

**Asigurarea condițiilor de transport de persoane cu
handicap major conform directivelor CE 85/2001, la
troleibuzul pentru transportul urban de călători
“SOLO cu chopper” cu recuperare de energie la
frânare**

**Ioan BELE*, Liviu Sevastian BOCÎ*, Ion COPACI*, Laurențiu
JITARU*, Camelia PETRESCU**, Ion STRĂINESCU***,
Cristian GAVRA******

** Universitatea „Aurel Vlaicu” Arad, **ICPE București,*

**** ICPE SAERP București, **** SC ASTRA BUS Arad*

Abstract: *The passenger’s transport in Romania has to ensure optimal conditions for all people including persons with major disabilities, following both the law in force and the EU directives (DE 85/2001). The passenger’s transport manufactures came up with constructive solutions that facilitate the access to all passengers (such as lowering the floor, moving the machines on the top of the vehicle).*

Notă: Lucrare prezentată la Simpozionul cu participare internațională organizat de Universitatea „Aurel Vlaicu” din Arad „Cercetarea Științifică o punte spre integrarea europeană”, Secțiunea *Pocese și Tehnologii Industriale*, 3-4 noiembrie 2004.

1. Introducere

Transportul pasagerilor cu handicap major este o problemă rezolvată în general în Europa, fiind legiferată prin directiva DE 85/2001. Această directivă prevede ca mijloacele de transport în comun să fie dotate cu instalații care să faciliteze urcarea în vehicul precum și transportul pasagerilor în deplină siguranță.

Condiția majoră pe care trebuie să o îndeplinească o astfel de caroserie este să aibă podea joasă. În această situație se reduce distanța dintre podeaua vehiculului și trotuarul stațiilor de urcare și coborâre.

Coborârea podelei atrage după sine montarea tuturor aparatelor de sub șasiu pe acoperișul vehiculului. În această situație se modifică repartiția sarcinilor pe vehicul și implicit centrul de greutate al acestuia.

O altă condiție pe care trebuie să o îndeplinească vehiculul este prezența unei instalații pentru asigurarea înclinării vehiculului, astfel încât să se reducă distanța dintre podea și trotuar.

2. Modul de funcționare

Dacă motorul electric de tracțiune este de curent continuu, reglarea vitezei se poate face reostatic (în trepte) sau cu variatoare de tensiune continuă (VTC).

Prezentul troleibuz este echipat cu VTC reglarea vitezei făcându-se în mod continuu iar frânarea electrică este recuperativă. Controlul și supravegherea întregului proces de acționare se realizează cu "MICROPROCESSOR".

Troleibuzul este destinat transportului de călători în orașele cu liniile electrice de alimentare la o tensiune de 750 Vcc, iar cu modificări corespunzătoare poate fi folosit și pe liniile alimentate la 600 Vcc.

Acest vehicul este de tip “SOLO” (nearticulat) cu o capacitate de transport de 107 pasageri, din care 29 locuri pe scaune, 78 în picioare pentru 8 călători /m² și un fotoliu rulant.

Este un vehicul cu podea joasă iar aparatura de tracțiune este plasată pe acoperiș. În stații are posibilitatea înclinării pe partea dreaptă, comanda fiind realizată de către conducătorul vehiculului prin modificarea presiunii aerului din pernele pneumatice. Cu ajutorul unui podeț rabatabil, trapă manuală sau comandată electric (care se deschide la ușa din mijloc), există posibilitatea urcării pasagerilor cu cărucioare care au un handicap locomotor major.

Întreaga instalație electrică de comandă este alimentată la 24 Vcc. Sursa de energie este asigurată de bateriile de acumulare, încărcate de la sursa statică de tensiune a vehiculului.

Menținerea tensiunii pe vehicul este asigurată prin intermediul a 2 separatoare:

- unul electromagnetic pe circuitul de plus;
- unul manual pe circuitul de minus.

Nu există nici o comandă directă dată între aparatele vehiculului, legătura realizându-se prin intermediul multiplexajelor IOU și CAMU coordonată de GMU.

3. Caracteristici și performanțe

Instalația electrică de comandă, este dintre cele mai moderne existente la ora actuală în Europa. Aceasta asigură funcționarea vehiculului împreună cu instalația de tracțiune.

Instalația de comandă beneficiază de următoarele performanțe:

- conectarea instalației de diagnoză și pilotarea sau setarea unor parametri;
- transmiterea comenzilor din cabina de conducere către celelalte aparate prin intermediul cutiilor GMU și IOU;

- preluarea comenzilor primite de multiplexaje și luarea deciziilor corespunzătoare;
- restricționarea comenzilor la apariția unor defecte;
- frânarea vehiculului cu prioritate față de tracțiune (frânarea pneumatică);
- antiblocarea roților la frânarea pneumatică (ABS);
- protecția la suprasarcină sau scurtcircuite;
- interdicția realizării tracțiunii dacă se constată anumite defecte (uși deschise, vehicul înclinat, trapă deschisă sau instalații defecte);
- deschiderea și închiderea automată a ușilor în funcție de necesități;
- protecția călătorilor la oprirea acestora între uși;
- înclinarea vehiculului în stație numai cu ușile închise;
- supravegherea instalației de frână pneumatică;
- supravegherea instalației de înclinare a vehiculului;
- semnalizarea codificată a unor defecte;
- conectarea și deconectarea bateriilor de acumulare.

Această instalație se află plasată în tot vehiculul, legătura dintre agregate și aparate, realizându-se prin intermediul conductoarelor și conectoarelor.

4. Arhitectura electronică

Actualul vehicul prezintă un sistem electronic multiplex. Acest sistem este constituit din mai multe microprocesoare plasate în diferite cutii după cum urmează:

- o cutie GMU cu rol de „Master-Slave”;
- 7 cutii IOU;
- o cutie CAMU (pentru ușile cu sistemul SIMBA);
- o cutie ABS.

Legătura dintre microprocesoare este realizată prin linie CAN (Computer Auto Network)

Cutia GMU

Acesta constituie inteligența sistemului, comandând prin intermediul softului toate celelalte microprocesoare.

Mai permite în plus legătura vehiculului cu instalația de diagnoză, comanda lămpilor de diagnostic pentru presiunile existente pe vehicul, precum și restituirea informațiilor de viteză ale vehiculului.

Cutiile IOU

Asigură legătura dintre restul instalației electrice și GMU. Prin intermediul lor sunt preluate toate informațiile din vehicul pe de o parte, și sunt transmise comenzi în vehicul, pe de altă parte

Cutia CAMU

Asigură legătura între GMU și instalația de comandă a ușilor (SIMBA). Cu această instalație sunt preluate și comenzile de la trapele pentru accesul în vehicul cu cărucioare pentru pasagerii cu handicap major.

Cutia ABS

Face legătura între GMU și instalația de frână pentru a evita blocarea roților la frânare (sistem antiblocare). Siguranța frânării vehiculului (și implicit siguranța pasagerilor) este asigurată (pe lângă frâna electrică de serviciu), prin sistemul de frânare pneumatic cu o frână modernă de construcție Knorr.

Suspensia vehiculului este asigurată prin perne pneumatice comandate automat în funcție de încărcătură. Acestea sunt dispuse câte 4 pentru puntea din spate (două pe fiecare parte a vehiculului, alimentate din câte un

electroventil de alimentare) și două pentru partea din față alimentate din ventilul de nivel corespunzător.

Traductoarele de nivel sunt electrice transmițând un semnal analogic la multiplex în funcție de încărcătura vehiculului. Acestea sunt comandate de către un braț articulat de șasiul vehiculului.

Dacă greutatea (pe una din părțile spate sau față) se mărește, prin coborârea brațului articulat, multiplexul comandă electroventilul corespunzător permițând astfel intrarea unei noi cantități de aer în perna respectivă, până când vehiculul s-a ridicat la înălțimea inițială.

Dacă greutatea s-a micșorat (prin coborârea din vehicul a mai multor pasageri) procesul are loc în sens invers, iar aerul din pernă este evacuat în atmosferă până când se ajunge din nou la nivelul inițial. Nivelul de ridicare poate fi reglat ușor prin brațele reglabile ale ventilului.

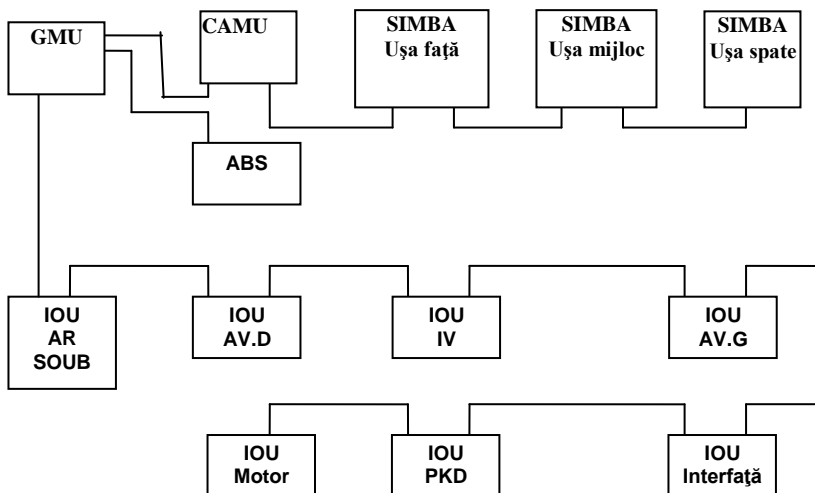


Figura 1 . Arhitectura electronică

În stații vehiculul poate fi înclinat spre dreapta. Comanda fiind dată printr-un buton din cabina de conducere. Revenirea acestuia în poziția inițială se face prin apăsare în sens invers. Pentru revenirea urgentă în stare inițială (în poziție orizontală) s-a prevăzut un buton special.

Instalația pneumatică

Prepararea aerului comprimat necesar funcționării vehiculului, este realizat cu ajutorul unui compresor fără piston (cu excentric) acționat de către un motor electric asincron. La depășirea presiunii de 12,5 bar, aerul comprimat este evacuat în atmosferă, ducând astfel la curățirea de impurității prin purjare.

Aerul comprimat este folosit la:

- alimentarea cilindrilor de frână;
- alimentarea cilindrilor de la frâna cu resort;
- alimentarea frânei de staționare BBS.

Eliberarea frânei de staționare se face în mod automat la îndeplinirea condițiilor de tracțiune atunci când curentul pe motorul de tracțiune este de 100 A. În acest mod este posibilă pornirea din rampă sau din pantă.

Intrarea frânei de mână (cu resort) în acțiune se face atunci când se comută maneta robinetului de comandă din bord sau atunci când se eliberează pedala frânei de serviciu (dacă a fost comandată inițial frâna de mână).

Dacă la acționarea frânei de serviciu, frâna cu resort a fost activă, atunci pentru a evita blocarea necontrolată a roților, are loc introducerea aerului în cilindrii frânei cu resort. În acest fel are loc eliberarea frânei cu resort. La eliberarea pedalei aerul din cilindru de frână și cel din cilindru frânei cu resort, este evacuat în atmosferă (în acest fel vehiculul rămâne frânat cu frâna de mână).

La oprire după deschiderea cel puțin a unei uși de acces al călătorilor, dacă frâna de mână nu a fost comandată, din microprocesor se dă comanda de BUS-STOP, comandă electrică care va alimenta electroventilul care va

permite intrarea unei presiunii de 2,8 bar în cilindrii frânei vehiculului (adică va acționa frâna de staționare).

Menținerea nivelului constant de ridicare a vehiculului se face în mod automat prin ventilele de nivel.

Deschiderea sau închiderea manuală a unei uși se poate face numai prin izolarea robinetului, plasat deasupra fiecărei uși.

În cazul unui defect major al vehiculului acesta poate fi tratat numai dacă se face alimentarea cu aer de la o sursă exterioară la priza din față.

BIBLIOGRAFIE

- 1) I. Bele, *Contribuții privind alegerea și optimizarea sistemelor de acționare electrică la metrou*, Teză de doctorat UP, Timișoara 1999.
- 2) I.Bebe, *Cartea tehnică a metroului cu automat programabil*, SC Astra Vagoane Călători SA Arad, Arad 2001.
- 3) I. Bele, *Cartea tehnică a troleibuzului Ikarus 415T S.C. ASTRA BUS Arad*, Arad 2001.
- 4) I. Bele, L.S. Bocîi, *Transformarea caroseriei de autobuz în caroserie de troleibuz cu podea joasă*, Buletinul Științific TOM 48(62), Mecanica, UP Timișoara 2003.
- 5) *Documentația tehnică de execuție a troleibuzului 415T din București.*
- 6) *Documentația tehnică de execuție a troleibuzului Astra-Solaris.*

Regimul tranzitoriu la mașina sincronă

Valentin MÜLLER

Universitatea "Aurel Vlaicu" Arad

***Abstract:** The paper is presenting the mathematical model of the transient regime of an induction machine. The model is based on the equations of the induction machines from the theory of the two axes, resulting a non-linear system. The initial conditions are set according to the characteristics of the regime.*

1. Introducere

Din construcția mașinii sincrone rezultă că este necesar scrierea a două ecuații pentru stator, o ecuație pentru înfășurarea din excitație considerată în axa “d”. Înfășurarea de amortizare se descompune după axale “d” și “q” obținându-se pentru aceasta un număr de două ecuații. La aceste ecuații se adaugă ecuația mișcării și ecuația ce exprimă variația în raport cu timpul a unghiului intern al mașinii.

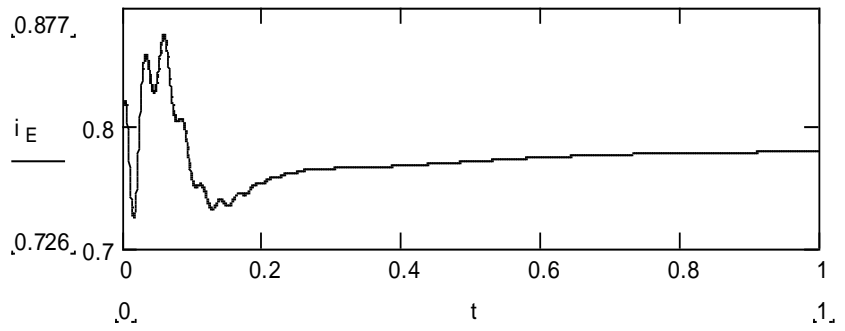
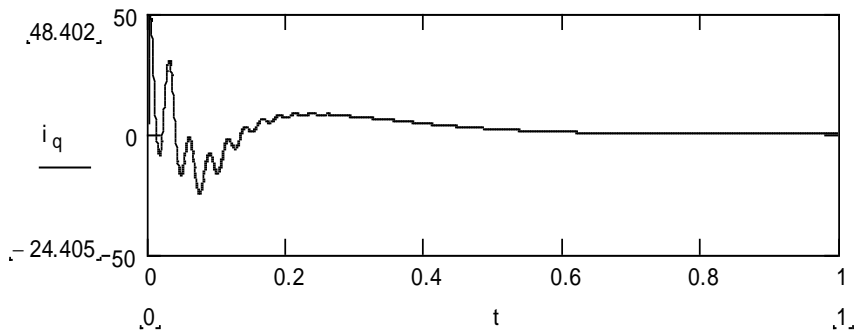
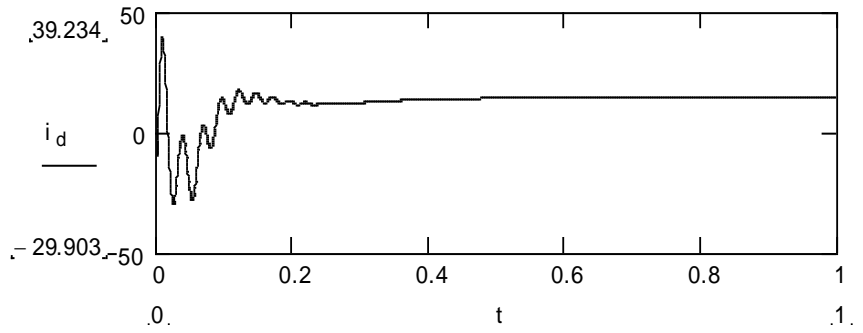
Sistemul de ecuații diferențiale de ordinul I se prezintă în relația 1.

