

Prelegerea nr. 8

Sistemul de frânare antiderapaj (ABS)

Secvența de control

Când frânele unui autovehicul controlat cu sistem ABS sunt utilizate într-un caz de pericol, presiunea este ajustată în mod automat pentru a preveni blocarea roților, chiar dacă forța de apăsare a pedalei de frână rămâne constantă (și de valoare mare).

Principiul de funcționare al ABS a rămas practic neschimbat din anii '960 până astăzi: să dea și să ia rapid din presiunea frânelor pentru a evita blocarea roților și să exploateze la maximum aderența fiecărui pneu. În graficul din figura 7.11 este descris ciclul de reglare (subdivizat în 6 părți):

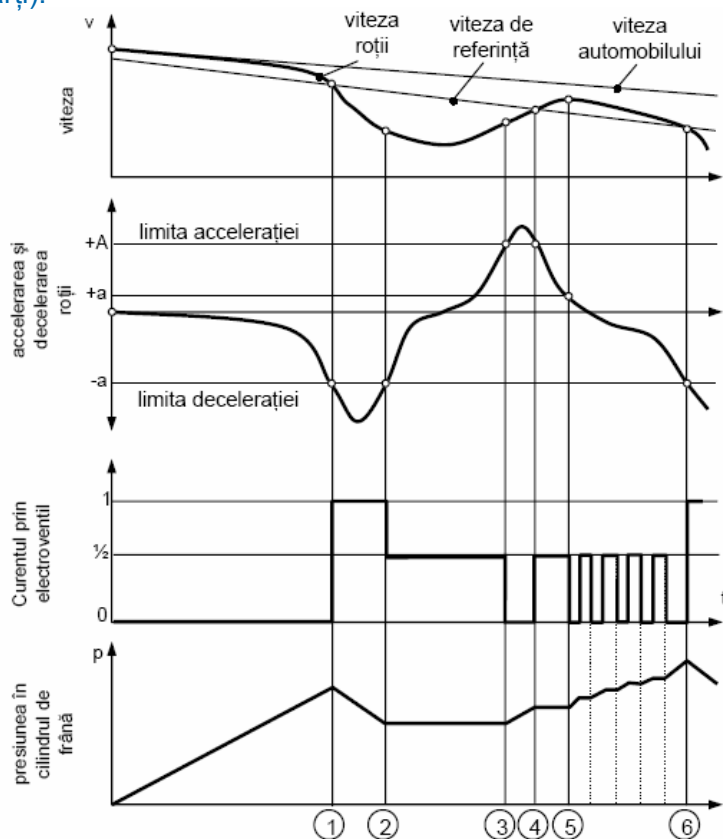


Figura 7.11

- 1) Când decelerarea unei roți depășește o valoare prestabilită (până la momentul ①)
- 2) Electroventilul din modulatorul hidraulic reduce presiunea în circuitul de frânare (între momentele ① și ②)
- 3) Roata își reduce decelerarea la o valoare acceptabilă și electroventilul stabilizează presiunea în circuitul de frânare (între momentele ② și ③).
- 4) În acest punct roata alunecă puțin și unitatea centrală poate restabili presiunea de frânare inițială (între momentele ③ și ④).

- 5) Roata își reia decelerarea (între momentele ④ și ⑤).
- 6) Presiunea este modificată cu o serie foarte rapidă de intervenții ale reglajului (între ⑤ și ⑥).
- 7) Dacă roata are din nou tendința de a se bloca, ABS reia ciclul ca la punctul 1 și așa mai departe (după momentul ⑥).

Modul specific în care acționează modulatorul hidraulic este prezentat în figurile 7.12, 7.13, 7.14. Din aceste figuri rezultă mai explicit și structura reală a modulatorului hidraulic.

În figura 7.12, pistonul distribuitor al electroventilului din modulatorul hidraulic este poziționat astfel încât lichidul de frână, la nivelul de presiune asigurat de pompa centrală, acționează

