

Prelegerea nr. 2

DOZAREA COMBUSTIBILULUI

Reglarea cantității de combustibil impune dozarea corespunzătoare calitativă și cantitativă a amestecului la toate regimurile de sarcină și turație: pornirea la rece, mersul în gol, mersul în regim de sarcină medie și maximă, precum și regimurile tranzitorii, pentru a obține funcționarea cea mai economică și cel mai scăzut nivel de noxe.

Esențial pentru structurarea unei instalații de alimentare prin injecție este natura semnalului de reglare. Cantitatea de carburant C_c ce se amestecă cu cantitatea de aer C_a la un coeficient de dozaj λ_L este dată de relația:

$$C_c = \frac{C_a}{\lambda_L} \quad (1.1)$$

Se obține relația:

$$C_c = \frac{F_a \cdot \mu_a \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_a \cdot \Delta p}}{\lambda_L} \quad (1.2)$$

unde:

- F_a - secțiunea de curgere a aerului prin galeria de admisie;
- μ_a - coeficientul de viteză a aerului;
- ρ_a - densitatea aerului;
- Δp - depresiunea în secțiunea F_a .

Efectuarea reglării debitului de combustibil C_c impune în primul rând măsurarea debitului de aer. În acest scop se pot utiliza procedee globale, prin măsurarea simultană a ambelor mărimi componente ale debitului: secțiunea de curgere și depresiunea. Pot fi folosite procedee de măsurare a depresiunii cu menținerea constantă a secțiunii de curgere sau invers. În aceste cazuri sunt necesare măsuri suplimentare pentru corectarea abaterilor densității aerului ρ_a introduse de modificarea temperaturii și presiunii.

Pe baza relațiilor de dozaj, se disting următoarele sisteme de reglare:

- prin măsurarea secțiunii de curgere a aerului, exprimată prin poziția unghiulară a unui obturator;
- prin măsurarea depresiunii din galeria de admisie;
- cu ajutorul debitmetrelor electrice.

Reglajul după poziția obturatorului realizează corelarea debitului de combustibil cu unghiul de deschidere a clapetei, care determină debitul de aer. Măsurarea pe această cale a debitului de aer nu este însă foarte precisă deoarece este neglijată influența depresiunii. Ca avantaj al metodei trebuie remarcat faptul că în acest caz organul de reglare a sarcinii, îndeplinește și funcția de debitmetru, din care motiv traseul de admisie este simplificat, contribuind la îmbunătățirea umplerii cilindrilor. De asemenea, sunt remarcabile promptitudinea răspunsului dinamic și sensibilitatea.

Principiul se pretează la crearea unor sisteme mecanice de reglare, simple și ieftine. Totuși, reglajul mecanic, creează dificultăți datorită numărului relativ mare de piese mobile și articulații care se uzează și se dereglează, necesitând o întreținere frecventă și calificată.

Procedeele de reglare vacuumatică folosește ca mărime de reglare depresiunea din galeria de admisie. În acest caz se ține seama automat și de variația turației, fiind totuși necesare ușoare corecții impuse de reproducerea fidelă a caracteristicii de dozare. De regulă, efectul turației trebuie avut în vedere doar la valori ridicate ale acestui parametru, deoarece la turații mijlocii umplerea cilindrului este mai puțin influențată de modificarea regimului de viteză a motorului. Sistemul, ce răspunde rapid la modificarea sarcinii, se distinge prin simplitate și fiabilitate.

În ultima categorie de procedee se înscriu **dispozitivele care măsoară atât depresiunea, cât și secțiunea**. În amonte obturatorului se montează un debitmetru în care elementul esențial îl constituie o clapetă cu deplasare axială sau circulară. Mișcarea clapetei se efectuează sub acțiunea depresiunii variabile ce apare la deschiderea obturatorului.

Debitul de aer poate fi măsurat și prin **anemometrie electrică**. În acest caz, la intrarea în colectorul de admisie se prevede o rezistență de platină încălzită electric, încorporată într-o punte Wheatstone. Rezistența este plasată într-o zonă de circulație a aerului de secțiune constantă. Temperatura rezistenței scade o dată cu creșterea vitezei aerului (deci a debitului), dezechilibrând puntea.

Tensiunea de dezechilibru este folosită pentru controlul temperaturii rezistenței de platină. Reechilibrarea punții presupune creșterea valorii curentului de încălzire care străbate rezistența. Pe baza valorii curentului de încălzire se obțin informații cantitative asupra debitului (masic) de aer. Timpul de răspuns al dispozitivului este extrem de redus, de ordinul milisecundelor.

