

## **Automatizări în industria vagoanelor de călători**

### **Capitolul 1. Circulația feroviară modernă - scurtă caracterizare**

Transporturile feroviare, deși afectate uneori de diferite crize circumstanțiale, își vor păstra în viitorul previzibil o solidă prezență în viața economică europeană. Făcând o paralelă între transporturile pe calea ferată (CF) și principala sa concurentă, circulația rutieră, vom găsi destule argumente favorabile transporturilor pe calea ferată [32], [33].

În tabelul următor se face o comparație prin indicatori între circulațiile feroviară și rutieră, valoarea maximă a indicatorului de calitate fiind 1.

TABELUL 1

CIRCULAȚIA FERROVIARĂ	INDICATOR		CIRCULAȚIA RUTIERĂ
	CF	auto	
doar pe căi proprii	<b>0,7</b>	<b>1</b>	căi libere, nelimitate
preț scăzut	<b>1</b>	<b>0,9</b>	preț scăzut
capacitate de transport mare	<b>1</b>	<b>0,8</b>	capacitate de transport medie
consum de combustibil f. scăzut	<b>1</b>	<b>0,5</b>	consum mai mare
circulație extrem de sigură, linia protejată contra circulației altor vehicule, întreținere continuă	<b>1</b>	<b>0,7</b>	circulație mai riscantă, calea fiind protejată numai în cazul autostrăzilor
conducere reglementată și normată, personal profesionist, supravegheat medical	<b>1</b>	<b>0,7</b>	conducere nenormată, la latitudinea individului, profesioniști + neprofesioniști
circulație și riscuri neinfluențate de starea meteorologică sau de factori geografici	<b>1</b>	<b>0,9</b>	condițiile meteo și factorii geografici influențează riscurile de accidente
poluare scăzută	<b>1</b>	<b>0,7</b>	importantă sursă de poluare
deosebit de adaptabile la:			adaptabile la:
• tehnologiile de vârf	<b>1</b>	<b>0,9</b>	• tehnologiile de vârf
• energia electrică	<b>1</b>	<b>0,6</b>	• energia electrică
• automatizări electronice	<b>1</b>	<b>0,8</b>	• automatizări electronice

Pentru o distanță de 800 km, parcursă de avion în cca. 2 ore, un tren de mare viteză (TGV) are nevoie de 3 - 4 ore, un tren modern (Inter-City) de 5 - 6 ore iar un automobil de 6 - 8 ore.

Pe lângă avantajele menționate, călătoria pasagerilor pe calea ferată este caracterizată printr-un confort deosebit. În interiorul trenului există libertate de mișcare, restaurant, instalații sanitare, posibilitatea de a dormi în cușete, mijloace mass media și

de telecomunicație, personal însoțitor, etc.. Echipamente speciale asigură iluminarea corespunzătoare și condiționarea aerului.

Tendența generală este de păstrare a căii de rulare clasice roată - șină, dar în condițiile creșterii vitezelor de exploatare până la 300 - 350 km / oră. Noi generații de linii și trenuri de mare viteză se suprapun sau le înlocuiesc pe cele existente, prefigurându-se o rețea europeană de mare viteză. Există deja o experiență solidă în exploatarea trenurilor de mare viteză, concluziile fiind foarte încurajatoare. Făcând o comparație între trenurile de mare viteză și cele convenționale după aceleași criterii ca și cele din Tabelul 1, se constată o superioritate evidentă a transportului de mare viteză. Singurele puncte la care transportul convențional rămâne superior sunt consumul de combustibil (90 % din consumul de la mare viteză) și condițiile mai puțin pretențioase de execuție a căii ferate și a materialului rulant. De fapt, este evident că transportul feroviar de mare viteză *implică o întreagă familie de noi tehnologii*. Datorită acestor tehnologii, deși pare paradoxal, siguranța transportului de mare viteză actual este chiar superioară siguranței transportului convențional (indice de calitate 1 față de 0,95). Pentru România se pune problema atingerii vitezei de 200 km / h.

## **Capitolul 2. Echipamentele din dotarea vagoanelor de călători moderne**

### **2.1 Tablourile electrice de comandă a instalațiilor**

Toate tablourile de comandă, distribuție, manevră și control al aparatului electric și electronice din vagonul de călători sunt de regulă incluse într-un dulap plasat cât mai accesibil, pe unul dintre peroanele vagonului (UIC 550). Ușa lui trebuie prevăzută cu geam iar echipamentele conținute trebuie grupate în două zone, una destinată personalului însoțitor și alta destinată personalului de întreținere. Zona accesibilă personalului însoțitor trebuie să conțină:

- organele de comandă (pornirea și oprirea consumatorilor);
- organele de control și semnalizare a bunei funcționări și a defecțiunilor.

Un microfon pentru sonorizare este plasat tot în dulap, astfel încât să fie accesibil numai prin deschiderea ușilor.

### **2.2 Alimentarea consumatorilor cu energie electrică**

Principala sursă de energie electrică a vagoanelor de călători este linia de înaltă tensiune a trenului, alimentată de locomotivă fie printr-un transformator fie prin diferite

convertizoare cu tiristoare GTO. Prin fișa 552, UIC admite patru tensiuni diferite care se pot transmite prin linia trenului:  $1500 V_{cc}$  (utilizată și în România),  $3000 V_{cc}$ ,  $1500 V / 50$  Hz și  $1000 V / 16^{2/3}$  Hz. Consumatorii pot fi alimentați fie de la linia de înaltă tensiune a trenului (direct sau prin convertizoare) fie de la baterie.

Consumatorii conectați direct la linia de înaltă tensiune a trenului trebuie dimensionați pentru cel puțin una dintre tensiunile admise de UIC, dar nu este necesară echiparea pentru toate cele patru tensiuni. Comutarea consumatorilor și adaptarea la tensiunea existentă pe linia trenului trebuie să se facă automat, printr-un selector de tensiuni. Acest selector trebuie să funcționeze corect în gama 700 ... 3900 V. Dacă tensiunea depășește  $3900 \pm 100$  V instalația trebuie decuplată. Restabilirea alimentării se va face la scăderea tensiunii sub  $3700 \pm 100$  V. Întreruperile de scurtă durată cauzate de pantograf nu trebuie să ducă la comutarea consumatorilor. Pentru evitarea oscilațiilor alimentării se recomandă introducerea unor histereze între pragurile de selectare a tensiunilor sau chiar identificarea tensiunii existente pe linie prin măsurarea frecvenței sale.

Consumatorii conectați direct la linie, în special convertizoarele cu tiristoare, trebuie astfel realizați încât perturbațiile produse să se mențină în limite admisibile, pentru a nu deranja sistemele de comunicație prin linie ale locomotivei. În cazul consumatorilor de curent alternativ factorul de putere nu trebuie să fie sub 0,85.

Fiecare vagon trebuie dotat cu o baterie de acumulare cu tensiunea nominală de 24 V cu scopul de a asigura iluminatul și unele funcții de comandă vitale chiar și în cazul lipsei tensiunii de linie. Bateria trebuie astfel dimensionată încât să asigure 5 ore de iluminat general sau 3 ore de iluminat general în paralel cu funcționarea instalației de încălzire și a altor circuite cu un consum energetic redus. Fiecare baterie trebuie să aibă un convertizor static de încărcare propriu alimentat de la linia trenului. Încărcarea bateriei trebuie pornită imediat după conectarea liniei trenului la tensiune. Trebuie evitată și supraîncărcarea bateriei, în cazul unor perioade prelungite cu consum energetic redus.

Pentru economia de energie și prelungirea duratei de funcționare a bateriei în cazul întreruperii alimentării, se recomandă următoarele măsuri:

- o parte a iluminatului general, inclusiv lămpile de citit, pot fi puse în funcțiune numai când linia trenului este alimentată; decuplarea acestor circuite trebuie însă executată numai după o temporizare de cca. 10 minute;

- ventilația poate fi pusă în funcțiune numai când linia trenului este alimentată; decuplarea ei trebuie însă executată numai după o temporizare necesară pentru răcirea rezistențelor de încălzire;
- consumatorii pot fi deconectați în caz de defecțiune sau dacă rezerva de energie a bateriei scade sub o anumită limită; nu se admite însă decuplarea echipamentului de comandă și de supraveghere și nici decuplarea frânei electromagnetice și a dispozitivului de antiblocare a roților.

O problemă deosebită este asigurarea energiei suplimentare cerută de demararea instalației (convertizoare, motoare, inductivități, capacități, etc.). După o oprire prelungită convertizoarele trebuie să asigure imediat întregul necesar de energie al vagonului, bateriile trebuind să asigure 5 demaraje succesive. Energia necesară demarajelor poate fi luată de la linia trenului, de la baterie sau de la o baterie suplimentară utilizată numai în acest scop. Pentru garantarea demarajelor rezerva de energie a bateriei trebuie asigurată prin dispozitive speciale - relee de temporizare sau relee de minimă tensiune.

La anclanșarea unui consumator prima semiperioadă de curent nu trebuie să depășească 180 A pentru o tensiune alternativă de 1000 V și 16,66 Hz, partea pur inductivă sau capacitivă netrebuind să depășească 40 A. De aceea consumatorii cu un caracter puternic reactiv, cu puteri mai mari de 10 kVA din tot trenul, trebuiesc conectați cu întârziere variabilă unul față de altul, pentru a evita declanșarea disjuncteurului principal de pe locomotivă.

Toate circuitele de joasă tensiune ale instalației electrice, inclusiv bateria, trebuiesc protejate prin siguranțe fuzibile sau automate. În cazul motoarelor trifazate toate fazele trebuie să fie decuplate simultan.

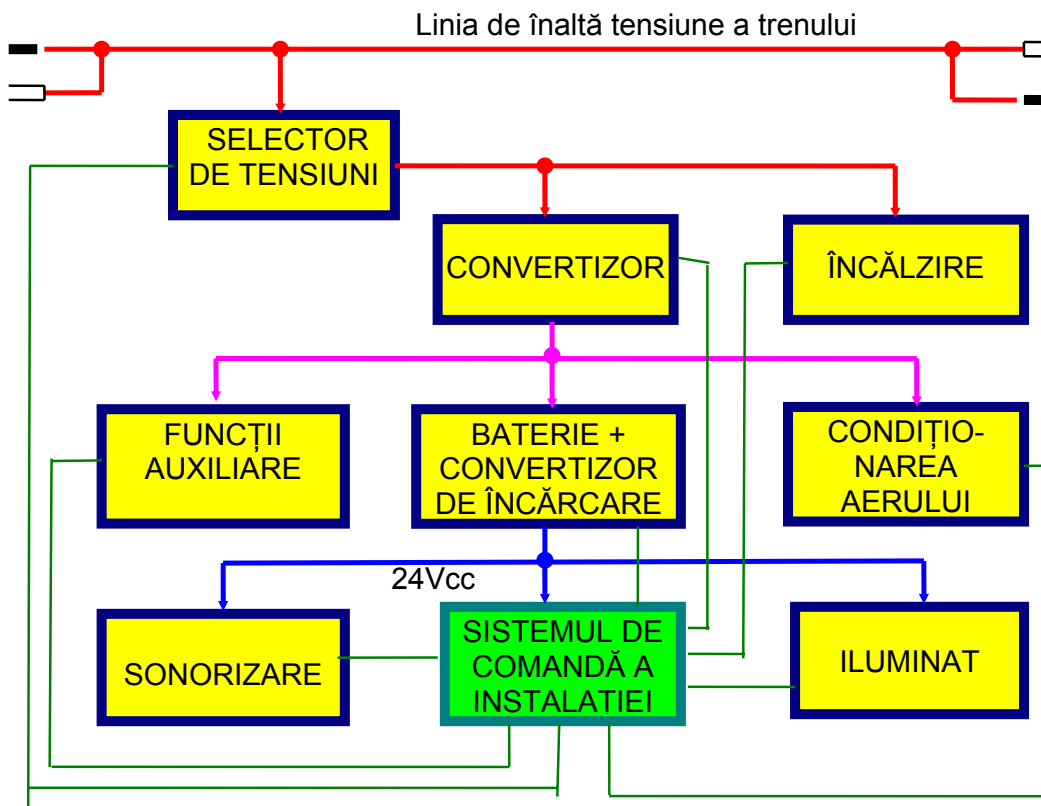


Figura 2.1 Principali consumatori electrici din vagoanele de călători.

### 2.3 Frâna și dispozitivul antiblocator de comandă a frânei

O problemă specifică vagoanelor de mare viteză este ridicată de frânare. Frânele clasice, cu saboți, sunt acționate pneumatic, dar pentru viteze mai mari de 160 km/h devine obligatorie suplimentarea lor cu frâne disc sau electromagnetice, tip patină [1]. În cazul vagoanelor motorizate se pot utiliza diferite combinații de frâne pneumatice, electromagnetice și recuperative [21].

Fiecare osie a vagonului trebuie dotată cu câte un dispozitiv antiblocator, independent, cu rolul de a evita blocarea roților în timpul frânărilor, blocare care ar avea efecte deosebit de negative asupra distanței de frânare și asupra uzurii roților și a liniei (UIC 541). Traductoarele instalate pe osii sunt de obicei senzori de proximitate inductivi [22], [23] sau mai recent, traductori optici incrementali, care pot rezista vibrațiilor și șocurilor care caracterizează sistemul roată-șină. Dispozitivul antiblocator trebuie să fie eficient pentru orice condiții de mediu. Din acest motiv se admite aplicarea mai multor criterii de reglare, pentru obținerea unei reglări adaptive [1]. Funcționarea dispozitivului antiblocator depinde de vitezele de acționare ale elementelor de execuție, care este critică mai ales în cazul frânelor pneumatice, mai lente decât cele electromagnetice.

În figura 2.2 se prezintă o configurație tipică de frână pneumatică dotată cu antiblocator electronic.

