

# Prelegerea nr. 1

## Controlul electronic al amplificării presiunii

Turbocompressoarele trebuie să atingă presiunile amplificate specificate, dar în același timp trebuie să asigure un răspuns bun (creșterea presiunii) la turații reduse ale motorului. Obiectivele proiectării sunt amplificare mare la turații reduse, caracteristici de presiune – și în acest fel și de cuplu – echilibrate la toate turațiile și pozițiile pedalei de accelerație și nivele optime ale eficienței volumetrice. Capacitatea turbocompresorului cu regulator mecanic de a realiza aceste obiective este limitată.

În schimb, un mecanism electronic cu poartă de descărcare, împreună cu turbocompresorul corespunzător, îmbină o curbă de amplificare virtual optimă, extinsă în întreg domeniul de funcționare a motorului, cu un răspuns tranzitoriu bun. Datele privind amplificarea presiunii pentru toate valorile de turație și sarcină ale motorului sunt stocate sub formă de cartograme. Informația despre sarcină poate proveni de la depresiunea din galeria de admisie sau de la debitmetrul (eventual masic) de aer din admisie.

Pentru a asigura o funcționare eficientă fără probleme, dispozitivul de control al amplificării presiunii funcționează întotdeauna în tandem cu un sistem de control al detonației. Acesta permite motorului să funcționeze cu valoarea maximă a avansului la aprindere, rămânând în același timp imun la defectele provocate de detonație (figura 4.8).

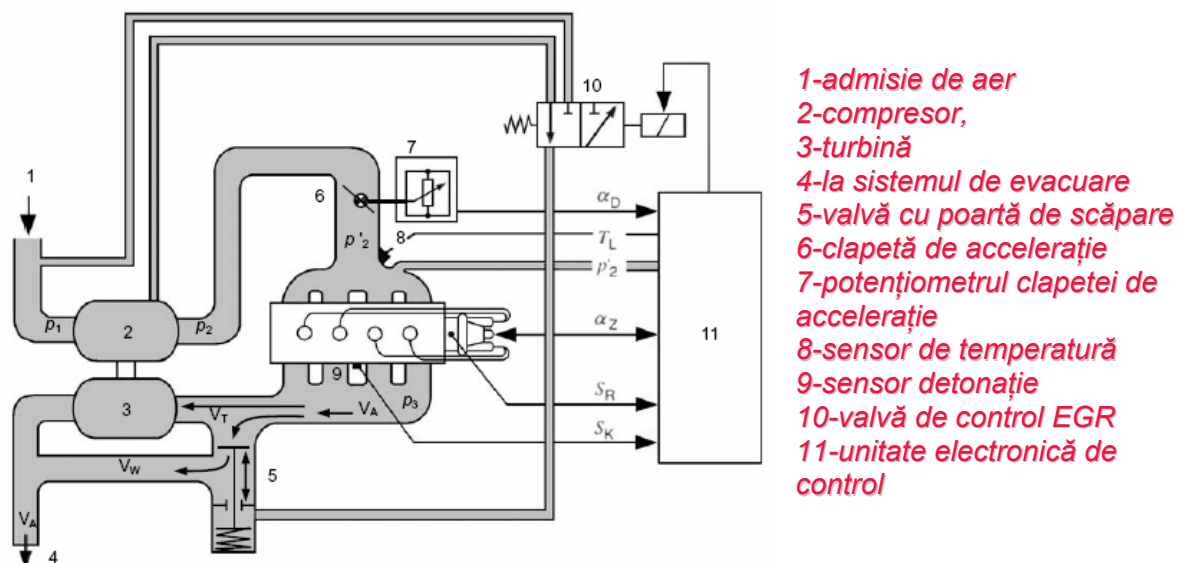


Figura 4.8

Dacă sistemul determină că o reducere excesivă a avansului amenință turbocompresorul, el răspunde mai întâi prin îmbogățirea amestecului aer-benzină pentru a proteja turbocompresorul de valori excesive ale temperaturii gazelor de evacuare. Dacă aceste măsuri se dovedesc a fi insuficiente, sistemul reduce amplificarea de presiune.

## Recircularea gazelor de evacuare (EGR)

Recircularea gazelor de evacuare (**EGR = Exhaust Gas Recirculation**) asigură un mijloc eficient de reducere a emisiilor de oxizi de azot. Sistemul adaugă gaze de evacuare (arse) în

amestecul proaspăt aer-benzină cu scopul de a reduce temperaturile de vârf din timpul arderii. În acest fel se reduc emisiile de oxizi de azot legate de temperaturile ridicate.

O anumită proporție de gaze de evacuare este recirculată "intern" în timpul suprapunerii deschiderii ("încrucișării") supapelor de admisie și de evacuare. Aceasta este o particularitate inerentă de proiectare a tuturor motoarelor cu ardere internă. O anumită cantitate reziduală de gaze de evacuare – dependentă de gradul de suprapunere – este reintrodusă în cilindru împreună cu amestecul aer-benzină proaspăt. La motoarele cu distribuție variabilă este teoretic posibil să se influențeze emisiile de  $\text{NO}_x$  prin modificarea ratei de recirculare internă a gazelor de evacuare.

În mod virtual toate sistemele EGR utilizate pe automobilele contemporane funcționează pe principiul recirculării "externe" a gazelor de evacuare. O anumită proporție din gazele de evacuare ale motorului este extrasă și transmisă înapoi în amestecul proaspăt aer-benzină prin intermediul unei valve de control. Recircularea gazelor de evacuare este în general controlată de un sistem pneumatic sau mecanic proiectat pentru a doza gazele de evacuare în concordanță cu anumiți factori cum ar fi turația motorului, presiunea din galeria de admisie și temperatura motorului. Pentru a activa valva EGR, în unele sisteme, unitatea electronică de control folosește un traductor electro-pneumatic.

Sistemul EGR poate fi folosit pentru a reduce emisiile de  $\text{NO}_x$  cu până la 40%. Creșterea emisiilor de hidrocarburi nearchive împreună cu o funcționare brutală a motorului impun o limită superioară a ratei de recirculare. În acest fel sistemul EGR este decuplat la mers în gol, când oricum nivelul emisiilor de  $\text{NO}_x$  este nesemnificativ.

Recircularea gazelor de evacuare este în general activată pe timpul funcționării la sarcini parțiale, unde sistemul este foarte eficient. Condițiile nefavorabile de presiune limitează aplicarea EGR la sarcini extreme.

## Controlul emisiilor de vapori

Intrucât benzina din rezervor se evaporă, în atmosferă scapă hidrocarburi. Intensitatea procesului crește cu temperatura. Armonizarea cu reglementările oficiale privind emisiile de vapori se realizează prin instalarea canistrelor cu carbon activ care să stocheze vaporii emanați din rezervor. Rezervorul este ventilat în mod exclusiv numai pe circuitul canistrei. Totuși, volumul limitat de acumulare impune o regenerare continuă a cărbunelui.

Cu motorul în funcțiune, aerul este absorbit prin cărbunele canistrei, ceea ce antrenează benzina care va fi folosită pentru ardere în motor. Pentru a asigura o funcționare lină și a respecta reglementările privind noxele de evacuare, sistemul de management al motorului controlează rata de recirculare folosind o așa-numită valvă de purjare a canistrei.

## Componente ale sistemului de alimentare cu benzină

Asigurarea alimentării de benzină într-un sistem de injecție electronică este funcția subsistemului de alimentare cu benzină. Acesta este format din: pompa electrică de benzină, filtru de benzină, rampă, regulator de presiune, amortizor hidraulic de pulsații și injectoare electromagnetice.

Pompa de benzină, de tip cu role, furnizează benzina adusă din rezervor prin filtru într-o conductă de distribuție la o presiune de 2 ... 2,5 bari. Rampa asigură (prin efect de acumulator) alimentarea în mod egal a injectoarelor electromagnetice. La capătul din amonte al rampei se găsește regulatorul de presiune ce menține constantă diferența dintre presiunea benzinei și presiunea din galeria de admisie. Surplusul este transmis înapoi în rezervor printr-un amortizor de pulsații. Prin curgerea uniformă, liniștită, a benzinei, aceasta este oricând utilizabilă în sistem, fiind prevenită formarea bulelor de vapori, ceea ce asigură o pornire bună la cald a motorului.