Măsurând debitul masic de aer, procedeul nu reclamă corecții suplimentare, deoarece în semnalul emis intră și efectul densității aerului, adică influența mărimilor de stare locale ale aerului, inclusiv a altitudinii. Rezistența, având secțiune proprie foarte redusă, nu creează rezistențe suplimentare la umplere.

Avantajul esențial al acestei metode de reglaj provine din aceea că de fapt în motor se arde o anumită masă de benzină, pentru care este necesară o masă de aer bine precizată; deci, debitul masic de aer reprezintă informația cea mai corectă ce poate fi folosită.

În expresia debitului de combustibil (1.2) intră și coeficientul de dozare, λ . El poate fi luat în considerare, folosind anumite criterii, cum ar fi condiția funcționării economice (consum redus) sau respectarea normelor de protecție a mediului (noxe poluante minime).

În cel de-al doilea caz se impune ca la toate regimurile funcționale valoarea coeficientului de dozaj să fie adusă la niveluri care să reprezinte compromisul cel mai convenabil între consum și poluare. În acest caz în structura sistemului de control apare un bloc electronic în care se memorează caracteristica de dozare, elaborată ținându-se seama de criteriul ales și care comandă în mod corespunzător dispozitivul de dozare.

Un caz special este cel al motoarelor prevăzute cu sisteme de depoluare a gazelor de eșapament folosind posttratare catalitică. Depoluarea este asigurată de un filtru catalitic cu trei căi, a cărui funcționare optimală se realizează numai dacă coeficientul de dozare a amestecului realizat este menținut riguros constant la valoarea stoichiometrică, $\lambda = 1$.

Determinarea coeficientului de dozare a amestecului se face pe baza analizei gazelor arse cu ajutorul unui sensor Lambda (de fapt, traductor de oxigen), plasat în circuitul de evacuare, înaintea filtrului catalitic. Sensorul Lambda emite un semnal a cărui tensiune este dependentă de densitatea oxigenului în amestec. Semnalul este folosit pentru închiderea unei bucle de reacție negativă, cu efect stabilizator pentru valoarea coeficientului de dozaj, permițând regulatorului să controleze în mod corespunzător debitul de combustibil.

Probleme legate de poluarea mediului

Reducerea poluării constituie o prioritate politică în multe zone ale lumii. Se caută un echilibru dificil între necesitatea aerului curat și cea a transporturilor. Automobilul electric reprezintă o soluție atractivă, marcată de multe cercetări, dar și de rezultate relativ modeste.

Principala problemă constă în autonomia redusă și în costul ridicat al bateriilor de acumulare.

Reducerea poluării constituie o prioritate politică în multe zone ale lumii. Se caută un echilibru dificil între necesitatea aerului curat și cea a transporturilor. Automobilul electric reprezintă o soluție atractivă, marcată de multe cercetări, dar și de rezultate relativ modeste. Principala problemă constă în autonomia redusă și în costul ridicat al bateriilor de acumulare.

Poluarea atmosferei se datorește parțial și gazelor eșapate de automobile. Principalele noxe sunt: monoxidul de carbon, oxizii de azot și hidrocarburile nearse. Se apreciază că la ora actuală automobilele produc 95% din oxidul de carbon care provine din procesele artificiale, circa 1/3 din oxizii de azot și circa 10% din particulele solide existente în atmosferă.

Efectele poluării produse de automobile sunt de obicei locale, dar nu trebuie neglijată influența pe care acestea o au asupra creșterii conținutului de bioxid de carbon al aerului planetei, creștere care, dacă nu se limitează, va duce, după cum se apreciază, la mutații climatice însemnate. În ceea ce privește efectele locale ale poluării atmosferei, acestea sunt importante în orașele mari, cu trafic intens.

Concentrațiile principalelor noxe variază în funcție de condițiile atmosferice și de ora locală. Prin măsurări efectuate la Los Angeles s-a determinat concentrația de monoxid de carbon, situată aproape zilnic între 6 și 15 ppm, concentrația de oxizi de azot, între 0,05 și 0,15 ppm, iar concentrația de hidrocarburi între 2 și 4 ppm. La New York, concentrația de monoxid de carbon atinge 15 ppm timp de 8 ore în 30% din zilele anului.

În țara noastră, potrivit normelor Ministerului Sănătății, concentrația admisă de monoxid de carbon este de 4,8 ppm pentru 1/2 oră, iar pentru oxizi de azot, 0,15 ppm pentru aceeași perioadă de expunere.