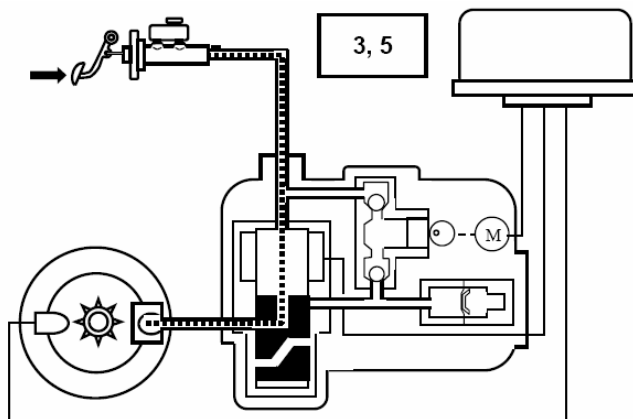


Figura 7.12

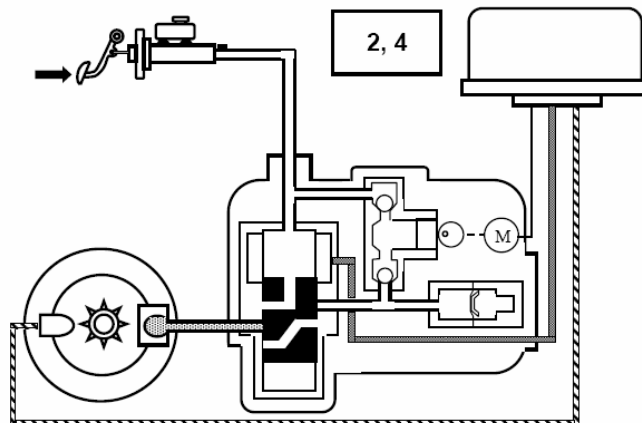


Figura 7.13

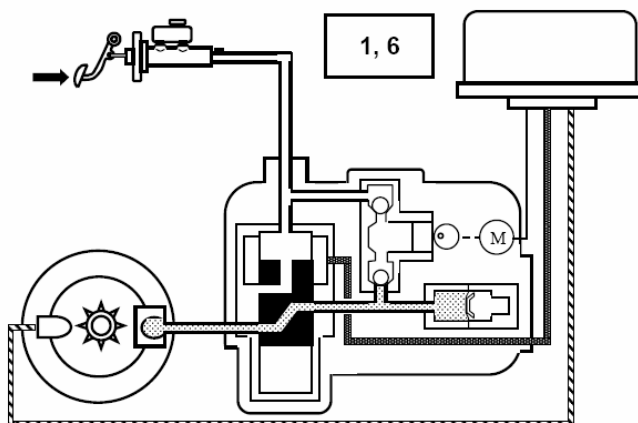


Figura 7.14

direct asupra plăcuțelor de frână, exact ca în sistemul clasic, fără sistem ABS).

Pe diagrama din figura 7.12, această situație corespunde valorii zero a curentului prin electroventil, cum ar fi de exemplu din originea sistemului de axe până la momentul ①, între momentele ③ și ④, de la momentul ⑤ etc.

Momentele de început ale acestei stări conform figurii 7.11 sunt precizate în figura 7.12 prin valorile 3, 5. Aceasta este poziția modulatorului hidraulic ce permite creșterea presiunii din circuitul de frânare și prin aceasta o scădere pronunțată a turației roții.

În figura 7.13, semnalul de la sensorul de viteză de rotație a roții este evaluat de unitatea electronică de control care decide să nu mai permită creșterea în continuare a presiunii din circuitul de frânare, întrucât ar apărea riscul blocării roții.

Ca urmare, înfășurarea electroventilului este alimentată la o valoare a curentului notată $\frac{1}{2}$ în figura 7.11, valoare ce permite poziționarea pistonului distribuitor astfel încât se separă circuitul pompei centrale de circuitul etrierului cu plăcuțele de frână.

Presiunea din etrier se menține constantă, la valoarea din momentul acționării electroventilului. Această situație se întâlnește între momentele ② și ③, ④ și ⑤, etc. precizate în figura 7.11.

În figura 7.13 se precizează momentele de început, respectiv valorile 2, 4 și se sugerează grafic citirea informației de la sensorul de viteză a roții și alimentarea înfășurării ventilului electromagnetic.

În figura 7.14, semnalul de la sensorul de viteză de rotație a roții este evaluat de unitatea electronică de control care constată riscul blocării din cauza unei

decelerări prea mari, respectiv că se depășește limita decelerării.

Ca urmare, înfășurarea electroventilului este alimentată la o valoare a curentului notată 1 în figura 7.11, valoare ce permite poziționarea pistonului distribuitor astfel încât se separă circuitul pompei centrale de circuitul etrierului cu plăcuțele de frână, iar circuitul etrierului se conectează la acumulator, unde lichidul de frână în surplus este stocat temporar.

Presiunea din etrier se reduce și ca urmare turația roții crește. Această situație se întâlnește între momentele ① și ②, după ③ etc. precizate în figura 7.11.

În figura 7.14 se precizează momentele de început, respectiv valorile 1 și 6 și se sugerează grafic citirea informației de la sensorul de viteză a roții și alimentarea înfășurării ventilului electromagnetic la valoarea cea mai mare a curentului.

În final, lichidul de frână stocat în acumulator este recirculat și ajunge în circuitul hidraulic al pompei centrale prin acțiunea pompei acționată de motorul M ce rotește un excentric, care, la rândul său antrenează un piston. Se poate ușor observa modul de lucru al pompei. Când pistonul se deplasează spre dreapta, diafragma pretensionată a acumulatorului împinge lichidul de frână din acumulator și bila inferioară deschide supapa corespunzătoare.

Lichidul de frână este absorbit în spatele pistonului, depresiunea ce apare ducând la închiderea supapei cu bilă din partea superioară.

Când pistonul pompei se deplasează spre stânga, se crează o presiune ce închide supapa cu bilă din partea inferioară și deschide supapa cu bilă din partea superioară.

Lichidul de frână este pompat în circuitul pompei centrale. Acțiunea pompei de recirculare a lichidului de frână este perceput de conducătorul auto prin șocuri ce se simt la pedala de frână.

Așa cum evidențiază graficul din figura 7.15, în cazul frânării pe asfalt uscat (curba A), decelerarea maximă se obține cu o alunecare mică (mai puțin de 20%) a roții și nu cu blocare (100% alunecare).

Conform principiului de funcționare expus, se analizează rezultatul unui test cu un automobil din clasa compactă.

În figura 7.15 se prezintă situația pentru asfalt uscat în linie dreaptă (A) și în curbă (B), pentru gheață umedă (cu cauciucuri de iarnă, respectiv curba C și E). Se prezintă și frânarea pe zăpadă proaspătă (D), unde, odată blocată, roata mai întâi sapă o brazdă și se oprește.

