

CONTRIBUȚII LA SISTEMELE DE DETECTARE ȘI DE COMANDĂ PENTRU PROTECȚIA PERSOANELOR ÎN CAZUL COLIZIUNII AUTOMOBILELOR

Teză destinată obținerii
titlului științific de doctor inginer
la
Universitatea "Politehnica" din Timișoara
în domeniul INGINERIE MECANICĂ
de către

ing. Vilmos FERNENGEL

Conducător științific: prof.univ.dr.ing Octavian GLIGOR
prof.univ.dr.ing † Marcu BALEKICS
Referenți științifici: prof.univ.dr.ing. Sava IANICI
prof.univ.dr.ing. Iosif KAPOSTA
conf.univ.dr.ing. Erwin-Christian LOVASZ

Ziua susținerii tezei: 10.12.2010

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- | | |
|------------------------|---|
| 1. Automatică | 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații |
| 2. Chimie | 8. Inginerie Industrială |
| 3. Energetică | 9. Inginerie Mecanică |
| 4. Ingineria Chimică | 10. Știința Calculatoarelor |
| 5. Inginerie Civilă | 11. Știința și Ingineria Materialelor |
| 6. Inginerie Electrică | 12. Ingineria sistemelor |

Universitatea „Politehnica” din Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14/14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2010

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității „Politehnica” din Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,
tel. 0256 403823, fax. 0256 403221
e-mail: editura@edipol.upt.ro

Cuvânt înainte

Prezenta lucrare a fost elaborată în cadrul firmei Autoliv România S.R.L, divizia Electronice, din Timișoara.

Mulțumiri deosebite se cuvin conducătorului de doctorat prof. dr. ing Gligor Octavian, care, prin vasta sa experiență în domeniul Mecatronicii, m-a îndrumat pe parcursul efectuării acestei lucrări.

De asemenea, stima și recunoștința mea se îndreaptă către regretatul prof. dr. ing. Marcu Balekics, care m-a inițiat pe acest drum și a avut un rol substanțial în formarea mea profesională ca inginer, dar și ca doctorand.

Colegii mei din Autoliv Romania S.R.L. au fost un sprijin real prin idei de cercetare și informații pe parcursul efectuării experimentelor. De asemenea, mulțumesc studenților, care, prin lucrările de diplomă efectuate în cadrul firmei, au adus contribuții substanțiale la definirea și construcția standului experimental, cât și la efectuarea experimentelor.

Mulțumesc familiei, soției mele Gabriella, fiicei mele Julia și părinților mei, Katalin și Vilhelm, care au fost alături de mine, m-au înțeles și m-au susținut necontenit.

Timișoara, 09.2010

Vilmos FERNENGEL

Dedic această lucrare inginerilor, care, prin munca lor, salvează vieți omenești.

FERNENGEL, Vilmos

Contribuții la sistemele de detectare și de comandă pentru protecția persoanelor în cazul coliziunii automobilelor

Teze de doctorat ale UPT, Seria 9, Nr. 85, Editura Politehnica, 2010, 184 pagini, 133 figuri, 30 tabele.

ISSN:1842-4937

ISBN: 978-606-554-200-6

Cuvinte cheie: automobil, protecție, coliziune, senzor optic, accelerație, presiune, algoritm, model coliziune, filtrare semnal

Rezumat: Teza de doctorat prezintă soluții alternative pentru lanțul de achiziție a datelor provenite de la senzorii de detectare a coliziunilor la automobile. Sunt abordate următoarele obiective majore:

- Optimizarea lanțului de achiziție de date prin folosirea fibrelor optice ca mediu de comunicare printre senzorii de detectare a coliziunii, respectiv Unitatea Centrală Electronică;
- Prezentarea conceptelor pentru senzorii optici de presiune și accelerație „pasivi”, unde elementul senzitiv nu conține părți electronice;
- Dezvoltarea algoritmilor care folosesc informația provenită de la senzorii optici pentru detectarea coliziunilor automobilelor și luarea deciziei de activare a sistemelor de protecție.