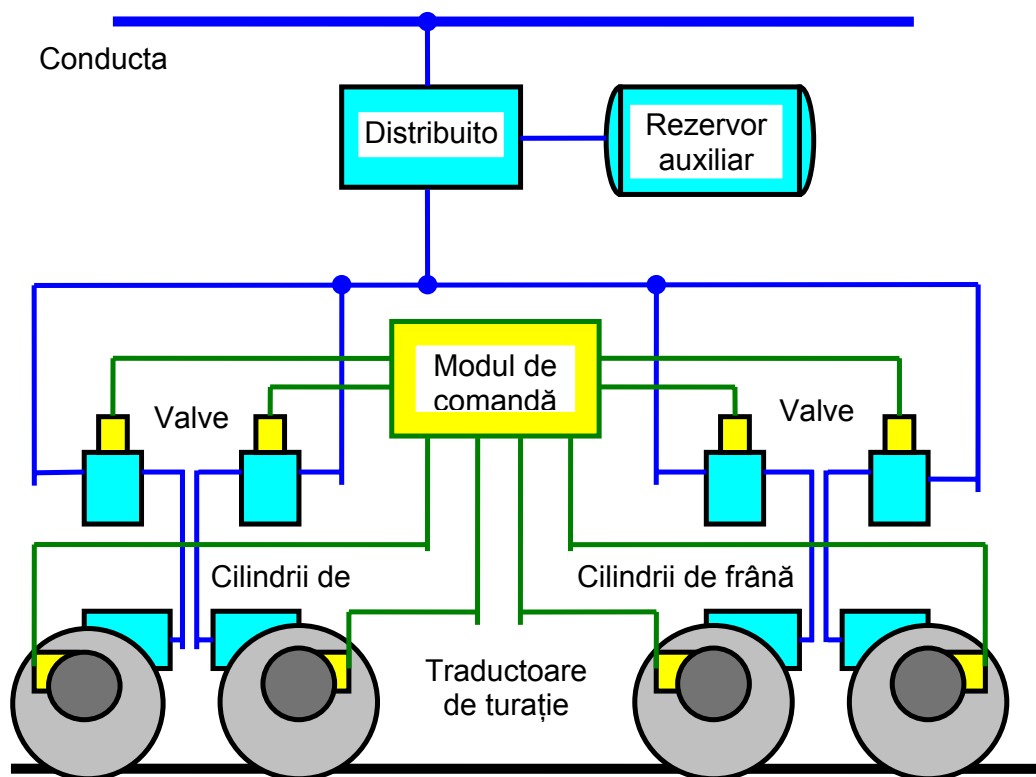


Figura 2.2 Frână pneumatică cu antiblocator electronic.

O prezentare mai amănunțită a sistemului de frânare și a dispozitivelor antiblocatoare este făcută în capitolul 4.

## 2.4 Ușile de acces și de intercomunicație

Comandarea deschiderii automate a ușilor de acces se poate face prin butoane sau prin mânierele ușii (UIC 560). Acționarea ușilor se face fie pneumatic fie electric. Când la închidere ușile întâlnesc un obstacol, pentru protejarea pasagerilor trebuie luată una dintre următoarele trei măsuri:

- redeschiderea imediată a ușilor și reluarea închiderii numai după 10 secunde;
- neutralizarea acțiunii de închidere pentru o perioadă de 10 secunde;
- continuarea închiderii numai dacă forța de închidere este mai mică de 150 N.

Pentru telecomandarea închiderii ușilor se vor utiliza firele 9 și 12 ale cablului de sonorizare definit prin fișa UIC 568. Închiderea automată a ușilor poate fi comandată și

local, la cca. 10 secunde de la ultima trecere a unui pasager. Sesizarea prezenței pasagerilor se realizează cu ajutorul unor fotorelee sau prin traductoare instalate în pragurile vagonului [9].

Când viteza trenului depășește 5 km/h ușile de acces trebuie blocate automat, pentru a se evita orice posibilitate de deschidere a lor în timpul mersului. Fiecare vagon trebuie să dispună de propriul dispozitiv de blocare dar este recomandabil să existe și un dispozitiv central care să permită blocarea ușilor de acces de pe partea opusă peronului, în cazul opririi în gări și chiar blocarea tuturor ușilor în cazul staționărilor în afara gărilor. Deblocarea automată a ușilor trebuie să se producă înainte de oprirea trenului, imediat după scăderea vitezei sub 5 km/h. În zona fiecărui peron de la capetele vagonului trebuie să existe câte un dispozitiv de urgență pentru anularea blocării ușilor din întregul tren.

Comandarea ușilor de intercomunicație se face asemănător, fără a fi însă necesară nici telecomandarea nici blocarea ușilor.

## **2.5 Ventilația, încălzirea și climatizarea vagoanelor**

Fiecare vagon din traficul internațional trebuie dotat cu un sistem de condiționare a aerului (UIC 553) care trebuie să asigure o serie de parametri de temperatură, umiditate, curenți de aer, etc. Valorile impuse pentru temperatura și umiditatea din compartimente sunt cuprinse între 20 ... 27°C respectiv între 35 ... 65% (vezi și pct. 5.2). Funcționarea sa trebuie să fie complet automată iar elementele de încălzire trebuie protejate prin dispozitive separate, prioritare, pentru evitarea supraîncălzirii lor.

În figura 2.3 sunt prezentate elementele generice ale instalației.

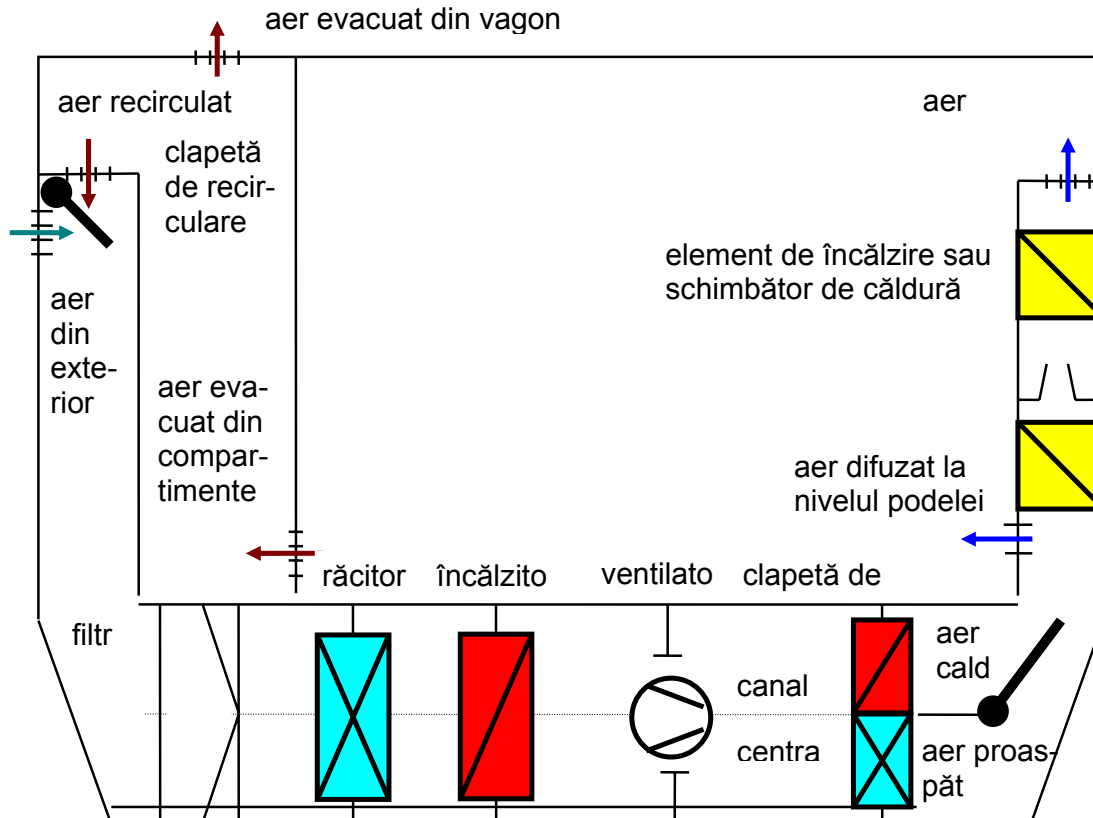


Figura 2.3 Elementele instalației de condiționare a aerului din vagon.

Alimentarea instalației de condiționare a aerului se realizează în general prin tensiuni trifazate create cu ajutorul convertizoarelor statice. Ventilatoarele antrenate prin motoare asincrone pot fi astfel alimentate la tensiuni trifazate cu amplitudine și frecvență variabile, rezultând o reglare continuă a debitului de aer. Agregatul de răcire poate funcționa cu o putere reglabilă, fie în trepte fie continuu. Aerul climatizat este distribuit în întregul vagon printr-un canal având guri de aerisire în fiecare compartiment și în celelalte zone ale vagonului. Se crează un circuit, o mare parte a aerului fiind recirculat în vederea economiei de energie. Aerul proaspăt poate fi dozat printr-o clapetă de amestec. Un model matematic al acestui sistem este prezentat în capitolul 5.

O noutate în acest domeniu o reprezintă sistemele cu fluid intermediar [18] care permit o deosebită flexibilitate a configurării instalației (coexistența răcirii cu încălzirea, etc.), necesitând și o cantitate mult mai redusă de agent frigorific. Agregatul de răcire propriuzis este în acest caz încorporat într-un circuit intermediar având ca agent un amestec de apă, alcool și anumiți aditivi.



## 2.6 Diagnosticarea automată a echipamentelor vagoanelor de călători

O funcție relativ nouă a sistemelor de comandă din vagoane, având un rol de integrare și de supervizare a tuturor echipamentelor componente, este *diagnosticarea automată*. Conform fișei UIC 557 toate vagoanele de pasageri din traficul internațional trebuie dotate cu echipamente de diagnosticare capabile de a detecta cât mai rapid și cât mai complet orice defecțiune, de a identifica cel mai mic element interschimbabil care s-a defectat, de a afișa diagnosticarea pentru operatorii umani, de a comunica cu alte echipamente similare și de a memora rezultatele diagnosticării în vederea utilizării lor ulterioare.

Tendința generală este ca prin comenzi microprogramabile să se rezolve și alte sarcini, cum ar fi monitorizarea procesului, determinarea frecvenței defectelor, determinarea circumstanțelor defectelor și atenuarea efectelor defecțiunilor.

În fișă se propun două arhitecturi pentru sistemele de comandă prevăzute cu diagnosticare:

- în cazul în care se dispune de un singur calculator, acesta preia atât comanda instalațiilor vagonului cât și diagnoza;
- în cazul în care sunt disponibile mai multe calculatoare, se organizează o rețea proprie a vagonului gestionată de un singur calculator central; conducerea instalației se realizează la nivel local, pentru fiecare funcție în parte.

Caracterizând pe scurt cele două arhitecturi propuse putem conchide că prima dintre ele este mai economică, dar pe de altă parte mai puțin performantă. Centralizarea excesivă împieteză asupra vitezei de lucru în cazul fiecărui proces în parte și de asemenea asupra fiabilității și mentenabilității. O defecțiune a calculatorului poate antrena blocarea întregii instalații. Dezavantajele menționate sunt înlăturate în cazul variantei a doua, dar realizarea unei rețele care să prezinte o fiabilitate foarte bună și o funcționare în regim de perturbații presupune echipamente deosebite, realizate în condiții tehnologice de vârf și cu un preț ridicat.

Se poate imagina o soluție intermediară obținută prin introducerea între calculatorul principal și procesele conduse a unui nivel suplimentar, alcătuit din mai multe module microprogramabile de tipul *automat programabil* sau *microcontroler*. Aceste module sunt distribuite în vagon, în imediata apropiere a proceselor conduse. Astfel unitatea centrală va fi degrevată de conducerea efectivă a proceselor, asigurând numai coordonarea sistemului și comunicarea cu magistrala trenului. Conducerea proceselor va avea loc independent, menținându-se în funcțiune chiar și în cazul ruperii legăturii cu

calculatorul central. Mai mult, dacă modulele sunt identice din punct de vedere hardware, ele devin interschimbabile prin simpla comutare a programului de funcționare, rezultând o mentenabilitate excepțională a sistemului. Un alt avantaj al arhitecturii *modulare-distribuite* este reducerea volumului de cablaj, informațiile referitoare la conducerea directă a proceselor nemaitrebuind să fie transmise calculatorului central. În figura 2.4 este prezentată o structură modulară-distribuită de sistem de comandă al vagonului de călători.

Diagnosticarea automată, în forma ei cea mai simplă, furnizează codurile numerice ale defecțiunilor constatate, prin afișaje cu 7 segmente. Pot fi utilizate și afișaje LCD sau tuburi catodice. Operatorul dispune de taste prin care poate iniția un dialog pentru detalierea informațiilor. Tablourile electrice trebuiesc dotate cu un conector destinat conectării echipamentelor portabile de testare, care se utilizează la revizia vagoanelor. Foarte des utilizată este înregistrarea defecțiunilor prin memorii semiconductoare sau dischete.

Autorul acestui referat a atacat problema diagnosticării automate a instalațiilor electrice a vagoanelor de călători încă din 1986, prin realizarea unui dispozitiv portabil, bazat pe automatul programabil AP MICRO (Automatica) [37]. Ieșirile de tip releu și intrările acestui automat programabil sunt conectate printr-o cuplă de testare la tabloul electric de comandă a încălzirii și ventilației al vagonului cod 209. Prin injectarea unor semnale de comandă care provoacă anclanșarea releelor și contactoarelor și urmărirea cu ajutorul intrărilor de  $24 V_{cc}$  a răspunsurilor tabloului se poate depista oricare dintre elementele defecte și se poate stabili natura defectului (lipsa alimentării sau defecte de contact, indicându-se contactele în cauză). Din păcate în România nu s-a ajuns încă la aplicarea vreunei metode de diagnoză automată, din cauza lipsei de interes a CFR. Mai mult, chiar vagonul CORAIL, a cărui licență a fost cumpărată în ultimii ani, nu corespunde integral cerințelor UIC, nedispunând de un sistem de diagnosticare centralizată. În schimb fiecare componentă a instalației (dispozitivul antiblocator, ușile de acces, convertizorul trifazat, etc.) dispun de propria diagnoză, prin indicarea codurilor numerice ale defecțiunilor constatate. Convertizorul trifazat se distinge, printr-un dispozitiv de diagnosticare automată care indică modulele defecte [7].