În figura 7.16 se prezintă rezultatele testului din punctul de vedere al distanțelor de oprire. Analizând spațiile de oprire s-ar părea că în trei cazuri ABS mărește aceste spații. Trebuie de aceea să considerăm mai întâi modul în care mașina se oprește fără ABS: cu două roți pe zăpadă și două pe asfalt ud, automobilul s-a răsucit 180° (tête-à-queue).

În curbă, pe asfalt ud, automobilul s-a deplasat în linie dreaptă, părăsind traiectoria impusă. În ambele cazuri sunt evidente consecințele grave ale pierderii controlului asupra vehiculului.

Pe gresie, fără ABS apar semne de derapare. Comportamentul cu ABS este superior, calitatea crescând cu cât viteza de răspuns a sistemului este mai mare. Putem deci trage concluzia că **ABS realizează o distanță minimă de frânare, în condițiile păstrării stabilității și a controlului direcției automobilului.**

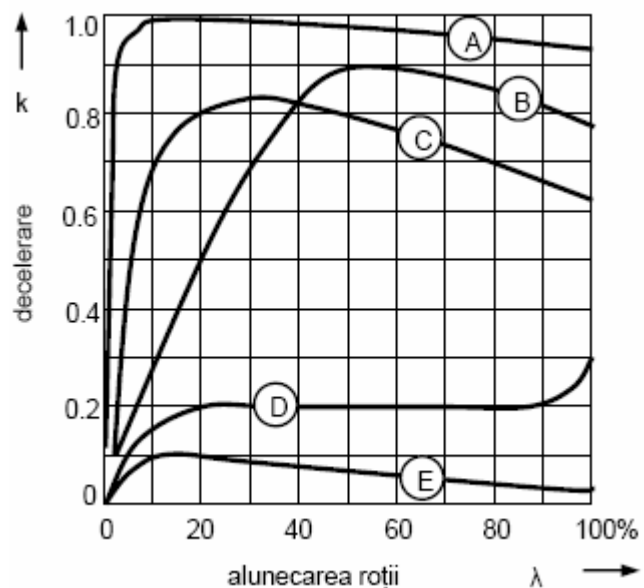


Figura 7.15

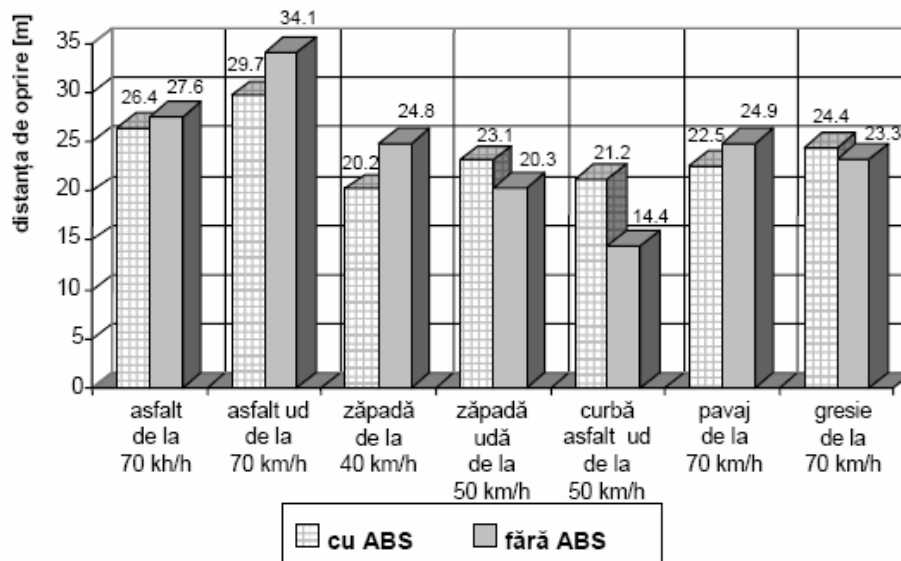


Figura 7.16

Bazele logice ale controlului antiblocare

Structura simplificată a unității electronice de control pentru sistemul ABS este prezentată în figura 7.17.

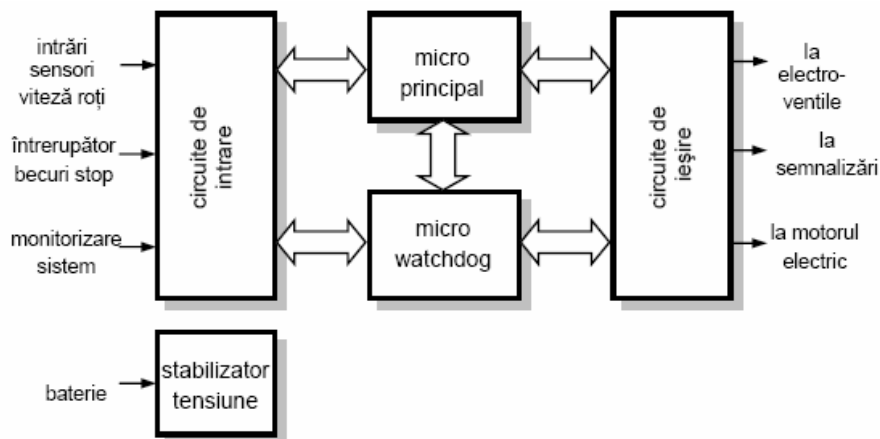


Figura 7.17

Datorită complexității frânării cu sistem antiblocare și a cerințelor privind stabilitatea și păstrarea controlului asupra direcției precum și o valoare bună a distanței de frânare, algoritmul de control al frânării este reprezentat mai simplu ca o diagramă în spațiul stărilor decât ca o schemă de control clasic proporțional-integrator-derivativ (PID).