Cuprins

| | |
|--|-----|
| Notații, abrevieri, acronime | 7 |
| Lista de tabele..... | 8 |
| Lista de figuri | 9 |
| Introducere | 12 |
| 1 Stadiul actual al sistemelor pentru protecția persoanelor în cazul coliziunii automobilelor..... | 13 |
| 1.1 Generalități | 13 |
| 1.2 Evoluția sistemelor de protecție la automobile | 16 |
| 1.3 Clasificarea sistemelor pentru protecția persoanelor în caz de coliziune | 17 |
| 1.3.1 Sisteme de siguranță active | 18 |
| 1.3.2 Sisteme de siguranță pasive | 22 |
| 1.4 Coliziunea automobilelor | 24 |
| 1.5 Reglementări impuse sistemelor de siguranță ale automobilelor..... | 26 |
| 1.5.1 Testarea performanței sistemelor de siguranță și protecție..... | 28 |
| 1.5.2 Proceduri de testare Euro NCAP..... | 28 |
| 2 Construcția și funcționarea sistemelor pentru protecția umană în cazul coliziunii | 33 |
| 2.1 Sisteme de detectare și comandă a coliziunii | 33 |
| 2.1.1 Interfețe de comunicare ale senzorilor pentru detectarea coliziunilor | 36 |
| 2.2 Comanda echipamentelor de protecție | 38 |
| 2.2.1 Coliziunea frontală | 39 |
| 2.2.2 Coliziunea din spate..... | 41 |
| 2.2.3 Coliziunea laterală | 42 |
| 2.2.4 Rostogolirea cauzată de coliziune | 43 |
| 3 Cercetări teoretice | 45 |
| 3.1 Notații utilizate | 45 |
| 3.2 Dinamica coliziunii automobilelor | 46 |
| 3.2.1 Model coliziune lucru mecanic - energie..... | 46 |
| 3.2.2 Model de coliziune masă – element elastic | 49 |
| 3.2.3 Model de coliziune masă – element elastic cu amortizare | 52 |
| 3.2.4 Model structural al automobilului în cazul coliziunii frontale..... | 56 |
| 3.2.5 Modelul bilanțului energetic în cazul coliziunii | 61 |
| 4 Contribuții privind optimizarea sistemelor de protecție la coliziune..... | 63 |
| 4.1 Notații utilizate | 64 |
| 4.2 Definirea direcțiilor de optimizare în cadrul lucrării | 64 |
| 4.3 Optimizarea conceptelor folosite în dezvoltarea sistemelor de detectare a coliziunii | 66 |
| 4.3.1 Conceptul de detectare a coliziunii | 66 |
| 4.3.2 Optimizarea lanțului de achiziție date..... | 73 |
| 4.3.3 Senzor optic de presiune pentru aplicații de siguranță pasivă | 76 |
| 4.3.4 Senzor optic de accelerație pentru aplicații de siguranță pasivă | 91 |
| 5 Construcția standului experimental | 98 |
| 5.1 Componentele standului experimental | 99 |
| 5.1.1 Stabilizatorul de tensiune | 99 |
| 5.1.2 Emițător – Receptor fascicul de lumină..... | 100 |
| 5.1.3 Generatorul de semnal | 101 |
| 5.1.4 Convertorul de protocol și vizualizare | 102 |
| 5.1.5 Convertorul analog – digital | 103 |