Prin arderea benzinei în motoarele cu aprindere prin scânteie se obțin (raportat la volumul total): monoxid de carbon 0,1, ..., 6%, hidrocarburi nearse 100 ... 1 000 ppm, oxizi de azot 200 ... 4 000 ppm, bioxid de carbon 9, ..., 14%, oxigen 0,1, ..., 4%, vapori de apă 12, ..., 14% și azot (restul).

În afara oxigenului, azotului, vaporilor de apă și hidrogenului, celelalte substanțe se încadrează în categoria substanțelor poluante primare. Alte substanțe poluante - cele secundare - se formează în aer prin interacțiunea celor primare sau prin reacțiile acestora cu alți constituenți ai aerului. Dintre substanțele poluante secundare cele mai importante sunt smogul fotochimic, frecvent la Los Angeles și Tokyo, și smogul umed, specific Londrei.

Cantitatea de substanțe poluante degajate de automobil depinde de parametrii constructivi ai motorului și ai automobilului însuși, de regimul de funcționare, de calitatea reglajelor, de temperatura mediului ambiant, precum și de alți factori.

Monoxidul de carbon (CO) are un efect toxic asupra organismului deoarece, odată pătruns în sânge, se combină cu hemoglobina, formând carboxihemoglobina, ceea ce diminuează capacitatea sângelui de a transporta oxigenul în țesuturi. Este un gaz inodor și incolor, ceea ce îl face extrem de periculos. Chiar și o proporție de 0.3% (din volum) de CO în aer poate deveni fatală, dacă persistă peste 30 min. Din acest motiv este interzisă funcționarea motoarelor cu ardere internă în interiorul camerelor închise sau halelor, dacă sistemul de ventilație nu este în funcțiune.

Apariția monoxidului de carbon în gazele de eșapament are drept cauză principală arderea incompletă a carburantului, determinată în primul rând de insuficiența oxigenului în amestecul proaspăt. De aceea, o dată cu îmbogățirea amestecului proaspăt, concentrația oxidului de carbon în gazele de evacuare crește. Formarea oxidului de carbon, chiar atunci când se realizează un pronunțat exces de aer, este pusă pe seama interacțiunii, pe durata procesului de ardere a unor factori termodinamici și cinetici complecși.

În gazele de evacuare se găsesc atât **hidrocarburi nearse**, provenite din cele existente în combustibil (datorită fenomenelor de stingere a flăcării sau de dispersie ciclică), cât și **hidrocarburi de sinteză** (formate în timpul arderii). Mirosul specific gazelor eșapate, mai ales la motoarele Diesel, este provocat tocmai de unele din aceste hidrocarburi care se sintetizează în timpul arderii.

Concentrațiile fracțiunilor care sunt responsabile de mirosul caracteristic neplăcut sunt extrem de reduse. Hidrocarburile au miros neplăcut, iar cele aromatice, cu greutate moleculară ridicată, sunt cancerigene. Ca substanțe poluante secundare, au rolul principal în formarea smogului fotochimic.

Oxizii de azot (NOx) degajați de motoarele cu ardere internă sunt de asemenea fără culoare, fără miros și fără gust. În prezența oxigenului atmosferic se transformă rapid în bioxid de azot (NO₂), de culoare brun - roșcat, cu miros înțepător, ce cauzează iritații pronunțate ale sistemului respirator și ale ochilor. Întrucât bioxidul de azot distruge țesutul pulmonar, acest gaz este dăunător sănătății când apare în concentrații ridicate, provocând crize acute suferințelor de astm sau bronșite.

Mecanismul apariției oxizilor de azot în gazele arse nu este complet elucidat. Acesta constă, în principiu, în oxidarea azotului la temperaturile și presiunile ridicate atinse în momentul arderii. Oxizii de azot participă la procesul de formare a smogului fotochimic.

La originea **particulelor solide** răspândite în atmosferă de către automobile se află plumbul și fosforul din carburant, carbonul provenit din cracarea sau polimerizarea unor hidrocarburi, unii compuși metalici ce intră în componența aditivilor introduși în ulei, particulele de fier din canalizația de eșapament.

Fumul este caracteristic motoarelor cu aprindere prin comprimare. În funcție de sarcină, motorul Diesel emite fum alb, albastru sau negru. Cel alb apare la pornirea la rece, cel albastru la mersul în gol sau la sarcini mici, iar fumul negru este emanat la sarcini mari, mai ales când regimul termic al motorului este ridicat. În compoziția fumului intră particule solide și aerosoli lichizi cu diametre în jur de 1 μm.