O diagramă de stare simplificată pentru un canal din sistemul antiblocare este prezentată în figura 7.18.

În această diagramă, un vehicul care nu frânează sau decelerează va fi în starea **FRÂNARE NORMALĂ**. Dacă acțiunea antiblocare este garantată, aceasta se datorează faptului că presiunea de frânare pe un anumit canal a provocat începerea blocării unei roți.

Prima acțiune va trebui să descrească presiunea de frânare (starea **SLĂBIRE**), într-un efort de a permite roții să se reaccelereze.

Controlul fin al presiunii de frânare este indicat prin stările cu etichetele **MENȚINERE SAU ÎNTĂRIRE / SLĂBIRE și CREȘTERE LENTĂ** și controlul cursului este indicat de starea **CREȘTERE RAPIDĂ**.

Controlul cursului este folosit în mod tipic pe durata schimbărilor rapide ale stării suprafeței de rulare, cum ar fi tranziții gheață - asfalt.

Pe durata ciclului antiblocare starea se va schimba, funcție de necesități, pentru a asigura tipul de presiune de frânare și a modifica viteza roții, așa cum s-a văzut în figura 7.11. Odată ce necesitatea acțiunii antiblocare s-a sfârșit, se atinge starea **SFÂRȘIT ANTIBLOCARE**.

Cum această abordare în spațiul stărilor se integrează într-un microcontroler tipic, organigrama este prezentată în figura 7.19.

După **RESET** și **INIȚIALIZARE**, microcontrolerul intră într-o buclă de program **PRINCIPAL** care include verificări extinse ale sistemului și unității electronice de control, precum și calcule ale vitezelor roților, predicția vitezei vehiculului, analiza condițiilor de garantare a acțiunii antiblocare / lege de control în spațiul stărilor și acționările electroventilului și a motorului pompei.

Calcularea vitezelor roților constă în scalarea informațiilor de la senzorii de viteză a roților pentru a căpăta o formă mai ușor de utilizat și poate necesita filtrarea zgomotului datorat oscilațiilor axei, scârțâitului frânelor, influenței altor sisteme electrice. O considerație importantă este aceea că lățimea benzii de accelerare și decelerare a roții este largă, putându-se atinge și o valoare de 50 g.

Predicția vitezei vehiculului este critică pentru multe scheme de control, întrucât turația roții raportată la viteza vehiculului, precum și alunecarea roții, pot fi utilizate pentru a determina acțiunea corespunzătoare a electroventilului. Predicția vitezei vehiculului devine dificilă odată ce roțile încep să se blocheze, întrucât senzorii nu mai sunt indicatori corecți ai vitezei vehiculului.

Metodele folosite pentru a prezice viteza vehiculului odată ce roțile au început să se blocheze constau dintr-un set de reguli ce au fost dezvoltate de producătorii de sisteme antiblocare de-a lungul anilor de experiență pentru a asigura un înalt grad de acuratețe raportată la viteza reală a vehiculului.

Odată ce s-a determinat că starea permite utilizarea în siguranță a acțiunii antiblocare, se analizează condițiile privind turația roților pentru a se stabili starea corectă a canalului. Indicatorii primari pentru majoritatea schemelor de control antiblocare sunt alunecarea roții și decelerarea roții. Un alt factor considerat este efectul asupra stabilității vehiculului atunci când se comandă o anumită stare.

Acționarea electroventilelor sau a motorului electric al pompei este un rezultat direct al deciziei luate de logica de analiză în spațiul stărilor. Dispozitivele de acționare vor rămâne în

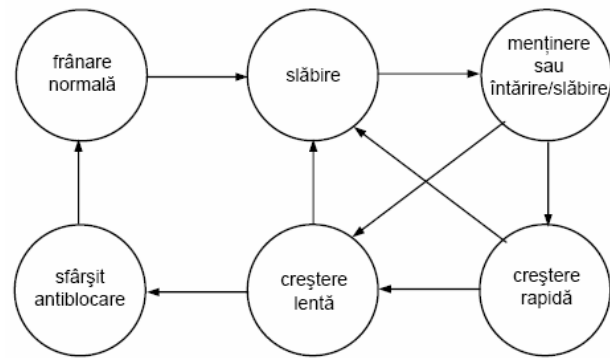


Figura 7.18

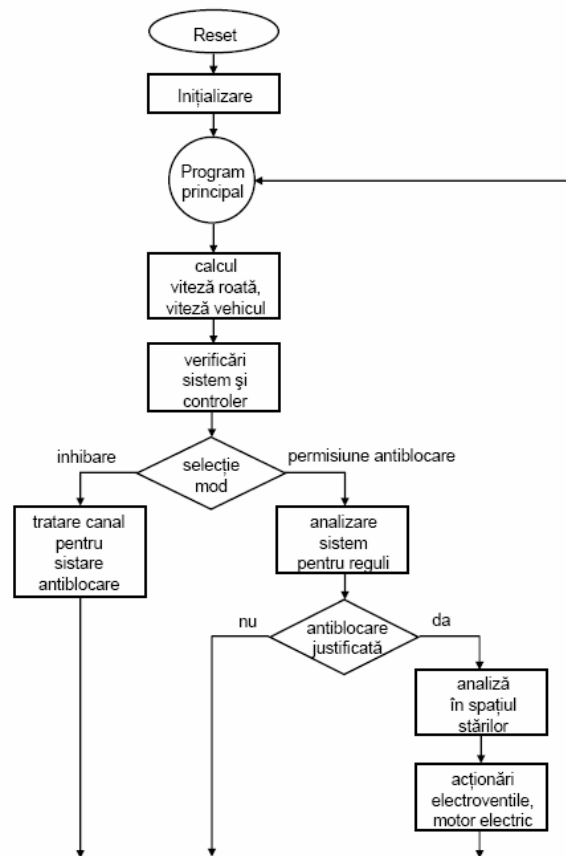


Figura 7.18

mod normal în starea comandată până ce microcontrolerul reface bucla de program (în mod normal câteva milisecunde).