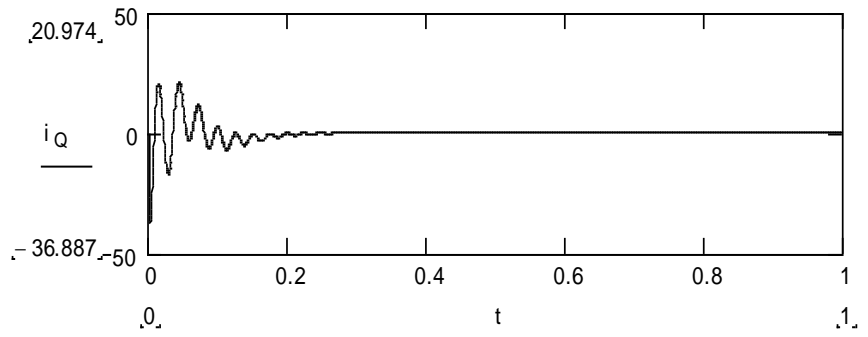
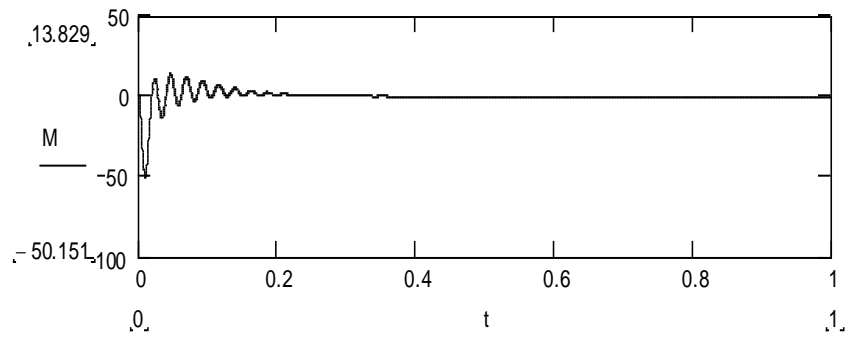
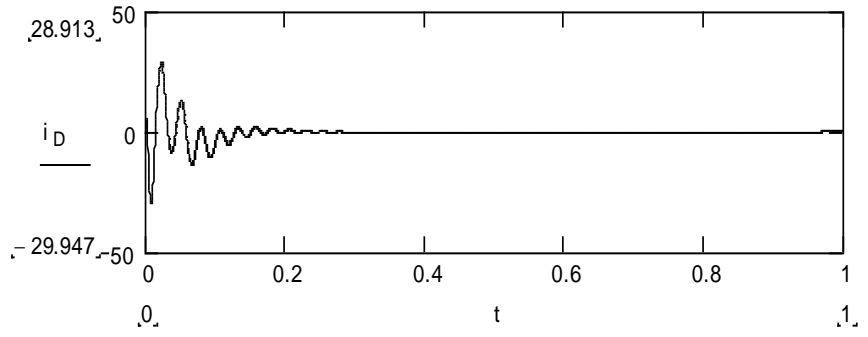
$$\left\{ \begin{array}{l}
u_d = R_d i_d + L_d \frac{di_d}{dt} + L_{dh} \frac{d}{dt} (i_E + i_D) - \omega (L_q i_q + L_{qh} i_Q) \\
u_q = R_q i_q + L_q \frac{di_q}{dt} + L_{qh} \frac{di_Q}{dt} + \omega [L_d i_d + L_{dh} (i_E + i_D)] \\
u_E = R_E i_E + L_E \frac{di_E}{dt} + L_{dh} \frac{di_d}{dt} + (L_{dh} + L_{ED\sigma}) \frac{di_D}{dt} \\
0 = R_D i_D + L_D \frac{di_D}{dt} + L_{dh} \frac{di_d}{dt} + (L_{dh} + L_{ED\sigma}) \frac{di_E}{dt} \\
0 = R_Q i_Q + L_Q \frac{di_Q}{dt} + L_{qh} \frac{di_q}{dt} \\
\frac{d\theta}{dt} + \omega = 314 \\
p[(L_d - L_q) \dot{i}_d i_q + L_{dh} i_E i_q + L_{dh} i_q i_D - L_{qh} i_Q i_d] - M_{rezist} = \frac{J}{p} \frac{d\omega}{dt}
\end{array} \right. \quad (1)$$

În acest sistem necunoscutele sunt: i_d , i_q , i_E , i_D , i_Q , θ și ω .

2. Partea experimentală

Pentru un motor sincron cu poli plini de putere $P_N = 3,3$ KW la 3000 rot/min având parametrii electrici $R_d = R_q = 1,16 \Omega$; $R_E = 105 \Omega$; $R_D = R_Q = 8 \Omega$; $L_d = L_q = 0,08$ H; $L_D = L_Q = 0,078$ H; $L_E = 18,51$ H; $L_{dh} = L_{qh} = 0,077$ H; $L_{ED\sigma} = 0,005$ H; $J = 8,6 \cdot 10^{-3}$ kg.m²; $U_E = 82$ V; $U_f = 220$ V, se prezintă variația în timp a mărimilor necunoscute din sistemul 1 în cazul intrării în sincronism pentru $M_{rezist} = 0$.





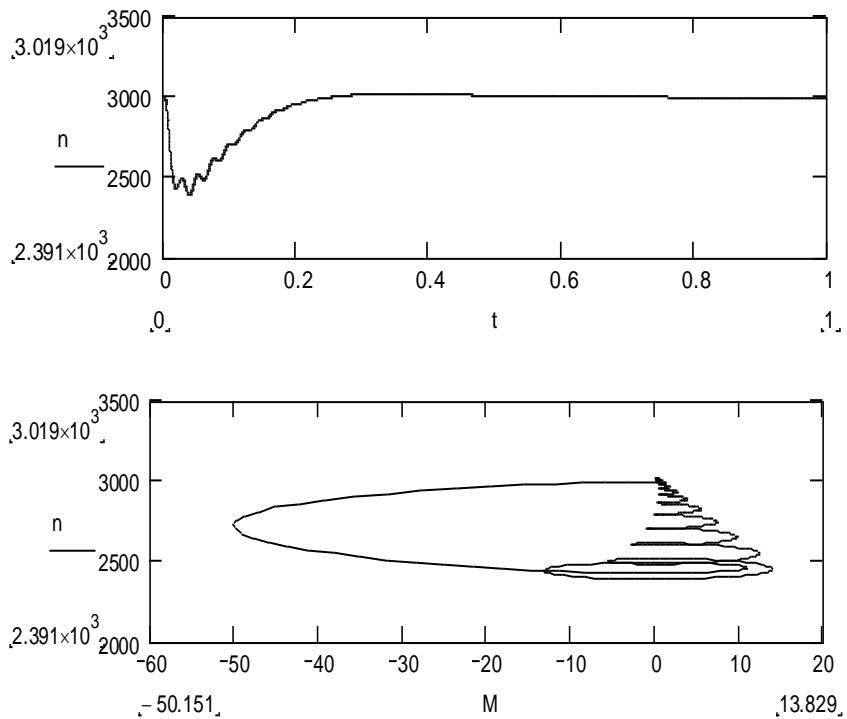


Fig1. Variația în timp a mărimilor: i_d , i_q , i_E , i_D , i_Q , n și M .

3. Concluzii

1. Curenții i_D și i_Q din înfășurarea de amortizare se sting după aproximativ 0,2 secunde;
2. Curentul din excitație oscilează în jurul valorii inițiale atingând o amplitudine de 0,877 A;
3. Turația scade aproximativ liniar de la 3000 rot/min la 2341 rot/min;
4. Cuplul electromagnetic prezintă oscilații în intervalul $0 \div 0,2$ s, interval în care și curenții prin înfășurările mașinii au oscilații semnificative.

4. Bibliografie

- [1] Babescu, M. – Mașina sincronă, Editura Politehnica Timișoara, 2003.
- [2] Dordea, T. – Mașini electrice. Partea complementară, Editura Orizonturi Universitare Timișoara, 2002.
- [3] Petcu, D. – MAPLE, un standard pentru matematică cu ajutorul calculatorului, Tip. Univ. de Vest, Timișoara, 1997.

Considerații asupra modelelor interne

Valentina BĂLAȘ, Marius BĂLAȘ
Universitatea „Aurel Vlaicu” din Arad

Abstract: *This paper is presenting a brief recall on the identification and control methods based on the internal models. Some results of the authors' theoretical researches, linked to the intelligent sensors and to railway cars issues are also resumed. A summary of some relevant research ideas linked to internal models is eventually presented.*

1. Introducere

Una dintre posibilitățile de introducere a inteligenței artificiale în funcționarea sistemelor de conducere automată și a senzorilor constă din *adăugarea în structura lor a unor modele ale proceselor în care urmează să fie înglobate* numite *modele interne*. Importanța modelelor interne constă din aceea că ele permit înglobarea *cunoștințelor* disponibile despre aplicație în sistemele bazate pe calculatoare numerice: microcontrolere, DSP-uri, PC-uri, etc.

În §2 se prezintă pe scurt utilizarea modelelor interne în reglarea și identificarea sistemelor. Scopul prezentării este de a pregăti introducerea în §3 a modelelor interne în structura senzorilor inteligenți. Două aplicații ale modelelor interne legate de vagoanele de călători sunt prezentate în §4 iar concluziile și formularea unor posibile viitoare teme de cercetare se regăsesc în §5.

2. Sisteme cu model intern

2.1. Sisteme de reglare adaptivă cu model intern

Utilizarea modelelor de referință interne a fost inițiată în contextul sistemelor de reglare adaptivă [3], etc. Metoda este extrem de răspândită, mai ales în ultimii ani și poate fi regăsită în mai multe variante.

În varianta din fig. 1 funcționarea dorită a procesului neliniar este simulată prin intermediul modelului de referință, care conduce un corector adaptiv ce modifică parametri regulatorului pe baza unei legi de corecție având ca intrare diferența dintre ieșirea y a procesului și cea ale modelului de referință y_M , denumită în continuare *eroare de adaptare*. Corectorul adaptiv care are funcția de transfer $C(s)$, trebuie să determine modificarea parametrilor regulatorului astfel încât ieșirea procesului real să fie cât mai apropiată de ieșirea modelului de referință. Acțiunea de adaptare constă în esență din urmărirea modelului.

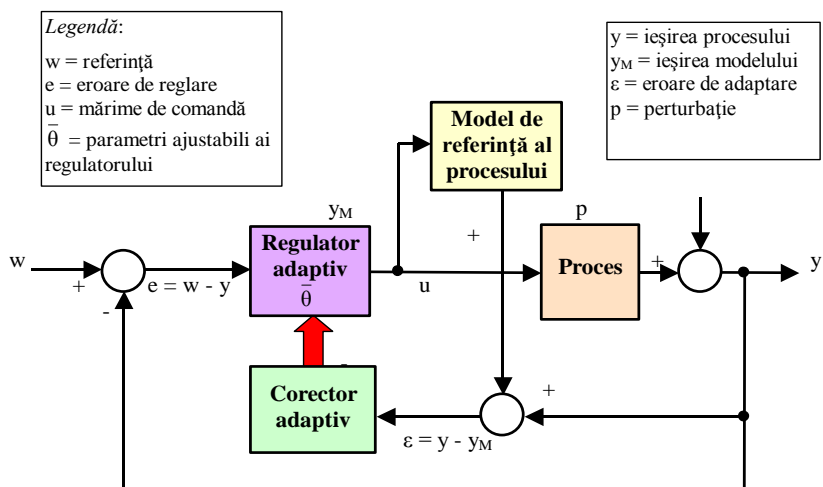


Fig. 1 Sistem de reglare automată adaptivă cu model de referință

Ecuțiile care modelează comportarea sistemului de reglare adaptivă cu model intern pentru cazul cu timp continuu cu parametri constanți pe subintervale de timp, sunt pentru fiecare subinterval de forma:

$$\begin{cases} U(s) = \frac{R_A(C(s))}{1 + G(s) \cdot R_A(C(s))} \cdot W(s) - \frac{R_A(C(s))}{1 + G(s) \cdot R_A(C(s))} \cdot P(s) \\ Y(s) = \frac{G(s) \cdot R_A(C(s))}{1 + G(s) \cdot R_A(C(s))} \cdot W(s) + \frac{1}{1 + G(s) \cdot R_A(C(s))} \cdot P(s) \\ \varepsilon(s) = (G(s) - M(s)) \cdot U(s) + P(s) \end{cases} \quad (1)$$

Notațiile folosite pentru funcțiile de transfer și transformatele Laplace sunt: $G(s)$ pentru proces, $R_A(s)$ pentru regulatorul adaptiv, $C(s)$ pentru corectorul adaptiv, $W(s)$ pentru referință, $U(s)$ pentru comandă, $Y(s)$ pentru ieșire și $P(s)$ pentru perturbația aditivă, $M(s)$ pentru modelul procesului. Aceste ecuații sunt valabile și în cazul cu timp discret.

Problema centrală a acestor sisteme este proiectarea legii de corecție $C(s)$. Există mai multe metode de analiză și sinteză utilizabile în acest sens, dintre care cea mai des utilizată este metoda gradientului.

Se alege o funcție criteriu $J(\bar{\theta})$ dependentă de $\bar{\varepsilon} = \bar{y} - \bar{y}_M$ (eroarea de adaptare), unde $\bar{\theta}$ sunt parametrii ajustabili ai regulatorului, de exemplu:

$$J(\bar{\theta}) = \frac{1}{2} \bar{\varepsilon}^2 \quad (2)$$

sau

$$J(\bar{\theta}) = |\bar{\varepsilon}| \quad (3)$$

Evident, cu cât valoarea lui J este mai mică, cu atât eroarea ε este și ea mai mică. În continuare, pentru minimizarea lui J , parametrii evoluează în timp în sensul negativ al gradientului lui J în raport cu θ :

$$\frac{d\theta}{dt} = -\gamma \cdot \frac{dJ}{d\theta} \quad (4)$$

unde γ este o constantă pozitivă ce caracterizează viteza de adaptare.

Avantajele principale ale metodei constau din simplitatea sintezei corectorului și robustețea. Dezavantajele sunt legate de faptul că poate fi aplicată numai proceselor stabile [6] precum și de viteza de convergență și precizia relativ scăzute față de principala metodă alternativă, metoda Gauss-Newton [4]. O metodă care combină avantajele metodelor gradientului și Gauss-Newton este metoda Marquardt [4].

Metoda modelului intern oferă posibilități numeroase de sinteză a unor sisteme de reglare adaptive cu diverse topologii și caracteristici. În fig. 2 se prezintă varianta sa cea mai simplă, aplicabilă pentru procese liniare, pentru

cazul în care corecția adaptivă se identifică cu eroarea de adaptare $C(s) = \varepsilon(s)$, așa cum se regăsește ea în [6].