Din analiza problemelor legate de poluarea mediului se pot trage anumite concluzii:

- **componentele poluante apar din condiții contradictorii relativ la formarea amestecului (dozaj);**
- **regimurile dinamice accentuează tendința motorului de a polua mediul, ceea ce ridică probleme însemnate în cazul circulației în trafic aglomerat;**
- **reducerea poluării necesită utilizarea unor tehnici de control extrem de precise și de rafinate, ceea ce impune controlul electronic;**
- **cele mai bune performanțe în prezent se obțin prin utilizarea catalizatorilor pe circuitul gazelor de evacuare, tehnică ce impune un control extrem de riguros al dozajului.**

2. STRUCTURI DE CONTROL PENTRU MOTOARELE CU APRINDERE PRIN SCÂNTEIE

Structuri clasice de control

O analiză eficientă a performanțelor motoarelor trebuie să aibă în vedere modul în care este structurat sistemul de control al alimentării cu combustibil și al aprinderii. Dacă până în anii 1980 controlul era practic asigurat de sisteme de reglaj mecanice (cu toate limitările lor specifice), după acea perioadă se remarcă o dezvoltare spectaculoasă a sistemelor electronice.

Pentru a studia modalitățile de perfecționare în continuare a sistemelor electronice de control al injecției de benzină și al aprinderii sunt necesare o sistematizare și o analiză comparativă a soluțiilor existente.

O primă structură - bloc de motor cu aprindere prin scânteie este prezentată în figura 2.1.

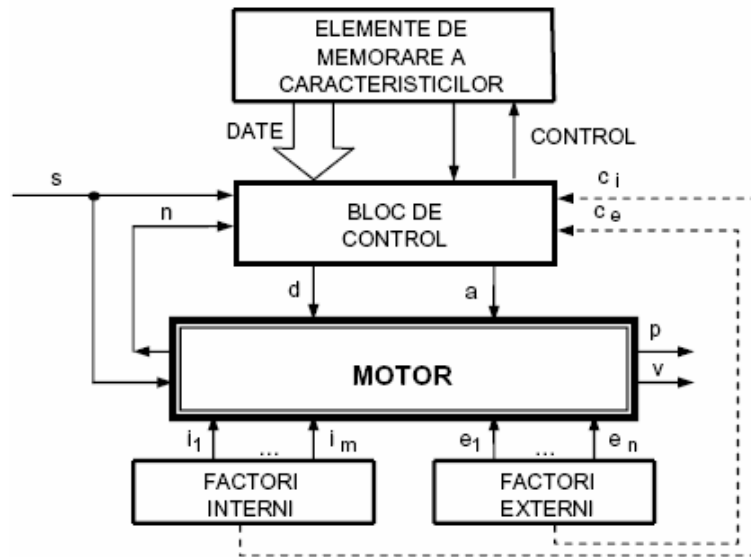


Figura 2.1

Acest tip caracterizează motoarele cu carburator, sistemele de injecție mecanică și injecția electronică de benzină fără control Lambda în buclă închisă și de control al detonației. Mărimile specifice ce apar sunt următoarele:

- **s** - sarcină;
- **n** - turație;
- **a** - avans la aprindere;
- **d** - dozaj carburant;
- **p** - factori poluanți (gaze de evacuare);
- **v** - vibrații (specifice detonației);
- $i_1 \dots i_m$ - parametri interni;
- $e_1 \dots e_n$ - parametri externi;
- c_e - mărimi de corecție a influenței parametrilor externi;
- c_i - mărimi de corecție a influenței parametrilor interni.

Dacă ne referim la controlul electronic existent în prezent, conform încadrării enunțate inițial, pentru figura 2.1 în regim stabilizat și condiții standard de funcționare avansul $a_m = f_a(s, n)$ și dozajul $d_m = f_d(s, n)$ pot fi considerate ca fiind memorate sub forma unor matrice, **A** respectiv **D**, având dimensiunile $s_1 \times n_1$ și respectiv $s_2 \times n_2$.

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1s_1} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2s_1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n_1 1} & a_{n_1 2} & \dots & a_{n_1 s_1} \end{pmatrix} \quad D = \begin{pmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1s_2} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2s_2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{n_2 1} & d_{n_2 2} & \dots & d_{n_2 s_2} \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

Mărimile sunt cuantificate, respectând condițiile: a_{ij} și $d_{ij} \in N$.

Mărimile de control ce acționează asupra motorului, notate a_c și d_c , rezultă pe baza relațiilor analitice:

$$a_c = a_m \cdot U_a$$

$$d_c = d_m \cdot U_d$$

unde U_a și U_d sunt mărimi unitare specifice blocului de control, astfel încât a_c și d_c sunt din punct de vedere dimensional mărimi echivalente avansului la aprindere, respectiv dozei de benzină.