Testarea sistemelor antiblocare a evoluat în decursul timpului. Se includ cele mai comune teste cu automobilul, după cum urmează:

- **Oprire în linie dreaptă;**
- **Frânare în viraj;**
- **Coeficienți de frecare diferiți asociați cu criteriile de stabilitate;**
- **Testări pe suprafețe cu tranziții, incluzând piatră cubică și suprafețe cu coeficienți de frecare scăzut / ridicat și ridicat / scăzut;**
- **Manevră de schimbare bandă de circulație.**

Toate aceste teste trebuie realizate pe suprafețe diverse, la o mare diversitate a vitezelor și cu vehicule încăcate ușor sau greu.

Câteva aspecte economice

Prețul ABS depinde în mod substanțial de numărul de bucăți produse și explozia vânzărilor are deci ca efect reducerea costurilor. Într-adevăr, proiectarea, dezvoltarea software-ului și experimentarea pe un nou model (sau pentru adaptarea unui nou tip de instalație pe o mașină deja în producție) necesită circa un an de muncă. Un producător cum este Continental efectuează 84 de tipuri de încercări diverse înainte de a delibera asupra unei instalații ABS, pentru a garanta funcționalitatea și fiabilitatea în toate condițiile.

Acestea sunt costuri fixe, care în mod logic vor avea o incidență mai mică asupra prețului final dacă vor fi repartizate pe un milion de exemplare produse, decât pe 100.000. De asemenea și scăderea prețurilor pentru partea electronică a avut o influență importantă. Integrarea progresivă a diferitelor componente a redus timpii și complicațiile de asamblare. Pe de altă parte, având mai puține piese, rezultă economie în procesul de fabricație și o fiabilitate mai ridicată.

Eficiența unui sistem antiblocare nu se evaluează numai prin reducerea spațiilor de oprire. Aceste spații nu sunt întotdeauna inferioare cu ABS față de situația frânării cu roți blocate (dar în cele mai multe cazuri sunt), așa cum evidențiază și probele menționate anterior cu automobilul din clasa compactă. Mai important este însă faptul că sistemul antiblocare permite controlul ușor al automobilului, urmărind traiectoria dorită.

Acesta se traduce prin reducerea derapajelor și a pătrunderilor pe contrasens, sau prin posibilitatea de a nu ieși de pe carosabil și de a modifica direcția pentru a evita un eventual obstacol. Cu roata blocată, dimpotrivă, traiectoria este necontrolabilă. Acesta este un pericol grav, chiar mai serios decât cel reprezentat de spațiile de oprire mai lungi cu care se frânează folosind ABS pe unele suprafețe particulare, cum ar fi pe zăpadă proaspătă sau pe un strat de gheață.

Din punct de vedere economic, banii cheltuiți suplimentar pentru dotarea automobilului cu ABS se pot regăsi într-o investiție optimă, din moment ce sistemul reduce probabilitatea de tamponare (sau reduce consecințele unei eventuale ciocniri). Valoarea economisită într-o astfel de situație nedorită poate fi semnificativă, dacă luăm în considerare actualele prețuri la reparații. Pe de altă parte, la vitezele de pe autostradă, o singură frânare cu roțile blocate (de exemplu de la 140 km/h), ce ar putea fi impusă pentru a evita un pericol, provoacă uzura pronunțată a celor patru pneuri. Uzura astfel apărută poate produce vibrații atât de mari încât să facă necesară înlocuirea lor. Numai atât și prețul este comparabil cu un ABS opțional.

8. SISTEMUL DE PROTECȚIE PASIVĂ CU AIR-BAG ȘI CENTURĂ DE SIGURANȚĂ CU PRETENSIONARE

Introducere

În situația în care vehiculul se lovește de un obstacol solid, în virtutea inerției ocupanții sunt aruncați spre înainte. Rezultatele cele mai frecvente sunt răni severe ale capului, gâtului și pieptului.

Într-un sistem de protecție pasivă pasagerii nu intervin cu nimic pe durata acțiunii acestuia.

În eventualitatea unei coliziuni violente a vehiculului, pentru a proteja pasagerii de pe locurile din față, în fața conducătorului auto și a pasagerului din dreapta se umflă niște saci de aer (*air-bag*). Air-bagurile asigură o pernă moale pentru corpul uman, asigurând o preluare moderată a impulsului din momentul impactului. În unele echipamente de protecție pasivă, pentru pasagerul din dreapta se poate folosi un sistem cu dispozitiv de întindere (pretensionare) a centurii de siguranță.

Centurile de siguranță reprezintă primul mod de protecție și trebuie folosit chiar dacă vehiculul este echipat cu air-baguri. În situația unei coliziuni frontale, se estimează faptul că air-bagurile frontale diminuează numărul morților cu circa 25% pentru acei conducători auto care poartă centura de siguranță și cu circa 30% pentru cei care nu o poartă.