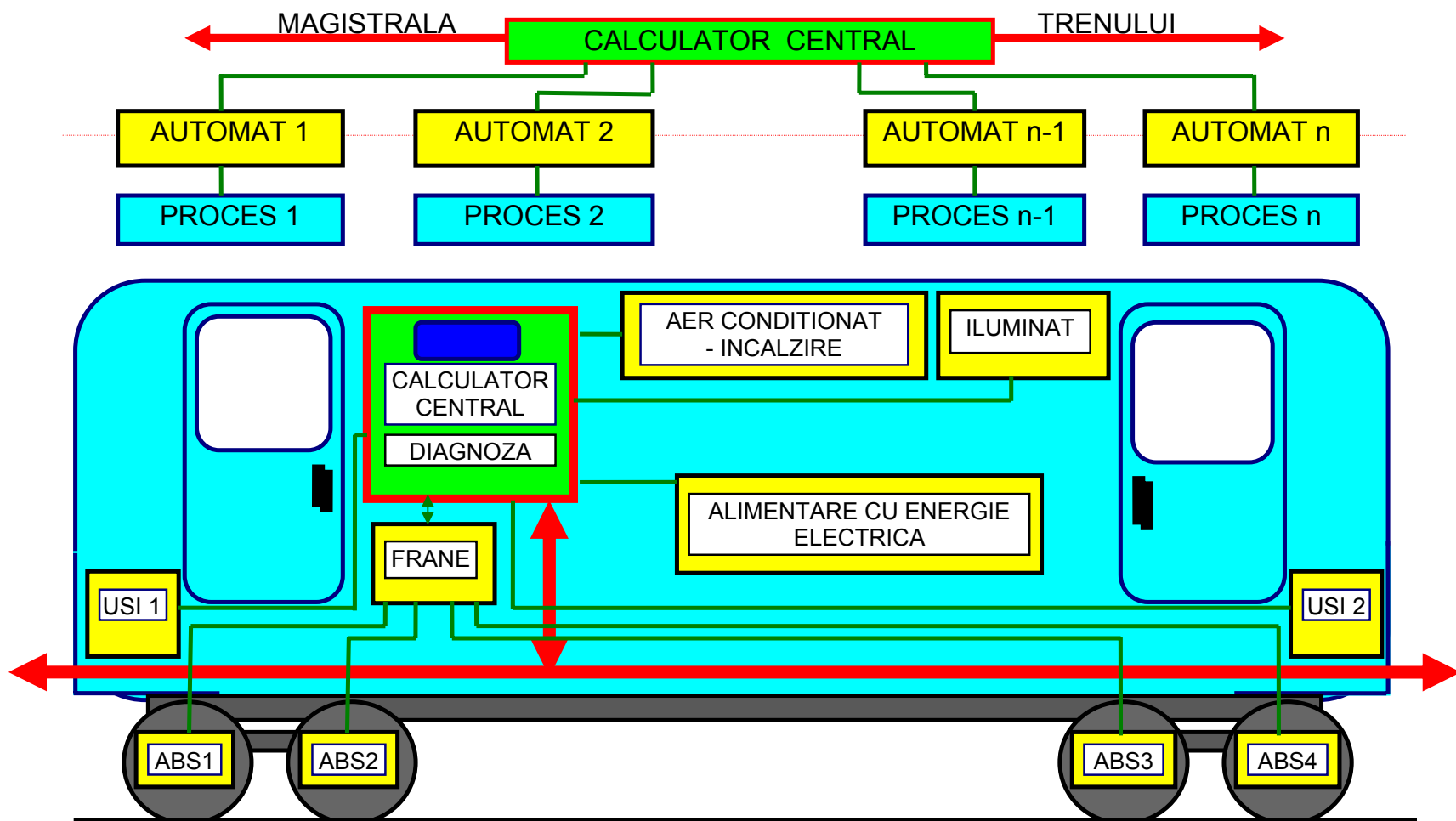


Figura 2.4 Arhitectura unui sistem de comandă și diagnoză modular distribuit pentru vagoanele de pasageri.

Un mare procentaj de evenimente nedorite apărute în timpul exploatării vagoanelor de călători se datorează scurtcircuitelor apărute în sistemul de cablare. Cea mai eficientă măsură împotriva acestor scurtcircuite este utilizarea releelor automate de protecție. Instalația electrică a vagonului trebuie izolată în totalitate față de carcasa metalică, chiar și pentru circuitele de joasă tensiune. Scurtcircuitele care se produc prin carcasă pot fi evitate prin măsurarea rezistenței de izolație dintre circuitele protejate și carcasă și decuplarea automată în cazul scăderii rezistenței de izolație sub o valoare critică. În România au fost brevetate astfel de releee atât pentru cazul circuitelor de  $24 V_{cc}$  cât și pentru cazul rețelelor trifazate [40]. Un astfel de releu, brevetat de autorul acestui referat, destinat rețelelor trifazate cu nul izolat, se bazează pe măsurarea tensiunilor de dezechilibru care apar în sistemul trifazat când rezistența de izolație a unuia dintre elementele rețelei față de carcasa vagonului scade sub o valoare critică. Prin analiza automată a tensiunilor dintre fazele R,S,T, nul pe de o parte și carcasă pe de altă parte, se poate indica faza a cărei izolație este slăbită, ușurând depanarea. Prin aplicarea acestei metode se elimină de asemenea și riscul electrocutărilor.

### **Capitolul 3. Echipeamente neconvenționale**

Pe lângă echipamentele convenționale, impuse prin fișele UIC și prezente sub o formă sau alta în orice vagon de călători, se pot întâlni și echipamente automate destinate unor funcțiuni neconvenționale, având ca scop creșterea siguranței circulației și a confortului călătoriei.

#### **3.1 Cutii negre pentru vehicule feroviare**

În urma dotării avioanelor cu așa numitele “cutii negre”, înregistratoare ale parametrilor zborului în momentele premergătoare unor incidente grave, se crează șansa de a se putea stabili ulterior, pe baza datelor înregistrate, a cauzelor incidentului. Având în vedere creșterea siguranței zborurilor astfel obținută, ideea este în curs de a se impune și în transportul pe calea ferată [9]. Prin creșterea numărului de parametri înregistrați și a capacității de înregistrare se pot obține în plus date statistice despre comportarea materialului și a operatorilor umani, rezultând îmbunătățiri spectaculoase ale performanțelor vehiculelor.

Un astfel de dispozitiv cuprinde circuitele de achiziție, procesare și stocare a datelor, adăpostite de o cutie robustă de mici dimensiuni. Memoria semiconductoare este modulară, modulele fiind ridicate periodic în vederea prelucrării datelor. Singura operație de întreținere necesară este înlocuirea bateriei ceasului-calendar.

Datele achiziționate pot fi de patru categorii:

- date digitale provenite de la relee, senzori sau ieșiri ale echipamentelor electronice, referitoare la: conectarea motoarelor, sensul de turație, frâne, uși, nivel de ulei, lămpi de semnalizare, etc.;
- date analogice provenite de la traductoarele de viteză, temperatură, nivel de combustibil, tensiuni de alimentare, etc.;
- impulsuri modulate în durată referitoare la efortul de tracțiune, la turații, etc.;
- date vehiculate prin magistrale (de exemplu de tip RS232, RS422 sau RS485).

Aceste cutii negre sunt conduse de microprocesoare și dispun de programe de autotestare și autodiagnosticare. Memoria semiconductoare EEPROM este astfel realizată încât să poată rezista unei eventuale catastrofe.

Prin echipamente asemănătoare se pot monitoriza parametrii ținutei de drum a vagonului [12]. Datele necesare sunt obținute prin accelerometre pe trei direcții ortonormale, montate pe boghiuri.

### **3.2 Numărarea automată a călătorilor**

În transportul suburban sau regional pe calea ferată optimizarea planificării și deciziile economice trebuie să se bazeze pe cunoașterea cât mai precisă a fluxului de călători. De exemplu alegerea dintre utilizarea unui tren tractat cu locomotivă sau a unei rame automotoare ușoare depinde de numărul de pasageri așteptat. Pentru acest tip de trafic simpla numărare a biletelor vândute nu este suficientă din cauza diferitelor sisteme de abonamente și a impreciziei dependenței distanță parcursă - preț al biletului. Din acest motiv s-a propus automatizarea numărării pasagerilor. Cea mai spectaculoasă soluție din domeniu presupune numărarea computerizată și corelarea cu sistemul global Navsat de poziționare prin satelit (GPS) [8]. Funcțiile realizate de sistemul de numărare sunt:

- sesizarea trecerii pasagerilor și sensul lor de deplasare prin senzori de tip prag;
- numărarea intrărilor și ieșirilor și contorizarea pasagerilor din interiorul vagonului;
- determinarea poziției vagonului pe toată lungimea traseului cu sistemul GPS;
- prelucrarea datelor cu un calculator instalat pe vagon;
- memorarea informației astfel achiziționate prin cartele de memorie semiconductoare interschimbabile care sunt ridicate lunar în timpul operațiilor de mentenanță a vagonului.

Prelucrarea informației de pe cartela de memorie este realizată prin PC, generându-se statistici, grafice, tabele și baza de date pentru compartimentele de marketing, planificare și vânzare de bilete din cadrul rețelei de căi ferate beneficiară a sistemului.

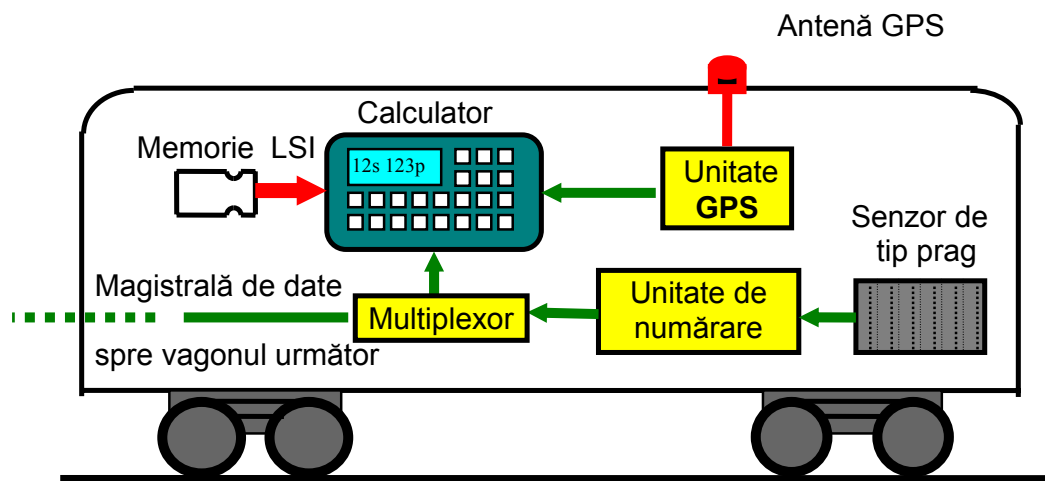


Fig. 3.1 Structura sistemului de numărare a pasagerilor dintr-un vagon.

### 3.3 Comandarea automată a instalației de iluminat

Iluminatul în vagoanele de călători este bazat pe lămpi fluorescente, alimentate prin invertoare individuale [36]. Soluția bazată pe un inverter central a fost abandonată fiind mai puțin eficientă din punct de vedere energetic și mai puțin fiabilă. Invertoarele individuale funcționează la frecvențe mai mari de 20 kHz și trebuie să poată suporta variații mari ale tensiunii de alimentare (18 - 33 V) corespunzătoare situațiilor extreme de încărcare a bateriei. Este necesară și stabilizarea consumului de energie, pentru ca iluminarea să nu varieze cu tensiunea de alimentare. O situație critică apare când invertoarele sunt

alimentate direct de la converttoarele de încărcare a bateriei, cu bateria deconectată, datorită componente de joasă frecvență, care poate afecta transformatorul inverterului.

Un astfel de inverter, brevetat de autorul acestui referat a fost aplicat de SC Astra Vagoane Arad pe un lot de aproximativ 500 de vagoane de export (Sry-Lanka), în condiții de funcționare extrem de vitrege (temperaturi de 70°C, tensiune de alimentare 70 - 150 V<sub>cc</sub>) în care alte produse similare (Elektrabahn - BRD, Stone -UK) nu au rezistat. Inverterul are un singur tranzistor, energia debitată sarcinii fiind controlabilă prin factorul de umplere a impulsurilor. În creșterea fiabilității un rol esențial îl are controlul activ al energiei consumate, pentru stabilizarea consumului inverterului față de variațiile tensiunii de alimentare utilizându-se un circuit de variație a factorului de umplere a impulsurilor. Comandarea tranzistorului de putere (BU 526) se poate face atât cu timerul  $\beta$ E555 ca și în schema prezentată în figura 3.2 cât și cu circuite CMOS.

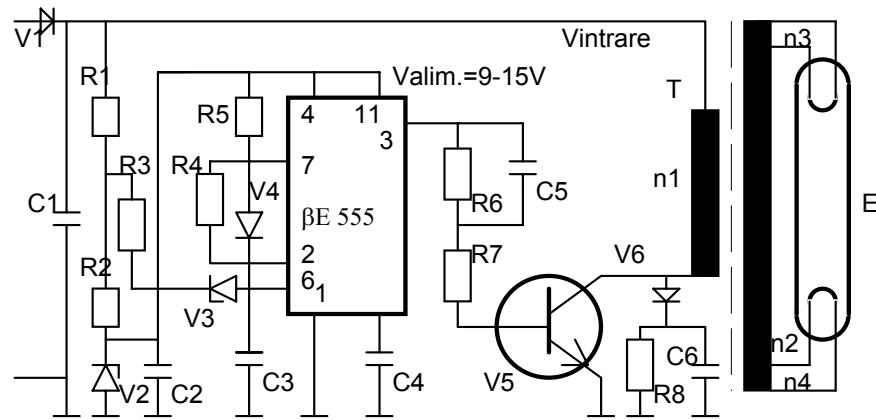


Figura 3.2 Schema inverterului IF 110 / 220.

De obicei comandarea iluminatului în vagoanele de călători se face manual, de către personalul de deservire a trenului, fie pentru fiecare vagon în parte, fie prin telecomandă pentru tot trenul. Pentru înlăturarea dezavantajelor comenzii manuale au fost propuse diferite metode de automatizare, cu scopul de a garanta în orice moment un nivel de iluminare optim în compartimente, cu un consum minim de energie. Astfel se poate porni automat iluminatul în cazul

intrării în tuneluri sau la apusul soarelui. O metodă originală brevetată de autor, este prezentată în continuare [34].

Metoda se bazează pe măsurarea luminii ambiante cu două fototraductoare plasate pe pereții laterali ai vagonului. Prin însumarea ponderată a celor două semnale obținute rezultă o măsură a iluminării naturale a compartimentului. Factorul de ponderare se obține experimental și depinde de construcția vagonului - de suprafețele ferestrelor exterioare și ale ușii compartimentului și de culorile pereților și banchetelor. Decizia de pornire a iluminatului electric se ia după ce nivelul iluminatului natural scade sub un anumit prag critic. Pentru evitarea oscilațiilor comenzii se introduce o temporizare de 2-3 secunde. În cazul ieșirii din tuneluri sau al răsării soarelui, iluminatul electric va fi întrerupt tot după o temporizare, de data aceasta de 20-30 secunde. Pentru evitarea opririi iluminatului electric în gări în timpul nopții, cu ajutorul unui filtru trece bandă de 100 Hz, se caută în semnalul sumă prezența componenței provenite din redresarea frecvenței de 50 Hz care caracterizează iluminatul artificial. În cazul detectării respectivei componente, oprirea iluminatului electric va fi inhibată.