Pentru un regim staționar, dar pentru alte valori ale parametrilor determinați de factorii interni și externi, apare necesitatea aplicării unor corecții. Uzând de același formalism matematic, aceste corecții pot fi exprimate (în cazul când acestea au un caracter aditiv) prin două matrice de corecție C_a, C_d :

$$C_a = \begin{pmatrix} ca_{11} & ca_{12} & \dots & ca_{1s_1} \\ ca_{21} & ca_{22} & \dots & ca_{2s_1} \\ & & \dots & \\ ca_{n_11} & ca_{n_12} & \dots & ca_{n_1s_1} \end{pmatrix} \quad C_d = \begin{pmatrix} cd_{11} & cd_{12} & \dots & cd_{1s_2} \\ cd_{21} & cd_{22} & \dots & cd_{2s_2} \\ & & \dots & \\ cd_{n_21} & cd_{n_22} & \dots & cd_{n_2s_2} \end{pmatrix}$$

Aceste matrice de corecție vor fi utilizate pentru prelucrarea mărimilor memorate A , respectiv D . Generarea mărimilor de control *folosite* va fi realizată de relații similare cazului precedent, în care însă apar matricele; A_f pentru avansul la aprindere, respectiv D_f pentru dozarea benzinei.

$$A_f = A + C_a, \quad D_f = D + C_d$$

deci:

$$a_f = (a_m + c_a) \cdot U_a, \quad d_f = (d_m + c_d) \cdot U_d$$

Valorile elementelor din matricele de corecție apar ca funcții de tipul:

$$c_a = f_{ca}(s, n, i_1, i_2, \dots, i_m, e_1, e_2, \dots, e_n) \\ c_d = f_{cd}(s, n, i_1, i_2, \dots, i_m, e_1, e_2, \dots, e_n)$$

Dacă se dorește o corecție de bună calitate, parametrii ce descriu factorii interni și cei externi se cuantifică într-un anumit număr de trepte, alese din considerente practice. Fie q acest număr. Apar, prin urmare, N_c combinații posibile ale parametrilor, unde:

$$N_c = C_{q(n+m)}^{n+m}$$

Așadar, apare un necesar de memorie pentru corecția avansului la aprindere de N_a locații, iar pentru corecția dozajului, de N_d locații, unde:

$$N_a = n_1 \cdot s_1 \cdot C_{q(n+m)}^{n+m}; \quad N_d = n_2 \cdot s_2 \cdot C_{q(n+m)}^{n+m}$$

Având în vedere valorile practice ale capacităților de memorie (caracteristicile standard statice) - pentru avans $n_1 \cdot s_1$, respectiv pentru dozaj $n_2 \cdot s_2$ - rezultă necesități de memorie extrem de mari.

Valorile ce s-ar înscrie în aceste memorii ar impune un număr extrem de mare de rezultate experimentale, obținute prin probe de stand, uneori în condiții extrem de dificil de realizat (combinații posibil să apară practic, dar foarte dificil de menținut pe durata unor experimente în mediu artificial).

Prin urmare, pe baza acestor principii de control pentru toate regimurile staționare posibile, mărimile finale utilizate pentru controlul motorului a_{sf} și d_{sf} au forma:

$$a_{sfij} = a_{sfij}(s, n, i_1, i_2, \dots, i_m, e_1, e_2, \dots, e_n) \quad i = 1, 2, \dots, n_1, \quad j = 1, 2, \dots, s_1$$

$$d_{sfij} = d_{sfij}(s, n, i_1, i_2, \dots, i_m, e_1, e_2, \dots, e_n), \quad i = 1, 2, \dots, n_2, \quad j = 1, 2, \dots, s_2$$

În regim staționar și condiții standard de funcționare nu apar diferențe notabile între performanțele realizate de aceste sisteme. Deosebirile sunt dictate practic numai de dispersia tehnologică de realizare a motorului și a blocului de control (în limitele de 3% la motoarele cu carburator și 1% la motoarele cu injecție). Analiza chimică a gazelor de evacuare nu evidențiază deosebiri notabile, iar tendința de detonație pentru reglaje inițiale corecte este eliminată.

Analiza efectuată se poate aplica și în cazul reguletoarelor mecanice (analogice), considerând un anumit pas de cuantificare a caracteristicilor, folosind un anumit criteriu, cum ar fi, de exemplu, unul ce ține seama de erorile tehnologice de realizare.