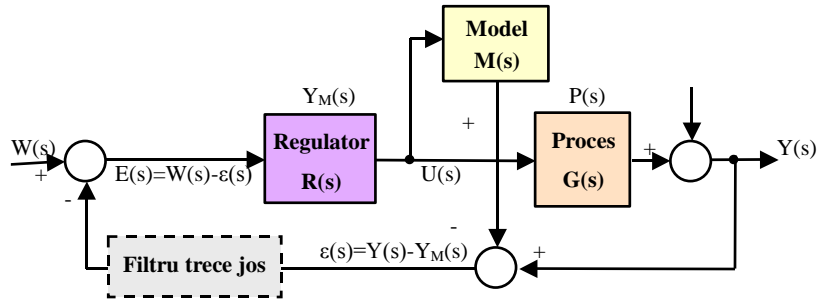


Fig. 2. Varianta cea mai simplă a reglării cu model intern

Ecuțiile care modelează sistemul pentru cazul cu timp continuu sunt:

$$\begin{cases} U(s) = \frac{R(s)}{1 + R(s) \cdot (G(s) - M(s))} \cdot W(s) - \frac{R(s)}{1 + R(s) \cdot (G(s) - M(s))} \cdot P(s) \\ Y(s) = \frac{R(s) \cdot G(s)}{1 + R(s) \cdot (G(s) - M(s))} \cdot W(s) + \frac{1 - R(s) \cdot M(s)}{1 + R(s) \cdot (G(s) - M(s))} \cdot P(s) \\ \varepsilon(s) = (G(s) - M(s)) \cdot U(s) + P(s) \end{cases} \quad (5)$$

Dacă modelul $M(s)$ ar reprezenta perfect procesul $G(s)$ atunci:

$$\varepsilon(s) = P(s) \quad (6)$$

și mărimea de reacție ar fi identică cu perturbația, nefiind afectată de acțiunea de reglare. Sistemul se comportă ca și cum ar fi în buclă deschisă, stabilitatea sa depinzând doar de stabilitatea procesului și a corectorului. Ieșirea are forma

$$Y(s) = R(s) \cdot G(s) \cdot W(s) + (1 - R(s) \cdot M(s)) \cdot P(s) \quad (7)$$

Dacă referința este constantă eroarea statică poate fi anulată prin condiția

$$R(0) = M(0)^{-1} = G(0)^{-1} \quad (8)$$

În regim dinamic erorile de modelare cauzează erori de reglare și chiar instabilitate, dar popularitatea metodei modelului intern demonstrează indirect fezabilitatea ei. O posibilitate de reducere a riscului instabilizării provocate de diferențele dintre model și procesul real constă din introducerea unui filtru trece jos pe calea de reacție, ca în fig. 2.

Varianta din fig. 3 este echivalentă, dar cu modelul plasat în buclă închisă.

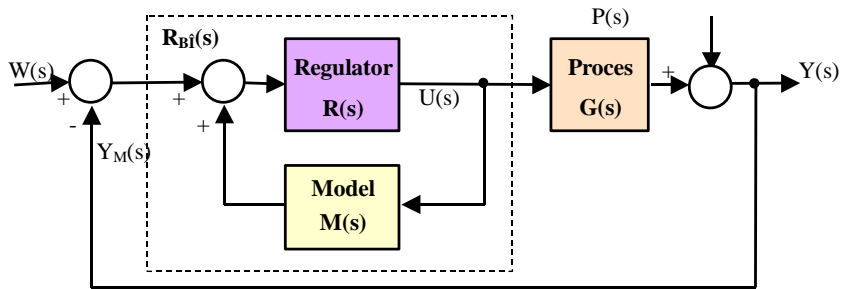


Fig. 3. Reglarea cu model intern în buclă închisă

În acest caz regulatorul în buclă închisă va avea funcția de transfer

$$R_{BI}(s) = \frac{R(s)}{1 - R(s) \cdot M(s)} \quad (9)$$

De la structura cu modelul în buclă închisă se poate ajunge la o altă variantă în care modelul este prezent atât în paralel cu procesul cât și în regulator.

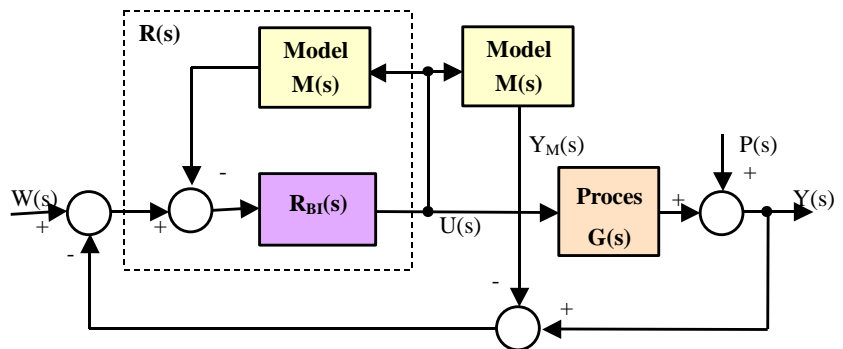


Fig. 4. Structură de reglare cu model intern

În acest caz regulatorul va avea funcția de transfer:

$$R(s) = \frac{R_{BI}(s)}{1 + R_{BI}(s) \cdot M(s)} \quad (10)$$

Când în componența regulatorului în buclă închisă $R_{BI}(s)$ există un integrator, în regim staționar regulatorul $R(s)$ se identifică cu $M^{-1}(s)$.

2.2. Identificarea proceselor prin metoda modelului intern

Metoda modelului intern poate fi reorientată în sensul identificării procesului: *în loc ca procesul să urmărească automat modelul de referință, modelul va urmări automat evoluția procesului*. Schema bloc a procedurii este prezentată în fig. 5. Avantajul acestei abordări a modelării este acela că oferă premisa identificării on-line a întregului set de parametri interni ai procesului, cu condiția ca modelul să fie determinist, adică să respecte legăturile funcționale dintre parametrii procesului.

Este de remarcat că procesul de actualizare a parametrilor modelului poate fi privit și ca un proces de *învățare automată*.

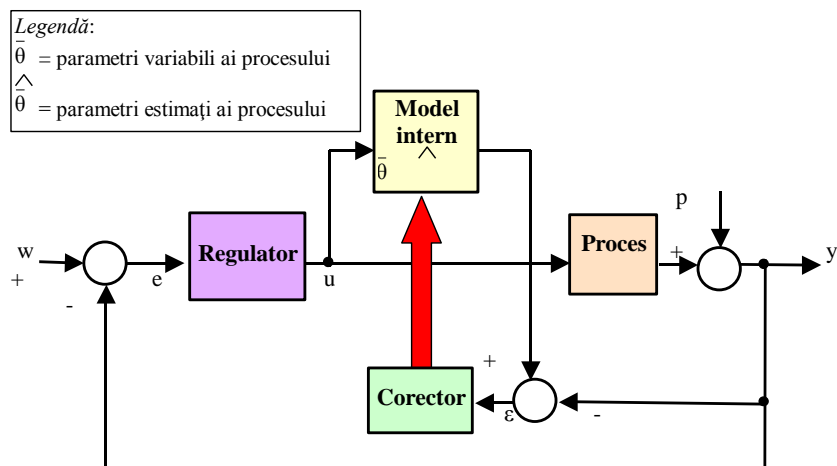


Fig. 5. Identificarea unui proces prin metoda modelului intern

Principala dificultate apare la proiectarea corectorului, atunci când nu dispunem de informații precise referitoare la modul de acțiune a parametrilor asupra procesului. În acest caz se ridică problema convergenței algoritmului de corecție în sensul relației (4) precum și problema stabilității acțiunii corectoare, întrucât bucla de reacție dintre corector și modelul intern poate ea însăși

genera instabilitate. Stabilitatea identificării cu model intern poate fi studiată doar în cazuri concrete, în care se cunoaște precis legea de corecție adaptivă.

Ecuatiile care modelează structura din fig. 5 sunt:

$$\begin{cases} U(s) = \frac{R(s)}{1 + R(s) \cdot G(s)} \cdot W(s) - \frac{R(s)}{1 + R(s) \cdot G(s)} \cdot P(s) \\ Y(s) = \frac{R(s) \cdot G(s)}{1 + R(s) \cdot G(s)} \cdot W(s) + \frac{P(s)}{1 + R(s) \cdot G(s)} \\ \varepsilon(s) = (M(C(s)) - G(s)) \cdot U(s) - P(s) \end{cases} \quad (11)$$

2.3. Soluții de modelare și de implementare a modelelor

În abordările teoretice se utilizează tot mai mult *modele deterministe structurale cu timp continuu*, cum sunt cele de tip SIMULINK – MATLAB. Avantajul lor principal este transparența față de raționamentul uman și apropierea de natura fizica, continuă, a proceselor modelate. În plus reprezentarea prin scheme bloc este cea mai adecvată sistemelor complicate, cu multe interconexiuni între module.

Implementările se obțin de regulă cu modele în timp discret, compatibile cu procesoarele utilizate în ceea ce privește limbajul de programare.

O soluție eficientă de implementare constă din utilizarea rețelelor de interpolare [2]. În principiu orice dependență funcțională poate fi aproximată cu ajutorul rețelelor interpolative, cu o anumită precizie, care depinde de numărul nodurilor de interpolare. În mediul MATLAB rețelele interpolative se pot implementa cu ajutorul tabelor de căutare multi-dimensionale. În limbajele de nivel înalt implementările se pot realiza prin intermediul ariilor multidimensionale. Aceste structuri pot fi implementate ușor în cazul microprocesoarelor sau microcontrolerelor și chiar în tehnologii analogice [7].

În oricare dintre variante problema principală a modelării este realizarea unei concordanțe cât mai bune între model și proces, în regim staționar cât și în regim dinamic. În cazul proceselor liniare simple, identificabile cu precizie, modelarea nu ridică probleme. În cazul în care caracteristica intrare-ieșire a

procesului este bijectivă se pot construi modele inverse cu scopul asigurării condiției (8) teoretic sub forma:

$$M(s) = G^{-1}(s) \quad (12)$$

iar practic sub o formă modificată, corespunzătoare posibilității de realizare fizică aproximativă a lui $G^{-1}(s)$.

Atunci când complexitatea procesului modelat este prea mare sau nu se dispune de un model determinist al procesului, dar există totuși informații calitative, de tip expert, referitoare la intercondiționările funcționale dintre parametrii modelului, se poate apela la tehnologiile fuzzy. De exemplu în [1] se propune o variantă de conducere pe bază de model de referință cu model intern de tip fuzzy.

Modelele fuzzy des întâlnite în literatură pot fi clasificate în trei categorii:

- a) Modelele lingvistice, introduse de Lotfi A. Zadeh în [Zade75].
- b) Modele cu relații fuzzy introduse de W. Pedricz și E. Czogala în [Pedr81].
- c) Modele Takagi-Sugeno introduse în [Taka85].

În [1] varianta aleasă este c, cea mai avantajoasă din punct de vedere al implementării. În aceeași lucrare se propune și o metodă de inversare a modelelor de tip Takagi-Sugeno: pseudoinversiunea.

Considerând o regulă de forma: „**Dacă** procesul este în starea \bar{x}_i **și** se aplică comanda \bar{u}_j **atunci ieșirea este** $\bar{y}_{(i,j)}$ ”, ea va avea inversa de forma: „**Dacă** procesul este în starea \bar{x}_i **și** dorim ieșirea $\bar{y}_{(i,j)}$ **atunci se aplică comanda** \bar{u}_j . Pentru a nu rezulta reguli contradictorii funcția $\bar{y}_{(i,j)}$ trebuie să fie bijectivă.

Modelele fuzzy se pot aplica atunci când nu este necesară sau posibilă modelarea precisă a procesului. Când nici modelarea fuzzy nu este productivă se poate apela la rețelele neuronale sau la alte metode de învățare artificială.

3. Senzori cu model intern

3.1. Senzori adaptivi cu model intern

Deseori măsurătorile asupra proceselor conduse automat sunt afectate de erori, din diferite cauze: derive în timp ale valorilor componentelor electronice din echipamente, sensibilități limitate, perturbații externe, etc. Incertitudinea introdusă astfel se numește *incertitudine de ordin 1* [5]. Mai mult, procesele și măsurătorile aferente lor sunt de regulă afectate de *incertitudini de ordin 2* care țin de cunoașterea insuficientă a procesului sau echipamentelor de conducere. Un astfel de caz apare de exemplu la măsurarea temperaturii aerului din interiorul unei încălziți condiționate. Circulația aerului, inerțiile termice, influențele pereților și alți factori creează distribuții complexe și nerepetitive ale temperaturii aerului atât în spațiu cât și în timp. Măsurarea temperaturii va fi în consecință influențată de poziția senzorului, fără a se putea defini în mod fundamentat o poziție optimă.

Pentru măsurări în condiții de incertitudine este recomandabilă extragerea unei cantități cât mai mari de informație din datele disponibile. În acest scop, pe lângă tehnica modelului intern se va apela și la *fuzionarea datelor*, cele două tehnici putând conlucra extrem de eficient. Prin fuzionarea datelor se obține atât extinderea domeniului de măsură cât și creșterea fiabilității;

Modelul intern, care include toate cunoștințele apriorice disponibile despre senzor și proces poate fi inclus în structura senzorului ca și în fig. 6. Apelarea la modelul intern poate viza mai multe obiective:

- îmbunătățirea funcționării: creșterea preciziei, scăderea timpului de răspuns, rejectarea perturbațiilor, etc.;
- validarea măsurătorilor;
- diagnosticarea funcționării și a stării tehnice a senzorului;
- estimarea mărimilor fizice ne-măsurabile sau greu accesibile și a indicilor de performanță sintetici;
- adaptarea la condițiile de măsurare și la starea tehnică.

Rezultă o structură originală de *senzor inteligent adaptiv cu model intern* SIAMI [9]. Se au în vedere structuri complexe de senzori, în care există cât mai mulți senzori lucrând în redundanță, la care rezultatul final al măsurătorii se obține prin fuziunea informațiilor primare. Modelul intern va acționa asupra rezultatului final al măsurătorii sau estimării prin intermediul mecanismului de fuziune. Schema bloc SIAMI este reprezentată în fig. 6.

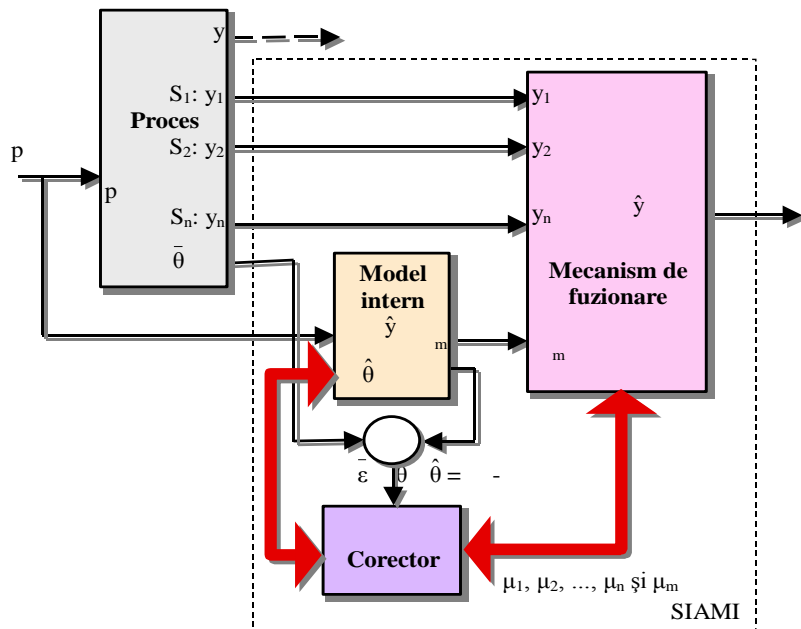


Fig. 6. Structura SIAMI

Elementele componente ale SIAMI sunt:

- *Procesul*: caracterizat de incertitudinea referitoare la mărimea de ieșire și la măsurarea ei. El include n senzori primari S_1, S_2, \dots, S_n care măsoară în paralel variabila de ieșire din proces y . Din cauza incertitudinii care afectează procesul nu avem acces la ieșirea y , care trebuie estimată. Mărimea de intrare este p , mărimile de ieșire sunt y și semnalele celor n senzori y_1, y_2, \dots, y_n iar mărimile de stare sunt incluse în vectorul mărimilor de stare $\bar{\theta}$.

- *Modelul intern* are ca intrare mărimea de intrare în proces p , ca ieșire estimata modelului \hat{y}_m și ca mărimi de stare estimata vectorului mărimilor de stare $\hat{\theta}$.

- *Mecanismul de fuzionare*: calculează estimata ieșirii procesului \hat{y} pe baza unor grade de încredere în fiecare dintre senzorii primari. $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$ precum și a gradului de încredere în model μ_m . Se pot utiliza diferite legi de agregare, inclusiv fuziunea fuzzy. Intrări sunt semnalele celor n senzori y_1, y_2, \dots, y_n și estimata modelului \hat{y}_m , ieșire estimata mărimii de ieșire \hat{y} și mărimi de stare $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$ și μ_m .

- *Corectorul* – îndeplinește două funcții fundamentale:

- a) adaptarea on line a modelului intern al procesului, astfel ca acesta să urmărească cât mai fidel evoluția parametrilor funcționali ai procesului real,
- b) validarea senzorilor primari și a modelului (calculul gradelor lor de încredere) face pe baza datelor tehnice ale senzorilor primari (domeniul de funcționare, precizia, perturbații, viteza de răspuns, etc.). Validarea se cumulează cu corecția deoarece în corector sunt centralizate deja datele necesare adaptării.