| | | |
|--------------|--|-----|
| 5.2 | Construcția mecanică a standului experimental..... | 105 |
| 5.3 | Prelucrarea statistică a datelor experimentale..... | 108 |
| 6 | Cercetări experimentale asupra proceselor de coliziune..... | 112 |
| 6.1 | Definirea distanței optime dintre membrană și capătul fibrelor optice . | 112 |
| 6.2 | Influența lungimii de undă a luminii emise asupra intensității reflectate | 114 |
| 6.3 | Determinarea pierderilor de intensitate la fibrele optice încovoiate | 115 |
| 6.4 | Timpul de stabilizare a senzorului..... | 116 |
| 6.5 | Definirea caracteristicilor echipamentului de achiziție de date | 117 |
| 6.5.1 | Determinarea distorsiunii echipamentului de achiziție date..... | 117 |
| 6.5.2 | Determinarea ratei de semnal util - zgomot | 118 |
| 6.5.3 | Liniaritatea echipamentului de achiziție date pe domeniul de măsurare..... | 119 |
| 6.6 | Testarea senzorului optic de presiune respectiv de accelerație | 121 |
| 6.6.1 | Domeniul de măsurare | 121 |
| 6.6.2 | Linearitatea senzorului | 122 |
| 6.6.3 | Acuratețea senzorului..... | 124 |
| 6.6.4 | Timpul de răspuns | 126 |
| 6.6.5 | Rezoluția senzorului | 128 |
| 6.6.6 | Raportul semnal util – zgomot..... | 130 |
| 6.7 | Comportamentul senzorilor de accelerație în condiții de coliziune | 131 |
| 6.8 | Comportamentul senzorului de presiune în condiții de coliziune..... | 137 |
| 7 | Contribuții personale și concluzii finale | 141 |
| 7.1 | Contribuții personale | 141 |
| 7.2 | Concluzii finale | 144 |
| Anexa A | | 145 |
| Anexa B | | 148 |
| Anexa C | | 154 |
| Anexa D | | 158 |
| Anexa E | | 163 |
| Anexa F | | 170 |
| Bibliografie | | 175 |

Notății, abrevieri, acronime

| | |
|---------|---|
| ESC | Electronic Stability Control (Controlul electronic al stabilității) |
| UCE | Unitate de Control Electronică |
| CG | Centrul de Greutate |
| PSI5 | Peripheral Sensor Interface |
| DSI | Distributed System Interface |
| SPI | Serial Peripheral Interface |
| EMC | Electromagnetic Compatibility (Compatibilitate electromagnetică) |
| HW | Hard Ware (componente electronice) |
| SW | Soft Ware (program) |
| AUTOSAR | AUTomotive Open System ARchitecture |
| ASIC | Application – Specific Integrated Circuit |
| AB | AirBag |
| CAN | Controller Area Network |
| LIN | Local Interconnect Network |
| WHO | World Health Organization |
| NHTSA | National Highway Traffic Safety Administration |
| NCAP | New Car Assessment Programme |
| IIR | Infinite Impulse Response |
| POF | Plastic Optical Fiber (Fibră optică din plastic) |
| ADC | Analog to Digital Converter (Convertor din Analog în Digital) |
| DAC | Digital to Analog Converter (Convertor din Digital în Analog) |
| SNR | Signal to Noise Ratio (Rata Semnal - Zgomot) |
| THD | Total Harmonic Distorsion (Distorsiune armonică totală) |
| IMD | Intermodulation Distorsion (Distorsiuni de intermodulație) |