O schemă simplificată a sistemului de alimentare cu benzină este prezentată în figura 4.9.

- 1-rezervor de benzină
- 2-pompă electrică de benzină
- 3-filtru de benzină
- 4-rampă de carburant
- 5-injector de benzină
- 6- regulator de presiune

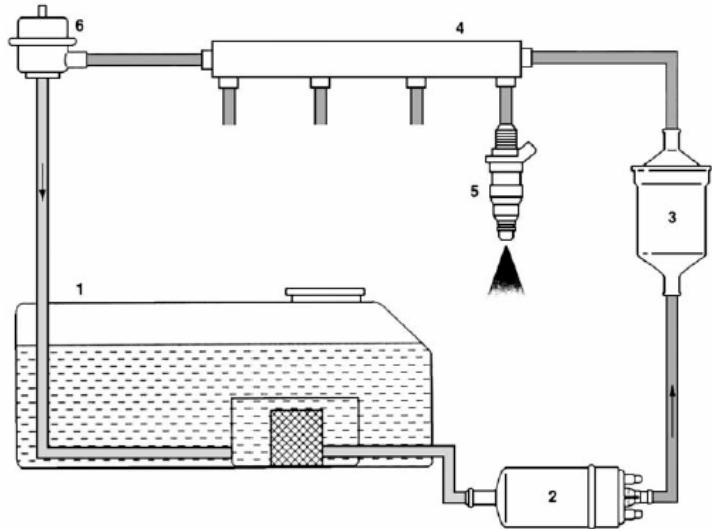


Figura 4.9

**Pompa de benzină** este de tip cu role, cu antrenare electrică. Pompa și motorul de antrenare sunt încapsulate într-o carcasă unică, astfel încât benzina asigură răcirea electromotorului. Schema, într-o secțiune longitudinală a pompei, este prezentată în figura 4.10.

- 1-conducta de absorbție
- 2-limitator de presiune
- 3-pompa cu role
- 4-motor electric de antrenare
- 5-supapă de siguranță
- 6-ieșire de presiune

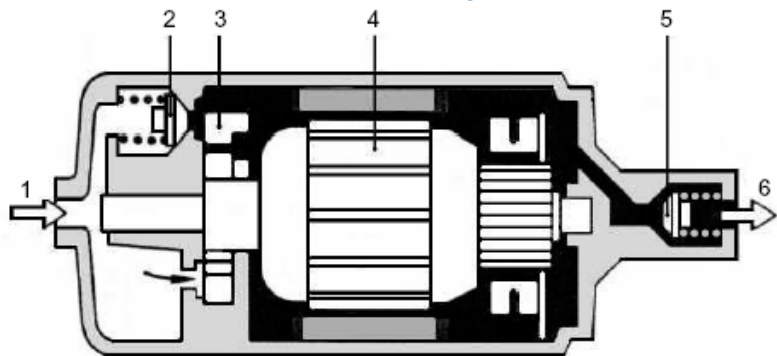


Figura 4.10

Întotdeauna pompa furnizează mai multă benzină decât are nevoie motorul, astfel încât, pentru toate regimurile de funcționare se asigură o presiune suficientă în sistemul de alimentare.

Pompa cu role, așa cum rezultă din figura 4.11, constă dintr-o cameră cilindrică și în care se găsește un rotor plan excentric.

- 1 – intrare
- 2 – placa rotorului
- 3 – rolă
- 4 – canalul rolei
- 5 – ieșire (de presiune)

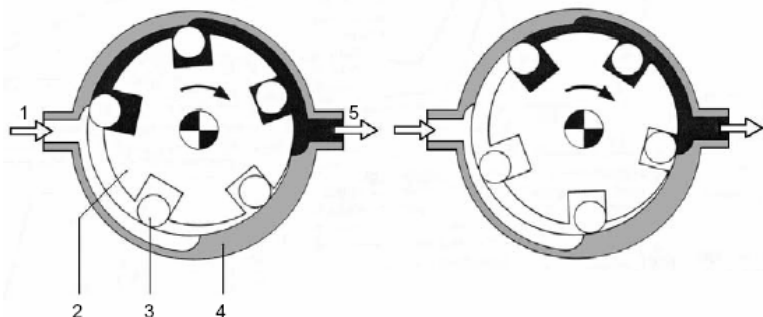


Figura 4.11

Pe periferia rotorului sunt prevăzute degajări ce permit antrenarea roletelor. Forța centrifugă presează roletele spre exterior; acestea funcționează ca o membrană ce se rostogolește.

Pomparea are loc întrucât rotorul excentric cu role formează periodic un volum mărit la intrare și un volum descrescător la ieșire.

După pornirea motorului, pompa funcționează atât timp cât contactul este pus. Un circuit de siguranță oprește pomparea benzinei când aprinderea este conectată dar motorul nu se rotește. În acest mod se limitează riscurile de incendiu, de exemplu în cazul unui accident. Pompa este realizată în construcție etanșă, de tipul fără întreținere.

**Filtrul de benzină** reține toate impuritățile ce pot exista în benzină, înainte ca acestea să ajungă la injectoare. Având în vedere finețea constructivă a injectoarelor, filtrarea de înaltă calitate a benzinei este o operațiune esențială, ce evită decalibrarea dozajelor. Din acest motiv, filtrul este realizat în principal cu hârtie micrometrică cu pori de 10 μm. Durata de utilizare a unui filtru depinde de gradul de impurificare a benzinei.

**Rampa de benzină** asigură alimentarea injectoarelor cu cantități egale de benzină. De asemenea servește ca acumulator: în comparație cu cantitatea de benzină injectată pentru un ciclu motor, volumul rampei este suficient de mare pentru a suprima fluctuațiile de presiune. În acest mod injectoarele ce comunică cu rampa sunt sub o presiune de benzină constantă. Suplimentar, printr-o construcție adecvată, rampa permite montarea și demontarea simplă a injectoarelor.

**Regulatorul de presiune** menține constantă presiunea diferențială dintre benzină și presiunea din galeria de admisie. În acest mod, cantitatea de benzină furnizată de injectoarele electromagnetice este determinată numai de timpul de deschidere a injectoarelor. Principiul de funcționare rezultă din figura 4.12.

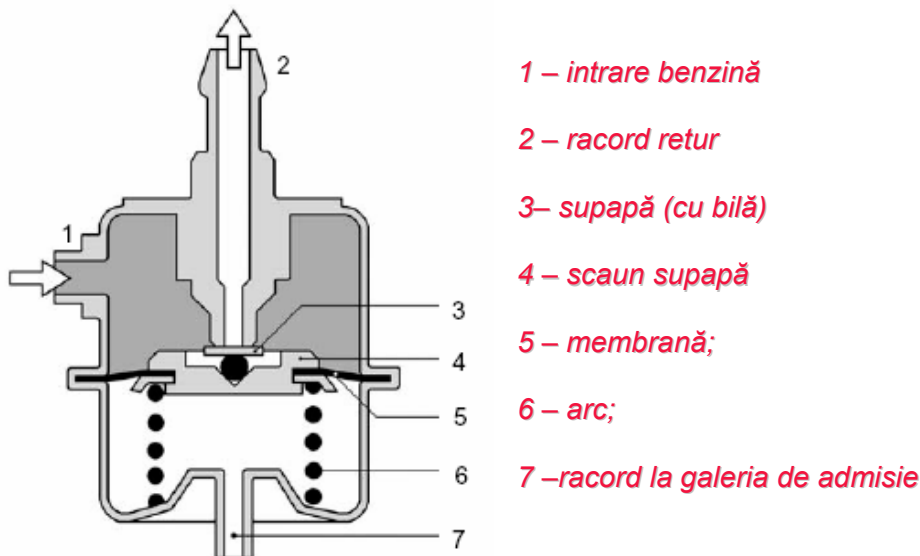


Figura 4.12

Regulatorul de presiune este de tip cu membrană, fiind construit dintr-o carcasă (capsulă metalică), despărțită în două părți de o membrană (5), formându-se astfel o cameră pentru benzină și una pentru arcul ce pretensionează membrana (6).