La stabilirea gradelor de încredere se au în vedere mai multe obiective:

- asigurarea unei precizii maxime pe un domeniu cât mai mare de funcționare. Pentru aceasta se vor atribui valori maxime de încredere pentru acei senzori care în punctul de măsură au precizie maximă,
- asigurarea unei viteze de răspuns cât mai bună. Compensarea inerției senzorilor primari pe durata regimurilor tranzitorii poate fi obținută prin utilizarea mărimii estimate de către model \hat{y}_m ,
- creșterea fiabilității prin diagnosticarea senzorilor primari, ale căror indicații sunt comparate cu \hat{y}_m . Gradul de încredere în senzorii care nu funcționează corect conform criteriilor diagnozei este anulat.

Adaptarea modelului intern și fuziunea informației disponibile sunt afectate de incertitudine, din cauza complexității și neliniarității proceselor, fiind

imposibilă identificarea unei soluții general aplicabile pentru corector. Doar abordările *euristice* sunt posibile în fiecare caz. În această situație este recomandabilă alegerea unui corector adaptiv fuzzy, care poate fi implementat prin metodologia fuzzy-interpolativă [7], bazată pe echivalențele posibile dintre controlerile fuzzy și cele interpolative cu interpolare liniară.

În cazul fuziunii fuzzy se pot distinge trei niveluri de fuzzycitate:

- *fuziunea non-fuzzy*, cazul tipic fiind cel al sumei ponderate:

$$y = \frac{\sum_i \mu_i(y_i) \cdot y_i}{\sum_i \mu_i(y_i)} \quad (13)$$

- *fuziunea ponderată fuzzy*, în care fuziunea propriu-zisă este suma ponderată dar gradele de încredere sunt determinate prin metode fuzzy;

$$y = \frac{\sum_i \mu_i(\text{fuzzy}(y_i)) \cdot y_i}{\sum_i \mu_i(\text{fuzzy}(y_i))} \quad (14)$$

- *fuziunea fuzzy propriuzisă*

Senzorii primari prezintă erori, conform principiilor lor de funcționare, a particularităților constructive, a influenței mediului și a stării lor tehnice.

$$y_i(t) = S_i(y(t)) \quad (15)$$

Funcțiile de intrare-ieșire ale senzorilor $S_i(y(t))$ pot fi determinate doar experimental, prin etalonarea senzorilor. Indicațiile $y_i(t)$ sunt ponderate prin gradele de încredere aferente fiecărui senzor $\mu_i(y(t))$, rezultând n termeni de forma $\mu_i(y(t)) \cdot y_i(t)$, care sunt agregați prin mecanismul de fuzionare, împreună cu termenul corespunzător modelului intern $\mu_m(y(t)) \cdot y_m(t)$:

$$\hat{y} = \text{Fuz}\left(\mu_1(y(t)) \cdot y_1(t), \mu_m(y(t)) \cdot y_m(t)\right) \quad (16)$$

Fuzionarea este ortonormată când gradele de încredere respectă relația:

$$\mu_m(y(t)) + \sum_{i=1}^n \mu_i(y(t)) = 1 \quad (17)$$

3.2. Estimatoare cu model intern

Modelele interne permit estimarea mărimilor imposibil de măsurat direct. Un exemplu în acest sens este estimarea vitezei unui vehicul, în timpul frânărilor ABS, pe durata regimului de alunecare a roților [9]. Senzorii de turație care echipează fiecare roată nu mai sunt utili în timpul alunecării, pentru că roțile nu mai păstrează contactul cu calea de rulare.

Estimatorul este asemănător cu SIAMI, întrucât funcționează prin fuziunea unor semnale ale vitezei vehiculului provenite din mai multe surse:

- $\max(v_{w_i})$: maximul dintre indicațiile senzorilor fiecărei roți;
- \hat{v}_{car_a} : estimarea vitezei prin integrarea semnalului unui accelerometru;
- $\hat{v}_{car_{model}}$, estimata vitezei vagonului obținută cu ajutorul unui model intern al instalației de frânare ABS, care are ca intrare principală presiunea P din cilindrul de frână.

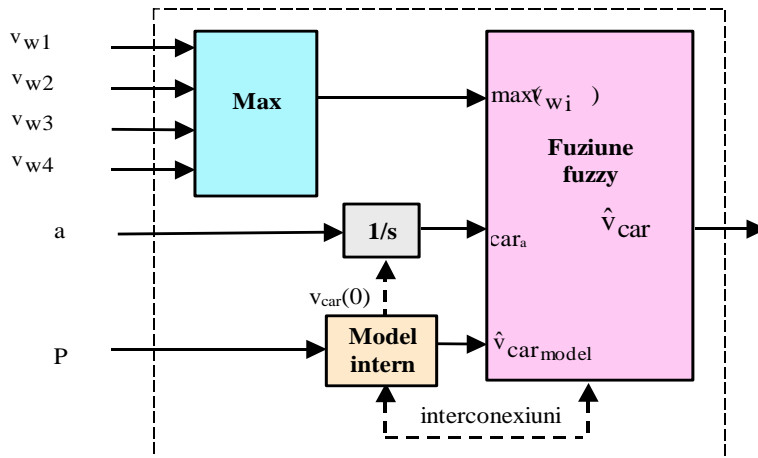


Fig. 7. Estimatorul vitezei unui vehicul pe durata alunecării roților

Rolul modelului intern este complex:

- identificarea regimului de funcționare a frânei ABS, inclusiv $v_{car}(0)$;
- calcularea gradelor de încredere în senzorii primari, în funcție de regimul de funcționare;

- calcularea unei estimări $\hat{v}_{\text{car model}}$ care să poată interveni direct în fuziunea fuzzy atunci când încrederea în senzorii primari este scăzută și care în același timp poate să asiste diagnosticarea on-line a senzorilor primari;
- estimarea on-line a aderenței roată-șină în vederea adaptării regulatorului ABS la variațiile ei.

Aderența dintre roată și calea de rulare este o mărime extrem de greu de măsurat direct, în alte condiții decât cele de laborator. Ea depinde de mulți factori (coeficientul de frecare dintre roată și calea de rulare, condiții climatice, starea tehnică, curățenie, etc.) prezentând și variații aleatorii puternice.

Aderența poate fi estimată on-line, în timp real, prin metoda din fig. 8.

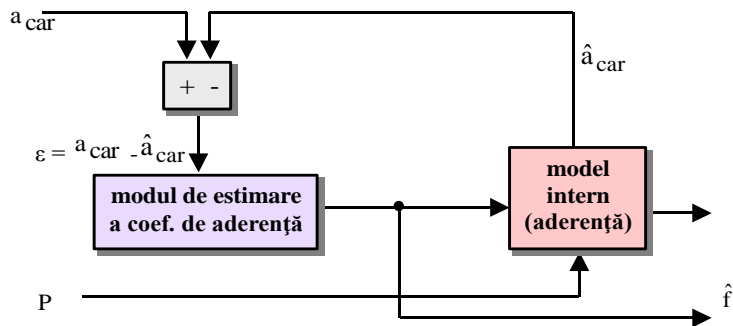


Fig. 8. Estimarea aderenței cu ajutorul modelului intern

Metoda presupune compararea dintre accelerația furnizată de modelul intern cu cea măsurată direct, prin accelerometrul piezoelectric. Întrucât principalul parametru care influențează frânarea este chiar aderența, diferențele dintre cele două accelerații pot fi atribuite în principal necunoașterii ei. Modulul de estimare a coeficientului de aderență va furniza modelului valori numerice astfel încât să minimizeze eroarea ε . Valoarea care produce într-un anumit moment minimizarea lui ε este chiar estimata aderenței \hat{f} [9].

O altă aplicație a SIAMI apare la măsurarea temperaturii în cuptoarele de tratamente termice [8]. În acest caz ponderea modelului intern este crescută pe durata regimurilor tranzitorii, când senzorii primari sunt afectați de inerție.

4. Aplicații ingineresti ale modelelor interne

a) Evaluarea uzurii frânelor și roților

În timpul exploatării vagoanelor apare uzura componentelor aflate în mișcare, în special a discului și garniturilor de frecare pentru frâna cu disc și a bandajelor pentru roți. Evident, uzura este periculoasă, și ea trebuie ținută sub control, pentru a evita accidentele. Pentru stabilirea uzurii, singura metodă utilizată curent este inspectare vizuală și măsurarea gabaritelor pieselor. Prin estimarea automată a uzurii s-ar obține creșterea siguranței circulației înlăturând riscurile evaluării subiective, și pe de altă parte s-ar evita cheltuielile inutile produse în cazul înlocuirii unor elemente neuzate. Viteza de uzare w , măsurată în $\mu\text{m}/\text{km}$ este puternic neliniară. Principalii factori de influență sunt viteza relativă dintre elementele de fricțiune v și forța de frecare f , dar mai pot fi menționați temperatura, calitatea montajului, uzura, etc.

Uzura poate fi estimată prin integrarea dependenței $w(v, f)$ pe durata frânelor în cazul frânei sau a rulării, în cazul roților. Variația în timp a parametrilor este reprodusă cu ajutorul unui model al vagonului care are ca variabilă de intrare presiunea din cilindru de frână al vagonului [9], [10].

b) Creșterea siguranței circulației prin utilizarea modelului intern

Nu cu mulți ani înainte a avut loc o catastrofă feroviară prin deraierea Inter-City-ului german. Se pare că ea a fost produsă prin desprinderea unui bandaj de oțel al roții, care era la rândul său montat pe un bandaj de cauciuc. În momentele premergătoare deraierii, vagonul în cauză s-a comportat anormal o perioadă de timp, în care s-au produs vibrații accentuate. Se poate afirma că prin utilizarea unui model intern al indicelui de mers al vagonului ca funcție de viteza de mers și de caracteristicile ale traseului (raza de curbura, calitatea șinei, înclinarea șinei, etc.), s-ar putea evita pe viitor astfel de catastrofe. Nivelul vibrațiilor reale ale vagonului poate fi comparat cu cel furnizat de model, iar la apariția unor anomalii se poate apela la o procedură de frânare controlată a garniturii, cu frânarea mai accentuată a ultimelor vagoane astfel încât să se evite deraierea [11].

5. Concluzii

Exemplele trecute în revistă pe scurt în lucrare ilustrează potențialul uriaș al modelelor interne de a introduce elemente de inteligență artificială în regulatoare adaptive, senzori inteligenți și estimatoare. Aplicațiile ingineresti pot de asemenea beneficia de asistența modelelor interne.

Principalele direcții de cercetare din acest domeniu sunt legate de:

- metodologia de identificare automată (învățare) a modelelor complicate;
- studiul metodelor de implementare a modelelor prin limbaje de programare de diferite nivele, atât pentru aplicațiile de robotică și reglare avansată cât și pentru cele scrise la nivel de microcontrolere și DSP.

Bibliografie

- [1]. R. Boukezzula, S. Galichet, L. Foulloy, "*Commande a Modele Interne Flou*", Actes des rencontres francophones sur la logique floue et ses applications, Lyon, France, pp.11-16, 3-4 Dec. 1997.
- [2]. T.L. Dragomir, S. Dale, M. Bălaș, "*Some aspects regarding Interpolative Control*", Proceedings of the 13-th International Conference on Control Systems CSCS13, București, Nov. 2001.
- [3]. I. Dumitrache și colectiv, "*Automatizări electronice*", Editura Didactică și Pedagogică, București, 1993.
- [4]. L. Friot, "*Méthodologie de mise en oeuvre d'une régulation de climatisation par modele interne appliquée au transport ferroviaire*", thèse de doctorat, Poitiers, 1995.
- [5]. M. M. Gupta. "*Cognition, Perception and Uncertainty*", Fuzzy Computing Theory. Hardware and Applications, Elsevier, Amsterdam, pp. 1-10, 1988.
- [6]. L. Saidi, "*Commande a modele interne: inversion et equivalence structurelle*", thèse de doctorat, Université de Savoie, 1996.
- [7]. M. Bălaș, "*Regulatoare fuzzy interpolative*", Ed. "Politehnica" Timișoara, 2002.
- [8]. V. Bălaș, "*Senzori inteligenți cu model intern și tehnici fuzzy*", teză de doctorat, Timișoara, 2003.
- [9]. M. Bălaș, V. Bălaș, L.S. Bocîi, I. Radu, I. Koles, "*The real time evaluation of the weariness of the disk brake*", VSDIA 2002: The 8-th International Mini-Conference on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies, Budapest, Nov. 2002.
- [10]. M. Bălaș, V. Bălaș, C. Barna, J. Duplaix, Gh. Gherman, R.E. Precup, "*The real time evaluation of the weariness of the wheels' tread for railway vehicles*", BOGIE04: The 6-th Int. Conf. on Railway Bogies and Running Gears, Budapest, Sept. 2004.
- [11]. M. Bălaș, V. Bălaș, "*Utilitatea modelelor interne pentru vagoanele de călători*", Analele Universității "Aurel Vlaicu" din Arad, Nov. 2002, seria Electrică, fascicula Electrotehnică, Electronică, Automatizări, pag. 19-26.

Aspecte ale fuziunii informației prelucrate numeric

Cornel BARNA
Universitatea „Aurel Vlaicu” din Arad

1. Introducere

1.1. Definirea fuziunii informațiilor

Problematika fuziunii informațiilor este relativ nouă și a apărut în cadrul inteligenței artificiale ca urmare a necesității cumulării unor informații provenite din surse eterogene. Ceea ce își propune ca finalitate fuziunea informațiilor este obținerea unor date mai exacte și mai fiabile despre mediul analizat decât cele obținute de la oricare din sursele de informații luate în mod independent. Un alt avantaj major al fuziunii este faptul că reduce dimensionalitatea problemelor, rezultatul fuziunii putând fi privit ca informația furnizată de o sursă virtuală care înlocuiește sursele ce intră în procesul de fuziune. Fuziunea este procesul prin care din mai multe surse de informații se obține o imagine parțial redundantă și parțial complementară a mediului analizat, care permite studierea atât a nivelului de încredere a surselor, cât și o mai mare informare despre mediu. Această abordare subliniază și aspectul de verificare a surselor prin compararea cu alte evaluări ale aceluiași context extern.

1.2. Clasificări folosite în fuziune

Dacă se face o clasificarea a tipurilor de caracteristici ce se fuzionează rezultă trei tipuri de fuziuni [Tho90]. Aceste nivele iau în considerare etapele prelucrării informației și anume: achiziția datelor de la sursele de informații, conceptualizarea informației prin determinarea unor trăsături sau proprietăți semnificative și luarea deciziilor prin clasificare sau altă operație conexă. O primă fuziune se poate face la un nivel inferior de prelucrare a informației, de exemplu la nivel de senzori sau de pixeli. În aceste cazuri

fuziunea are un caracter local deoarece nu s-a efectuat corelarea surselor de informații. Trebuie menționat că la acest nivel se poate detecta cel mai bine eroarea de nepotrivire a informațiilor care teoretic ar trebui să se refere la același element din mediu. Nivelul al doilea de fuziune se poate realiza la nivelul proprietăților sau a trăsăturilor specifice ansamblului informațiilor. La acest nivel de fuziune se pot lua în considerare și relațiile existente între diferitele componente ale sistemului. În general la acest nivel se obțin mai multe informații fuzionate care ulterior sunt folosite la nivelul de luare a deciziei, sau la fundamentarea ipotezelor care ulterior vor fi luate în considerare. Al treilea nivel de fuziune este cel de la nivelul deciziei când elementele de fuzionat reprezintă deja rezultatele clasificărilor. La acest nivel de fuzionare există pericolul să se fi pierdut anterior unele informații semnificative, în cursul clasificării, cea ce ar putea deforma rezultatul fuziunii. O altă clasificare posibilă poate fi făcută luând în considerare domeniul în care este folosită fuziunea. Din această perspectivă există numeroase abordări, ca de exemplu : aplicații militare sau civile, aplicații experimentale sau comerciale și multe altele. Aici ar trebui menționat că există unele domenii care au beneficiat mai mult de tehnicile utilizate în fuziune, cum ar fi de exemplu robotica, imagistica în medicină sau urmărirea țintelor în domeniu militar, cea ce ar permite o clasificare a aplicațiilor după gradul în care utilizarea fuziunii informațiilor aduce beneficii în domeniu. În acest sens sunt aplicații la care beneficiul (tehnic sau economic) este important, cum ar fi cele menționate anterior și care în general folosesc date cu un nivel ridicat de incertitudine, aplicații la care beneficiul este rezonabil, dar efortul de implementare a fuziunii trebuie analizat, cum ar fi cele din meteorologie sau analizelor financiare și aplicații în care tehnicile de fuziune nu aduc beneficii notabile, cum ar fi de exemplu cele din ramuri industriale cu procese foarte bine cunoscute.