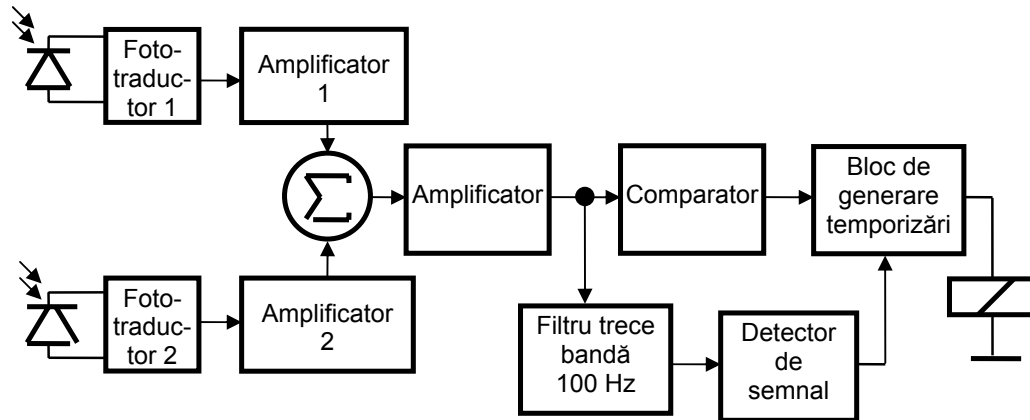


Fig. 3.3 Comandarea automată a iluminatului electric din vagon.

### 3.4 Automatizări în vagoanele automotoare

Cele mai complexe instalații de comandă se întâlnesc la vagoanele automotoare, care înglobează și funcții proprii locomotivelor [10, [11], [13].

Spre exemplu, trenul electric regional danez IR4 [10] are o schemă de tracțiune care include două convertizoare aferente celor două motoare trifazate și un inverter pentru generarea unui sistem trifazat de 380V/ 50Hz necesar



pentru iluminare și ventilație. Pe lângă frânele pneumatice, pe cele trei boghiuri nemotoare sunt instalate frâne electromagnetice, iar boghiurile motoare dispun de frâne pneumatice cu saboți și de frânare electrică recuperativă.

Comanda trenului este în întregime informatizată. Fiecare ramă este dotată cu două calculatoare lucrând în redundanță activă, pentru comanda centrală și supervizarea instalației. Aceste calculatoare sunt conectate cu altele, distribuite în instalație, care rezolvă la nivel local problemele de conducere a trenului: comunicarea cu mecanicul, frânarea, condiționarea aerului, prioritățile energetice, comandarea ușilor, etc. Echipamentul include un modul de conducere automată a trenului și o “cutie neagră” pentru înregistrarea evenimentelor în caz de accident. Postul de conducere este dotat cu un display care oferă conducătorului toate informațiile referitoare la condiția tehnică a trenului. În caz de defecțiuni se oferă și informații despre acțiunile ce trebuie întreprinse și modul de remediere.

Un alt vagon din această categorie este InterCity-ul norvegian [11]. Funcțiile sale de comandă sunt descentralizate, echipamentele, bazate pe microprocesoare, fiind plasate în apropierea elementelor comandate. O rețea de cabluri din fibre optice (de 1 Mbit/sec.) conectează toate microprocesoarele la o magistrală de date de tip ABB Micas-S2. Nivelul ierarhic superior constă dintr-o magistrală de date a trenului care permite transmisia semnalelor și datelor între toate vagoanele cu o rată de 9,5 kbiți / sec. O unitate centrală organizează traficul din această rețea. Accesul la acest flux de date permite implementarea unui sistem sofisticat de diagnoză. Postul de conducere dispune de un display care indică starea exactă a trenului, anticipează stările viitoare, indică eventualele defecțiuni și modul de remediere a lor. Procesorul de diagnosticare stochează totodată datele necesare analizării ulterioare, în laborator, a comportării trenului.

### **3.5 Telecomunicații prin satelit**

Facilități deosebite pot fi oferite călătorilor prin sistemele de telecomunicații prin satelit [14]. Un astfel de sistem este *Imarsat* (the international mobile satellite organisation), fondat în 1979 la Londra. El dispune de o rețea de 4 sateliți geostaționari de comunicații, destinată în primul rând comunicațiilor

navale dar și transporturilor aeriene și terestre. Primul sistem, Imarsat-A, susține linii dublu sens de înaltă calitate de telefon, telex, faximil, poștă electronică și transmisiuni de date având 23000 de utilizatori în toată lumea. Imarsat-B este versiunea sa digitală, introdusă în 1993. În continuare a fost lansat Imarsat-C, care dispune de toate dotările imaginabile astăzi, inclusiv prelucrări de date, memorări de mesaje, determinarea precisă a poziției sau sisteme de alarmă. Există 11 000 de terminale în legătură cu Imarsat-C, aplicațiile fiind din domenii ca: transporturi feroviare, rutiere, aeriene și navale, cercetarea științifică, jurnalistică, medicină, etc. Tot în 1993 a fost introdus și Imarsat-M ce oferă toate serviciile de telefonie digitală, fax și transmisiuni de date în condiții mai economice, cu scăderea gabaritului și consumului aparatului.

Pentru vehiculele de cale ferată sistemele Imarsat-C și M asigură comunicația cu centrele de comandă sau cu diferite puncte de pe traseu, fără a fi necesară dezvoltarea unei infrastructuri. Se întâlnesc următoarele aplicații:

- transmiterea de texte, în ambele sensuri, între cabina de conducere a trenului și centrul de comandă;
- monitorizarea poziției trenului la intervale de timp prestabilite sau la comandă, prin GPS (global positioning system);
- telefonie și fax.

### **3.6 Supravegherea video**

Supravegherea video are ca principal scop creșterea siguranței în exploatare. Se poate aplica atât în cadrul vagonului, cât și în zonele periculoase ale traseelor, cum ar fi tunelurile și peroanele gărilor [15].

Elementele din care sunt constituite rețelele video sunt:

- camerele TV, color sau alb-negru, fixe sau mobile;
- comutatoare video matriciale, prin care se poate face o selecție între semnalele disponibile; ele sunt necesare și la emisie și la recepție, în centrul de comandă;
- generatoare de text, prin care se pot adăuga texte imaginilor;
- sistemul de transmisie a semnalelor video;
- monitoarele din centrul de comandă.

### **3.7 Utilizarea fibrelor optice**

Transmiterea semnalelor prin fibre optice a devenit comercială în domeniul vagoanelor începând din anii '80, la început prin fibrele multimodale apoi prin fibrele unimodale, mai subțiri și cu o bandă de frecvențe mai largă [15]. Avantajele fibrelor optice sunt binecunoscute:

- imunitatea la paraziți;
- siguranță în exploatare deosebită, nefiind posibile scurtcircuite și lipsa coroziunii;
- bandă de frecvențe extrem de largă.

Ele au început să se aplice atât în cazul transmiterii semnalelor TV cât și pentru conectarea echipamentelor din vagon.

## Capitolul 4. Modelarea unei instalații de frânare

### 4.1 Modelarea frânării vagoanelor

O componentă a instalației vagonului de călători care necesită o reglare de foarte bună calitate este dispozitivul antiblocator al frânei. Din punct de vedere constructiv frânele pot fi cu saboți, cu disc, sau de tip patină, acționând direct pe șină [22]. În figură sunt prezentate principiile constructive ale frânelor, precum și modul de aplicare a forțelor de frânare  $F_f$ . Forța de frânare poate fi de natură pneumatică sau electromagnetică. Soluția clasică în domeniu o reprezintă frânele pneumatice cu saboți, utilizabile la trenuri cu viteza maximă mai mică de 160 km/h. Pentru viteze mai mari de 160 km/h se utilizează frâne disc suplimentate cu frâne electromagnetice de tip patină. Această suplimentare este impusă de scăderea aderenței care se produce o dată cu creșterea vitezei. În cazul vagonului CORAIL frâna disc este acționată pneumatic iar frâna de șină este poziționată pneumatic și acționată electric [26].

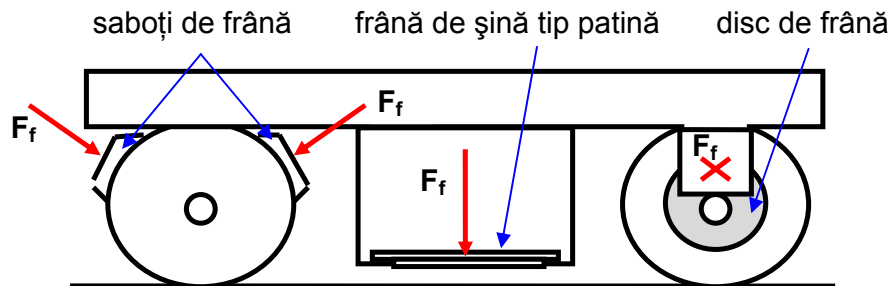


Figura 4.1 Principiile de frânare a vagoanelor

Când forța aplicată saboților sau discurilor de frână este prea mare sau când aderența dintre roată și șină scade din cauza umezelii, poleiului, murdăriei sau uleiurilor, roțile își pierd aderența la șină. Apare astfel o alunecare, care în final se soldează cu blocarea totală a roților și patinarea lor pe șine. Patinarea cauzează uzuri majore ale roților și ale șinelor, iar distanțele de frânare cresc [4]. Pentru o frânare optimă, evitând blocarea, forța de frecare  $F_f$  aplicată osiei (la nivelul periferiei roții) trebuie să fie cel mult egală cu forța de reacție a șinei asupra roții la limita aderenței  $R_a$ . Înlocuind expresiile acestor forțe, rezultă egalitatea  $\mu \cdot F_{f \max} = f \cdot Q$ , unde  $\mu$  este coeficientul de frecare dintre sabot și roată sau dintre disc și garniturile de frânare,  $f$  coeficientul de frecare roată-șină,  $F_{f \max}$  forța maximă de frânare care nu provoacă alunecarea, iar  $Q$  sarcina pe roată [4].

Pentru aprecierea aderenței disponibile se poate introduce coeficientul:

$$\tau = \frac{F_{f \max}}{Q} = \frac{f}{\mu} \quad \text{exprimabil și în procente.} \quad (4.1)$$

Frânele pot exploata doar o parte a aderenței disponibile, fiind imposibilă menținerea constantă a forței de frânare maximă pe toată durata frânării.

Se poate defini un astfel de coeficient pentru întregul vagon, dar în realitate, pentru o cât mai bună utilizare a aderenței disponibile, comandarea frânelor trebuie făcută independent, pentru fiecare osie parte, sau cel puțin pentru fiecare boghiu în parte. Această cerință rezultă din fenomenul de “cabrare” a vagoanelor la frânările puternice, prin care atât boghiurile anterioare cât și chiar osiile anterioare de pe fiecare boghiu sunt supraîncărcate față de cele posterioare.

În ipoteza că toate osiile sunt identice (neglijarea cabrării vagonului) și nici una dintre ele nu patinează, se poate stabili ecuația evoluției vitezei pentru întregul vagon având un număr de  $i$  osii, viteza vagonului  $V_T$  fiind identică cu a osiei:

$$(M + m) \cdot \frac{dV_T}{dt} = F + R_i \quad (4.2)$$

folosindu-se notația  $m = \sum \frac{I_i}{r_i^2}$  cu  $I_i$  momentul de inerție și  $r_i$  raza roții  $i$ .

$M$  este masa vagonului,  $F$  suma forțelor de frânare iar  $R_i$  este rezistența la înaintare a vagonului, de obicei neglijabilă [4].

Ecuația care guvernează comportarea osiei în timpul blocării este:

$$R_a = F_f - \frac{I}{r^2} \cdot \frac{dV}{dt} \quad (4.3)$$

unde  $r$  este raza roții,  $I$  momentul de inerție al roții, iar  $V$  viteza circumferinței roții [22]. Termenul datorat inerției poate avea în cazul blocării roții valori mari, de exemplu două treimi din efortul maxim de frânare.

Când se întrerupe acțiunea forței de frânare inerția vehiculului produce prin interacțiunea roată-șină accelerarea roții înspre viteza vagonului.

$$R_a = \frac{I}{r^2} \cdot \frac{dV}{dt} \quad (4.4)$$

Așa cum s-a văzut, aderența disponibilă este  $\tau = F_{\max} / Q$ , sau, ținând seama și de efectul inerției roții,  $\tau = R_a / Q$ .

Se utilizează des și varianta aproximativă: 
$$\tau \cong \frac{1}{g} \cdot \frac{dV_T}{dt} \quad (4.5)$$

cu  $g$  = accelerația gravitațională.

Pentru o osie care nu patinează, 
$$\tau = \frac{F_f}{Q} - \frac{I}{Q \cdot r^2} \cdot \frac{dV_T}{dt} \quad (4.6)$$

Din cele de mai sus reiese comportarea nelineară a roții față de forța de frânare, existând cel puțin trei regimuri de funcționare distincte. La aceasta se adaugă variația în timp a tuturor parametrilor: coeficientul de frecare roată șină din cauza factorilor de mediu, încărcarea pe osie din cauza variației încărcării vagonului, a distribuției ei și a cabrărilor, etc.

Problema aderenței roată șină este extrem de complexă, fiind implicați factori greu de stăpânit cum ar fi masa vagonului, geometria și starea suprafețelor roților și a șinei, poluarea, umiditatea, viteza, dimensiunile petei de contact, etc. În urma studierii acestor fenomene s-a constatat că aderența nu dispare odată cu apariția alunecării dintre roată și șină [4]. Dimpotrivă, datorită "polizării" exercitate de roți asupra șinelor în timpul alunecării, aderența se va îmbunătăți. Variația aderenței cu alunecarea roții este reprezentată grafic prin curbele aderență-alunecare. O astfel de dependență este reprezentată în figura următoare.

Alunecarea relativă dintre roată și șină este definită ca:

$$v = \frac{W}{V_T} \quad \text{unde } W = V - V_T \text{ viteza absolută de alunecare.}$$

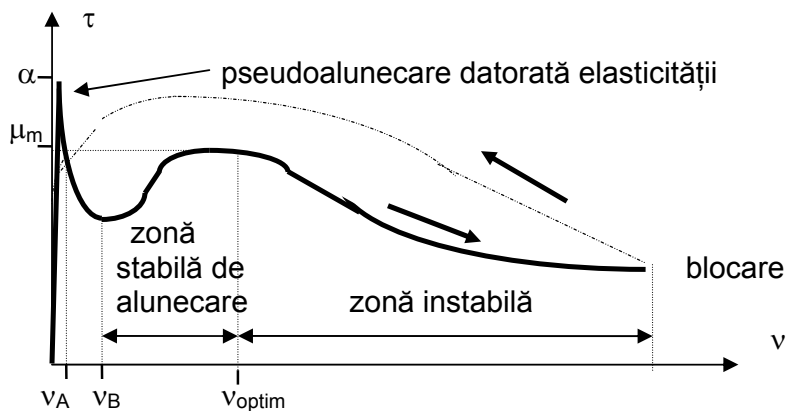


Figura 4.2 Curbă aderență - alunecare.