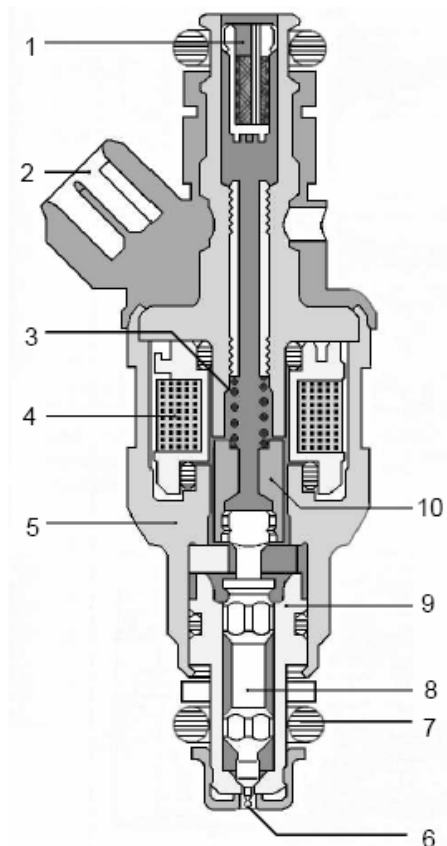
Presiunea ce poate fi controlată ajunge la valori de 2,5 ... 3 bari. Când presiunea fixată este depășită, se deschide o supapă (3), antrenată de membrana, surplusul de benzină fiind transmis printr-un retur (2), înapoi în rezervorul de benzină.

Camera cu arcul de pretensionare este conectată printr-un tub la galeria de admisie, racordul fiind realizat într-un punct situat după clapeta de accelerație.

În acest mod, presiunea de alimentare cu benzină este dependentă de presiunea absolută din galeria de admisie, astfel încât căderea de presiune pe injectoare se menține constantă pentru orice poziție a obturatorului.

**Injectoarele electromagnetice**, controlate electronic, pulverizează benzina dozată cu precizie în poarta supapelor de admisie. Se folosește câte un injector pentru fiecare cilindru (pentru injecția multipunct) sau un injector unic (pentru injecția monopunct). În figura 4.13 se prezintă structura unui injector de tipul celor folosite în sistemele de injecție multipunct.

- 1 – filtru
- 2 – conexiune electrică
- 3 – arc spira
- 4 – înfășurare electromagnetă
- 5 – corp
- 6 – duză
- 7 – garnitură O-ring
- 8 – ac
- 9 – corp supapă
- 10 – armătură mobilă



**Figura 4.13**

Supapele injectoarelor sunt deschise și închise în mod electromagnetic, cu impulsuri electrice furnizate de unitatea electronică de control. Funcție de modul de conectare, injectoarele furnizează benzina în mod simultan, o dată sau de două ori pe un ciclu complet. Cu supapa de admisie închisă, benzina este temporar stocată lângă injector. Când supapa se deschide, benzina este absorbită împreună cu aerul în interiorul cilindrului.

Microcomputerul unității electronice de control calculează timpul de injecție funcție de condițiile de funcționare ale motorului.

Injectorul constă dintr-un corp și un ac antrenat de o armătură electromagnetică. Corpul conține înfășurarea electromagnetului și ghidajul acului. Atât timp cât nu se alimentează înfășurarea, acul este împins pe scaunul supapei de un arc spiral.

Când înfășurarea este alimentată, acul se ridică cu aproximativ 0,1 mm, ceea ce permite benzinei să treacă printr-o deschidere inelară calibrată. Capătul acului are o zonă lustruită profilată ce pulverizează benzina. Timpii de deschidere și de revenire pentru supapă au valorile tipice de 1 ... 1,5 ms.

Montarea injectoarelor în ghidaje se face cu garnituri de cauciuc ce asigură izolare termică, împiedicându-se astfel formarea bulelor de vapori de benzină în interiorul lor. Aceasta contribuie la o pornire satisfăcătoare cu motor cald.

Garniturile din cauciuc asigură de asemenea și protecția împotriva vibrațiilor. Racordarea injectoarelor la rampa de alimentare se face cu ajutorul unor cuplaje cu siguranțe și garnituri O-ring.

Amestecul aer-benzină se formează în poarta supapei de admisie și în interiorul cilindrului. Injectorul electromagnetic pulverizează benzina în cantități precise, calculate de microcomputer, în partea superioară a curentului din poarta supapei de admisie

Când supapa de admisie se deschide, benzina pulverizată este antrenată în interiorul cilindrului. Turbulența de pe durata admisiei și compresiei ajută la vaporizarea benzinei și la formarea unui amestec omogen aer-benzină, cu bune caracteristici de aprindere.

**Amortizorul de pulsații** previne apariția pulsațiilor presiunii benzinei în circuitul hidraulic al injectoarelor electromagnetice. Principiul de funcționare rezultă din figura 4.14.

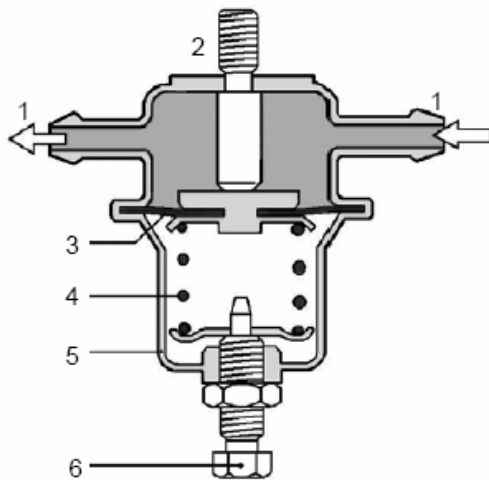


Figura 4.14

1 - racord benzină

2 - șurub de fixare;

3 - membrană

4 - arc spiral

5 - corp;

6 - șurub de reglaj

Amortizorul de pulsații se montează pe returul de benzină, între regulatorul de presiune și rezervor.

Constructiv este similar cu regulatorul de presiune, dar fără conexiunea la galeria de admisie. El reduce fluctuațiile de presiune, suprimând zgomotul provenit din variațiile normale de presiune cauzate de deschiderea injectoarelor sau de funcționarea regulatorului de presiune.

## Dozarea benzinei

**Măsurarea debitului de aer** este o problemă esențială a sistemului de injecție electronică. Cantitatea de aer absorbită de motor este o măsură exactă a sarcinii la care funcționează acesta. Pe baza cantității de aer măsurate și a turației motorului, microcomputerul stabilește punctul optim de aprindere și timpul de injecție corespunzător. Ca și în cazul avansului la aprindere, se face o ajustare a timpului de injecție, funcție de condițiile de lucru ale motorului. Întrucât aerul trebuie să treacă mai întâi prin traductorul de debit, înainte de a ajunge la motor, semnalul despre sarcină precede umplerea cilindrului respectiv. În acest mod se asigură formarea amestecurilor corecte pe durata tranzițiilor (la schimbarea sarcinii).

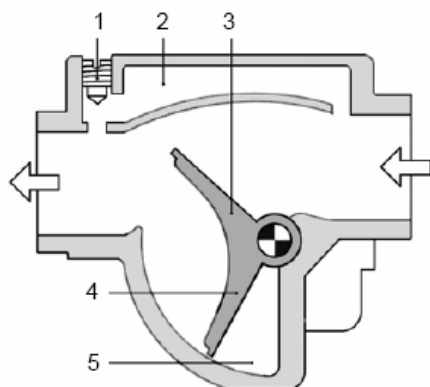


Figura 4.15

**Traductorul debitului de aer** funcționează pe principiul voletului, măsurând debitul total de aer cu mare precizie și furnizând unității de control semnalul despre cantitatea de aer pe unitatea de timp. În figura 4.15 se prezintă schema de principiu a traductorului debitului de aer.