2. Fuziunea euristica

2.1. Fuziunea pe baza de medie

Obținerea unei valori fuzionate din surse diferite de informație se poate face și în mod intuitiv. Astfel dacă există o serie de măsurători furnizate de senzori diferiți care pot fi exprimate în aceeași unitate de măsură, o soluție simplă este determinarea unei medii, eventual cu dispersia corespunzătoare. Totuși trebuie subliniat că această abordare presupune o încredere uniformă în toate sursele de informare, iar în cazul în care o sursă este defectă poate să altereze informația rezultată prin fuziune. O altă problemă poate apărea dacă sursele sunt de tipuri diferite caz în care, pentru utilizarea aceleiași unități de măsură se poate folosi o medie ponderată [Yif97]. Dacă media este de tip aritmetic fuziunea este de tip sumă :

$$m_F = \sum_{i=1,n} w_i \cdot x_i \quad \text{unde } w_i \in [0, 1] \quad (2.1.)$$

În unele aplicații este dificil de stabilit care este valoarea ponderilor din cauza caracterului nedeterminat al unor parametri. Un exemplu de fuziune prin mediere este prezentat în [Ach00], în cadrul unui sistem de identificare a feței unei persoane. Compararea dintre imaginea de analizat și modele se face printr-o măsură de similitudine dată de distanța Hausdorff, după următoarea relație:

$$H(A,B) = \max (h(A,B), h(B,A)) \quad (2.2.)$$

unde

$$h(A;B) = \max_{a \in A} \min_{b \in B} \|a - b\| \quad (2.3.)$$

Se consideră că modelul analizat aparține persoanei ale cărei informații din baza de date au distanța Hausdorff cea mai mică.

Un alt articol interesant ca aplicare a fuziunii prin sumă ponderată este [Cho04], care tratează modul de formalizare a evaluării nivelului de încredere a unei informații militare pe baza recomandării NATO STSNAG 2022. Metrica reprezintă o fuziune prin sumă ponderată de forma:

$$d_{w\Sigma}(w, [db_1, \dots, db_n]) = \sum_{i=1}^n \min_{w' \in (db_i)} d(w, w') \cdot r(db_i) \quad (2.4.)$$

unde w' este o formulă a modelului db , $d(\cdot)$ reprezintă distanța Hamming, iar $r(db)$ este echivalentul numeric al unui element din mulțimea V

O altă categorie a operațiilor de fuziune este cea de tip produs, în care elementele ce fuzionează măresc nivelul de informare al rezultatului prin limitarea gradului de libertate al stării inițiale, cea ce se obține prin înmulțirea cu valori subunitare a unor parametri, sau prin restrângerea intervalelor acceptabile :

$$m_F = \prod_{i=1, n} s \cdot x_i \quad (2.5.)$$

Un exemplu de aplicare a acestui tip de fuziune este prezentat în [Mur98], referitor la funcționarea unui vehicul autonom pentru care se propune o rută de deplasare între două puncte, pe baza unei hărți. Sistemul de navigare a fost conceput pe două nivele: unul cognitiv și unul reactiv. Fuziunea celor două informații se face prin suprapunere pe harta internă deci printr-o intersecție a celor două informații

Un caz particular al acestei abordări poate fi considerată fuziunea ierarhică prin arbori, în care plecând de la o situație generală, rezultatul se obține prin operații conjunctive secvențiale cu diferite constrângeri pe care le impun condițiile problemei. Un astfel de exemplu se prezintă în [Mak03], referitor la un sistem distribuit de senzori. Fuziunea informațiilor de la senzori se realizează prin intersecția datelor obținute în toată rețeaua, iar fiecare ipoteză primește un grad de încredere, în funcție de tipul sensorului și de numărul de confirmări pe care la întrunește

Referitor la cele prezentate anterior aș dori să menționez caracterul diferit al celor două tipuri de fuziuni. Primul, cel prin medie, tratează un set de informații presupuse redundante, dar incerte și încearcă să obțină rezultatul

prin evaluarea consensului dintre sursele de informații. O problemă a acestui tip de fuziune este cazul în care participă la furnizarea de date și surse false, cum ar fi în cazul senzorilor, cei defecti și care distorsionează rezultatul. Din acest motiv aplicarea fuziunii prin mediană este mai robustă decât media. Al doilea tip de fuziune implică aplicarea unor constrângeri asupra unei valori inițiale, deci creșterea informării prin îngrădirea posibilităților existente inițial.

2.2 Fuziunea prin vot

O formă specială de fuziune a informațiilor este aceea în care rezultatul se stabilește prin vot. Acest procedeu este în special folosit în cazul fuziunii informațiilor provenite de la un număr de experți umani care își exprima părerea referitor la un domeniu comun. Experții pot să exprime diferite laturi ale domeniului, deci nu trebuie să aibă toți același domeniu de preocupări. Votul poate fi de tip democratic, în care toate opiniile au același efect asupra rezultatului, sau de tip elitist în care unor experți li se acordă o încredere mai mare decât altora (este de fapt o formă medie ponderată), sau de tip ierarhic în care se efectuează o primă etapă de votare democratică între experți de aceeași credibilitate, iar în etapa a doua se trece la un vot cu ponderi diferite între rezultatele din prima etapă, în funcție de credibilitatea fiecărui grup. Metoda de votare (dacă există mai multe păreri) poate fi cu majoritate absolută, cu majoritate relativă sau acceptată prin unanimitate. Acest ultim caz este de fapt identică cu cea de tip produs. Se mai folosește uneori și votul median în care se consideră că distribuția părerilor este de tip gaussian și deci opinia de mijloc este cea corectă. Dintre metodele de fuziune prin votare mai trebuie amintită și cea care se bazează pe procedeu de votare introdus de Jean Charles Borda în 1770, în care fiecărui expert i se cere să stabilească o listă a opțiunilor ordonată după prioritatea pe care o consideră. Fiecare alegere primește un punctaj pe fiecare listă întocmită de câte un expert: maximum de puncte primul, iar celelalte opțiuni punctaje în ordine

descrescătoare. Este declarată câștigătoare opțiunea care întrunește cele mai multe puncte prin însumarea rezultatelor de pe fiecare listă. Nu este obligatoriu ca votul să fie dat de experți umani. În [Bak01] se prezintă o metodă de fuziune a informațiilor printr-un procedeu numit „mașină virtuală de votare”. Acesta este de fapt un program la nivelul middleware-ului unei rețele de calculatoare, care acceptă o serie de comenzi prin care se poate modifica modul de decizie al mașinii. Referitor la acest paragraf aș menționa valoarea practică a acestor metode. În multe cazuri fuziunea informațiilor nici nu apare în studii în mod explicit, ci se folosesc aceste metode euristice ca fiind în mod implicit valabile

3.Fuziunea prin metode probabilistice

Abordarea statistică este o metodă des utilizată în fuziunea datelor, folosind diferite nivele de complexitate. O analiză laborioasă a fuziunii de acest tip este prezentată în [Kit98], prin sistematizarea unui număr mare de aplicații.

Astfel autorul ajunge la analiza unor relații de tip produs și sumă probabilistică. Relația de tip produs este de forma:

$$P^{(1-R)}(\omega_j) \prod_{i=1}^R P(\omega_j | x_i) = \max_{k=1}^m P^{(1-R)}(\omega_k) \prod_{i=1}^R P(\omega_k | x_i) \quad (3.1.)$$

Această relație este una severă care anulează rezultatul și în cazul unui singur termen devenit egal cu zero. Relația de tip sumă este :

$$(1-R)P(\omega_j) + \sum_{i=1}^R P(\omega_j | x_i) = \max_{k=1}^m ((1-R)P(\omega_k) + \sum_{i=1}^R P(\omega_k | x_i)) \quad (3.2.)$$

Fuziunea prin vot se obține din cea prin sumă dacă impunem o decizie fermă:

$$\Delta_{k,i} = 1 \quad \text{dacă } P(\omega_k | x_i) = \max_{j=1}^m P(\omega_j | x_i) \quad (3.3.)$$

sau $\Delta_{k,i} = 0$ în rest

iar fuziunea se face prin:

$$\sum_{i=1}^R \Delta_{i,j} = \max_{k=1}^m \sum_{k=1}^R \Delta_{k,i} \quad (3.4.)$$

deci prin determinarea numărului mai mare rezultat din însumare.

Fuziunea prin maxim se obține prin aproximarea inferioară a celei prin sumă, iar fuziunea prin minim se obține prin aproximarea superioară a celei prin produs. Fuziunea prin medie aritmetică se obține din cea prin sumă în cazul în care probabilitățile claselor sunt egale. Din analiză rezultă că fuziunea de tip produs este afectată mai mult de eroarea cumulată decât fuziunea de tip sumă. Această concluzie este importantă deoarece explică rezultatele observate în practică și anume că fuziunea prin sumă indică valori de performanță mai bune decât cea prin produs, chiar dacă se impun presupuneri mai severe pentru ea.

Tot aici trebuie menționat articolul [Alk02] în care pe baza a numeroase experiențe se arată că fuziunea de tip produs așa cum este cea din relația (3.8.) dau rezultate slabe odată cu creșterea numărului factorilor, deoarece oricare valoare de zero anulează întreg termenul, cauzând o condiționare care este prea severă. Pentru condiții de determinare a factorilor ce au un nivel al zgomotului sau un nivel al incertitudinii ridicat este preferabil utilizarea unei fuziuni de tip sumă, cum ar fi media ponderată. Pentru a elimina acest dezavantaj se propune un operator numit produs modificat \hat{P} care în cazul probabilităților condiționate este de forma:

$$\hat{P}(a|b) = t \quad \text{dacă} \quad P(a|b) \leq t \quad (3.5.)$$

$$\hat{P}(a|b) = P(a|b) \quad \text{dacă} \quad P(a|b) > t$$

unde t este o valoare de prag ce nu permite anularea termenului. Experimental s-a demonstrat că acest tip de operator dă rezultate mult mai bune decât fuziunea prin produs sau sumă.

În cazul fuziunii diferitelor imagini se folosesc tehnici specifice, cum este cea a rețelelor neuronale cu autoorganizare de tip Kohonen sau a analizei componentelor principale descrise în [Sch00]. Aplicația ce se dorește soluționată este obținerea unei singure imagini sintetice din mai multe imagini ale aceleiași regiuni dar luate de diferite camere video în benzi spectrale diferite. Metoda analizei componentelor principale are o abordare globală a imaginilor în care se calculează o matrice a covarianței mediilor din imaginile ce se doresc fuzionate, dar această abordare nu permite reliefaarea tuturor detaliilor tocmai datorită abordării globale. Din acest motiv se realizează fuziuni pe domenii locale prin determinarea matricei de covariație locală care este apoi diagonalizată după vectorii proprii și sortată după valorile proprii în mod descrescător. Pentru vizualizare se alege proiecția după primul vector propriu al matricei, astfel obținându-se variațiile cele mai mari ale ferestrei. Pentru a nu avea discontinuități între ferestre se face o mediere ponderată cu distanța pe ferestre de 3x3 puncte în jurul pixelilor de la marginile domeniilor locale. Aplicarea acestei metode a pus în evidență o creștere a vizibilității detaliilor din imaginea obținută prin fuziune.

Dintre lucrările care abordează fuziunea prin prisma rețelelor bayesine aș menționa articolul [Bea03]. În acest studiu se urmărește realizarea urmăririi unei persoane într-o încăpere prin fuziunea informațiilor provenite de la două microfoane și o cameră video. Modelul matematic este construit sub forma unui graf orientat în care un set de parametri sunt considerați ca variabile de intrare, care modelează probabilistic semnalul audio emis și imaginea reală. Toate variabilele sunt considerate a fi sau discrete sau probabilistice cu distribuție gaussiană. Aceste intrări condiționează semnalele stereofonice audio și imaginea captată care sunt singurele date cunoscute.

Algoritmul este realizat iterativ în doi pași, în primul se corectează distribuțiile a posteriori ale variabilelor ascunse, iar în al doilea se actualizează parametrii de intrare. Astfel se calculează pentru fiecare cadru, în mod secvențial cea mai probabilă poziție l de pe ecran unde se află persoana urmărită:

$$\hat{l} = \max P(l | x_1, x_2, y) \quad (3.6.)$$

Aplicația ilustrează foarte bine posibilitățile rețelelor bayesiene atunci când modelul este bine conceput. De asemenea dintr-o analiza mai atentă rezultă și deficiențele pe care le poate avea fuziunea cu un număr mic de elemente. În acest sens autorii sunt obligați să considere ambele surse de informare ca fiind perfect fiabile, modelul funcționând numai în aceste condiții. Pentru a avea o posibilitate de apreciere a fiabilității componentelor trebuie să luăm în considerare minim trei surse, dacă dorim să obținem și informație fuzionată și o apreciere a nivelului de încredere a senzorilor.

4. Fuziunea prin metode fuzzy

În cazul fuziunii problemele apar ca și la orice abordare de tip fuzzy la modul de determinare a coeficienților de apartenență și a formelor funcțiilor de distribuție a acestora, deci în operația de fuzzyficare. În etapa următoare trebuie avut în vedere realizarea modelului de fuziune care în cazurile mai simple poate fi o operație de intersecție. Pentru modele mai complexe trebuie construite relațiile de inferență.

O abordare sistematică referitoare la fuziunea informației se face în [Yag97], analizată printr-o abordare similară cu cea a operatorilor OWA, introduse tot de Yager în 1988 [Dub00a]. Operatorii de mediere ponderați după ordonare OWA permit o agregare a informațiilor în mod gradat între maxim (folosit ca s-normă) și minim (folosit ca t-normă). Rezultatul aplicării operatorului OWA este produsul scalar dintre vectorul informației de agregat, dar care are datele ordonate în mod crescător și un vector W de ponderare, a cărui componente au următoarele proprietăți :

$$w_i \in [0,1] \quad \text{și} \quad \sum_{i=1,n} w_i = 1 \quad (4.1.)$$

Pentru diferite configurații ale vectorului de pondere W se pot obține funcțiile de maxim, minim, mediană sau medie. În realizarea unei fuziuni, conform lucrării, este necesară utilizarea unei funcții care să fie idempotentă, comutativă și monotonă, care poate genera un rezultat în intervalul cuprins între valoarea obținute prin t-normă și valoarea obținută prin s-normă. Pentru a modela cât mai fidel realitatea se propune introducerea unei funcții suplimentare numită „relație de combinabilitate” care să ia în considerare gradul în care informațiile ce intervin în fuziune se pot agrega, notat $R(x,y)$. Această funcție se poate stabili a fi, de exemplu, invers proporțională cu o distanță. Metrica folosită pentru determinarea distanței poate să difere în funcție de natura elementelor ce intră în procesul de fuziune. De exemplu în cazul informațiilor fuzzy se poate utiliza o măsură fuzzy așa cum a fost definită de Sugeno și care poate reprezenta gradul de încredere a observațiilor corespunzătoare fuziunii sau o funcție ce depinde de numărul de observații care au aceeași valoare. Influența relației de combinabilitate asupra rezultatului poate varia între două limite. Prima este situația în care toate elementele se pot fuziona având deplină încredere. Această situație se caracterizează prin relația:

$$R(x,y) = 1 \quad \text{pentru } \forall x,y \quad (4.2.)$$

iar a doua când elementele fuziunii se pot combina numai cu ele însele, caz în care avem relațiile :

$$R(x,x) = 1 \text{ și } R(x,y) = 0 \text{ pentru } \forall x \neq y \quad (4.3.)$$

Valorile rezultate din relația de combinabilitate au un efect de ponderare asupra informațiilor ce participă la fuziune, valoarea ponderii depinzând de numărul și natura elementelor de agregat. Pentru cazul în care și informația de fuzionat și rezultatul relației sunt mulțimi vagi se efectuează o intersecție a suprafețelor corespunzătoare mulțimilor fuzzy.