În momentul aplicării forței de frânare aderența trece printr-un maxim  $\alpha$  foarte ascuțit, pentru o alunecare foarte redusă  $v_A$  de cca. 1%. Această alunecare este de fapt o pseudo-alunecare, datorată elasticității roții și a șinei în zona petei de contact roată-șină. Menținând frânarea apare o scădere a aderenței, până la alunecarea  $v_B$ . În continuare se produce în urma unui fenomen insuficient explicat încă, o creștere a aderenței disponibile până la valoarea  $\mu_m$ , corespunzătoare unei alunecări optime  $v_{optim}$ . Acest regim se bucură de o oarecare stabilitate, putând fi menținut printr-un control activ al forței de frânare. Crescând în continuare alunecarea, aderența scade rapid până la blocarea roții. La întreruperea acțiunii forței de frânare roata își va restabili aderența la șină, în condițiile unei aderențe superioare celei din timpul frânării și fără a mai trece prin pseudo-alunecare.

Curba din figura 4.2 este influențată de coeficientul de frecare roată-șină [4].

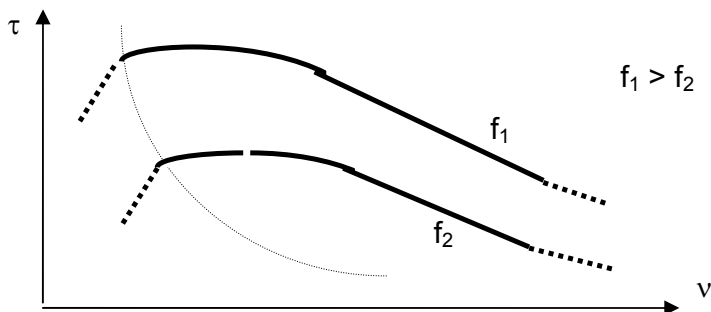


Fig. 4.3 Influența coeficientului de frecare roată-șină asupra curbei  $\tau(v)$

Păstrarea aderenței în zona alunecării zero nu este indicată, deoarece ieșirea din acest regim se face brusc, ceea ce ar putea produce șocuri. În

schimb este indicată menținerea osiei în zona *alunecării optime*, între  $v_B$  și  $v_{\text{optim}}$ .  $v_{\text{optim}}$  are valori cuprinse între 10-25 % din  $V_T$ , prezentând variații cu viteza vagonului și sarcina pe osie. Ea scade cu creșterea vitezei vagonului și cu scăderea sarcinii pe osie.

## 4.2 Frâne ABS

Pentru utilizarea optimă a aderenței roată-șină și evitarea blocării roților fiecare osie trebuie dotată cu câte un dispozitiv antiblocator (ABS), comandat electronic, care are rolul de a reduce cât mai rapid forța de frecare în cazul apariției blocării [5]. Acest dispozitiv va avea ca mărime de intrare turația osiei iar ca mărime de ieșire forța de frânare. Există două generații de dispozitive antiblocatoare. Dispozitivele mecanice sau cele electronice extrem de simple se caracterizează printr-o acționare de tipul “totul sau nimic”. La sesizarea apariției alunecării se întrerupe aplicarea forței de frânare, iar după restabilirea aderenței se reîncepe frânarea. Ele se caracterizează printr-o slabă utilizare a aderenței disponibile, un consum mare de aer comprimat, zgomote și uzuri ale componentelor. Generația a doua prezintă performanțe mult mai bune, obținute prin urmărirea alunecării optime între roată și șină.

Pentru a putea regla forța de frânare este necesară cunoașterea permanentă a vitezei reale a vagonului. Traductoarele care urmăresc turația osiei trebuie să reziste unor condiții de funcționare extrem de vitrege (șocuri de până la 10 g, temperaturi extreme) singurele modele viabile fiind senzorii inductivi de proximitate (dispuși în apropierea unei roți polare montate pe capul osiei) fie, apărute mai recent, traductoarele optice incrementale.

În cazul apariției alunecării, traductoarele de turație *nu mai indică viteza reală* a vagonului. Viteza vagonului trebuie totuși cunoscută, pentru calcularea alunecării. Această valoare de referință este în general asimilată cu cea mai mare dintre vitezele celor patru osii ale vagonului. Principala dificultate apare când toate osiile au pierdut aderența, situație în care referința de viteză trebuie reconstituită pe cale electronică. Pentru reconstituirea vitezei de referință fiecare constructor utilizează metode proprii, informațiile comunicate de producători fiind sărace.

Dintre metodele utilizate se pot totuși menționa [5]:



- frânarea mai redusă a uneia dintre osii, care va fi utilizată ca referință; această metodă este recomandabilă îndeosebi când trenul dispune de o rețea informațională, caz în care numai una dintre osiile trenului este mai puțin frânată;
- atribuirea ca valoare de referință a vitezei ultimei osii care a început să patineze.

După începerea patinării ultimei osii, referința poate fi calculată prin ecuația:

$$V_{\text{ref}}(t) = V(t_0) - \int_{t_0}^t \zeta dt \quad \text{unde } \zeta \text{ este decelerația osiei [24].} \quad (4.7)$$

Când, după restabilirea aderenței, cel puțin una dintre osii atinge o viteză care depășește valoarea calculată, referința va fi indexată la valoarea respectivă. Criteriile de reglare pornesc de regulă de la [6]:

- $\Delta V$ , diferența dintre viteza de referință și viteza osiei;
- decelerația osiei,  $\zeta$ ;
- derivata decelerației osiei.  $d\zeta / dt$ .

Criteriul  $\Delta V$  are rolul de a aduce alunecarea în apropierea optimului, în timp ce criteriul  $\zeta$  asigură stabilizarea reglării prin compensarea rapidă a perturbațiilor. Criteriul  $d\zeta / dt$ , introdus de firma Faively prin antiblocatorul AEF 83P, conferă un plus de stabilitate reglării. Pentru elaborarea tensiunii de comandă este necesară și măsurarea presiunii în cilindrii de frână. Este recomandabilă de asemenea introducerea unor corecții ale uzurii roților, pentru creșterea preciziei.

Esențial în funcționarea dispozitivului ABS este elementul de execuție în cazul acționării pneumatice viteza de răspuns a electrovalvelor fiind critică. Se utilizează electrovalve cu acțiune continuă, la care comenzile automate vor provoca fie umplerea, fie golirea, fie menținerea constantă a presiunii în cilindrii, obligând osia să rămână în domeniul alunecării optime. Un astfel de dispozitiv este ventilul antipatinaj GV12 (Knorr) care echipează vagonul CORAIL [16]. Schema sa pneumatică conține două electroventile, pentru evacuarea și pentru oprirea aerului (VE respectiv VB). Vitezele de golire și de umplere ale cilindrilor de frână sunt ajustate prin diuze, pentru o adaptare bună la dinamica osiilor. Funcționarea acestui ventil poate fi reprezentată prin organigrama următoare.

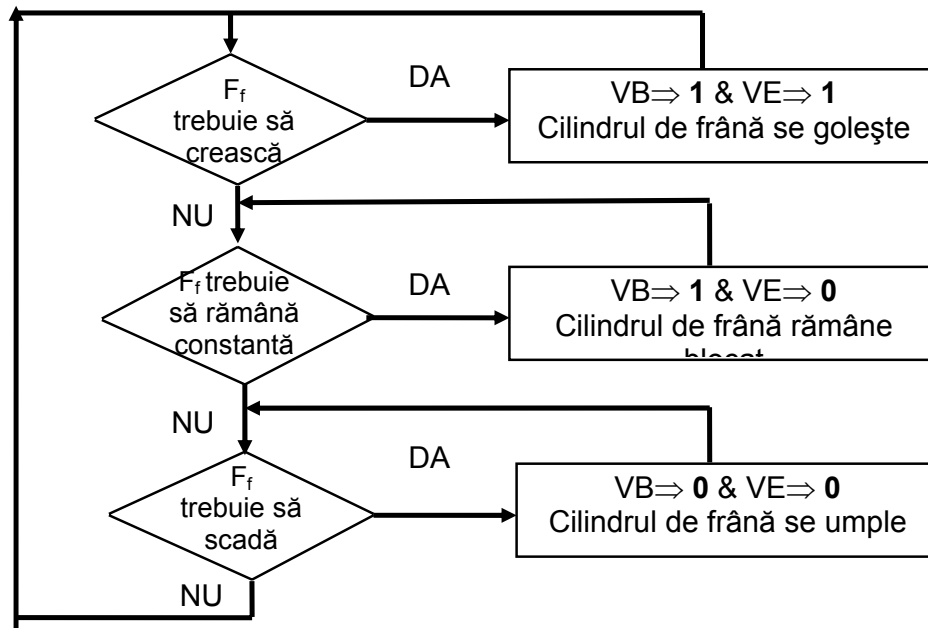


Fig. 4.3 Organigrama funcționării ventilului antipatinaj GV12.

Modul cel mai potrivit de conducere a dispozitivului de antipatinare este fie cu ajutorul unui calculator de proces, printr-un algoritm bazat pe instrucțiuni de tipul “IF ... THEN”, fie prin controlere proiectate special în acest scop.

#### 4.3 Încălzirea frânelor

Căldura dezvoltată în elementele de fricțiune ale frânei disc, la frânări puternice de la viteze mari, poate pune în pericol aceste elemente. Temperatura la care se ajunge după o frânare de oprire având durata  $t_f$  a fost evaluată încă din perioada anilor 1950, una din variante fiind propusă de H. Hasselgruber:

$$(4.8) \quad T_{\max} = \sqrt{\frac{8 \cdot t_f}{9 \cdot \pi \cdot \rho_d \cdot c_d \cdot \lambda_d}} \cdot f_m \cdot q \quad [^{\circ}\text{C}]$$

unde  $\rho$  [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] este densitatea materialului,  $\lambda$  [ $\text{W}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$ ] coeficientul de conductivitate termică iar  $c$  [ $\text{J}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$ ] căldura specifică.  $T_{\max} = T_{\text{amb}} + \Delta T$ , unde  $T_{\text{amb}}$  este temperatura ambiantă (considerată  $20^{\circ}\text{C}$ ) iar  $\Delta T$  supraîncălzirea produsă de frânare. Temperatura maximă se atinge la jumătatea frânării ( $t_f / 2$ ). Factorul  $f_m$  ține seama de distribuția căldurii pe garnitură și pe disc, iar  $q$  este fluxul termic la începutul frânării:

$$f_m = 2 / \left( 1 + \frac{\sqrt{\rho_g \cdot c_g \cdot \lambda_g}}{\sqrt{\rho_d \cdot c_d \cdot \lambda_d}} \right); \quad q = \frac{0,1891425 \cdot (1 + \rho) \cdot Q_d \cdot v^2}{g \cdot S_d \cdot t_f} \quad [W/m^2].$$

unde  $Q_d$  este cota parte din sarcina pe osie care revine unui disc [N],  $S_d$  suprafața de frecare a discului de frână [ $m^2$ ], viteza inițială iar  $g$  accelerația gravitațională.

În tabelul următor [24] se redau temperaturile maxime calculate pentru o situație defavorabilă - o frânare foarte scurtă  $t_f=30$  sec.- în cazul unui disc din oțel aliat 30MoCrNi20 cu  $\rho_d=7840$   $kg/m^3$ ,  $c_d=465$  J/kg și  $\lambda_d=49,8$   $W/m \cdot ^\circ C$ . Garnitura are parametrii:  $\rho_g=1900$   $kg/m^3$ ,  $c_g=1360,77$  J/kg și  $\lambda_g=0,587315$   $W/m \cdot ^\circ C$ .

Viteza [km/h]		100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
$T_{max}$ [ $^\circ C$ ]	Q=10000daN	89	108	128	151	175	200	228	257	289	322	357
	Q=20000daN	178	216	257	301	350	401	456	515	578	644	713

Pentru evitarea supraîncălzirilor este posibil ca după prima perioadă de frânare, în momentul în care încălzirea devine periculoasă, să se limiteze forța de frânare pe disc, putându-se eventual apela pentru completarea efortului de frânare la frâna tip patină, care la viteze mici este mai puțin solicitată. Temperatura discurilor ar putea fi măsurată cu traductoare fără contact bazate pe radiația infraroșie sau calculată cu ajutorul calculatorului de proces care conduce frânarea, cunoscută fiind evoluția în timp a forței de frânare.

#### 4.4 O comparație cu sistemele de frânare de pe autovehicule

Frânele vehiculelor rutiere de mare capacitate sunt asemănătoare cu frânele vagoanelor de călători. O realizare marcantă în domeniu o constituie controlarea distribuției forțelor de frânare între cele patru roți în funcție de solicitările lor dinamice, ceea ce asigură o îmbunătățire a stabilității vehicolului la frânările în condiții grele (frânare totală, aderență scăzută, curbe accentuate). Acest sistem de frânare conceput și testat de *Nissan Diesel Motor Co. Ltd.* presupune modificarea camioanelor de serie prin adăugarea unui senzor al poziției pedalei de frână și a două accelerometre pentru măsurarea accelerațiilor longitudinale și laterale ale vehicolului. Presiunile din cilindrii pneumatici de frână ai fiecărei roți sunt măsurate și reglate prin dispozitive modulatorie de presiune. Se montează de asemenea și senzori pentru determinarea încărcării fiecărei roți [17]. Hardware-ul a fost realizat cu ajutorul sistemului HILS (Hardware In the Loop Simulation).