1 - șurub de reglare a amestecului la mers în gol

2 - by-pass

3 - volet

4 - volet de compensare

5 - volum de amortizare

Principiul de funcționare este măsurarea forței exercitate asupra voletului traductorului de către aerul ce trece prin traductor. Contraforța necesară pe volet este exercitată de un arc spiral (calibrat). Pentru un anumit debit voletul este deviat cu un anumit unghi.

Cu creșterea unghiului, secțiunea efectivă de curgere a aerului crește. Pentru a minimiza influența asupra voletului a fluctuațiilor provocate de timpii de admisie de pe fiecare cilindru, este prevăzut un volet de compensare, cuplat rigid cu voletul-sensor.

Fluctuațiile afectează voletul de compensare în mod egal, dar în sens contrar, astfel încât efectul acestora se anulează și la ieșire nu mai afectează măsurarea debitului.

Voletul-sensor antrenează cursorul unui potențiomtru ce transformă unghiul de rotație  $\alpha$  al voletului într-o tensiune de semnal corespunzătoare  $U_s$ , semnalul astfel obținut fiind transmis unității de control. Potențiomtrul este format din opt segmente rezistive de valoare mare. Cursorul și rezistențele sunt calibrate astfel încât  $U_s$  crește cu creșterea unghiului de rotație a voletului.

Potențiomtrul este de tip cu peliculă groasă, pe suport ceramic. Rezistențele și niturile de contact sunt realizate din materiale extrem de rezistente la uzură. Potențiomtrul este proiectat astfel încât să se obțină o dependență liniară între cantitatea de carburant furnizată și tensiunea de pe cursor.

Temperaturile ridicate și modificările bruște ce apar în compartimentul motorului nu afectează acuratețea măsurării debitului de aer întrucât, prin intermediul tensiunii  $U_s$ , unitatea de control evaluează numai rapoartele de rezistențe (practic neafectate de condițiile menționate).

În sistemele recente de management al motorului se folosește din ce în ce mai mult măsurarea debitului masic de aer. Debitmetrele masice de aer bazate pe efect termic reprezintă o abordare favorabilă a problemei măsurării debitului de aer și sunt folosite în soluțiile de control bazate pe măsurarea directă a masei de aer din circuitul de admisie.

Funcție de detaliile de proiectare, ele asigură o măsurare aproape directă a debitului de aer, ceea ce simplifică strategia de control al motorului. Principiul fizic de funcționare se bazează pe ideea îndepărtării prin convecție a căldurii de pe suprafața încălzită (fir, peliculă) de către curentul de aer.

Cantitatea de căldură îndepărtată este măsurată de către circuitul electronic și este proporțională cu debitul masic de aer, așa cum rezultă din următoarea relație, aplicabilă în cazul debitmetrului masic cu fir cald:

$$\Delta P \cong \Delta T [C_t + (2\pi d C_v Q_{ma})^{1/2}]$$

unde:

- $\Delta P$  – modificarea puterii electrice pentru o valoare dată a debitului de aer;
- $\Delta T$  – diferența de temperatură între aer și sensor;
- $C_t$  – conductivitatea termică a aerului;
- $d$  – diametrul firului cald;
- $C_v$  – capacitatea termică a aerului;
- $Q_{ma}$  – debitul masic de aer.

Se observă faptul că primul termen al ecuației nu este proporțional cu valoarea debitului. Aceasta impune, pentru o măsurare precisă a debitului masic, fie o modelare corespunzătoare care să permită îndepărtarea respectivului termen, fie o minimizare a efectului modificării temperaturii aerului ambiant. Circuitele de control pot în principiu să funcționeze pentru a asigura putere constantă elementului încălzit sau pentru a menține o diferență de temperatură constantă între elementul încălzit și mediul ambiant.

O primă variantă este **debitmetrul de aer cu fir cald**. Structura acestui tip de debitmetru se poate urmări în figura 4.16. În interiorul unui tub Venturi este plasat un fir din platină cu o grosime de numai 70  $\mu\text{m}$ . Tubul Venturi de măsurare constă din două jumătăți din plastic. Pe aceste jumătăți sunt montate inelul de fixare al firului cald, rezistorul de precizie și sensorul de temperatură.

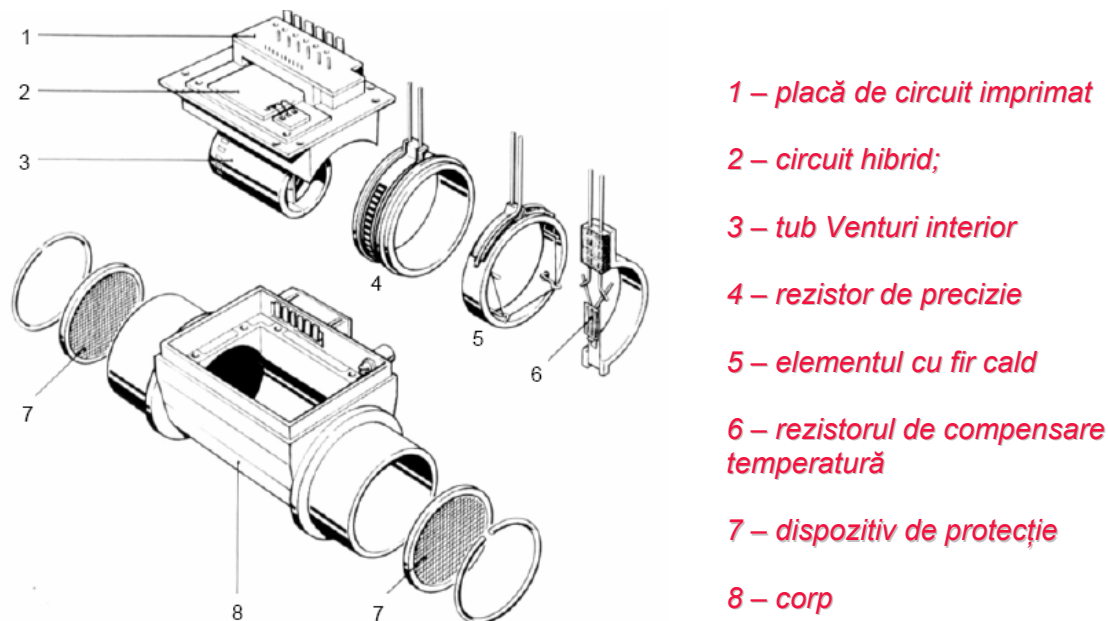


Figura 4.16

Partea electronică este plasată în interiorul corpului. Circuitul hibrid cuprinde o parte din rezistorii punții de măsurare, precum și circuitul de control al auto-curățirii. În proiectare s-a folosit sistemul modular, astfel încât componentele sunt asociate în grupuri funcționale. Debitmetrul masic de aer cu fir cald funcționează pe principiul "temperatură constantă". Firul cald este unul din brațele circuitului în punte (figura 4.17).