Un exemplu clasic de fuziune prin metoda fuzzy este [Yen96], care abordează problema fuzionării informațiilor provenite din două nivele de control a unui robot mobil și anume de la modulul ce urmărește scopul mișcării și de la modulul ce analizează mediul înconjurător. În cadrul modulului de urmărire a scopului se determină locația unde se dorește să se ajungă pe baza unei hărți incomplete a mediului. Din această informație și din cunoașterea poziției curente se determină direcția de mers, respectiv unghiul în care trebuie să se facă avansul mobilului. După determinarea unghiului se startează două din regulile fuzzy cele mai apropiate de scop și se calculează o medie ponderată de tip interpolativ între concluziile obținute. Din informațiile primite de la senzorii de distanță, modulul de analiză a mediului extern determină dacă există obstacole în cale mobilului. În funcție de poziția senzorilor care detectează obstacole se startează regulile fuzzy de inferență care apreciază direcțiile interzise de avans. Gradele de apartenență μ_i corespunzătoare celor două rezultate sunt apoi fuzionate printr-un operator conjunctiv, în care al doilea termen este negata rezultatul din modulul de analiză a mediului:

$$\mu_{fuziune}(x) = t - \text{norm}(\mu_{scop}(x), \mu_{mediu}) \quad (4.4.)$$

Acest tip de fuziune pare simplu, dar determinarea funcțiilor de apartenență precum și a regulilor de inferență, ceea ce reprezintă de fapt modelul fenomenului, nu este simplu de determinare.

Pentru cazul general de fuziune a informațiilor din două imagini este recomandat articolul [Sin04], în care se expun doi algoritmi de fuziune, unul fuzzy și al doilea neuro-fuzzy. Fuziunile se fac la nivel de pixel, de aceea operația este calibrată la valorile celor mai mici dimensiuni. În cazul fuziunii fuzzy se pot stabili parametri de formă și valorile de apartenență a celor două imagini de intrare, precum și regulile de fuziune. Pentru fuziunea neuro-fuzzy în afară de parametri amintiți în cazul precedent mai este necesar un set de valori de învățare (propus de autori la trei coloane din imagine) și un set de valori de testare (propus de autori la două coloane).

5. Fuziunea prin metode ce folosesc teoria posibilității

În mod asemănător cu celelalte metode prezentate cele mai simple exemple de fuziune sunt cele derivate din metodele empirice, aplicate funcțiilor de posibilitate. Astfel în modul cel mai simplu se pot aplica operațiile de t-normă, s-normă și mediere (cu sau fără ponderare) a două sau mai multe fluxuri de date provenite din diferite surse de informații. În aceste cazuri o să se aplice una din următoarele relații:

$$\text{Pentru } \forall u \in U \quad \pi_F(u) = \text{t-normă}(\pi_1, \dots, \pi_n)(u) \quad (5.1.)$$

$$\text{sau} \quad \pi_F(u) = \text{s-normă}(\pi_1, \dots, \pi_n)(u)$$

$$\text{sau} \quad \pi_F(u) = \frac{1}{n} \Sigma(\pi_1, \dots, \pi_n)(u)$$

Modul de selecție a unuia dintre operatori se face după cum se dorește să se realizeze o îngrădire a spațiului posibilităților, prin t-normă, o lărgire a spațiului, prin s-normă sau o determinare a proporției în care sursele de informare, consideră posibile unele valori, caz în care se va alege operația de mediere. Dacă se folosește operația de medie geometrică, în locul celei aritmetice, se accentuează natura conjunctivă a rezultatului.

O lucrare de referință în acest domeniu este [Dub94] în care se propune o abordare a fuziunii informației numai din prisma funcțiilor de distribuție a posibilității. Autorii nu iau în considerare și fuziunea valorilor, operație pe care o consideră agregare. Ei studiază formele care se obțin prin combinarea a două sau mai multe funcții de distribuție din domeniul posibilităților. Astfel o distribuție ce are pe întreg intervalul studiat valoarea 1 corespunde situației de ignoranță totală (orice valoare este la fel de posibilă). De aceea, pe măsură ce avem informații, trebuie restrâns nivelul de posibilitate la valori cât mai mici, în mod ideal având un singur punct cu posibilitatea 1, restul intervalului având posibilitatea 0.

De asemenea se face distincție între senzori a căror informație coincide fie și parțial și care sunt considerați senzori în care se poate avea încredere și senzori a căror informație este divergentă și deci cel puțin unul dintre ei furnizează informații false. În primul caz se propune utilizarea operatorilor t-normă pentru a reduce incertitudinea, iar în al doilea caz se propune utilizarea operatorilor s-normă pentru a acoperii ambele posibilități. În continuare se va folosi (așa cum apare și în lucrarea amintită) cazul particular în care t-norma va fi funcția minim, iar s-norma va fi funcția maxim.

O primă analiză se face pentru situația în care avem de determinat distribuția de posibilitate a fuziunii dintre doi senzori care pot fi considerați ambii fiabili. Pentru a întări încrederea în zona de distribuție care este comună senzorilor, se propune, normalizarea intersecției graficelor de distribuție cu un coeficient al gradului de concordanță. Acest coeficient este propus a fi înălțimea suprafeței de acoperire dintre cele două distribuții

$$h(\pi_1 \pi_2) = \sup_{u \in U} (\min(\pi_1(u), \pi_2(u))) \quad (5.2.)$$

unde U este universul în discuție. Rezultă că distribuția de posibilitate normalizată a fuziunii senzorilor este:

$$\forall u \in U, \pi_F(u) = \min(\pi_1 \pi_2)(u) / h(\pi_1 \pi_2) \quad (5.3.)$$

Dacă se consideră situația în care unul dintre cei doi senzori nu este considerat fiabil, se aplică, o fuziune cu prioritate, în care, în caz de neconcordanță a informațiilor cel de al doilea sensor este dezafectat :

$$\pi_F = \min(\pi_1, \max(\pi_2, 1 - h(\pi_1, \pi_2))) \quad (5.4.)$$

Această relație prin asimetria sa denotă tratarea diferită a celor două surse de informație. O abordare care se întâlnește mai des în practică este cea în care nici unul din senzori nu are credibilitate maximă. În acest caz este indicat ca în situație de dezacord să considerăm că ambii senzori nu sunt fiabili, iar rezultatul să fie proporțional cu nivelul conflictului. Relația numită de autori „fuziune adaptivă este:

$$\pi_F = \max(\min((\pi_1, \pi_2)/h(\pi_1, \pi_2)), 1-h(\pi_1, \pi_2)) \quad (5.5.)$$

Pentru cazurile când avem mai multe surse de informații, cele prezentate mai sus se pot adapta prin combinarea serie sau paralel a senzorilor. În prelucrarea de tip serie, se calculează informația fuzionată treptat prin aplicarea formulelor anterioare unor rezultate parțiale și câte unui senzor pe rând. În cazul paralel se generalizează operatorii pentru mai mulți operanzi. De exemplu relația (5.5.) devine :

$$\pi_F = \max(\min((\pi_1, \dots, \pi_n)/h(\pi_1, \dots, \pi_n)), 1-h(\pi_1, \dots, \pi_n)) \quad (5.6.)$$

Problema care se ridică și în acest caz este legată de robustețea rezultatelor în cazul operanzilor echivalenți ai intersecției și reuniunii. Această situație apare datorită dominanței pe care o poate impune rezultatului orice operand marginal. De exemplu, pentru funcția maxim dacă oricare din senzori este defect și are distribuția de posibilitate 1 va anula orice informație provenită de la restul senzorilor. Rezultă că cu cât numărul surselor de informație este mai mare, indiferent că combinarea este serie sau paralelă, robustețea procesului devine tot mai mică.

Această deficiență se poate ameliora prin clasificarea surselor de informație după nivelul de încredere și fuziunea, în primă fază a informațiilor din cadrul aceleiași clase. În etapa a doua se folosește fuziunea cu priorități (a se vedea relația 5.11.), în care grupul de fuziune care are un nivel mai ridicat de încredere este considerată grupa principală. De exemplu dacă K1 reprezintă clasa care are un nivel al încrederii mai mare decât clasa K2 atunci avem relația:

$$\pi_F^{K1, K2} = \min(\pi_F^{K1}, \max(\pi_F^{K2}, 1-h(\pi_F^{K1}, \pi_F^{K2}))) \quad (5.7.)$$

unde coeficientul gradului de concordanță h se calculează cu relația (5.9.).

O altă modalitate de fuziune care implică mai multe surse de informații este cea denumită de autori „fuziunea cuantificată”. Această metodă stabilește două grupări extreme de senzori. Una care cuprinde senzorii

care dau informații convergente, deci distribuția de posibilitate a tuturor au o intersecție diferită de zero, numită estimare pesimistă și pentru care $h(\pi_1, \dots, \pi_n) = 1$. Numarul maxim de senzori care îndeplinesc această condiție se va nota cu J^- . Cealaltă clasă va cuprinde senzorii care au măcar cu un alt sensor o intersecție a distribuției de posibilitate diferită de zero, deci care au $h(\pi_1, \dots, \pi_n) > 0$ și care este numită estimarea optimistă. Numărul maxim de senzori care îndeplinesc această condiție se va nota cu J^+ . Prin fuziune pentru aceste clase se obțin două distribuții notate π^- respectiv π^+ . Distribuția de posibilitate adaptivă pentru ele este:

$$\pi_F = \max(\pi^+ / h(J^+), \min(\pi^-, 1 - h(J^+))) \quad (5.8.)$$

unde $h(J^+)$ reprezintă valoarea maximă a coeficientului h pentru estimarea optimistă.

6. Fuziunea prin metode ce folosesc teoria Dempster-Shafer

Relația de bază care permite fuziune informațiilor este formula de combinare a lui Dempster prezentată anterior (a se vedea relația 6.5.), care permite combinarea maselor determinate prin mai multe ipoteze. Plecând de la această relație au fost propuse diferite extensii. Una dintre aceste este utilizarea teoriei maselor pentru fuziunea nesupravegheată propusă în [Pie04]. Plecând de la formula lui Dempster se determină distribuția fiecărei mase cu relația:

$$\pi_i^y = \sum_{\omega \in A} \pi_i m(A) = \pi_i \sum_{\omega \in \Omega_m} f_{\Omega}(y) \quad (6.1.)$$

unde π_i este distribuția apriorică a evenimentului, y reprezintă observația evenimentului x , Ω este mulțimea claselor în care poate fi repartizat evenimentul, iar f reprezintă funcția de distribuție condiționată a clasificării de observația y . Fuziunea se face prin estimarea distribuțiilor apriorice și a funcțiilor de distribuție condiționată, printr-un algoritm iterativ de îmbunătățire a

valorii distribuției π^j , iar apoi a funcției \hat{f}_A^j . În fiecare iterație se calculează masa evenimentului x^j folosind relația:

$$m(x^j) = \pi^j \prod \hat{f}(y) \quad (6.2.)$$

Un exemplu de utilizare a metodei este cel de determinare din satelit a suprafețelor cultivate. Dacă se presupune că trebuie determinate trei clase: ω_1 reprezintă suprafață cu pajiște, ω_2 reprezintă culturi de orez, iar ω_3 reprezintă suprafețe acoperite cu apă și sunt la dispoziție două tipuri de senzori, unul optic și unul radar. Există posibilitatea de a obține vizibilitatea satelitului datorită norilor, iar radarul nu deosebește orezăriile de suprafețele deschise de apă, rezultă că vor fi 6 funcții de distribuție de tipul $f(y_1, y_2)$ și anume $F1 = f(\omega_1, \omega_2), (\omega_1)$, $F2 = f(\omega_1, \omega_2), (\omega_2, \omega_3)$, $F3 = f(\omega_3), (\omega_2, \omega_3)$, $F4 = f(\omega_1, \omega_2, \omega_3), (\omega_1)$, $F5 = f(\omega_1), (\omega_3)$, $F6 = f(\omega_1, \omega_2, \omega_3), (\omega_2, \omega_3)$ care vor trebui să fie determinate în mod iterativ.

Un studiu interesant care folosește fuziunea prin metoda Dempster-Shafer este [Hun04], în care se prezintă o metodă de sinteză a informațiilor din texte științifice scrise în XML. Autorii propun un mod imbricat de prezentare a informațiilor care au un caracter de incertitudine, și utilizarea unor cuvinte cheie specifice, care permit codificarea datelor după metoda maselor. Astfel se propune un formalism echivalent descrierii prin arbori, care au ca noduri neterminale cuvinte cheie, iar ca noduri terminale date. De exemplu descrierea unei mase se face prin: `<maseitem>` „nume-variabilă” `</maseitem>`, iar valoarea masei se specifică prin: `<mase-value = „număr”>`, iar pentru a se declara că se folosește o informație de tip incertitudine se folosesc cuvintele cheie `<belfunction>` și `</belfunction>`. Se mai definesc un număr de predicate necesare operațiilor cu mase, credibilități și plauzibilități.

Astfel la utilizarea predicatului *Dempster* (τ_1, τ_2, X), unde τ_i este o declarație de tip <belfunction> de valoare k_i , se face compunerea celor două credibilități, după relația lui Dempster :

$$k = \frac{\sum k_1 \times k_2}{1 - k_T} \quad \text{unde} \quad k_T = \sum k_n^1 \times k_m^2 \quad (6.3.)$$

iar rezultatul se regăsește în variabila X. La utilizarea predicatului *Propagate*(τ_i, X) se poate echivala un nivel de credibilitate dintr-un text în altul, realizându-se o rafinare sau o agregare de mase (de exemplu se poate rafina masa variabilei „lichid” în masele variabilelor „apă” și „petrol”), prin operația:

$$m_{\Omega_2}(B) = \sum_A m_{\Omega_1}(A) \quad (6.4.)$$

unde B este mulțimea echivalentă clasei de mulțimi A,

iar prin predicatul *Projection*(τ_i, V_p, X) se poate realiza o proiecția sau o extensie în sens Dempster dintr-o mulțime de variabile V_q în altă mulțime V_p (de exemplu proiecția de la mulțimi de trei variabile la mulțimi de două variabile) prin operația :

$$m_{V_p}(H) = \sum_{H \subseteq \Omega_{V_p}} (m(G) | G \subseteq \Omega_{V_q}) \quad (6.5.)$$

Lucrarea este de remarcă prin aplicația sa deosebită. Dacă s-ar folosi formalismul prezentat, ar permite realizarea unor fuzionări de informații direct în texte, prin luarea în considerare a mai multor lucrări. Avantajele utilizării metodei Dempster-Shafer sunt legate de relația de combinare a mai multor mase care poate fi interpretată ca o metodă de fuziune a diferitelor ipoteze provenite de la diverse surse de informare. Dar problema principală a acestei teorii este modul de determinare a maselor.

Concluzie

Din cele prezentate în această lucrare sper că a rezultat progresul realizat în ultimii aproximativ zece ani în domeniul fuziunii. Astfel, plecând de la metode empirice, odată cu creșterea complexității problemelor s-a trecut la alte abordări mai sistematice. Clasificarea pe capitole făcută de mine nu este unica posibilă, de altfel cum rezultă și din paginile anterioare, în acest domeniu destul de nou există încă căutări spre cristalizare, numeroase probleme conceptuale și metodologice încă nu sunt unanim acceptate. În acest sens împărțirea în cinci grupe mari de fuziune a fost determinată de o încercare de a lega metodele de fuziune de câteva teorii care sunt frecvent utilizate în acest domeniu. Am tratat separat fuziunea prin teoria mulțimilor vagi de cea prin teoria posibilităților, considerându-le teorii și proceduri separate chiar dacă au o origine comună.