Schema din figura 2.1 corespunde unui sistem în buclă deschisă; o reacție negativă (de stabilizare a sistemului) poate fi considerată totuși dacă se ține seama de reglajele (manuale) periodice efectuate, însă, din afara sistemului, de operatorul uman (cum ar fi reglarea amestecului, a avansului inițial la aprindere). Evident că reglajele periodice îmbunătățesc performanțele, dar acestea sunt, strict vorbind, de conjunctură. Deriva performanțelor se va înscrie în limitele tehnologice de realizare a elementelor.

În ceea ce privește analiza regimurilor staționare la care însă apar abateri ale parametrilor de stare față de condițiile standard se pot evidenția anumite corecții ce se pot realiza după factorii interni sau externi (cu ajutorul semnalelor c_i și c_e din figura 2.1). Evident, acuratețea corecțiilor va fi mult mai bună la sistemele electronice (de injecție sau carburator electronic), grație posibilităților mult mai mari de prelucrare a semnalelor electrice furnizate de traductoare.

Prelucrarea semnalelor și adaptarea sistemului vor fi asigurate pe baza unor algoritmi adecvați și de o complexitate corespunzătoare situației. Sistemele pur mecanice au posibilități mult mai reduse din cauza lipsei de flexibilitate a structurilor (se poate exemplifica cu șocul automat cu lamelă bimetalică ce asigură o îmbogățire a amestecului la pornire, dar de o manieră aproximativă, prin exces).

Criteriile pe baza cărora se determină caracteristicile statice implementate în memoria sistemelor sunt:

- **pentru dozaj**
 - economicitatea;
 - economicitatea și reducerea poluării;
 - reducerea poluării;
 - reducerea poluării și economicitatea.
- **pentru avansul la aprindere:**
 - evitarea detonației;
 - reducerea poluării;
 - putere maximă (pentru un dozaj dat).

Menținerea performanțelor inițiale se face în aceste cazuri pe seama reglajelor periodice.

Se poate deduce din aceste observații că principalul neajuns al structurii din figura 2.1 este lipsa unor bucle de reacție negativă cu efect stabilizator. Din acest motiv s-au elaborat alte structuri de control care să includă în buclele de reacție negative informații despre dozaj (parametrul λ) și avans la aprindere (prezența detonației).

Structuri de control în buclă închisă

Prezența buclelor de reacție negativă permite menținerea, în mod automat, a performanțelor motoarelor în limitele tehnologice asigurate de sistem pe toată durata de (bună) funcționare.

Problema buclor de reacție a fost formulată cu acuitate odată cu schimbarea priorităților la formarea amestecului (dozaj) de la economicitate către reducerea poluării. Realizarea dozajului cu o eroare maximă de 1% față de amestecul stoichiometric constituie o condiție obligatorie pentru funcționarea eficientă a convertorului catalitic cu trei căi. Un sistem în buclă deschisă nu poate realiza practic (atât din considerente tehnice, cât și economice) o astfel de performanță. Din punctul de vedere al reglării avansului la aprindere criteriul de optimizare, respectiv de stabilizare a răspunsului, îl constituie funcționarea la limita de detonație, când randamentul motorului atinge un maxim.

Pentru creșterea performanțelor motoarelor s-a trecut la o structură de control de tipul celei prezentate în figura 2.2.