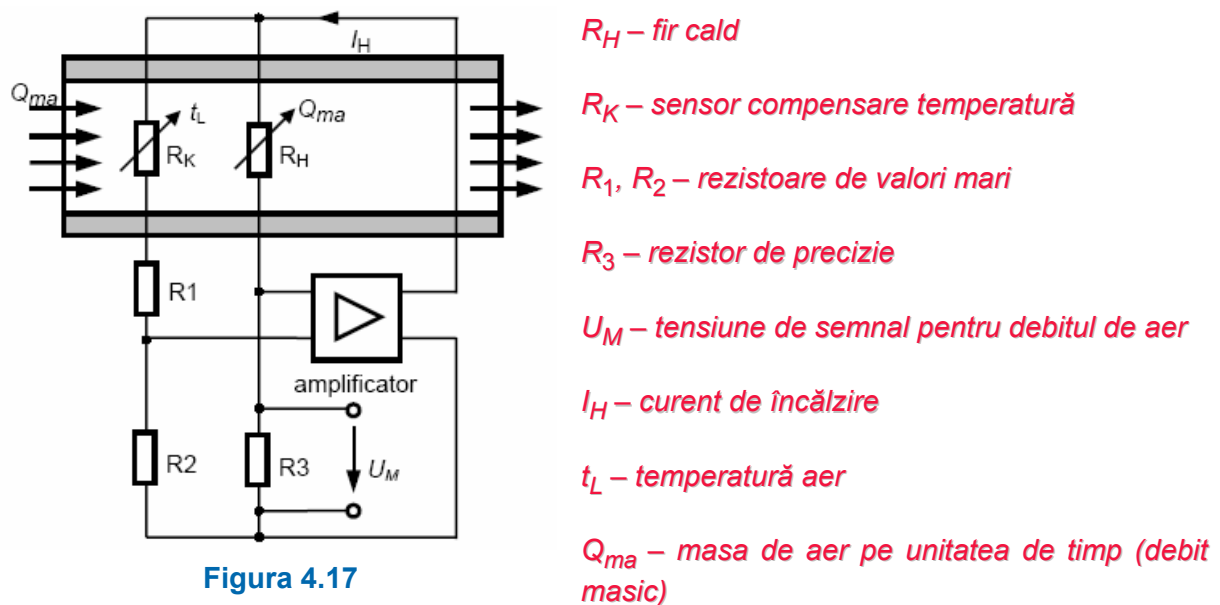


Figura 4.17

Tensiunea pe diagonala punții este menținută la zero prin modificarea curentului de încălzire. Pe măsură ce debitul de aer crește, firul se răcește și valoarea rezistenței firului cald scade. Aceasta modifică relația de tensiune din punte. Circuitul de control corectează imediat această situație prin creșterea curentului de încălzire. Creșterea curentului se produce astfel încât firul cald revine din nou la temperatura inițială. Aceasta asigură o relație bine definită între debitul masic de aer și curentul de încălzire: curentul de încălzire este o măsură a masei de aer absorbită de motor.

Reglajul de menținere la temperatură constantă a firului cald este foarte rapid. Datorită masei reduse a firului, rezultă constante de timp de câteva milisecunde.



Această caracteristică asigură un avantaj major: în eventualitatea unor pulsații ale aerului (pe timpul funcționării la sarcină plină), se măsoară valoarea reală a masei de aer, astfel că se evită erori de tipul celor care apar la debitmetrul cu volet. Eroarea de măsurare se produce numai dacă apare debit invers. Situația se constată la turații reduse și clapeta de accelerație complet deschisă. Totuși, această eroare poate fi compensată folosind mijloace electronice. Curentul prin firul cald este măsurat prin intermediul căderii de tensiune pe un rezistor de precizie.

Valorile rezistenței firului cald și a rezistorului de precizie sunt alese prin proiectare astfel încât curentul de încălzire variază în domeniul 500 la 1200 mA, funcție de valoarea debitului de aer. Pe celălalt braț al punții, curentul reprezintă numai o fracțiune a curentului de încălzire, întrucât aici se folosesc rezistori de valori ridicate. La fel se întâmplă și cu rezistorul de compensare a temperaturii  $R_K$  care are o rezistență în jur de 500 ohmi.

Rezistorul de compensare trebuie să-și păstreze valoarea constantă, să fie rezistent la coroziune și să prezinte răspuns rapid.

Pe baza acestor cerințe, s-a adoptat soluția unui rezistor cu peliculă de platină. Efectul de compensare poate fi ajustat cu ajutorul rezistorului serie  $R_1$  (figura 4.17). Sensorul de temperatură este necesar pentru a compensa temperatura aerului din admisie. Compensarea trebuie să se producă rapid, întrucât efectul temperaturii este pronunțat.

Experimentele au arătat că este necesară o constantă de timp de 3 ms sau mai mică pentru a asigura o dependență corectă între semnalul de ieșire al sensorului și temperatura aerului din admisie.

Acest lucru se poate obține datorită masei reduse a sensorului și a conexiunilor. Întrucât semnalul de ieșire se poate modifica dacă suprafața firului cald se murdărește, firul cald este încălzit la o temperatură ridicată timp de 1 secundă de fiecare dată când motorul se oprește. Prin această acțiune se arde orice impuritate depusă pe firul cald.

O altă variantă de debitmetru masic, bazat pe același principiu, folosește ca element sensibil o **peliculă încălzită**.

Structura debitmetrului masic cu peliculă caldă este prezentată în figura 4.18, iar în figura 4.19 se detaliază modul de realizare a sensorului.

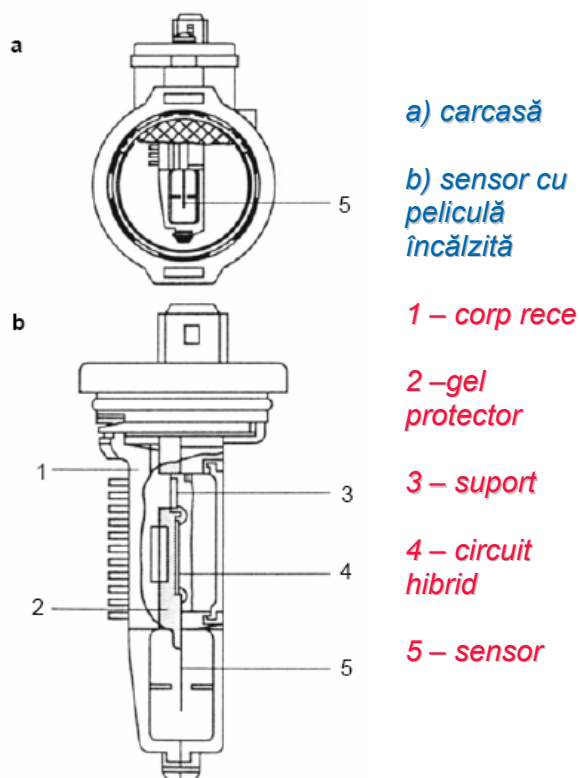


Figura 4.18

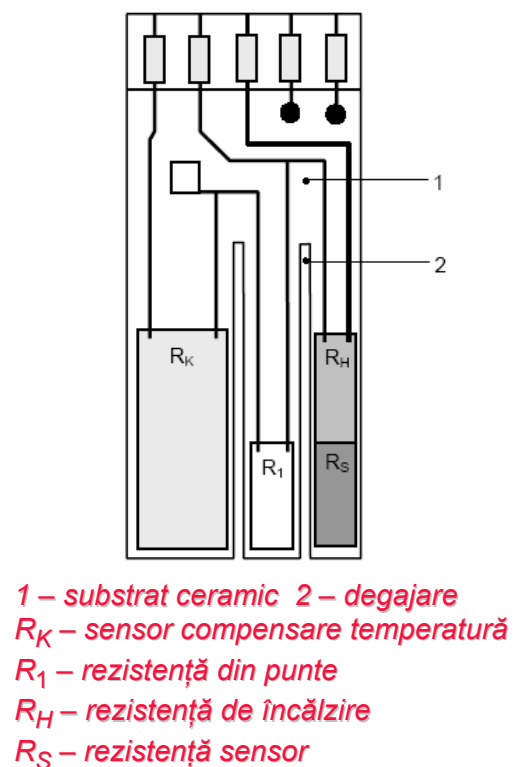


Figura 4.19

În această abordare elementul sensibil este realizat cu peliculă din platină depusă pe un corp de încălzire. Sensorul se găsește împreună cu celelalte componente ale punții pe o placă suport din ceramică. Separarea sensorului pentru debitul masic de elementul de încălzire avantajoasă din punctul de vedere al răspunsului sistemului de reglaj.

Elementul de încălzire și sensorul pentru temperatura aerului din admisie sunt separate din punct de vedere termic cu ajutorul degajărilor din substratul ceramic (cum se poate observa și în figura 4.19). Întreg circuitul electronic se găsește pe același substrat. Tensiunea pe elementul de încălzire este o mărime proporțională cu debitul masic de aer. Aceasta va fi folosită de circuitul electronic pentru a obține semnalul de tensiune necesar în sistemul de control.

Modul de conectare a diferitelor componente în sistemul de măsurare este prezentat în figura 4.20.