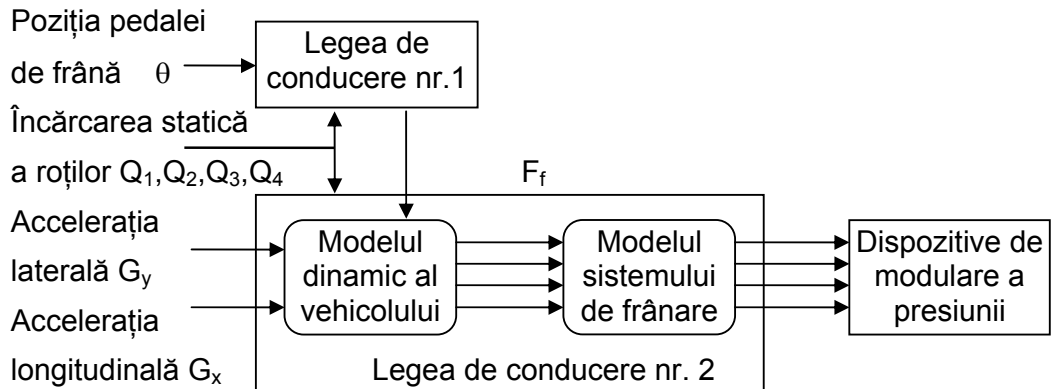


Fig. 4.4 Schema bloc a sistemului de frânare cu distribuția forțelor

*Legea de conducere nr. 1* determină forța totală de frânare pornind de la poziția pedalei de frână  $\theta$  și încărcările statice ale fiecărei roți,  $Q_1, Q_2, Q_3$  și  $Q_4$ . Efectul forței totale de frânare  $F_f$ , egală cu suma forțelor de frânare de pe osia anterioară  $F_a$  respectiv de pe osia posterioară  $F_p$  este dat de accelerația:

$$G_x = \frac{(F_a + F_p) \cdot g}{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4} \quad (4.9)$$

$F_a$  și  $F_p$  depind de poziția pedalei prin funcția neliniară  $f(\theta)$  și coeficienții  $K_a$  și  $K_p$  dependenți de caracteristicile constructive ale sistemului hidraulic:

$$F_a = 2 \cdot K_a \cdot f(\theta) \text{ respectiv } F_p = 2 \cdot K_p \cdot f(\theta)$$

Accelerația longitudinală va fi:

$$G_x = \frac{2 (K_a + K_p) \cdot g \cdot f(\theta)}{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4} \quad (4.10)$$

Funcția neliniară  $f(\theta)$ , memorată într-un tabel, e obținută experimental.

*Legea de conducere nr 2* determină distribuția forțelor pe fiecare roată astfel încât să se prevină blocarea neuniformă a roților. Ea se bazează pe încărcarea dinamică a roților, calculată prin considerarea mișcărilor de tangaj și ruliu. Încărcările dinamice ale celor 4 roți sunt de forma:

$$\begin{aligned} W_1 &= F_{t1} + F_{ra} \\ W_2 &= F_{t2} - F_{ra} \\ W_3 &= F_{t3} + F_{rp} \\ W_4 &= F_{t4} - F_{rp} \end{aligned} \quad (4.11)$$

unde  $F_t (G_x)$  sunt componentele datorate tangajului iar  $F_{ra}(G_y)$  și  $F_{rp}(G_y)$  sunt componentele datorate ruliului, pentru roțile anterioare respectiv posterioare.

Forțele de frânare efective pentru fiecare roată, conform legii 2 vor fi:

$$\begin{aligned} F_1 &= \frac{W_1}{W_1 + W_2} \cdot F_a \\ F_2 &= \frac{W_2}{W_1 + W_2} \cdot F_a \\ F_3 &= \frac{W_3}{W_3 + W_4} \cdot F_p \\ F_4 &= \frac{W_4}{W_3 + W_4} \cdot F_p \end{aligned} \quad (4.12)$$

În urma testărilor în cazul unui camion fără sistem ABS a rezultat o creștere relevantă a forțelor de frânare de la care apare blocarea roților [17]:

	unghiul pedalei de la care se blochează roțile [%]	
	pentru roțile anterioare	pentru roțile posterioare
fără legea nr.2	56	56
cu legea nr.2	74	82

Prin aplicarea metodei descrise în cazul vagoanelor, sunt de prevăzut îmbunătățirea stabilității vagonului, precum și o utilizare mai eficientă a presiunii de aer disponibile.

## **Capitolul 5. Modelarea unui sistem de condiționare a aerului în vagoanele de călători**

### **5.1 Condiții de confort**

Senzația de confort este subiectivă și depinde de factorii de mediu (temperatura, viteza, umiditatea aerului și radiația de căldură) dar și de temperatura și natura pardoselii, de gradientul de temperatură pe înălțimea încăperilor, de senzația de prospețime a aerului provocată de valorile și variațiile factorilor de mediu, de cantitatea de ioni din aer, de felul îmbrăcămînții, de activitatea musculară și nutriție, de vârstă, sex, constituția generală a corpului, aclimatizare, etc. [27], [28].

La proiectarea instalațiilor de aer condiționat din vagoanele de călători se ține cont mai ales de factorii care au acțiune mai generală: temperatura, viteza și umiditatea aerului, concentrația de bioxid de carbon și de senzația de prospețime a atmosferei. Un aspect important este ridicat și de resursele energetice limitate ale vagonului, economia de energie fiind o condiție esențială.

Factorul hotărâtor al senzației de confort este *temperatura*. Confortul termic se realizează când omul se găsește în echilibru termic cu mediul ambiant fără a depune efort pentru aceasta, prin efort înțelegându-se transpirația, tremuratul sau alte manifestări fiziologice care țin de neadaptarea organismului la temperatură. În condiții în care ceilalți factori ai senzației de confort au valori corespunzătoare, în cazul vagoanelor de călători, la care solicitările fizice ale pasagerilor sunt absente, temperatura ideală se consideră între 20 - 24,5°C.

Este indicat ca aerul să fie mai cald la nivelul pardoselii, trebuind să se răcească spre tavan. Diferența de temperatură dintre aerul de la nivelul capului și al picioarelor nu trebuie să fie mai mare de 2,5°C. Este necesar ca viteza aerului să fie suficient de mare pentru a se evita senzația de înăbușire proprie unei atmosfere stagnante. În același timp trebuiesc evitați și curenții prea puternici de aer. Pentru temperaturi apropiate de 18°C, se consideră că viteza curentului de aer trebuie să fie cuprinsă între 0,075 m/s și 0,2 m/s. Viteza admisibilă crește cu temperatura, astfel că la 30°C senzația de curent neplăcut începe abia de la 0,6 m/s.

Un alt factor de confort este *umiditatea*. Oamenii sesizează mai repede variațiile temperaturii decât pe cele ale umidității, motiv pentru care umiditatea

relativă de confort acoperă o zonă largă, de la 30 la 70%. Efectul umidității crește cu temperatura, astfel că aerul saturat de umezeală la 32,5°C produce aceeași senzație ca și aerul uscat la 40°C. Având în vedere că oamenii sunt ei înșiși surse de vapori de apă, în vagoane se pune mai degrabă problema eliminării excesului de umiditate, decât cea a umidificării artificiale a atmosferei. Această problemă se rezolvă în cea mai mare parte prin sistemul de ventilare descris la punctul 5.4.

Din punct de vedere fiziologic impresia de *prospețime* depinde de stimularea terminațiilor nervilor senzoriali din piele, obținută prin schimbări ale mediului. Dacă mediul nu suferă nici o schimbare se creează o ambianță mai degrabă de relaxare decât de înviorare, mergând până la senzații de aer închis, îmbâcsit. Impresia de prospețime se obține prin imprimarea unor variații factorilor de mediu, în special asupra temperaturii. Senzația de prospețime apare și la variații ale vitezei și umidității aerului. La 19°C se recomandă variații bruște și frecvente între 0,06 și 0,15 m/s, în jurul valorii medii de 0,105 m/s. O atmosferă mai uscată tinde să fie simțită ca fiind mai proaspătă, iar una mai umedă, mai îmbâcsită.

## 5.2 Diagrame de confort

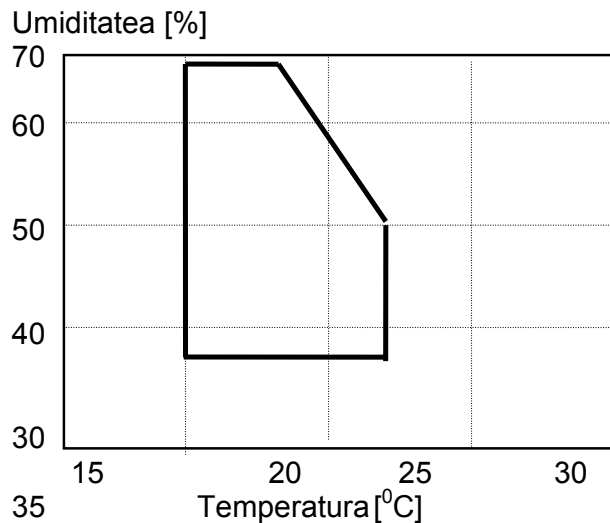


Figura 5.1 Diagrama de confort din UIC 553.

Datorită diversității factorilor care determină senzația de confort, metoda cea mai simplă de reprezentare a combinațiilor optime de parametri se bazează pe reprezentări grafice, așa numitele *diagrame de confort*. O senzație de confort predeterminată corespunde unei zone, convenabilă pentru majoritatea oamenilor.

### 5.3 Deгаjări nocive în aer

Față de compoziția normală atmosferică, în spațiile în care respiră oameni se degajă substanțe care reduc calitatea aerului, crează senzații de inconfort sau pot chiar periclita sănătatea oamenilor [27]. Un adult degajă, în repaus, 45 g/h vapori de apă la 20°C sau 55 g/h la 25°C, respectiv în cazul unui efort ușor, 70 g/h la 20°C sau 110 g/h la 25°C. Cantitatea de CO<sub>2</sub> degajată este de 23 l/h (35 g/h). Organismul degajă și căldură, aproximativ 115 W în repaus și 145 W în timpul unor activități moderate, la o temperatură a aerului de 25°C.

Pentru scăderea concentrației de substanțe nocive din aer este esențială *ventilarea*, prin care se realizează un schimb de aer între încăperea și exterior.

### 5.4 Ventilarea

Prin ventilare aerul din încăperi, prea rece sau prea cald, viciat cu diferite noxe, este diluat cu aer proaspăt, cu ajutorul curenților de aer, naturali sau produși prin sisteme de ventilare mecanică. Într-un vagon climatizat trebuie să fie asigurate concomitent introducerea aerului proaspăt și evacuarea celui viciat.

În cazul degajărilor de noxe cu debitul  $q$  constant în timp, având creșterea elementară a concentrației  $dC$ , creșterea cantității de noxe va fi [27]:

$$V \cdot dC = q \cdot dt - D \cdot C \cdot dt \quad (5.1)$$

unde  $V$  [m<sup>3</sup>] este volumul încăperii,  $c$  concentrația de noxe după o perioadă de timp  $t$ ,  $q$  [m<sup>3</sup>/s] debitul de noxe,  $D$  [m<sup>3</sup>/s] debitul de aer proaspăt introdus, egal cu debitul de aer viciat evacuat.

Creșterea diferențială a cantității de noxe în intervalul de timp  $dt$  este egală cu cantitatea de noxe generată în acest interval de timp, din care se scade cantitatea extrasă din încăperea.

Considerând  $C_0$  concentrația inițială de noxe, ecuația devine prin integrare:

$$\int_{c_0}^c \frac{dC}{q - D \cdot C} = \frac{1}{V} \cdot \int_0^t dt \quad (5.2)$$

În urma rezolvării rezultă:

$$\lg \frac{q - D \cdot C}{q - D \cdot C_0} = - \frac{1}{2,303} \cdot \frac{D}{V} \cdot t \quad (5.3)$$



Raportul  $n = D/V$  este semnificativ pentru valoarea concentrației. El este denumit *schimb de aer* și arată de câte ori este înlocuit cu aer proaspăt, într-o oră, întregul volum de aer al încăperii. Valoarea la care se va stabiliza concentrația de noxe, pentru  $t \rightarrow \infty$ , este  $q/D$ .

Pentru economisirea energiei, o parte din debitul de aer se poate recircula, introducându-se o cantitate mai redusă de aer proaspăt. Schimbul de aer  $n$  se va înlocui cu  $(1 - u) \cdot n$ , unde  $u$  arată proporția aerului recirculat față de aerul total vehiculat. Coeficientul  $u$  poate varia în funcție, de exemplu, de temperatura exterioară, dar este obligatoriu ca să se păstreze un debit de cel puțin 10 % de aer proaspăt.

Concentrația de  $CO_2$  din aerul standard fiind de 0,03 % vol, nu este permisă depășirea concentrației de 0,06 % vol.

Notând debitul recirculat  $D_u$ , debitul de aer proaspăt cu  $D_p$  și debitul total vehiculat  $D_t = D_u + D_p$ , conform definițiilor date:

$$u = \frac{D_u}{D_t} \quad \text{și} \quad n = \frac{D_t}{V}$$

iar mărimea care caracterizează efectul pur de ventilare are forma  $D_p / V$ .

Există două metode clasice de calcul al debitelor de aer [27]:

a) Metoda concentrației admisibile, presupune cunoașterea debitului de degajare a noxelor. Când în încăpere se degajă mai multe noxe simultan, debitul de aer pentru ventilarea generală se determină prin însumarea debitelor necesare pentru diluarea fiecărei noxe în parte:

$$D = Q_1 / c_{a1} + Q_2 / c_{a2} + \dots + Q_n / c_{an} \quad (5.4)$$

$Q$  fiind debitele de degajare a noxelor iar  $c_a$  fiind concentrațiile maxime admisibile.

b) Metoda schimbului de aer, mai empirică, indică prin tabele obținute experimental numărul de schimburi de aer recomandabil în diferite situații. Astfel pentru vagoanele de cale ferată se recomandă 25 de schimburi de aer proaspăt pe oră.

În vagoane sursa principală de noxe o reprezintă chiar călătorii, a căror număr este variabil. Cantitatea de bioxid de carbon, apă și alte noxe eliminate

de fiecare călător variază cu greutatea, stare fiziologică, etc. Din aceste motive în cazul vagonului se poate aplica numai metoda schimbului de aer.

În tabel se prezintă unele date orientative referitoare la numărul de schimburi de aer proaspăt necesare pentru înlăturarea mirosului corpurilor, oxigenare și reducerea concentrației de bioxid de carbon pentru adulți, în cazul copiilor valorile nefiind mult diferite:

Spațiul de aer [m <sup>3</sup> /persoană]	Debitul de aer proaspăt [vol./h]
2	15
5	6
10	2

### **5.5 Calculul puterii maxime a instalației de climatizare**

Având în vedere că factorul principal de care depinde confortul este temperatura, principala sarcină a instalației de climatizare va fi reglarea temperaturii, motiv pentru care în proiectarea instalației este esențială stabilirea bilanțului energetic.