Bibliografie

- [Abd98] N.Abdolhossein, I.Ciric: Novel image fusion methodology using fuzzy set theory, *Optical Eng.* Vol.37 nr.2 1998
- [Ach00] B.Achermann, H.Bunke: Classifying Range Images of Human Faces with Hausdorff Distance, *Inter'l Conf. On Pattern Recognition 2000*
- [Alk02] F.Alkoot, J.Kittler: Modified product fusion, *Pattern Recognition Letters* Vol 23,Nr.8 2002
- [Apo04] D.Apostol, C.Barna: Navigatio Robot, Final Paper UAV Arad 2004
- [Ari03] M.Arif,N.Vincent: Comparison of Three Data Fusion Methods for an Offline Signature Verification Problem, *Vol Univ.Tour 2003*
- [Ayc97] O.Aycard, F.Charpillet&co: A new approach to design fuzzy controllers for mobile robots navigation, *IEEE CIRA 1997.*
- [Bak01] D.Bakken, C.Jones&co: Middleware Support for Voting and Data Fusion, *Inter'l Conf. On Dependable System 2001.*
- [Bal04] V.Balas: Senzori inteligenți cu model intern și fuziune fuzzy, *Ed.Politehnica 2004.*
- [Bar04b] C.Barna, S.,V.Balas: The Estimation of vegetation stage of greenhouse plants by fuzzy fused sensors of images and CO₂, *Sesiunea de comunicari Arad 2004*
- [Bas97] A.Bastiere: Fusion methods for multisensor classification of airborne targets, *AerospaceScience and Technology* nr1 1997
- [Bea03] M.Beal, N.Jojic: A Grafical Model for Audiovisual Object Traching, *IEEE Transaction on Pattern Anal.* Vol25/7 2003
- [Bis97a] P.Bison,G.Chemello&co: A Possibilistic Approach to Sensor fusion in Mobile Robotics, *IEEE EUROBOT 1997*

- [Bis97b] P.Bison,G.Chemello&co: Logic-Based Sensor Fusion for Localization, IEEE CIRA 1997
- [Bor99] H.Borotschnig, L.Paletta&co: A Comparison of Probabilistic, Possibilistic and Evidence Theoretic Fusion Schemes for Active Object Recognition, Computing nr.62 1999
- [Ciu82] G.Ciucu, V.Craiu: Statistică matematică și cercetare operațională, Ed.didactică 1982
- [Cho00] L.Cholvy: Applying Theory of Evidence in multisensor data fusion: a logical interpretation, IPMU 2000
- [Cho04] L.Cholvy: Information Evaluation in fusion:a case study, IPMU Perugia 2004
- [Cop03] G.Coppin, A.Skrzyniarz: Human-Centered Processes Individual and Distributed Decision Support, IEEE Intelligent system nr.4 2003
- [Dub94] D.Dubois, H.Prade: La fusion d'informations imprecises, Traitement du signal Vol.11 nr.6 ,1994
- [Dub00] D.Dubois, H.Prade: Possibility Theory in Information Fusion ISIF 2000, pag.6-19
- [Dub00a]D.Dubois, H.Prade: Fundamentals of fuzzy sets ,Ed. Kluwer Academic Publishers, 2000
- [Duj98] C.Dujet: Data Fusion Modeling Human Behavior, Inter'l Journal of Intelligent Systems Vol.13 1998
- [Gul99] D.Guliatto, R.Rangayyan&co: Fuzzy Fusion of Results of Medical Image Segmentation , EISA Vol.3 1999
- [Gun01] A.Gunatilaka, B.Baertlein: Feature-Level and Decision- Level Fusion of Noncoincidentally Sampled Sensors for Land Mine Detection, IEEE Transactions on Pattern Vol23 nr.6 2001
- [Gut04] J.Gutierrez, J.Rouas&co: Application of Uncertainty-Based Methods to Fuse Language Identification Expert Decisions , IPMU 2004
- [Hou94] S.Houzelle, G.Giraudon: Contribution to multisensor fusion formalization, Robotics and Autonomous Systems Vol.13 nr.1 Elsevier 1994
- [Hun04] A.Hunter, W.Liu: Logical reasoning with multiple granularities of uncertainty in semi-structured information , IPMU 2004
- [Kar02] B.Karlsson, J.Jarhed, P.Wide: A Fuzion Toolbox for Sensor Data Fusion in Industrial Recycling, IEEE Transactions on Instrumentation Vol.51 nr.1 2002
- [Kit98] J.Kittler, M.Hater&co: On Combining Classifiers, IEEE Transaction on Pattern Analysis Vol.20,nr.3 1998
- [Kob04] F.Kobayashi, D.Masumoto: Sensor Selection based on Fuzzy Inference for Sensor Fusion IEEE ICFS 2004
- [Kun02] L.Kuncheva: A Theoretical Study on Classifier Fision Strategies, IEEE Transact. Pattern Analysis Vol.24,nr.2 2002
- [Loy02] G.Loy, L.Fletcher&co: An Adaptive Fusion Arhitecture for Target Tracking IEEE Inter'l Conf.onFace Recognition 2002
- [Mak03] A.Makarenko, T.Kaupp: Scalable Human-Robot Interactions in Active Sensor Networks, IEEE PervasiveComputing 2003
- [Mur98] R.Murphy: Sensor and Information Fusion for Improved Vision-Based Vehicle Guidance., IEEE Intelligent System Nr.6 1998
- [Neg02] M.Negnevitsky: Artificial Intelligence Ed.Addison-Wesley London 2002
- [Nel00] B.Nelson: Region of Interest Identification, Feature Extraction, and Information Fuzion in a Forward Looking Infrared Sensor Used in Landmine Detection, IEEE 2000

- [Ngu98] H.Nguyen, M.Sugeno: Fuzzy Systems – Modeling and Control, Ed. Kluwer Academic Publishers, 1998
- [Par00] C.Park, H.Kim: Sensor Fusion for Motion Capture System Based on System Identification IEEE CA2000
- [Pie04] W.Pieczynski: Unsupervised Dempster-Shafer Fusion of Dependent Sensors IEEE ICFS 2004
- [Rat 97] J.Ratches, C.Walters&co: Aided and automatic Target Recognition Based Upon Sensory Input from Image Forming System, IEEE Transact. Pattern Analysis Vol.19,nr.9 1997
- [Rez04] L.Reznik, V.Kreinovich: Fuzzy and Probabilistic Models of Association Information in Sensor Networks, IEEE ICFS 2004
- [Rou95] L.Roux, J.Desachy: Information fusion for supervised classification in a satellite image, IEEE 1995
- [Rui00] J.Ruiz, A.Soria: Bio-inspired Framework for the Fusion of Chromatic, Infrared and Texture Information, ICPR 2000
- [Sch00] P.Scheunders: Multispectral Image Fusion using Local Mapping Techniques, Pattern Recognition ICPR 2000
- [Sha02] G.Shakhnarovich, T.Darrell: On Probabilistic Combination of Face and Gaze Cues for Identification, IEEE FGR 2002
- [She01] J.Sherrah, S.Gong: Continuous Global Evidence-Based Bayesian Modality Fusion for Simultaneous Tracking of Multiple Objects, IEEE Inter'l Conf. Computer Vision 2001
- [Shu02] L.Shutao, J.Kwok, Y.Wang: Multifocus image fusion using artificial neural network, Pattern Recognition Vol23nr8 2002
- [Sil03] S.Silvasan, C.Barna: Detectarea si urmarirea miscarii Proiect diploma UAV Arad 2003
- [Sin04] H.Singh, J.Raj&co: Image Fusion using Fuzzy Logic and Applications, ICFS Budapest 2004
- [Spi03] T.Spiricu: Raționamentul aproximativ din punct de vedere probabilist, posibilist, credibilist, vag, Șc.vara Arad 2003
- [Tho90] S.Thomopoulos: Sensor Integration and Data Fusion, Journal of Robotic System 7(3) 1990, pag.337-372
- [Tre95] M.Tremblay, M.Cutkosky: Using Sensor Fusion and Contextual Information to Perform Event Detection during a Phase-Based Manipulation Task, Inter'l Intelligent Robots 1995
- [Yag97] R.Yager: A General approach to the Fusion of Imprecise Information, Inter'l Journal of Intelligent system Vol.12 1997
- [Yen96] J.Yen, N.Pfluger: A fuzzy Logic Based Extension to Pyton and Rosenblatt's Command Fusion Method for Mobile Robot Navigation, IEEE Transactions on Systems, Vol.25,nr.6 1996
- [Yif97] Z.Yifeng, H.Leung: Minimum Entropy for Multisensor Data Fusion, Signal Processing Workshop 1997
- [Zad78] L.Zadeh: Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility, Fuzzy Sets and Systems, Ed.North-Holland Publishing 1978

Sursă de alimentare neîntreruptibilă cu pierderi la comutație scăzute

Daniel ALBU, Gabriela TONȚ
Universitatea din Oradea
dalbu@uoradea.ro

Abstract: *This paper presents the hybrid pulsewidth modulation (HPWM) method which requires only two of the four switches in a full-bridge inverter to be pulsewidth-modulated at high frequency, thus significantly reducing the switching losses in the other two switches.*

1. Introducere

Alimentarea fără întrerupere cu o tensiune alternativă de calitate a unor consumatori importanți, pentru buna desfășurare a proceselor de producție, a instalațiilor de supraveghere și control din centrele de dirijare a traficului aerian, feroviar, maritim, auto, precum și a aparatelor electronice medicale din spitale ce sunt menite să întrețină și să salveze viețile pacienților, necesită întotdeauna acordarea unei atenții speciale. Această cerință poate fi îndeplinită de către sursele de alimentare neîntreruptibile de putere (UPS), produse ale electronicii de putere.

Schema bloc a unei surse de alimentare neîntreruptibilă (UPS), este reprezentată în fig.1.

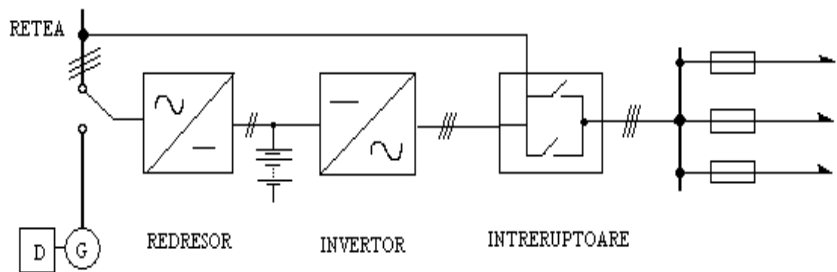


Fig.1 Schema bloc a sursei de alimentare neîntreruptibile

2. Invertor HPWM în punte

Pentru ca sursa de alimentare neîntreruptibilă să prezinte pierderi minime pe timpul funcționării, invertorul acesteia are o construcție particulară. În fig.2 se prezintă schema electrică a invertorului HPWM, din structura sursei de alimentare neîntreruptibile .

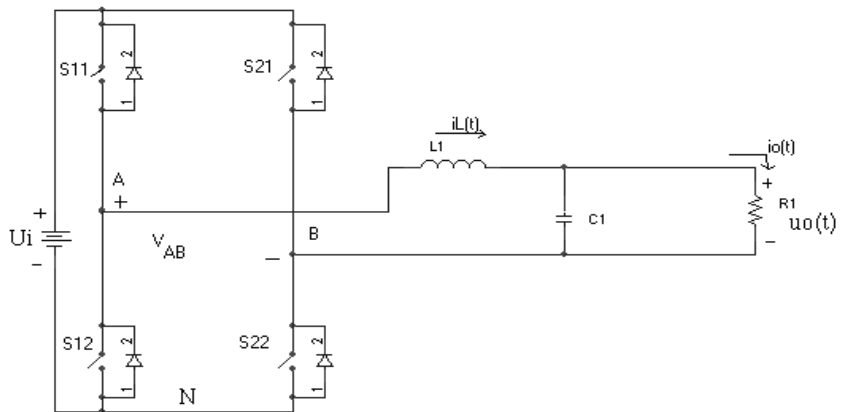


Fig.2 Schema electrică a invertorului HPWM , din structura sursei de alimentare neîntreruptibile

În lucrarea se prezintă o tehnică hibridă (HPWM) pentru reducerea pierderilor în comutație la inverterul în punte monofazată.

Numele acestei tehnici (HPWM) provine de la faptul că două dintre cele patru comutatoare sunt dispozitive semiconductoare de putere, lente (de exemplu tiristoare GTO), iar celelalte două dispozitive semiconductoare de putere sunt rapide (de exemplu MOSFET-uri). Formele de undă ce caracterizează acest regim de funcționare sunt prezentate în fig.3.

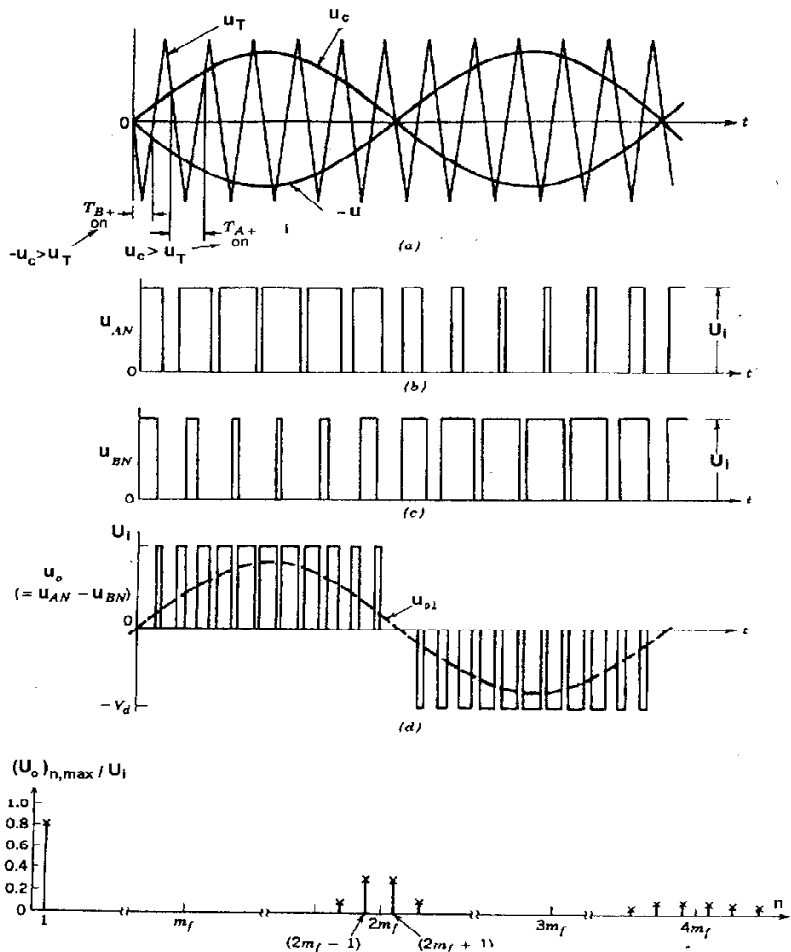


Fig.3 Formele de undă ale tensiuni de ieșire pentru inverterul HPWM

Se poate observa din fig.3 că pentru a se realiza comanda dispozitivelor electronice de putere cu rol de comutatoare are loc un proces de comparare a tensiunii triunghiulare, u_T , cu două tensiuni de comandă, u_C și $-u_C$.

Regula după care comutatoarele din fig.3 se închid este următoarea:

$$u_C < u_T, \text{ atunci S12 este închis, iar } U_{AN} = 0. \quad (1)$$

Dacă: $u_C > u_T$, atunci S11 este închis, iar $U_{AN} = U_i$,

Dacă: $-u_C > u_T$, atunci S21 este închis, iar $U_{BN} = U_i$,

$$-u_C < u_T, \text{ atunci S22 este închis, iar } U_{BN} = 0. \quad (2)$$

Forma de undă a tensiunilor din fig.3 rezultă ca urmare a următoarelor combinații:

- (1) S11, S22 închise, $u_{AN} = U_i$, $u_{BN} = 0$; $u_0 = U_i$,
- (2) S12, S21 închise, $u_{AN} = 0$, $u_{BN} = U_i$; $u_0 = -U_i$,
- (3) S11, S21 închise, $u_{AN} = U_i$, $u_{BN} = U_i$; $u_0 = 0$, (3)
- (4) S12, S22 închise, $u_{AN} = 0$, $u_{BN} = 0$; $u_0 = 0$.