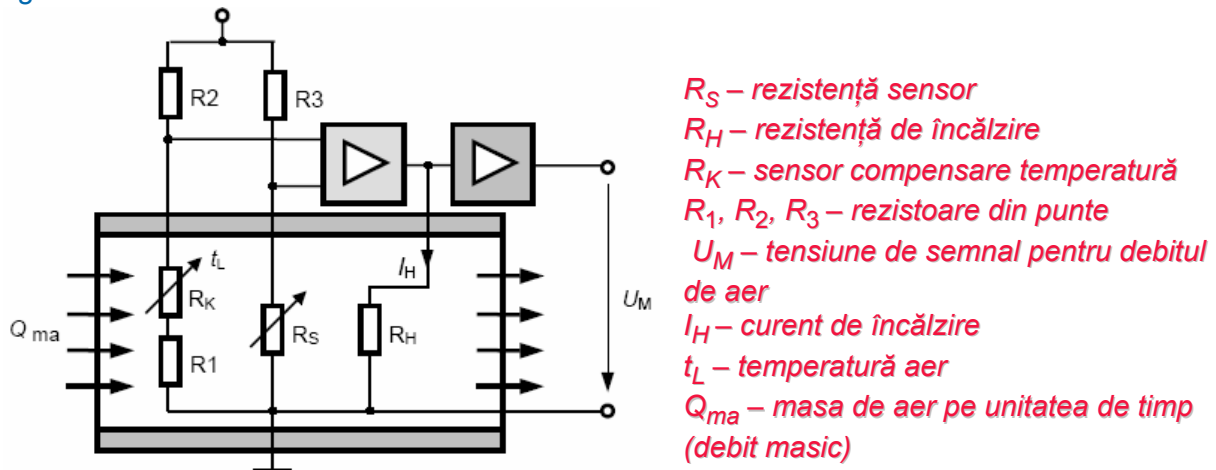


Figura 4.20

Sensorul de acest tip nu necesită curățirea suprafeței peliculei din platină prin supraîncălzire (ardere - cum se procedează la debitmetrul masic cu fir cald). Acest fapt se explică prin aceea că murdăria se depune în principal pe fața expusă curentului de aer.

Cum substratul ceramic este relativ subțire și se plasează cu fața pe care sunt depuse rezistențele paralel cu curentul de aer, cea mai expusă la murdărire este suprafața laterală cea mai îngustă (pe care oricum nu există elemente active pentru procesul de măsurare).

De asemenea spre partea de intrare a aerului în debitmetru se plasează zona pe care este depus sensorul pentru compensarea temperaturii aerului, în timp ce elementul sensibil cu peliculă din platină este în partea opusă, așa cum se poate observa și din figura 4.19, ceea ce face ca pericolul de contaminare să fie și mai redus.

Al doilea semnal important pentru dozarea benzinei este cel despre **turația motorului**. Întrucât benzina este dozată în mod discontinuu, pe fiecare ciclu de bază, turația motorului trebuie măsurată în concordanță cu măsurarea debitului de aer. În acest fel microcomputerul calculează cantitatea de aer pentru o cursă a pistonului sau pe unitatea de timp. Traductorul de turație este de tipul celui folosit pentru controlul aprinderii.

**Procesarea semnalelor** este realizată de microcomputerul unității de control. Acesta calculează durata injecției pe baza informațiilor despre debitul de aer și turație, cu luarea în considerare și a factorilor de mediu. Semnalele obținute controlează etajul final pentru comanda injectoarelor electromagnetice.

Pentru calculul timpului de injecție se folosesc ca bază semnalele despre cantitatea de aer și turația motorului, ce dau o măsură a sarcinii motorului (cantitatea de aer absorbită pe ciclu). În concordanță cu condițiile de funcționare, factorii de corecție afectează valoarea timpului de injecție. În mod suplimentar se utilizează o corecție de tensiune pentru a compensa efectele variațiilor tensiunii de la baterie asupra timpilor de deschidere a injectoarelor electromagnetice.

Principalele elemente ce concură la realizarea dozării benzinei rezultă și din figura 4.21.

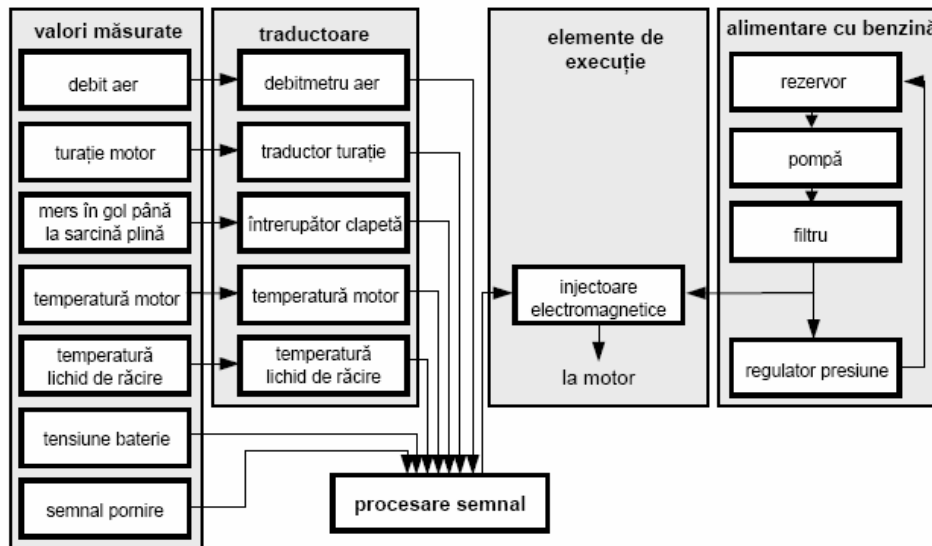


Figura 4.21

Datorită presiunii diferențiale dintre presiunea benzinei și cea din galeria de admisie menținută constantă, timpul efectiv de injecție multiplicat cu constanta injectorului constituie o măsură a cantității de benzină injectată pe ciclu (constanta injectorului este o mărime ce ia în considerare efectele hidrodinamice de curgere a benzinei prin injectorul electromagnetic). Timpul efectiv de injecție este definit ca fiind timpul ce se obține prin scăderea timpilor de deschidere și de închidere ai injectorului din timpul total de comandă (durata impulsurilor electrice aplicate înfășurării electromagnetice).

Modul de determinare a factorilor de corecție rezultă din figura 4.22.