În cazul vagonului vor trebui luate în considerare sursele de căldură, respectiv aerul proaspăt, călătorii, echipamentul electric, precum și influența elementelor constructive: ferestre la soare și la umbră, pereți laterali la soare și la umbră, tavan și podele, fiecare cu câte un coeficient de transmitere a căldurii. Relațiile utilizate sunt în mare parte empirice, fie analitice fie grafice, rezultatele obținute nefiind foarte precise. Această caracteristică a calculelor din acest domeniu este explicabilă prin complexitatea constructivă a vagoanelor și variabilitatea extremă a parametrilor, la care se adaugă și factorii climatici. Tocmai din această cauză calculele din literatură au ca principal scop furnizarea capacității maxime de încălzire respectiv de răcire de care trebuie să dispună instalația, aspectele referitoare la reglarea automată a parametrilor fiind mai greu de precizat.

Pentru exemplificare se redau rezultatele obținute de Institutul de Cercetare și Proiectare pentru Vagoane din Arad, pentru același tip de vagon ne-compartimentat, prin aplicarea metodei Toshiba (variantele 1978 și 1983) de calcul a instalațiilor de climatizare [30].

S-a luat în considerare situația ce mai defavorabilă, pentru care agregatul de răcire poate realiza temperatura impusă de 22<sup>0</sup>C în vagon.

◆ Condiții de mediu:

- temperatura exterioară: 33,25<sup>0</sup>C;
- temperatura interioară: 22<sup>0</sup>C;
- Umiditatea relativă: exterioară - 80 %, interioară - 60 %.

◆ Condiții de calcul:

- volum de aer rece: 15 m<sup>3</sup> / h · persoană;
- număr de pasageri: 58;
- dimensiunile spațiului climatizat: lungime -16 m, lățime -2,99 m, înălțime -2,3 m, număr de geamuri -10, dimensiunile geamurilor: 1,5 x 0,6 m<sup>2</sup>.

◆ Surse de căldură în kcal / h:

Subansamblu	Suprafață [m <sup>2</sup> ]	Metoda 1978	Metoda 1983
Tavan	47,84	1769	1289
Planșeu	47,84	1633	754
Ferestre în soare	9	284	173
Ferestre în umbră	9	568	101
Perete lateral în soare	27,80	1303	750
Perete lateral în umbră	27,80	470	313
Pereți frontali	2 x 6,87	232	217
<b>TOTAL</b>		<b>5975</b>	<b>3597</b>

- căldura degajată de pasageri: 5800 kcal / h.
- căldura degajată de echipamentele electrice: 2000 kcal / h;

Pentru căldura primită prin aerul din exterior există două variante:

	Metoda 1978	Metoda 1983
Căldura primită prin aerul proaspăt	13681	13080

Debitul maxim de căldură pe care instalația trebuie să îl poată extrage din vagon rezultă în final de 27095 kcal / h după metoda 1978 respectiv de 24709 kcal / h după metoda 1983. Exprimând aceleași valori în unități SI, au rezultat **31511,5 W** după metoda 1978 respectiv de **28736,5 W** după metoda 1983. Se poate reține valoarea rotundă de **30 kW**. În cazul încălzirii această putere se poate suplimenta, pentru a se face față temperaturilor foarte scăzute la care se poate ajunge (vagonul CORAIL dispune de **38 KW**).

## 5.6 Modelarea comportării termodinamice a vagonului necompartimentat

În continuare se va stabili ecuația care guvernează comportarea termodinamică a vagonului necompartimentat, ținându-se cont de influența aerului proaspăt, a numărului de călători, a echipamentelor care disipă energie și a radiației calorice a elementelor constructive. Influența elementelor constructive se va simplifica prin adoptarea unei valori medii a coeficientului de transfer termic. Nu s-au luat în considerare timpul mort de câteva secunde, datorat trecerii aerului prin conducta care face legătura între agregatele de încălzire și de răcire și spațiul util al vagonului.

Vom reține pentru model următoarele mărimi:

◆ Fluxul de căldură emis de suprafața vagonului, calculat prin relația:

$$q'_s = \alpha' \cdot S \cdot (\theta_e - \theta_i) \quad [\text{kcal} / \text{h}] \quad (5.5)$$

unde: -  $S$  este suprafața radiantă [ $\text{m}^2$ ],  $\theta_e$  temperatura exterioară [ $^{\circ}\text{C}$ ],  $\theta_i$  temperatura din vagon [ $^{\circ}\text{C}$ ],  $\alpha'$  coeficientul mediu de transfer termic [ $\text{kcal} / \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K}$ ].

În cazul vagonului ales, întrucât suprafața totală este  $S = 183 \text{ m}^2$ , rezultă:

$$\alpha' = \frac{3597}{183 \cdot 11,25} = 1,747 \text{ kcal} / \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{K} \text{ sau, în unități SI}$$

$$\alpha = 2,032 \text{ W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}.$$

Exprimând fluxul de căldură în unități SI, rezultă:

$$q_s = \alpha \cdot S \cdot (\theta_e - \theta_i) \quad [\text{W}]. \quad (5.6)$$

◆ Căldura introdusă prin aerul exterior, în cazul neglijării efectelor produse de diferențele de umiditate dintre exterior și interior este:

$$q_A = D_p \cdot c_a \cdot \rho \cdot (\theta_e - \theta_i) \quad [\text{W}] \quad (5.7)$$

unde: -  $c_a$  este căldura specifică a aerului,  $c_a = 1000 \text{ J} / \text{kg} \cdot \text{K}$ ;

-  $\rho$  = densitatea aerului,  $1,293 \text{ kg} / \text{m}^3$ ;

-  $D_p$  este debitul de aer proaspăt introdus în încăperea [ $\text{m}^3/\text{s}$ ], funcție de debitul total ventilat și gradul de recirculare:  $D_p = (1 - u) \cdot D_t$ .

La stabilirea debitului de aer vehiculat se pornește de la necesitatea de a asigura minim 25 de schimburi / oră. Volumul fiind  $V = 16 \times 2,99 \times 2,3 = 110 \text{ m}^3$ , rezultă un debit total de  $D_t = 25 \times V = 2750 \text{ m}^3 / \text{h} = 0,764 \text{ m}^3 / \text{s}$ .

Viteza medie a curentului de aer, în ipoteza circulației cvaziorizontale a curenților de aer, rezultă de 0,11 m / s, ideală din punct de vedere al confortului.

Verificând dacă acest debit de aer poate să transporte cantitatea de căldură rezultată din calculele ICPVA rezultă că acest debit este insuficient.

Debitul necesar va fi  $13080 / (0,24 \cdot 1,189 \cdot 11.5) = 4000 \text{ m}^3 / \text{h} = 1,111 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Debitele utilizate în practică sunt cuprinse între 2500 ... 4000 m<sup>3</sup> / h ceea ce confirmă valoarea maximă a debitului de 4000 m<sup>3</sup> / h. Curentul va avea în acest caz viteza medie de 0,16 m / s, de asemenea admisibilă din punct de vedere al confortului, corespunzând la 36 de schimburi pe oră.

◆ Căldura produsă de N oameni va fi un multiplu al căldurii emise de o persoană,  $q'_o = 100 \text{ [kcal / h]}$  sau, în unități SI,  $q_o \cong 115 \text{ W}$ .

◆ Căldura degajată de alte echipamente este considerată constantă:  
 $q_E = 5800 \text{ kcal / h}$  sau  $6745,4 \text{ W}$ , putându-se aproxima cu  $6,75 \text{ k W}$ .

Evoluția în timp a temperaturii din interiorul vagonului se obține prin rezolvarea ecuației diferențiale care rezultă din bilanțul puterilor [31]. Această ecuație va conține termenii menționați anterior, la care se adaugă puterea P(t) a instalației de climatizare, cu semn - în cazul răcirii. Se consideră că întregul volum de aer al vagonului are aceeași temperatură,  $\theta_i$ .

$$V \cdot \rho \cdot c_a \cdot \frac{d\theta_i(t)}{dt} = \{[1-u(t)] \cdot D_t(t) \cdot \rho \cdot c_a + \alpha \cdot S\} \cdot [\theta_e(t) - \theta_i(t)] + N(t) \cdot q_o + q_E(t) - P(t) \quad (5.8)$$

Când u, D<sub>t</sub>,  $\theta_e$ , N și q<sub>E</sub> sunt constante, ecuația reprezintă un sistem de ordin I. În cazul general, parametrii sistemului sunt variabili în timp. Se introduc notațiile:

$$K_S = \frac{1}{(1 - u) \cdot D_t \cdot \rho \cdot c_a + \alpha \cdot S} \quad \text{factorul de amplificare;}$$

$$T_S = V \cdot \rho \cdot c_a \cdot K_S \quad \text{constanta de timp.}$$

Cu aceste notații ecuația sistemului devine:

$$T_S(t) \cdot \frac{d\theta_i(t)}{dt} + \theta_i(t) = \theta_e(t) + K_S(t) \cdot [N(t) \cdot q_o + q_E(t) - P(t)] \quad (5.9)$$

Dependențele  $K_S(u, D_t)$  și  $T_S(u, D_t)$  sunt suficient de puternice pentru a imprima sistemului un caracter neliniar puternic. În figura următoare este prezentată funcția  $T_S(u)$ , pentru cele două debite totale menționate anterior:  $D_t = 0,764 \text{ m}^3 / \text{s}$  și  $D_t = 1,111 \text{ m}^3 / \text{s}$ .  $K_S(u)$  este proporțional cu  $T_S(u)$ .

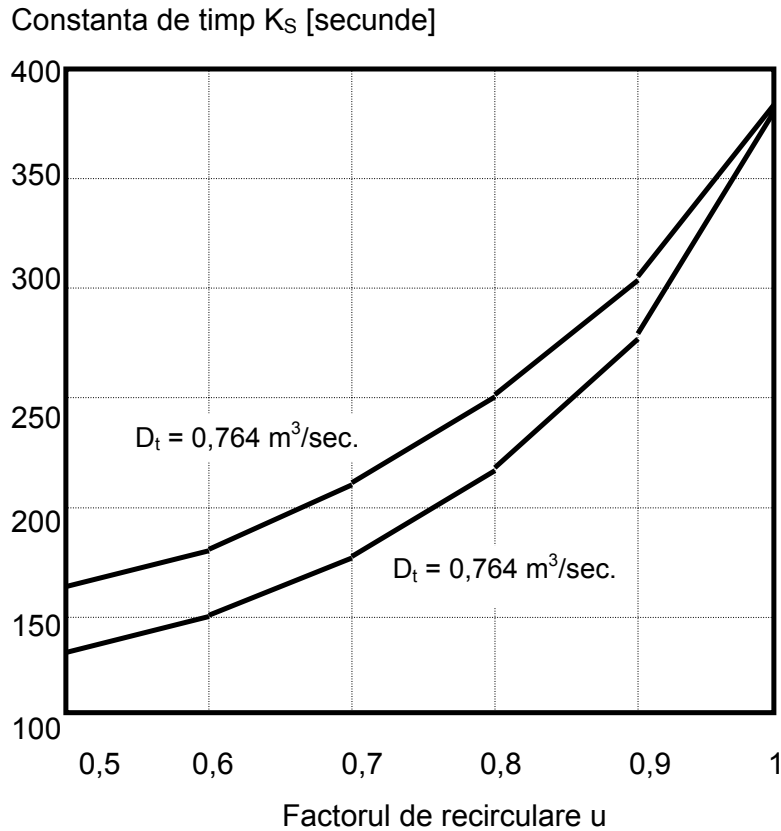


Figura 5.2 Dependența  $K_S(u)$ , cu  $D_t$  parametru.

În cazul în care  $\theta_e$ ,  $D_t$ ,  $u$ ,  $N$  și  $P$  sunt constante iar temperatura inițială din vagon este  $\theta_{i0}$ , evoluția temperaturii  $\theta_i$  va fi dată de funcția:

$$\theta_i(t) = \theta_e + K_S \cdot (N \cdot q_o + q_E - P) + [\theta_{i0} - \theta_e - K_S \cdot (N \cdot q_o + q_E - P)] \cdot e^{-t / T_S} \quad (5.10)$$

Pentru regimul de încălzire, care este necesar când  $\theta_e < 22^\circ\text{C}$ , ecuația este:

$$T_S(t) \cdot \frac{d\theta_i(t)}{dt} - \theta_i(t) = K_S(t) \cdot [N(t) \cdot q_o + q_E(t) + P(t)] - \theta_e(t) \quad (5.11)$$

Timpul mort  $\tau$  care caracterizează astfel de instalații intervine întârziind transmiterea puterii în sistem:

$$d\theta_i(t)$$

$$T_s(t) \cdot \frac{d\theta_i(t)}{dt} - \theta_i(t) = K_S(t) \cdot [N(t) \cdot q_o + q_E(t) + P(t-\tau)] - \theta_e(t) \quad (5.11)$$

Dintre parametrii sistemului  $\theta_e$ ,  $N$  și  $q_E$  sunt independenți, dar  $u$  și  $D_t$  pot și trebuie să fie controlați de către sistemul de comandă. Nu se întâlnesc criterii unanim acceptate în stabilirea legii de reglare a factorului de recirculare  $u$ . De cele mai multe ori, el se alege în funcție de temperatura exterioară, fiind cu atât mai mare cu cât diferența dintre  $\theta_i$  și  $\theta_e$  este mai mare, cu scopul economisirii energiei. În continuare vom propune o lege de reglare a factorului de recirculare care să depindă și de  $N$ . Cu cât numărul de pasageri este mai mare, este necesar ca  $u$  să fie mai mic, pentru a se asigura o evacuare corespunzătoare a noxelor.

$$\begin{aligned} u &= u_{\max} - (u_{\max} - u_{\min}) \cdot N / N_{\max} \\ u_{\max} &= 0,9 \\ u_{\min} &= 0,5 + \min(0,4, |0.4 \cdot (\theta_i - \theta_e) / 20^{\circ}\text{C}|) \end{aligned} \quad (5.13)$$

Când  $|\theta_i - \theta_e| > 20^{\circ}\text{C}$ ,  $u$  rămâne la valoarea recirculării maxime, 0,9. Valoarea minimă de 0,5 și diferența de  $20^{\circ}\text{C}$  pot fi modificate în urma unor experimentări care să valideze comportarea instalației în cazul unor temperaturi exterioare mult diferite de cea din vagon.

În cazul vagoanelor compartimentate este necesară introducerea de reglatoare individuale. Aceste reglatoare au rolul de a asigura în fiecare compartiment temperatura impusă de călători, elementele de execuție fiind în cazul vagonului CORAIL, câte o rezistență de 600 W pentru fiecare compartiment.

