pentru a permite persoanelor cu dizabilități severe să comunice, să controleze mediul înconjurător sau să acceseze informații.
- **Tratamentul bolilor neurologice:** controlerele neuronale pot fi utilizate pentru a trata boli neurologice, cum ar fi boala Parkinson, epilepsia sau paralizia. De exemplu, stimularea cerebrală profundă, o tehnică care utilizează electrozi implantați în creier pentru a stimula anumite zone, poate fi controlată de un controler neuronal pentru a reduce tremorul și rigiditatea în boala Parkinson.
- **Reabilitare:** controlerele neuronale pot fi utilizate în programele de reabilitare pentru a ajuta pacienții să își recupereze funcțiile motorii după un accident vascular cerebral sau o leziune a măduvei spinării. Prin intermediul controlerelor neuronale, pacienții pot exersa mișcările și pot primi feedback în timp real, ceea ce poate accelera procesul de recuperare.
- **Jocuri și divertisment:** controlerele neuronale pot fi utilizate pentru a crea experiențe de joc imersive și interactive, permițând

jucătorilor să controleze personajele sau mediul de joc prin intermediul gândurilor lor.

6.5.2. Concluzii

Controlerele neuronale reprezintă o tehnologie revoluționară care are potențialul de a schimba modul în care interacționăm cu lumea înconjurătoare. De la restaurarea funcțiilor motorii pierdute la controlul dispozitivelor prin intermediul gândurilor, controlerele neuronale deschid noi posibilități în medicină, robotică și interfețe om-computer.

Cu toate acestea, dezvoltarea și utilizarea controlerelor neuronale trebuie să fie abordată cu prudență și responsabilitate. Este esențial să se investească în cercetări continue pentru a îmbunătăți performanța și siguranța acestor dispozitive, precum și pentru a dezvolta metode non-invazive mai accesibile. De asemenea, este crucial să se abordeze implicațiile etice ale utilizării controlerelor neuronale pentru a asigura o dezvoltare responsabilă a acestei tehnologii și pentru a preveni potențialele abuzuri.

Pe măsură ce tehnologia avansează, controlerele neuronale ar putea juca un rol din ce în ce mai important în viața noastră, oferind soluții inovatoare pentru persoanele cu dizabilități, îmbunătățind calitatea vieții și deschizând noi frontiere în interacțiunea om-computer. Este important să se promoveze un dialog deschis și informat despre beneficiile, riscurile și implicațiile etice ale controlerelor neuronale

pentru a asigura o integrare responsabilă a acestei tehnologii în societate.

6.6. Tendințe actuale în controlul produselor mecatronice

Domeniul controlului în produsele mecatronice este în continuă evoluție, fiind influențat de progresele tehnologice în domenii precum inteligența artificială, internetul lucrurilor (IoT) și cloud computing. Câteva tendințe actuale includ:

- **Controlul predictiv:** această tehnică utilizează modele matematice și date istorice pentru a prezice comportamentul viitor al sistemului și a optimiza controlul în consecință. De exemplu, într-un sistem de climatizare, controlul predictiv poate anticipa variațiile de temperatură și ajusta funcționarea sistemului pentru a menține un confort optim.
- **Controlul adaptiv:** controlerele adaptive își ajustează automat parametrii în funcție de condițiile de operare, îmbunătățind performanța și robustețea sistemului. De exemplu, un robot mobil poate utiliza controlul adaptiv pentru a-și ajusta traiectoria în funcție de obstacolele întâlnite.
- **Controlul bazat pe învățare automată:** algoritmi de învățare automată sunt utilizați pentru a dezvolta controlere inteligente care pot învăța din experiențele proprii, reușind astfel să își pot îmbunătățească performanța în timp. De exemplu, un sistem de

control al traficului poate utiliza învățarea automată pentru a optimiza fluxul de vehicule în funcție de condițiile de trafic.

- **Controlul distribuit:** în sistemele mecatronice complexe, controlul este distribuit între mai multe unități de procesare, crescând flexibilitatea și fiabilitatea sistemului. De exemplu, într-un avion, controlul zborului este distribuit între mai multe computere, asigurând redundanță și siguranță.