Se observă că atunci când ambele comutatoarele de sus (S11, S21) sunt închise, tensiunea de ieșire este nulă. În acest interval de timp curentul absorbit de la sursa U_i este nul.

În condiții similare se petrec fenomenele când ambele comutatoarele de jos (S12, S22) sunt închise, tensiunea de ieșire este nulă. La acest tip de invertor tensiunea de ieșire cunoaște un salt de la 0 la $+U_i$ sau la $-U_i$.

Din fig. 3 unde este reprezentat spectrul de armonici al tensiunii de ieșire, se constată că primele armonici după fundamentală apar la dublul frecvenței de modulație, $2m_f$. Tensiunile u_{AN} și u_{BN} sunt decalate cu

180^0 una față de alta (la fel ca u_C și $-u_C$) și ca urmare, armonica cu frecvența egală cu m_f se anulează.

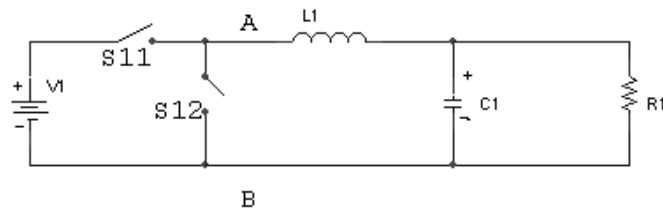
Se poate arăta, că amplitudinea armonicii fundamentale a tensiunii de ieșire este dată de relația:

$$(U_0)_{1\max} = m_a U_i \cdot (m_a \leq 1) \quad (4)$$

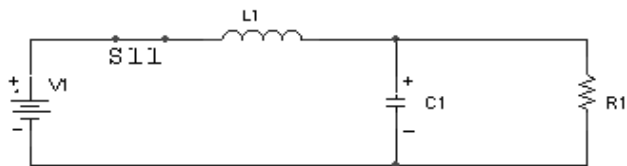
3. Funcționarea inverterului HPWM ca un convertor buck pozitiv, respectiv ca un convertor buck negativ

Pe timpul funcționării inverterul HPWM se poate considera ca fiind compus dintr-un convertor buck pozitiv și respectiv un convertor buck negativ în funcție de starea la un moment dat a comutatoarelor electronice de putere.

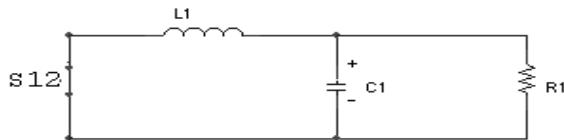
În fig.4 s-a reprezentat descompus inverterul HPWM pentru a forma un convertor „buck” pozitiv, și un convertor „buck” negativ .



(a)



(b)



(c)

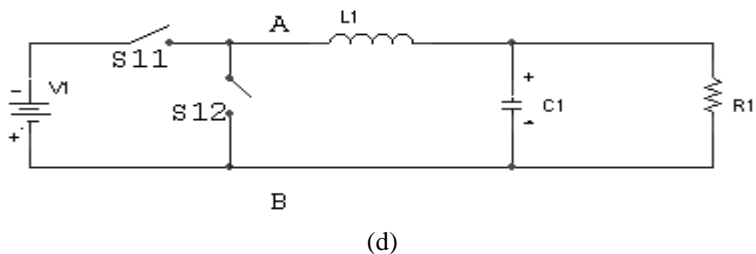


Fig. 4. (a) Convertor „buck” pozitiv, (b), (c) circuitele de comutare ale acestuia, (d) convertor „buck” negativ

4. Concluzii

Din moment ce două din cele patru comutatoare dintr-o punte invertoare monofazată funcționează la frecvență joasă, iar invertorul HPWM este capabil să sintetizeze la ieșire o tensiune de înaltă calitate, având un spectru ce prezintă puține armonici și o funcționare cu pierderi reduse la comutație, aceasta constituie o soluție viabilă pentru sursele de alimentare neîntreruptibile. Pierderile la comutație ale invertorului HPWM sunt la fel ca și ale invertorului cu comandă unipolară și sunt aproximativ jumătate din pierderile invertorului cu comandă bipolară.

Un invertor HPWM funcționează ca un convertor buck pozitiv și un convertor buck negativ conectate la un loc, funcție de starea la un anumit moment de timp a dispozitivelor electronice de putere cu rol de comutatoare statice.

Bibliografie

- [1] Popescu Viorel - Stabilizatoare de tensiune în comutație, Editura de Vest, Timișoara, 1992.
- [2] Popescu Viorel - Electronica de putere, Editura de Vest, Timișoara, 1998.
- [3] Popescu Viorel, Lascu Dan, Negoitescu Dan - Conversoare de putere în comutație. Aplicații, Editura de Vest, Timișoara, 1999.
- [4] Erickson W. Robert – Fundamentals of power electronics

Divizoare de tensiune în construcție modulară. Determinarea timpului de răspuns

Gabriela TONȚ, Daniel ALBU

Universitatea din Oradea

email: dtont@uoradea.ro

Abstract: *The paper focuses on the determination way of the response time of the resistive voltage divider in modular construction. Is possible to determine the transfer function in the general case based on two-port structure of divider, in which the high voltage arm is considered a long line.*

1. Introducere

Divizoarele de înaltă tensiune continuă sau alternativă se utilizează în noile variante în construcție modulară. Calculul timpului de răspuns în cazul divizorului rezistiv. Brațul de înaltă tensiune al acestui divizor este considerat o linie electrică lungă în care se produc fenomene de propagare, iar brațul de joasă tensiune un cuadripol cu elemente concentrate.

Construcțiile modulare actuale de divizoare de tensiune sunt realizate astfel:

- brațul de înaltă tensiune cuprinde module înseriate identice de tipul rezistiv fiind un braț de cuadripoli cu o lungime proporțională cu tensiunea nominală.

- brațul de joasă tensiune este ultimul cuadripol din lanț realizat cu elemente concentrate și ecranate.

Elementele constructive sunt rezistența lineică a brațului de înaltă tensiune și rezistența concentrată R_2 a brațului de joasă tensiune. Mărimile parazite sunt inductivitatea lineică serie L' capacitatea parazită longitudinală serie K' și capacitatea parazită transversală (față de pământ) C' ambele considerate ca mărimi lineice.

Considerând brațul de înaltă tensiune ca o linie electrică lungă, matricea sa caracteristică este:

$$\|A_1\| = \begin{vmatrix} ch\gamma l & Z_c sh\gamma l \\ \frac{sh\gamma l}{Z_c} & ch\gamma l \end{vmatrix} \quad (1)$$

Matricea corespunzătoare cuadripolului ce reprezintă brațul de joasă tensiune este:

$$\|A_2\| = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{R_2} & 1 \end{vmatrix} \quad (2)$$

Cu aceasta matricea divizorului A are expresia:

$$\|A\| = \begin{vmatrix} ch\gamma l + \frac{Z_c}{R_2} sh\gamma l & Z_c sh\gamma l \\ \frac{sh\gamma l}{Z_c} + \frac{ch\gamma l}{R_2} & ch\gamma l \end{vmatrix} \quad (3)$$

2. Schema electrică echivalentă a divizorului

Schema electrică echivalentă a divizorului rezistiv în conducție modulară este prezentată în fig.1.

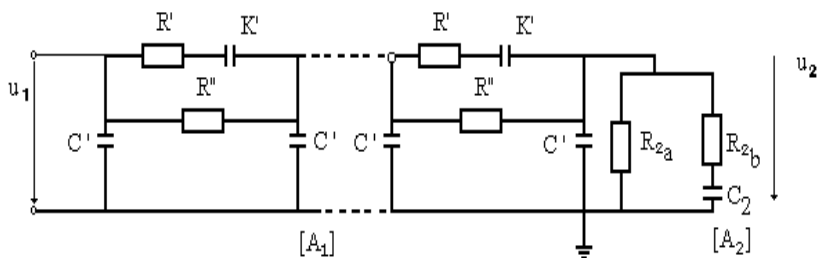


Fig. 1 Schema electrică echivalentă a divizorului de tensiune universal în structură modulară

3. Funcția de transfer a divizorului

Tronsonul unitar al brațului de înaltă tensiune este reprezentat în fig.2.

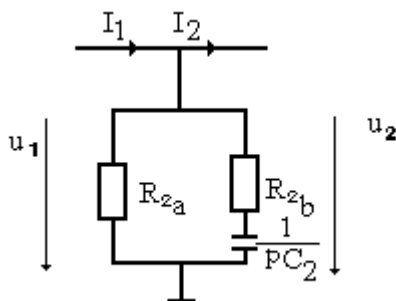


Fig. 2 Cuadripolul echivalent brațului de joasă tensiune

Prin definiție, [1]:

$$Z_c = \sqrt{Z_l Z_t} \quad (4)$$

și respectiv:

$$\gamma = \sqrt{\frac{Z_l}{Z_t}} \quad (5)$$

Impedanța lineică operațională longitudinală este:

$$Z_l = \frac{p + R' / L'}{K' (p^2 + pR' / L' + 1 / K' L')} \quad (6)$$

iar cea operațională transversală are expresia:

$$Z_t = \frac{1}{pC'} \quad (7)$$

Înlocuind (6) și (7) în (4) se obțin, după calcule simple:

$$Z_C = \sqrt{\frac{p + R/L}{pCK(p^2 + pR/L + 1/LK)}} \quad (8)$$

$$\delta = \frac{1}{l} \sqrt{\frac{C(p^2 + pR/L)}{K(p^2 + pR/L + 1/LK)}} \quad (9)$$

unde s-au folosit mărimile totale:

$$C = C' \cdot l \quad L = L' \cdot l \quad (10)$$

$$K = K' \cdot l \quad R = R' \cdot l$$

l fiind lungimea brațului de înaltă tensiune.

Funcția de transfer a divizorului rezistiv este:

$$H(p) = \frac{u_2}{u_1} \quad (11)$$

unde u_1 și u_2 sunt tensiunile de intrare și de ieșire.

Dacă ieșirea divizorului este în gol, ceea ce se poate admite datorită impedanței mari de intrare în osciloscop

$$H(p) = \frac{1}{A_{11}(p)} \quad (12)$$

unde $A_{11}(p)$ este primul termen al matricii $\|A\|$.

4. Calculul timpului de răspuns intrinsec al divizorului rezistiv

Cunoscându-se funcția de transfer, timpul de răspuns se determină cu relația:

$$T_r = \frac{A'_{11}(0)}{A(0)} \quad (13)$$

unde:

$$A_{11}(p) = ch\gamma l + \frac{\gamma l}{pcR_2} sh\gamma l \quad (14)$$

Prin dezvoltarea în serie a funcțiilor hiperbolice, se obține expresia :

$$A_{11}(p) = 1 + \frac{\frac{C}{2K}(p^2 + 2p\delta) + \frac{1}{KR_2}(p^2 + 2p\delta)}{p^2 + 2p\delta + \omega_0^2} + \frac{\frac{C}{6K^2R_2}(p^3 + 4p^2\delta + 4p\delta^2)}{p^2 + 2p\delta + \omega_0^2} \quad (15)$$

în care s-au introdus notațiile: $\delta = \frac{R}{2L}$ și $\omega_0^2 = \frac{1}{LK}$.

Determinăm în continuare:

$$A_{11}(0) = 1 + \frac{2\delta}{KR_2\omega_0^2} = \frac{R + R_2}{R_2} \quad (16)$$

$$A'_{11}(0) = \frac{3CRR_2 - 6R^2K + R^2C}{6R_2} \quad (17)$$

Ținând seama de relațiile (16) și (17) se obține relația de calcul a timpului de răspuns:

$$T_r = \frac{3CRR_2 + R^2(C - 6K)}{6(R + R_2)} \quad (18)$$

5. Concluzii

Considerarea structurii cuadripolare a unui divizor face posibilă determinarea funcției de transfer în cazul general în care brațul de înaltă tensiune este considerat o linie lungă. Prin determinarea funcției de transfer se poate evalua în mod simplu timpul de răspuns ca performanță globală a divizorului; acesta depinde esențial de mărimile de construcție și de cele parazite.

Bibliografie

- [1] Hortopan G., Hortopan V., „Șunturi și divizoare de tensiune”, Ed. Tehnică, București, 1998.
- [2] Pfeiffer W., „Tehnica impulsului (traducere din limba germană)”, Ed. Tehnică, București, 1992.
- [3] Popescu C., „Performanțele divizorului de tensiune R-C serie”, București, 1999.
- [4] Șora C., „Bazele electrotehnicii”, E.D.P., București, 1982.

Anexă

Relativ la calculul timpului de răspuns. În relația (14) se înlocuiesc funcțiile hiperbolice cu primii doi termeni ai dezvoltării în serie de puteri, rezultând:

$$A_{11}(p) = 1 + \frac{(\mathcal{N})^2}{2} + \frac{\mathcal{N}}{pCR_2} \left[\mathcal{N} + \frac{(\mathcal{N})^3}{6} \right] = 1 + \frac{(\mathcal{N})^2}{2} + \frac{(\mathcal{N})^2}{pCR_2} + \frac{(\mathcal{N})^4}{6pCR_2}$$

Pe de altă parte $\mathcal{N} = \sqrt{\frac{C}{K} \cdot \frac{(p^2 + 2p\delta)}{p^2 + 2p\delta + \omega_0^2}}$ și deci:

$$A_{11} = 1 + \frac{C}{2K} \cdot \frac{p^2 + 2p\delta}{p^2 + 2p\delta + \omega_0^2} + \frac{C}{KCR_2 p} \cdot \frac{p^2 + 2p\delta}{p^2 + 2p\delta + \omega_0^2} + \frac{C^2 p^2 (p + 2p\delta)^2}{6K^2 pCR_2 (p^2 + 2p\delta + \omega_0^2)}$$

Înlocuind expresiile δ și ω_0^2 se obține:

$$A_{11}(0) = 1 + \frac{2 \frac{R}{2L}}{KR_2 \frac{1}{KL}} = \frac{R + R_2}{R_2}$$

Expresia derivatei $A'_{11}(p)$ este:

$$\begin{aligned} A'_{11}(p) = & \frac{\left[\frac{C}{2K} (2p + 2\delta) + \frac{1}{kR_2} \right] (p^2 + 2p\delta + \omega_0^2)^2}{(p^2 + 2p\delta + \omega_0^2)} - \\ & - \frac{(2p + 2\delta) \left[\frac{C}{2K} (p^2 + 2p\delta) + \frac{1}{kR_2} (p + 2\delta) \right]}{(p^2 + 2p\delta + \omega_0^2)^2} + \\ & + \frac{C}{6K^2 R_2} \frac{(3p^2 + 8p\delta + 4\delta^2) (p^2 + 2p\delta + \omega_0^2)^2}{(p^2 + 2p\delta + \omega_0^2)^4} - \\ & - \frac{C}{6K^2 R_2} \frac{2(2p + 2\delta) (p^2 + 2p\delta + \omega_0^2) (p^3 + 4p^2\delta + 4p\delta^2)^2}{(p^2 + 2p\delta + \omega_0^2)^4} \end{aligned}$$

care la limită conduce la relația:

$$A'_{11}(0) = \frac{\frac{C}{2K} 2\delta\omega_0^2 - 4 \frac{\delta^2}{KR_2}}{\omega_0^4} + \frac{C}{6K^2R_2} \cdot \frac{4\delta^2\omega_0^2}{\omega_0^8} = \frac{C\delta}{K\omega_0^2} - \frac{4\delta^2}{K^2R_2\omega_0^4} + \frac{2}{3} \cdot \frac{C}{K^2R_2} \cdot \frac{\delta^2}{\omega_0^4}$$

și, deci înlocuind δ și ω_0

$$A'_{11}(0) = \frac{CR}{2} - \frac{R^2K}{R_2} + \frac{R^2C}{6R_2}$$

relație din care, prin aducerea la același numitor se obține:

$$A'_{11}(0) = \frac{3CRR_2 - 6R^2K + R^2C}{6R_2}$$