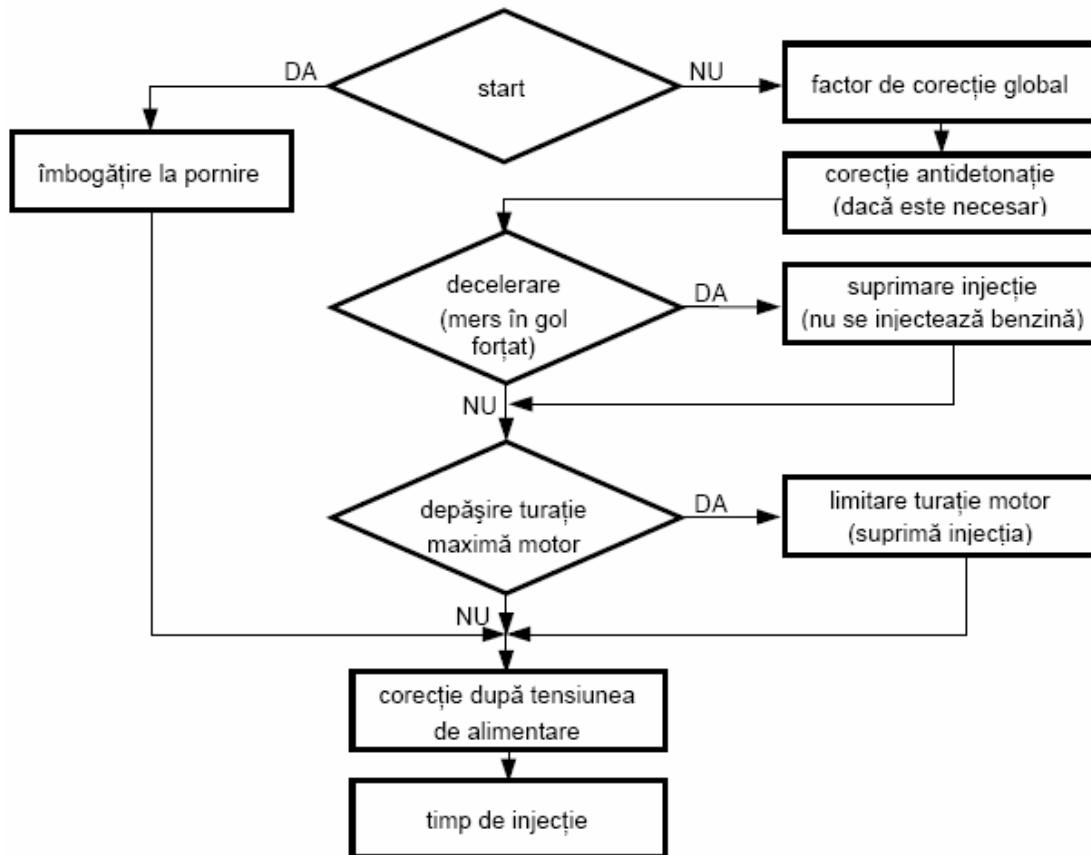


Figura 4.22

Semnalul de sarcină, "cantitate de aer pe ciclu" este calculat, așa după cum s-a văzut, pornind de la semnalele debit de aer și turație motor. Semnalul, la debitmetrul cu volet, nu este însă întotdeauna strict proporțional cu cantitatea de aer.

Abaterile rezultă din variațiile sistemului, cum ar fi cantitățile pulsatorii de aer și diferitele densități ale aerului. Influența pulsațiilor determinate de frecvența de pompare a fiecărui piston justifică ajustarea într-o oarecare măsură a cartogramei Lambda.

Variațiile de densitate ale aerului sunt compensate de către microcomputer cu ajutorul unui factor de corecție dependent de temperatura aerului în admisie și, dacă este cazul, și de presiunea absolută a aerului (corecție altimetrică).

În figura 4.22 se ilustrează procesul de calcul pentru timpul de injecție. Se indică funcțiile speciale corespunzătoare diferitelor regimuri de funcționare. În mod independent de valorile calculate, timpul de injecție are atât limite inferioare cât și superioare.

Sub o valoare minimă a timpului de injecție nu se mai poate forma amestec carburant. Limita inferioară evită prezența hidrocarburilor nearse în evacuare.

Valori mai mari decât limita superioară pot rezulta la scurtcircuitarea potențiometrului debitmetrului de aer, cum ar fi în situația acționării bruște a pedalei de accelerație, ceea ce poate determina o supraîncălzire a amestecului. Valoarea superioară este fixată la un nivel corespunzător funcției de temperatura motorului.

Cel mai bun reglaj posibil al raportului de amestec aer-benzină, pentru orice condiție de funcționare se realizează cu ajutorul unei cartograme Lambda, în unitatea electronică de control.

Cartograma Lambda este memorată în secțiunea digitală a unității de control. O asemenea cartogramă este mai întâi determinată prin probe de stand cu frâna (dinamometrică), apoi optimizată din criterii de economie de benzină, emisii poluante minime și motricitate optimă.

Cu ajutorul cartogramei Lambda este posibilă reglarea dozajului aer-benzină pentru toate condițiile de funcționare în concordanță cu următoarele criterii:

- **consum minim de benzină;**
- **emisii poluante reduse;**
- **motricitate bună;**
- **putere.**

Se poate nota faptul că determinarea unui punct particular de funcționare nu are nici o influență asupra altor puncte. Astfel în situația clapetă de accelerație complet deschisă raportul aer-benzină este controlat pentru întreg domeniul de turații după criteriul cuplului maxim, ceea ce corespunde unui coeficient de exces de aer  $\lambda = 0,85 \dots 0,95$ , cu evitarea detonației. Identificarea acestei situații de funcționare se realizează cu ajutorul întrerupătorului clapetei de accelerație.

La sarcini parțiale, unitatea electronică reglează dozajul pentru a asigura un consum minim de benzină și emisii poluante cât mai reduse.

Pentru mersul în gol, prioritatea este acordată funcționării fără șocuri (mers "rotund").

Suplimentar, cu ajutorul cartogramei Lambda, abaterile de la traductorul debitului de aer pot fi compensate cu precizie în punctul de pe cartogramă unde aceste abateri apar, fără a influența alte puncte de funcționare.

## Adaptarea la condițiile de funcționare

Controlul dozajului trebuie adaptat la condițiile concrete de funcționare.

Astfel, în cazul **pornirii la rece** se injectează o cantitate suplimentară de benzină pentru o perioadă limitată de timp, dependentă de temperatura motorului. Timpul de injecție se modifică în mod corespunzător.

Pe durata pornirii la rece, amestecul aer-benzină devine sărac datorită amestecului slab al picăturilor de benzină cu aerul la turații mici și temperaturi reduse ale motorului, minimei evaporări și considerabilei udări cu benzină a pereților galeriei de admisie și a cilindrilor.

Pentru a compensa aceste fenomene și a facilita pornirea la rece a motorului, trebuie furnizată o cantitate suplimentară de benzină și corectat momentul aprinderii.

Datorită variațiilor rapide ale turației pe perioada pornirii, ce determină lipsa de acuratețe la măsurarea debitului de aer, unitatea electronică de control furnizează pe această perioadă un semnal fix de sarcină. Acest semnal este corelat cu temperatura motorului cu ajutorul unui factor de legătură adecvat.

Injecția benzinei suplimentare de pornire la rece se face fie cu un injector suplimentar de pornire la rece, fie cu un control adecvat de pornire la rece ce acționează asupra injectoarelor electromagnetice de pe cilindri.

Pentru cele mai multe motoare injectorul suplimentar de pornire poate fi eliminat. Injectoarele electromagnetice ale fiecărui cilindru asigură dozajul suplimentar de benzină, cu ajutorul unui control complex al duratei injecției. Pentru a asigura formarea unui amestec cât mai omogen și a evita umezirea bujiilor, injectoarele sunt acționate de mai multe ori pentru o rotație a arborelui cotit. Sistemul controlează durata injecției și, pe baza numărului de ture efectuate și turației, cantitatea de benzină injectată în mod suplimentar.

Reducerea cantității de benzină, inițial mare, începe fie după atingerea unui anumit prag al turației (de exemplu 200 ... 300 rot/min), fie după un număr prestabilit de rotații. Microcomputerul ajustează în mod suplimentar punctul de aprindere pentru a îmbunătăți pornirea.

Punctul optim de aprindere depinde de turația arborelui cotit și de temperatură: cu motor rece și turații reduse, punctul ideal este lângă punctul mort interior (p.m.i.). Dacă avansul este prea mare, peste 10 °RAC (Rotație Arbore Cotit), pot apărea cupluri inverse, pornirea fiind mult mai dificilă, uneori chiar imposibilă.

La turații mari ale motorului, un anumit avans îmbunătățește pornirea. Cu motor cald, cuplurile inverse apar pentru avansuri mai mici decât în cazul motorului rece. Suplimentar, pentru a evita detonația pe durata pornirii, apare ca necesară reducerea avansului în cazul pornirii la cald.

Pe durata **încălzirii**, motorul primește cantități de benzină precis dozate și avans la aprindere corespunzător, valorile fiind dependente de temperatura, sarcina și turația motorului. Îmbogățirea amestecului pe această durată compensează condensarea unei cantități de benzină pe pereții cilindrilor și este corelată cu ajustarea avansului la aprindere. Un avans suplimentar pentru sarcini parțiale îmbunătățește motricitatea pe durata fazei de încălzire.

Pentru **mers în gol constant**, pe durata etapei de încălzire, turația de mers în gol este mărită. În acest mod se asigură o încălzire rapidă a motorului. Un dispozitiv de aer suplimentar, sub forma unui by-pass peste clapeta de accelerație, controlează aerul suplimentar furnizat motorului, pe baza unei dependențe de temperatură.