Trebuie însă evidențiat faptul că în primul caz baza de referință este mult mai redusă datorită efectului centurii de siguranță, care și singură asigură salvarea multor vieți. Cazurile mortale printre pasagerii din față cu centura pusă se reduc cu circa 15%, iar pentru cei fără centură cu peste 20%. Prin folosirea combinată a centurii cu air-bag, răniurile grave ce intervin în cazul unor coliziuni frontale pot fi reduse cu 65% la nivelul pieptului și până la 75% pentru cap.

Centura de siguranță, un dispozitiv de pretensionare pentru centura de siguranță și un air-bag, folosite împreună, formează la ora actuală cel mai eficient sistem de reținere în eventualitatea unui accident serios.

La viteze ce depășesc 40 km/h centura de siguranță singură nu mai asigură o protecție suficientă. Cercetările privind consecințele accidentelor au stabilit că în 68% din cazuri, un air-bag asigură o ameliorare semnificativă a siguranței. Se sugerează chiar că în situația în care toate automobilele din lume ar fi echipate cu air-bag-uri, numărul anual al deceselor s-ar putea reduce cu peste 50.000.

Metoda ce a devenit cea mai răspândită pentru sistemele air-bag este de a reuni majoritatea componentelor necesare într-o singură unitate. Aceasta reduce volumul de cabluri și conectoare, ceea ce îmbunătățește fiabilitatea. Este de asemenea important să fie prevăzută prin fabricație o anumită formă de monitorizare, întrucât un air-bag nu poate fi testat – el având un singur ciclu de funcționare.

În figura 8.1 se prezintă o configurație de sistem de protecție pasivă cu air-bag pentru conducătorul auto și dispozitiv de pretensionare a centurii de siguranță pentru pasagerul din dreapta, precizându-se principalele părți componente.

- 1 - lampă de avarii (test);**
- 2 - air-bag conducător auto;**
- 3 - dispozitiv de declanșare;**
- 4 - convertor de tensiune;**
- 5 - alimentare de rezervă (de siguranță);**
- 6 - dispozitiv de pretensionare a centurii de siguranță.**

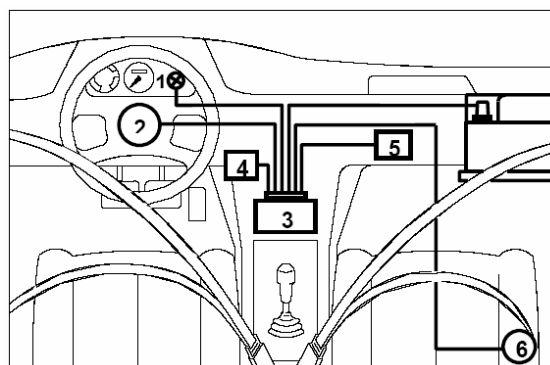


Figura 8.1

Părțile componente și circuitul electronic

Principalele părți componente ale unui sistem complet de protecție pasivă cu air-bag și centură de siguranță cu pretensionare sunt:

- **air-baguri pentru conducător și pasager**
- **lampă de avarii**
- **comutator pentru scaunul pasagerului**
- **dispozitiv pirotehnic de umflare**
- **electrod de aprindere**
- **sensor(i) de distrugere**
- **unitate electronică de control**
- **dispozitive de pretensionare pentru centurile de siguranță.**

Evident, pe diferite modele de automobile se pot găsi combinații specifice de utilizare a air-bagurilor și a dispozitivelor pirotehnice de pretensionare a centurilor de siguranță.

Air-bagul

Air-bagul este realizat dintr-o țesătură din nylon, cu o acoperire pe fața internă. Înainte de umflare air-bagul este pliat sub o suprafață de capitonare, care are prevăzute prin proiectare linii de rupere. Pe părțile laterale ale air-bagului sunt prevăzute fante ce permit dezumflarea rapidă după desfășurare. Air-bagul pentru conducătorul auto are un volum de circa 60 litri, iar air-bagul pentru pasager circa 160 litri. Limitele între care se realizează în mod curent air-bagurile sunt de la 30 la 200 litri, funcție de aplicație.

Lampa de avarii

În circuitul de monitorizare se folosește o lampă de avarii. Aceasta indică un potențial defect și este o parte importantă a circuitului. Unii producători folosesc chiar două becuri pentru o siguranță în funcționare suplimentară. Când se pune contactul, lampa se aprinde și iluminează pentru circa 10 secunde. În acest timp se execută un ciclu de testare. Dacă sistemul este OK, lampa se stinge.

Comutatorul pentru scaunul din dreapta

Se poate folosi și un comutator pentru scaunul de pe partea pasagerului pentru a preveni umflarea air-bagului atunci când locul nu este ocupat.

Sistemele de acționare a sacului de aer sunt disponibile în dimensiuni diferite, conform cu tipul vehiculului și aplicația (conducător sau pasagerul din dreapta). Gazele și amestecurile de gaze folosite pentru aceste dispozitive sunt netoxice. În cele ce urmează se descriu principiile de funcționare pentru diferitele tipuri de dispozitive de acționare.

Dispozitivul pirotehnic de umflare și electrodul de aprindere

Dispozitivul pirotehnic de umflare și electrodul de aprindere pot fi considerați împreună.

Dispozitivul pirotehnic de umflare a sacului de aer. Figura 8.2 este un exemplu de dispozitiv de umflare de tipul pentru conducătorul auto.

Când un curent suficient este transmis în dispozitivul de inițiere (capsă), un filament metalic subțire acoperit cu o încărcătură pirotehnică sensibilă se supraîncălzește și aprinde această încărcătură (a).