6.7. Concluzii

Alegerea tipului de controler depinde de complexitatea sistemului mecatronic, cerințele de performanță, costuri și alte constrângeri.

Aplicarea controlului în produsele mecatronice implică o serie de etape:

1. **Definirea obiectivelor de control:** se stabilește clar ce se dorește să se realizeze prin intermediul controlului. De exemplu, menținerea unei temperaturi constante într-un incubator medical, controlul precis al poziției unui braț robotic pe o linie de asamblare sau reglarea vitezei unui motor electric într-un vehicul hibrid.
2. **Modelarea sistemului:** se creează un model matematic al sistemului mecatronic, care descrie comportamentul acestuia. Acest model poate fi o reprezentare simplificată a sistemului real, utilizând ecuații diferențiale, funcții de transfer sau alte

tehnici matematice. Modelarea precisă este esențială pentru proiectarea unui controler eficient.

3. **Proiectarea controlerului:** se alege tipul de controler adecvat și se ajustează parametrii acestuia pentru a obține performanța dorită. De exemplu, pentru un sistem de control al temperaturii, se poate utiliza un controler PID, iar parametrii acestuia (proporțional, integral, derivativ) se ajustează pentru a obține o temperatură stabilă și un timp de răspuns rapid.
4. **Implementarea controlerului:** controlerul este implementat fizic, fie prin hardware dedicat (de exemplu, un circuit electronic dedicat), fie prin software (de exemplu, un program rulat pe un microcontroler sau un PLC). Implementarea trebuie să țină cont de constrângerile de cost, spațiu și consum energetic.
5. **Testarea și validarea:** se testează funcționarea sistemului de control în diferite condiții de operare și se fac ajustări, dacă este necesar. Testarea poate include simulări pe calculator, teste pe prototipuri sau teste pe sistemul real. Validarea asigură că sistemul de control îndeplinește cerințele de performanță și siguranță.

Controlul joacă un rol esențial în funcționarea produselor mecatronice, asigurând performanță, flexibilitate și siguranță. Există o varietate de tipuri de controlere, fiecare cu avantaje și dezavantaje specifice, alegerea celui mai potrivit depinzând de aplicație și de

cerințele de performanță. Modul de aplicare a controlului implică o serie de etape, de la definirea obiectivelor la testarea și validarea sistemului. Senzorii și actuatorii sunt componente cheie ale sistemului de control, asigurând monitorizarea stării sistemului și implementarea acțiunilor de control. Exemplele de automobile și roboți industriali ilustrează importanța și diversitatea aplicațiilor controlului în diverse domenii. Tendințele actuale în controlul produselor mecatronice, precum controlul predictiv, adaptiv și bazat pe învățare automată, indică o evoluție continuă a acestui domeniu, cu accent pe inteligență artificială, IoT și cloud computing. Aceste tehnologii emergente promit să revoluționeze modul în care sunt proiectate și utilizate produsele mecatronice, deschizând noi posibilități pentru îmbunătățirea performanței, eficienței și siguranței.

6.8. Bibliografie

42. What is a PID Controller? - Dewesoft, <https://dewesoft.com/blog/what-is-pid-controller> (accesată în februarie 2025)
43. Proportional Integral Derivative Controller in Control System - GeeksforGeeks, <https://www.geeksforgeeks.org/proportional-integral-derivative-controller-in-control-system/> (accesată în februarie 2025)
44. The PID Controller & Theory Explained - NI - National Instruments, <https://www.ni.com/en/shop/labview/pid-theory-explained.html> (accesată în februarie 2025)
45. The Role of Modular Programming in Industrial Control System - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-of-a-PLC_fig1_298959737 (accesată în februarie 2025)
46. www.electronicshub.org, <https://www.electronicshub.org/microcontrollers-basics-structure-applications/> (accesată în februarie 2025)

47. Control of Electric Vehicles Charging Without Communication Infrastructure - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: https://www.researchgate.net/figure/Main-components-of-the-fuzzy-controller_fig3_330081551 (accesată în februarie 2025)
48. Harmonic Amplification Damping Using a DSTATCOM-based Artificial Intelligence Controller - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: https://www.researchgate.net/figure/Fig-4-Single-line-diagram-of-the-neural-network-controller_fig3_333779342 (accesată în februarie 2025)