Problema măsurării numărului de pasageri se poate rezolva fie direct, prin sistemul inteligent de numărare a pasagerilor, fie indirect, prin măsurarea concentrației de bioxid de carbon din aerul evacuat din vagon și compararea sa cu concentrația impusă.

Pentru completarea modelului, pe baza celor prezentate la pct. 5.4 se pot scrie ecuațiile concentrațiilor de bioxid de carbon și de apă,  $C_{\text{CO}_2}(t)$  și  $C_{\text{H}_2\text{O}}(t)$ :

$$V \cdot \frac{dC_{\text{CO}_2}}{dt} + (1 - u) \cdot D_t \cdot C_{\text{CO}_2} = N \cdot q_{\text{CO}_2} \quad (5.14)$$

$$V \cdot \frac{dC_{\text{H}_2\text{O}}}{dt} + (1 - u) \cdot D_t \cdot C_{\text{H}_2\text{O}} = N \cdot q_{\text{H}_2\text{O}} \quad (5.15)$$

## 5.7 Reglatoarele utilizate la instalațiile de condiționare a aerului

În funcționarea instalațiilor de condiționare a aerului intervin două regimuri:

- *regimurile de preîncălzire sau prerăcire*, când temperaturile exterioară sunt foarte diferite de valorile impuse și încălzirea respectiv răcirea inițială ale vagonului se fac cu putere maximă; un regim asemănător apare la deschiderea ușilor în stații.
- *regimul de reglare propriuzis*, în apropierea valorilor impuse.

Dintre reglatoarele utilizate, clasice sunt [19]:

a) *Regulatorul bipozițional cu histerezis*, aplicabil atât la reglarea debitului de aer ventilat cât și la reglarea temperaturii. În primul caz el are forma:

$$D_t(t) = \begin{cases} D_{t \min} & \text{dacă } C_{CO_2} - P_{O_2} < Hys \\ D_{t \max} & \text{dacă } C_{CO_2} - P_{O_2} > Hys \\ \text{staționar} & \text{dacă } -Hys \leq C_{CO_2} - P_{O_2} \leq Hys \end{cases} \quad (5.16)$$

unde  $C_{CO_2}$  este concentrația de bioxid de carbon,  $P_{O_2}$  este valoarea impusă a concentrației de bioxid de carbon iar  $Hys$  este valoarea histerezei.

Acest regulator se întâlnește în special în cazul încălzirii, având în vedere caracterul secvențial al majorității instalațiilor de încălzire. Încălzirea electrică este bazată pe un set de rezistențe, a căror conectare este dictată de valoarea tensiunii din rețeaua trenului (vezi pct. 2.3, pag 3). Având în vedere curenții mari este contraindicată comutarea repetată a acestor rezistențe.

b) *Regulatorul PID*, care în forma digitală poate fi exprimat prin:

$$D_t(t) = K_p \cdot \left\{ E(t) + \frac{1}{T_i} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} E(i \cdot \Delta t) \cdot \Delta t + T_d \frac{E(t) - E(t-\Delta t)}{\Delta t} \right\} \quad (5.17)$$

unde  $E = C_{CO_2} - P_{O_2}$  este eroarea concentrației de bioxid de carbon,  $\Delta t$  este perioada de eșantionare,  $K_p$  constanta de amplificare,  $T_i$  constanta de timp de integrare iar  $T_d$  constanta de timp de derivare.

În multe situații este suficientă utilizarea regulatorului PI.

În 1992 GJ Levermore (*Building Energy Management Systems: An application to Heating and Control*, E&FN SPON London) introduce o combinație a



celor două regulatoare clasice, care are avantajul de a reduce micile oscilații din jurul valorii reglate:

c) *Regulatorul PI cu zonă de insensibilitate (PI<sub>db</sub>)*. În acest caz eroarea E va fi înlocuită cu o eroare efectivă E\*:

$$E^* = \begin{cases} 0 & \text{dacă } |E| \leq B \\ E - B & \text{dacă } E > B \\ E + B & \text{dacă } E < -B \end{cases} \quad (5.18)$$

B fiind lățimea zonei de insensibilitate.

Din modelul matematic al condiționării aerului într-o incintă reiese neliniaritatea sa puternică, provenită din variația în timp a parametrilor (temperatura exterioară, număr de călători, etc.). În aceste condiții se pot aplica cu succes regulatoare adaptive, dintre care, în ultima perioadă, s-au impus tot mai mult *regulatoarele fuzzy*. În [19] se face o comparație între regulatoarele convenționale și regulatoarele fuzzy, pentru cazul condiționării aerului dintr-o încăpere, în condițiile unei clime mediteraneene. Reglarea debitului de aer proaspăt se face în lucrarea de mai sus prin modificarea secțiunii unei ferestre. Autorii au ales pentru comparație două regulatoare fuzzy:

d) *Regulatorul Mamdani* (MFC - Mamdani Fuzzy Controller) și

e) *Regulatorul Gupta* (GFC - Gupta Fuzzy Controller).

Fiecare dintre regulatoarele fuzzy are ca intrare concentrația de CO<sub>2</sub> și derivata sa, iar ca ieșire, variația ariei ferestrei de aerisire.

Din compararea evoluției în timp a concentrației de bioxid de carbon, (valoarea impusă fiind de 800 ppm) a rezultat superioritatea regulatorului PID care a păstrat concentrația maximă în domeniul 800 + 20 ppm în timp ce celălalte regulatoare au realizat doar 800 + 50 ppm. Valoarea medie a fost însă pentru toate regulatoarele apropiată de 757 ppm.

Pe de altă parte stabilitatea regulatorului PID a fost cea mai slabă, observându-se 57 de cicluri oscilante, valoarea medie a celei mai lungi perioade de păstrare constantă a deschiderii ferestrei fiind doar de 5 min. La regulatorul bipozițional s-a constatat o variație mare a acestui parametru, funcție de condițiile exterioare și ocuparea incintei. Durata medie a perioadelor de constanță a fost în același timp de 30 min. pentru PI<sub>db</sub>, 24,5 min. pentru GFC și 20 min. pentru MFC.

În concluzie, cele mai potrivite regulatoare pentru condiționarea aerului dintr-o încăpere sunt PIdb, GFC și MFC.

Aplicarea regulatoarelor fuzzy în domeniul vagoanelor de călători este la această oră o problemă deschisă. Controlerele fuzzy ar putea fi aplicate cu succes în reglarea unor procese neliniare cum ar fi condiționarea aerului sau frânarea ABS. Nu se cunosc însă la această oră aplicații semnificative ale logicii fuzzy în acest domeniu, unul dintre motive fiind conservatorismul administrațiilor de căi ferate, care consideră logica fuzzy “bună pentru aplicațiile casnice, dar nesigură în aplicații care necesită un grad ridicat de siguranță”.

Având în vedere considerentele de la pct. 5.1, cel puțin pentru condiționarea aerului, o anumită imprecizie a reglării temperaturii și debitului de aer nu este de fapt un inconvenient. Pe de altă parte, dacă regulatorul PIdb poate fi comparat pe porțiuni cu regulatoarele fuzzy, comportarea globală a regulatoarelor fuzzy este superioară. Din literatura referitoare la aplicațiile fuzzy reiese că unul dintre principalele avantaje ale acestora îl reprezintă tocmai comportarea foarte bună în cazul sistemelor neliniare și cu parametrii variabili [20].

## BIBLIOGRAFIE

1. - \*\*\* - *Fișele UIC* -
2. - Jean Sauvestre - *La modernisation des CC 1100* - Revue generale des chemins de fer, pag. 33 - 39, mai, 1992, Dunod.
3. - Jean Sauvestre - *Utilisation d'automates programmables pour la renovation des locomotives BB 9600* - Revue generale des chemins de fer, pag. 25 - 37, mai, 1993.
4. - Michel Boiteux - *Le probleme de l'adhérence en freinage* - Revue générale des chemins de fer, pag. 50 - 72, feb. 1986.
5. - Michel Boiteux - *Les antirayeurs modernes. Principes constructifs* - Revue générale des chemins de fer, pag. 73 - 81, feb.1986.
6. - Jack Aumaréchal - *Le systeme antienrayeur Faiveley* - Revue générale des chemins de fer, pag. 82 - 86, feb. 1986.
7. - *Schema de principe 2613.80.001* - De Dietrich et C<sup>ie</sup> (schema instalației electrice a vagonului CORAIL).
8. - Reiner Daum și Ron Zohar (INIT GmbH) - *Intelligent passenger counting for trains* - Railway Technology International '93. pag. 113 - 114, Sterling Publications, London.
9. - Charles Andrews (GEC - Marconi Defence Systems) - *Black boxes for rail vehicles* - Railway Technology International '95, pag.47 - 49, Sterling Pub.
10. - Niels Damgaard Pedersen (DSB) - *The IR4 regional electric train - set* - Railway Technology International '93. pag. 21 - 23, Sterling Pub.,
11. - Hallvard M. Kristiansen (ABB Strommen) - *Advanced InterCity express train for Norway* - Railway Technology International '93. pag. 45 - 50, Sterling Pub.
12. - Bill McMorran - *In - service monitoring of rolling - stock and track* - Railway Technology International '93, pag.113 - 114, Sterling Pub.
13. - Thomas Lonicer - *Class S252 dual - voltage, high - performance locomotive* - Rail - way Technology International '93. pag. 25 - 34, Sterling Pub.
14. - Ruth Ling - *Satellites keep trains on the right track* - Railway Technology International '95. pag. 95 - 96, Sterling Pub.
15. - Felix Häusler - *Video surveillance improves transportation facilities* - Rail - way Technology International '95. pag. 99-100, Sterling Pub.
16. - \*\*\* - *Frâna KE P-R-MG 8X10"* - Knorr Bremse.
17. M. Nakazawa, O. Isobe, S. Takahashi, Y. Watanabe - *Braking Force Distribution Control for Improved Vehicle Dynamics and Brake Performance* - Vehicle System Dynamics, nr. 24, pag. 413-426, Swets & Zeitlinger, 1995.

18. - Alan R. Lofting - *Low-cost air conditioning for trains* - Railway Technology International '95, pag. 77-79, Sterling Pub.
19. - A.I. Dounis, M. Bruant, M. Santamouris, G. Guaracino, P. Michel - *Comparison of Conventional and Fuzzy Control of Indoor Air Quality in Buildings* - Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, vol. 4, nr. 2, pag. 131-140, John Wiley & Sons, 1996.
20. - Witold Pedrycz - *Fuzzy Control and Fuzzy Systems* - second extended edition, John Wiley & Sons, 1993.
21. - V. Iancu și colectiv - *Tracțiune electrică* - Curs universitar - Institut. Politehnic Cluj - Napoca, 1990.
22. - Mircea Dungan - *Vagoane și frâne* - Curs universitar - Universitatea Tehnică Timișoara, 1990.
23. - Livius S. Bocîi - *Frânarea vehiculelor feroviare de mare viteză* - Referat pentru doctorat, Timișoara, 1994, coordonator prof. dr. V. Hoancă.
24. - Livius S. Bocîi - *Calculul energiei dezvoltate la frânarea vagoanelor de mare viteză* - Referat pentru doctorat, Timișoara, 1995.
25. - Livius S. Bocîi - *Soluții constructive privind sistemele de frânare ale vehiculelor feroviare de mare viteză* - Referat pentru doctorat, Timișoara, 1996.
26. - M. Vădăsan - *Instalația de frână pentru vagonul de mare viteză tip CORAIL*- proiect de diplomă, Universitatea "Politehnica" Timișoara, 1996, coordonator conf. dr. M. Dungan.
27. - Al. Christea - *Ventilarea și condiționarea aerului* - Vol. I, Ed. Tehnică, Buc. 1968.
28. - Al. Christea, Nicolae Niculescu - *Ventilarea și condiționarea aerului* - Vol. II, Ed. Tehnică, Buc. 1971.
29. - E. Șandru și colectiv - *Termotehnică și aparate termice* - Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1982.
30. - \*\*\* - *Calculul instalației de climatizare prin metoda Toshiba* - Institutul de Cercetare și Proiectare pentru Vagoane Arad.
31. - Ștefan Preitl - *Teoria sistemelor și reglaj automat* - Curs universitar - Universitatea Tehnică Timișoara, 1992.
- 32.- Sergiu Fotea (SNCFR), Dana Baltac (studentă IP Buc.) - *Marketing și calitate în traficul feroviar de călători (II)*. - Revista Căilor Ferate Române, nr. 1, București, 1992.
33. - Gheorghe Floricel (ICPTT) - *Marketing și oferte de prestații în traficul feroviar de călători* - Revista Căilor Ferate Române, nr. 3, București, 1992.
34. - Marius Bălaș, Valentina Bălaș - *Dispozitiv de optimizare a funcționării iluminatului în vagoanele de călători* - "Revista CFR" nr. 5 / 1993, pag. 20 - 24, București.
35. - Marius Bălaș, Valentina Bălaș - *Traductoare pt. măsurarea vitezei vagoanelor realizate în Arad* - Volumul Sesiunii de Comunicări Științifice a Univ. "Aurel Vlaicu" Arad, mai, 1994 Sect. Material Rulant, pag. 65 - 70.

36. - Marius Bălaș, Valentina Bălaș - *Considerații referitoare la structura invertoarelor pentru iluminatul fluorescent al mijloacelor de transport* - Buletinul sesiunii de comunicări științifice a cadrelor didactice, Acad. Navală "Mircea cel Bătrân", Constanța, mai, 1995, vol. II pag. 543 - 547.
37. - Marius Bălaș, - *Monitorizarea și diagnosticarea automată a vehiculele moderne de cale ferată* - Volumul Sesiunii de Comunicări Științifice a Univ. "Aurel Vlaicu" Arad, mai, 1996 secț. Electrotehnică, Electronică și Automatizări, pag.
38. - Marius Bălaș, - *Detectarea prezenței pasagerilor și aplicațiile ei în construcția de vagoane* - Volumul Sesiunii de Comunicări Științifice a Univ. "Aurel Vlaicu" Arad, mai, 1996 secț. Electrotehnică, Electronică și Automatizări, pag.
39. - Marius Bălaș, Doina Stamboli, Valentina Bălaș - *Structuri ale instalațiilor de comandă a vagoanelor de călători, rezultate din ultimele fișe UIC* - Volumul Sesiunii de Comunicări Științifice a Univ. "Aurel Vlaicu" Arad, mai, 1996 secț. Material Rulant, pag.
40. - Marius Bălaș, Valentina Bălaș, Valeriu Crișan - *Dispozitiv de supraveghere selectivă și protecție a rețelelor trifazate cu nul izolat* - Analele Universității Oradea, 1993, secț. Electrotehnică.