Aprinderea capsei furnizează suficientă energie pentru a aprinde o încărcătură de amplificare, a cărei combustie dezvoltă o presiune și temperatură adecvate pentru a declanșa reacția chimică, convertind carburantul solid (generatorul de gaz) în gaz (b).

De obicei prin reacția chimică se obține azot. Gazul rezultat netoxic fierbinte curge de-a lungul unei serii de ecrane, filtre și șicane (tobe de eșapament), răcindu-se înainte de a

părăsi dispozitivul de umflare prin porțile de ieșire localizate în interiorul sacului de aer (c). Durata acestui proces este mai mică de o zecime de secundă.

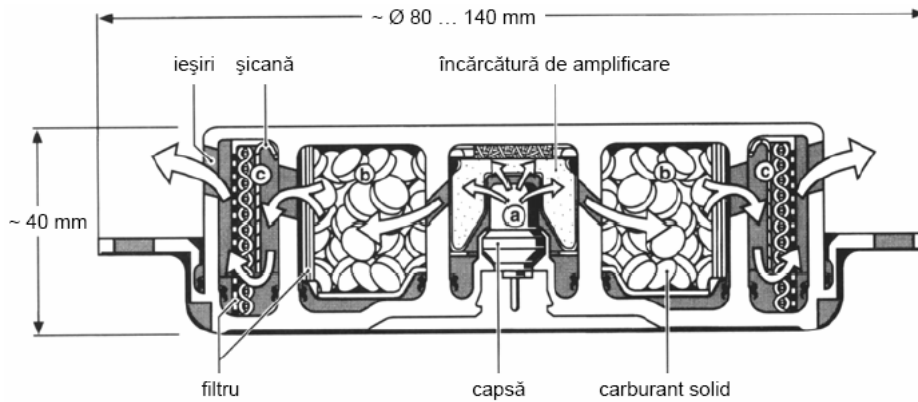


Figura 8.2

După desfășurare, în air-bag și în interiorul vehiculului se va găsi o mică cantitate de hidroxid de sodiu. Ca urmare, personalul trebuie să folosească echipament de protecție atunci când demontează echipamentul vechi și curăță interiorul vehiculului.

Dispozitivul hibrid de umflare al sacului de aer (gaz comprimat și pirotehnic). Figura 8.3 este un exemplu de dispozitiv de umflare de tip tubular pentru pasager.

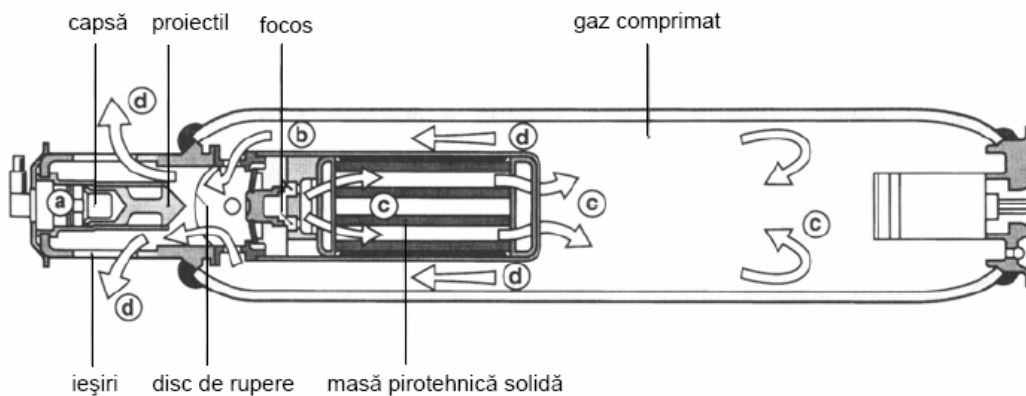


Figura 8.3

Când un curent suficient este transmis prin dispozitivul de inițiere, sau capsă, un filament metalic subțire acoperit cu o încărcătură pirotehnică sensibilă se supraîncălzește și aprinde această încărcătură (figura 8.3 a).

Aprinderea capsei asigură suficientă energie pentru a propulsa un proiectil printr-un disc de rupere, permițând eliberarea gazului netoxic comprimat (figura 8.3 b).

De asemenea, proiectilul ciocnește două focuri, aprinzând o masă pirotehnică solidă, care la rândul său încălzește gazul stocat rămas (figura 8.3 c).

Gazul încălzit în expansiune curge afară din dispozitivul de umflare prin porțile de ieșire localizate în interiorul sacului de aer (figura 8.3 d). Durata acestui eveniment este mai mică de o zecime de secundă.

Câteva aspecte privind reacțiile chimice din generatorul de gaz

Generatorul de gaz a cărui funcțiune este de a umfla air-bagul, conține pastile de culoare albă formate dintr-un amestec de azotură de sodiu NaN_3 , exploziv ce formează combustibilul solid, asociat cu alte două substanțe oxidante, azotatul de potasiu KNO_3 și bioxidul de siliciu

SiO₂. Pastilele de azotură de sodiu și oxidanți se aprind de la un detonator acționat electric cu un impuls corespunzător.

Cele trei componente chimice din amestecul ce formează pastilele de combustibil ale generatorului de gaz sunt:

azotură de sodiu (componentă principală)	NaN ₃	reducător
azotat de potasiu (a doua componentă)	KNO ₃	oxidant
bioxid de siliciu (a treia componentă)	SiO ₂	oxidant

Azotura de sodiu este combustibilul amestecului (carburantul solid). NaN₃ este un compus ionic format din ioni de sodiu Na⁺ și ioni azotură N₃⁻: NaN₃ = Na⁺(N₃⁻).