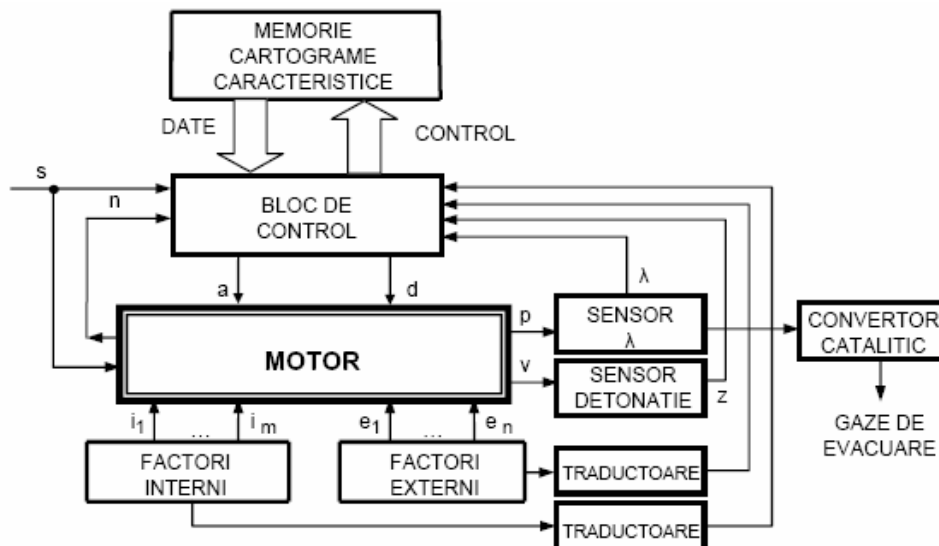


Figura 2.2

Evident că aceste structuri nu pot fi realizate decât cu sisteme electronice de control (cu injecție sau carburator electronic). Față de structura din figura 2.1 mai apar semnalele:

- λ - semnal despre dozaj (furnizat de sonda Lambda);
- z - semnal de la sensorul de detonație.

Superioritatea în regim staționar a structurii din figura 2.2 față de cea din figura 2.1 se evidențiază în primul rând când apar abateri ale parametrilor de stare față de valorile ce corespund condițiilor standard de funcționare. Ca urmare a schimbării parametrilor de stare se va modifica și răspunsul sistemului (motorului), modificările fiind puse în evidență de senzorii Lambda și de detonație.

Semnalele de la acești senzori, fiind incluse în bucle de reacție negativă, vor determina variații compensatoare, de semn contrar, care să asigure revenirea mărimilor a și d la valori care să satisfacă criteriile de funcționare (dozaj cu $\lambda = 1 \pm 1\%$ și avans corespunzător funcționării la limita de detonație).

Modificarea mărimilor de control din sistem se face discret, practic prin incrementări și decrementări ale mărimilor a și d , ceea ce are ca efect variații prin trepte de valoare U_a , respectiv U_d ale avansului la aprindere și ale dozajului. Pentru a facilita sarcina menținerii condițiilor de bună funcționare, corecțiile pot acționa direct în memoria cartogramelor caracteristice, modificând valorile existente în sensul de a le apropia cât mai mult de valorile reale necesare.

Se realizează practic o structură de sistem adaptiv, ce relaxează „efortul” buclor de reacție. În regim staționar un sistem adaptiv de acest tip va converge către valorile reale necesare, evoluând în limitele erorilor de cuantificare ($\pm 1/2 U_a, \pm 1/2 U_d$).

Există posibilitatea de a desprinde următoarele concluzii din analiza regimurilor staționare:

- **În regim staționar de funcționare a motorului și condiții standard de funcționare nu se pot pune practic în evidență deosebiri esențiale între structuri și în cadrul structurilor între soluțiile tehnologice;**
- **În regim staționar de funcționare a motorului și în condiții de funcționare stabile, dar descrise de parametri cu valori ce se abat de la condițiile standard, sistemele cu reacție sunt superioare, datorită efectului stabilizator al reacției negative.**

La funcționarea în **regim dinamic** (tranzitoriu), pentru mărimile reglate avans la aprindere, respectiv dozaj, apar dependențe complexe, descrise de ecuații diferențiale de tipul:

$$F_a(s, \dot{s}, \ddot{s}, \dots, n, \dot{n}, \ddot{n}, \dots, i_1, \dot{i}_1, \ddot{i}_1, \dots, i_2, \dot{i}_2, \ddot{i}_2, \dots, i_m, \dot{i}_m, \ddot{i}_m, \dots, e_1, \dot{e}_1, \ddot{e}_1, \dots, e_2, \dot{e}_2, \ddot{e}_2, \dots, e_n, \dot{e}_n, \ddot{e}_n, \dots, t) = 0$$

$$F_d(s, \dot{s}, \ddot{s}, \dots, n, \dot{n}, \ddot{n}, \dots, i_1, \dot{i}_1, \ddot{i}_1, \dots, i_2, \dot{i}_2, \ddot{i}_2, \dots, i_m, \dot{i}_m, \ddot{i}_m, \dots, e_1, \dot{e}_1, \ddot{e}_1, \dots, e_2, \dot{e}_2, \ddot{e}_2, \dots, e_n, \dot{e}_n, \ddot{e}_n, \dots, t) = 0$$

Chiar dacă ținem seama că variațiile se manifestă în jurul unor valori bine determinate și în aceste condiții liniarizăm ecuațiile, apare ca evident faptul că simularea la stand și memorarea tuturor valorilor pentru avans la aprindere și dozaj corespunzătoare tuturor tipurilor de dependențe ce pot apărea este (tehnic) practic imposibilă, iar economic extrem de costisitoare. Ca urmare, sistemele actuale se bazează pe anumite simplificări: reducerea ordinului de dependență, eliminarea unor variabile, care în final vor permite totuși încadrarea erorilor dinamice între anumite limite și la un nivel rezonabil de cost și complexitate. Îmbunătățirea răspunsului dinamic elimină din start soluțiile mecanice, bazate pe regulatoare lente (de exemplu, regulatorul centrifugal ce are caracteristică integratoare) și cu precizie scăzută.