Funcție de aerul suplimentar se dozează o cantitate corespunzător mai mare de benzină. Controlul aerului suplimentar poate fi asigurată, de exemplu, la sisteme mai vechi de un dispozitiv cu lamă bimetalică, controlat cu ajutorul unei înfășurări de încălzire, așa cum se poate observa și din figura 4.23. Soluțiile moderne folosesc un dispozitiv electromagnetic, controlat electronic (cu impulsuri modulate PWM).

- 1 – conector
- 2 – rezistență de încălzire
- 3 – lamă bimetalică
- 4 – obturator

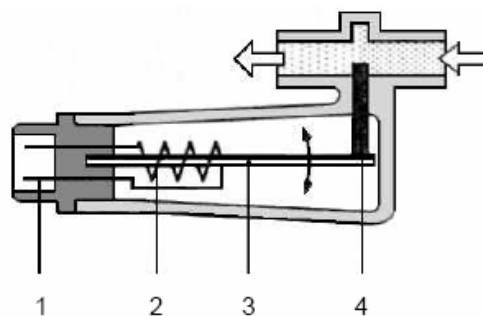


Figura 4.23

Condițiile necesare în faza de încălzire sunt prezentate sub forma unei cartograme. Pe baza sa se controlează îmbogățirea amestecului, funcție de turația motorului și sarcină. Se asigură în acest mod un răspuns bun la accelerație și o motricitate bună. Îmbogățirea pentru regimurile necritice este mai redusă.

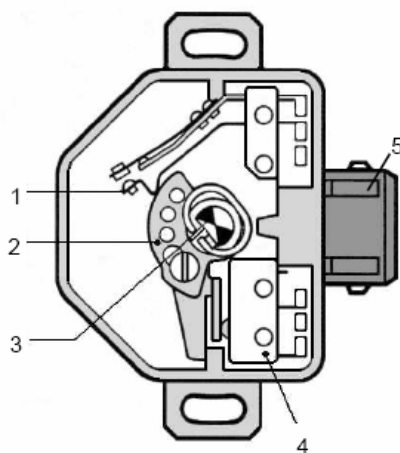
**Sensorul de temperatură** este de tipul rezistor semiconductor cu coeficient negativ de temperatură și se montează în blocul motor la motoarele răcite cu aer și în circuitul lichidului de răcire la motoarele răcite cu apă.

**Mersul în gol** este un alt regim important de funcționare. Parametrii de consum ai motorului sunt determinați în principal de eficiența termică a motorului și de turația de mers în gol. Un amestec prea sărac determină rateuri, deci un mers neuniform și brutal, în timp ce un amestec bogat conduce la un consum excesiv de benzină.

Este important de menționat faptul că peste 30% din benzina consumată de motorul automobilului în trafic aglomerat se datorează mersului în gol. Aceasta justifică menținerea turației de mers în gol cât mai jos posibil. În același timp însă, trebuie să permită menținerea în stare de funcționare a unei instalații încărcate, uneori cu anumiți consumatori semnificativi, cum ar fi: compresor pentru aer condiționat, sarcina unei transmisii automate etc. și toate acestea cu un mers lin, "rotund", fără șocuri sau chiar oprire.

Ca urmare, problema este de a asigura cantitatea de amestec strict necesară pentru a putea menține o turație prestabilită, indiferent de sarcina motorului. Suplimentar, se pot menține niveluri constante ale emisiilor poluante pe durate mari de timp, fără reglarea mersului în gol. Controlul electronic al amestecului stabilizează efectiv turația de mers în gol.

În unitatea electronică de control mai sunt preluate și informații despre poziția clapetei de accelerație. Întrerupătorul clapetei de accelerație sesizează regimurile "mers în gol" și "sarcină plină". Schema de principiu rezultă din figura 4.24.



1 – contact de sarcină plină;

2 – camă comutator

3 – axul clapetei

4 – contact de mers în gol

5 – conexiune electrică

Figura 4.24

Întrerupătorul clapetei este cuplat cu axul clapetei. Cu ajutorul unei came se antrenează un contact pentru mersul în gol la un capăt și un contact pentru sarcină plină la celălalt capăt. Sesizarea celor două regimuri de funcționare este esențială pentru corecta adaptare a dozajului la regimurile de funcționare.

La **sarcină plină** motorul trebuie să furnizeze puterea maximă. În acest caz amestecul trebuie să fie mai bogat decât pentru orice sarcină parțială. Circuitul electronic comandă creșterea timpilor de injecție și prin aceasta îmbogățirea amestecului atunci când se detectează contactul de sarcină plină închis.

Îmbogățirea este dependentă de turația motorului, asigurând suprimarea fluctuațiilor de semnal de la debitmetrul de aer și motorul dezvoltă cuplul maxim posibil pe întreg domeniul de funcționare.

Condiția de cuplu maxim se obține pentru o valoare  $\lambda = 0,9 \dots 0,95$ .

Pe durata **decelerării** blocul electronic comandă completa întrerupere a alimentării cu benzină, chiar și în trafic urban. Cum nu se mai arde benzină, nu mai apar nici emisii

poluante. Întreruperea alimentării cu benzină intră în acțiune cu o anumită întârziere. Aprinderea este întârziată față de momentul normal, ceea ce asigură o trecere lină spre frâna de motor.

În momentul în care turația scade sub o valoare prestabilită, puțin mai mare decât turația de mers în gol, alimentarea cu benzină revine la normal pe durata câtorva cicluri. În acest interval de timp unitatea de control crește avansul la aprindere în mod gradat, pentru a asigura o tranziție lină.

În regim de **accelerare**, unitatea de control asigură o îmbogățire a dozajului. O deschidere bruscă a clapetei de accelerație determină o sărăcire momentană a amestecului. Pentru a asigura un răspuns tranzitoriu bun în acest caz apare necesară îmbogățirea de scurtă durată a amestecului.

Cererea de accelerație este sesizată de unitatea centrală pe baza efectuării unei diferențe între semnalele succesive de sarcină. Dacă se detectează o creștere a sarcinii motorului, ceea ce semnifică o cerere de accelerare, se inițiază îmbogățirea amestecului la un coeficient  $\lambda = 0,9$  în ideea asigurării cuplului maxim.

În timpul fazei de încălzire, îmbogățirea de bază pentru accelerație nu este suficientă, apărând necesitatea unei îmbogățiri suplimentare. Factorul de îmbogățire este dependent de temperatură, descrescând liniar cu temperatura. La deservirea unei cereri de accelerare, coeficientul de îmbogățire scade liniar într-un interval de timp de ordinul secundelor, panta de scădere fiind independentă de temperatură.

Un alt factor important ce trebuie luat în considerare pentru adaptarea controlului injecției îl constituie **densitatea aerului în admisie**.

Astfel, **temperatura aerului în admisie** este măsurată cu un traductor rezistiv (de exemplu cu coeficient negativ de temperatură NTC). Valoarea temperaturii afectează densitatea aerului absorbit de motor. Informația despre temperatura aerului în admisie este utilizată de unitatea de control pentru stabilirea unei corecții a factorului de îmbogățire a amestecului, ceea ce afectează în final timpul de injecție.

De regulă, traductorul de temperatură a aerului din admisie este plasat în interiorul debitmetrului de aer.

Pentru funcționarea corectă a motoarelor în munți de mare altitudine, trebuie ținută seama de reducerea densității aerului ca urmare a scăderii presiunii atmosferice. Corecția necesară, numită **corecție altimetrică**, este special prevăzută în cazul sistemelor de control electronic pentru automobilele ce sunt destinate circulației pe drumuri de foarte mare altitudine.

Necesitatea sa apare din aceea că debitul volumetric (măsurat de debitmetrul de aer cu volet) respectă etalonarea numai pentru debite masice mici. Cum debitul masic se va modifica la scăderea presiunii atmosferice, corecția altimetrică înlătură efectul erorilor ce apar prin scăderea densității aerului.

**Tensiunea bateriei** este fluctuantă și afectează timpii de acționare a electroinjectoarelor. O scădere a tensiunii bateriei va fi compensată printr-o creștere corespunzătoare a timpului de injecție.