Cele trei reacții chimice ce au loc în generatorul de gaz al air-bagului sunt următoarele:

reacția 1	2NaN ₃ => 2Na + 3N ₂	reacție de reducere (generare de gaz)
reacția 2	10Na + 2KNO ₃ => K ₂ O + 5Na ₂ O + N ₂	reacție de oxidoreducere (de siguranță)
reacția 3	K ₂ O + Na ₂ O + SiO ₂ => K ₂ Na ₂ SiO ₄	reacție de rearanjare (de siguranță)

În cele ce urmează se prezintă în detaliu fiecare din cele trei reacții ce intervin în funcționarea generatorului de gaz:



Aprinderea azoturii de sodiu NaN₃ (amorsa explozivului, prima componentă a amestecului din pastile) se traduce printr-o deflagrație ce eliberează un volum precalculat de gaz, azot N₂, ce umflă air-bagul. Trebuie să observăm că se formează de asemenea și sodiu solid Na care este potențial foarte periculos, deoarece se aprinde instantaneu în contact cu apa într-o reacție foarte violentă.

Aceasta este rațiunea pentru care azotura de sodiu este amestecată cu alți doi produși oxidanți ce vor permite eliminarea sodiului format, conform reacției (8.2) prezentată mai jos:

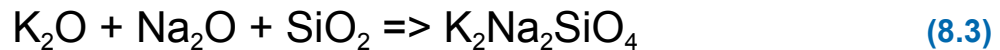


Sodiul Na produs în timpul reacției (8.1) reacționează cu azotatul de potasiu KNO₃ (a doua componentă din amestecul folosit pentru pastilele carburantului solid) și în urma reacției se generează un volum suplimentar de azot gazos, însoțit de formarea a două componente solide: oxid de potasiu K₂O și oxid de sodiu Na₂O.

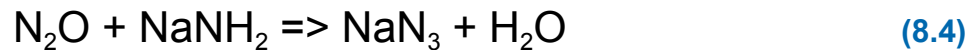
Pentru cazul în care nu tot sodiul degajat din reacția (8.1) a reacționat conform reacției (8.2), generatorul de gaz este înconjurat de un filtru metalic (numit *fiberfrax*) ce reacționează direct cu sodiul Na rămas pentru a-l neutraliza.

În sfârșit, oxidul de potasiu și oxidul de sodiu formați în timpul reacției (8.2) reacționează cu bioxidul de siliciu SiO₂ (a treia componentă a amestecului), pentru a forma o sare dublă de

sodiu și potasiu $K_2Na_2SiO_4$ care este un silicat alcalin, numit și “praf de sticlă” (produs inofensiv, inert și neinflamabil).



Reacția pentru fabricarea azotului de sodiu este următoarea:



Azotura de sodiu se sintetizează pornind de la o reacție a oxidului de azot N_2O cu amidura de sodiu $NaNH_2$.

O problemă care trebuie avută în vedere este reacția violentă de aprindere instantanee a azotului de sodiu în contact cu apa, după cum urmează:



Azotura de sodiu reacționează cu apa și formează acid hidrazoic (hidrogen azid sau azomid) HN_3 și hidroxid de sodiu $NaOH$.

Exemplu de calcul

În continuare se prezintă un calcul care permite evaluarea cantității de azotură de sodiu necesară pentru umflarea unui air-bag. Ne punem problema necesarului de azotură de sodiu pentru a umfla în condiții normale de presiune și temperatură un air-bag cu volumul de 70 litri.

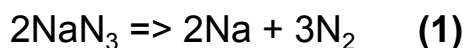
Prin urmare, conform reacțiilor descrise mai sus, pentru a umfla complet air-bagul avem nevoie de azot N_2 care să aibă un volum $V(N_2) = 70,0$ l. În condiții normale de presiune și temperatură, volumul molar al gazului este $V_m = 22,4$ l/mol.

$$V(N_2) = n(N_2) \cdot V_m = n(N_2) \cdot 22,4 = 70,0 \text{ l}$$

de unde:

$$n(N_2) = 70,0/22,4 = 3,13 \text{ mol}$$

dar N_2 este furnizat din două reacții (1) și (2) prezentate și mai sus:



avem deci:

$$\text{cu } n(N_2)_1 = 3/2 \cdot n(NaN_3)$$

$$\text{și } n(N_2)_2 = 1/10 \cdot n(Na)_1 = 1/10 \cdot n(NaN_3)$$

$$\text{deci } n(N_2)_{\text{total}} = 3/2 \cdot n(NaN_3) + 1/10 \cdot n(NaN_3) = 16/10 \cdot n(NaN_3)$$

sau $n(\text{N}_2) = 3,13 \text{ mol}$

de unde $n(\text{NaN}_3) = (3,13) \cdot 10/16 = 1,96 \text{ mol}$

dar N_2 este furnizat din două reacții (1) și (2) prezentate și mai sus:

Se poate deci deduce că $m(\text{NaN}_3) = n(\text{NaN}_3) \cdot M(\text{NaN}_3) = 1,96 \cdot (65,0) = 127\text{g}$, unde $m(\text{NaN}_3)$ reprezintă masa necesară de azotură de sodiu, iar $M(\text{NaN}_3)$ este masa sa molară.

În concluzie, pentru a umfla în întregime un air-bag cu volumul de 70,0 litri (în condiții normale de temperatură și presiune), avem nevoie de 127 g de azotură de sodiu folosită drept carburant solid.