O caracteristică specifică motoarelor cu injecție intermitentă este aceea că timpul apare ca o mărime cuantificată (alimentarea prin acționarea injectoarelor și aprinderea se fac la anumite momente de timp, urmate de pauze). Această caracteristică poate fi exploatată în mod corespunzător prin utilizarea reguletoarelor electronice. Acestea asigură viteze de răspuns ridicate. Problema este ca, în timpul dintre două comenzi succesive, blocul de comandă să poată determina valorile mărimilor de comandă cu erori dinamice cât mai reduse.

În aceste condiții apar evidente trăsăturile unui reglaj dinamic ideal:

- **timpul de răspuns egal cu pauza dintre două comenzi succesive;**
- **erorile dinamice de fixare a avansului și dozajului în limitele erorii de cuantificare ($\pm 1/2 U_a, \pm 1/2 U_d$).**

Compararea răspunsului dinamic al diferitelor variante de motoare evidențiază clar superioritatea injecției de benzină multipunct, discontinuă și cu bucle de reacție negative. Buclele de reacție asigură stabilizarea valorilor de regim staționar și prin aceasta reducerea erorilor dinamice (cel puțin în faza inițială a regimului tranzitoriu). Afirmatia are un grad înalt de valabilitate practică, întrucât motorul funcționează în cea mai mare parte a timpului în regim cvasistaționar.

Totuși, erorile dinamice nu vor putea fi menținute mult timp în limitele erorilor de cuantificare, deoarece mecanismul reacției lucrează cu mărimi cuantificate, putând varia mărimile reglate, de regulă, cu cel mult o treaptă de cuantificare la o cantă de timp. La modificări rapide apar erori de urmărirea. La sfârșitul procesului tranzitoriu motorul va trece într-un nou regim stabilizat, pentru care reacția va asigura convergența mărimilor de control spre mărimile ideale.

Asigurând minimizarea erorilor inițiale de regim staționar, sistemele adaptive vor avea și un răspuns dinamic bun. Totuși, vor apărea abateri de la condițiile impuse unui răspuns dinamic ideal, având în vedere că funcționarea sistemelor adaptive se bazează pe un algoritm validat în principal prin repetabilitatea unui anumit răspuns. Aceasta impune un anumit număr de cuante de timp, deci o anumită întârziere a răspunsului.

Așa după cum s-a precizat, reducerea nivelului de poluare a gazelor de evacuare fixează extrem de restrictiv dozajul la valoarea $\lambda = 1 \pm 1\%$. În regim staționar controlul Lambda în buclă închisă realizează (relativ) ușor această condiție. În aceste situații convertorul catalitic are eficiență maximă și nivelul poluării este minim. Prin urmare, utilizând convertor catalitic, reducerea în continuare a nivelului poluării se poate face numai prin îmbunătățirea răspunsului dinamic.

Problema este deci de maxim interes, cu atât mai mult cu cât motoarele funcționează mai mult în regim dinamic în cazul circulației în orașe, unde se pune și problema poluării. Apare chiar un concurs de împrejurări nefavorabil, poluarea crescând cu numărul de automobile, iar numărul mare de automobile impunând un regim dinamic de funcționare mai pronunțat al motoarelor, datorită dificultăților din trafic. Prin urmare, îmbunătățirea răspunsului dinamic impune o altă concepție de sistem, care în esență trebuie să permită anticiparea comportării la modificarea condițiilor de funcționare.

Necesitatea în creștere de menținere a parametrilor funcționali în interiorul unor limite rezonabile a impus realizarea unui volum semnificativ de cercetări în domeniul sistemelor de control în timp real.

Majoritatea aplicațiilor de timp real implică elemente și sarcini specifice în ceea ce privește traductoarele, elementele de interfață și arhitecturile, precum și algoritmi și programele.

Controlul computerizat de timp real al proceselor implică următoarele cerințe:

- **menținerea sistemului între anumite limite prestabilite;**
- **mijloace de control efectiv în condiții critice sau în prezența erorilor.**

Din acest punct de vedere, controlul vehiculelor rutiere este o aplicație de timp real de o complexitate extrem de ridicată.