Lista de tabele

| | |
|---|-----|
| Tabela 1 – Estimarea accidentelor de trafic pentru 2020 [W.3] | 15 |
| Tabela 2 – Matricea Haddon aplicată pentru cazuri de coliziune și accidentare | 16 |
| Tabela 3 – Reglementări ECE referitor la coliziune frontală [E.2] | 27 |
| Tabela 4 – Reglementări ECE referitor la coliziune laterală [E.2] | 27 |
| Tabela 5 – Reglementări ECE referitor la coliziune din Spate [E.2] | 27 |
| Tabela 6 – Reglementări ECE referitor la Rostogolirea automobilului [E.2] | 27 |
| Tabela 7 – Scaun de protecție copil | 31 |
| Tabela 8 – Parametrii echipamentului de conversie analog – digitală | 105 |
| Tabela 9 – Dimensiunile cheie ale standului experimental | 108 |
| Tabela 10 – Variația intensității în funcție de tensiune | 113 |
| Tabela 11 – Caracteristicile corpului de senzor | 113 |
| Tabela 12 – Influența lungimii de undă de lumină asupra intensității reflectate ... | 114 |
| Tabela 13 – Caracteristica diodelor LED folosite la experimente | 115 |
| Tabela 14 – Timp de stabilizare senzor | 117 |
| Tabela 15 – Liniaritatea echipamentului de achiziție de date | 120 |
| Tabela 16 – Domeniul de măsurare a senzorului optic de presiune | 122 |
| Tabela 17 – Deviația maximă de la linearitate | 122 |
| Tabela 18 – Deviația maximă de la linearitate | 123 |
| Tabela 19 – Determinarea acurateței senzorului optic de presiune | 126 |
| Tabela 20 – Determinarea acurateței senzorului optic de accelerație | 126 |
| Tabela 21 – Rezoluția senzorului de presiune | 129 |
| Tabela 22 – Rezoluția senzorului de accelerație | 129 |
| Tabela 23 – Raportul semnal util și zgomot pentru senzorul de presiune | 130 |
| Tabela 24 – Raportul semnal util și zgomot pentru senzorul de accelerație | 131 |
| Tabela 25 – Nivele de severitate folosite la algoritmul de detectare coliziune | 133 |
| Tabela 26 – Scenarii de coliziune pe standul experimental | 133 |
| Tabela 27 – Nivele de severitate folosite la algoritmul de detectare coliziune laterală | 138 |
| Tabela 28 – Protocoale de comunicare | 145 |
| Tabela 29 – Caracteristicile senzorului de referință (accelerație) | 174 |
| Tabela 30 – Caracteristicile senzorului de referință (presiune) | 174 |

Lista de figuri

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Rata mortalității în accidentele rutiere/100 000 locuitori [W.1]..... | 14 |
| Figura 2 – Accidente fatale în funcție de categoriile de vehicule [W.1] | 14 |
| Figura 3 – Clasificarea sistemelor de siguranță pentru prevenirea accidentelor și protecția pasagerilor | 18 |
| Figura 4 – Sistem automat pentru schimbarea fazei de lumină a farurilor..... | 19 |
| Figura 5 – Sistem ACC, urmărire automată a unui automobil..... | 20 |
| Figura 6 – Sistem de recunoaștere a marcajelor rutiere | 20 |
| Figura 7 – Sistem FCW | 21 |
| Figura 8 – Sistem LDW | 21 |
| Figura 9 – Sistemul NV | 21 |
| Figura 10 – Sisteme de siguranță și capacitatea lor de a reduce leziunile persoanelor din automobile | 22 |
| Figura 11 – Zone de coliziune | 25 |
| Figura 12 – Testarea sistemelor de siguranță în coliziunea frontală | 29 |
| Figura 13 – Testarea sistemelor de siguranță în coliziunea laterală..... | 30 |
| Figura 14 – Testarea sistemelor de siguranță în coliziunea laterală cu un stâlp | 30 |
| Figura 15 – Testarea sistemelor de protecție pietoni..... | 31 |
| Figura 16 – Formula de evaluare a sistemelor de protecție după Euro NCAP | 32 |
| Figura 17 – Construcția sistemelor de siguranță pasive..... | 33 |
| Figura 18 – Amplasamentul uzual al senzorilor pentru siguranță pasivă | 34 |
| Figura 19 – AUTOSAR arhitectura de SW | 35 |
| Figura 20 – PSI5 operație asincronă | 36 |
| Figura 21 – PSI5 operație sincronă..... | 36 |
| Figura 22 – PSI5 operație sincronă „Daisy chain” | 37 |
| Figura 23 – DSI legătura Master – Slave..... | 37 |
| Figura 24 – SPI Master conectat la două Slave-uri | 38 |
| Figura 25 – Amplasamentul uzual al sistemelor de protecție pasivă | 38 |
| Figura 26 – Activarea sistemelor de protecție la coliziunea frontală | 40 |
| Figura 27 – Activarea sistemelor de protecție la coliziunea din spate | 41 |
| Figura 28 – Activarea sistemelor de protecție la coliziunea laterală..... | 42 |
| Figura 29 - Activarea sistemelor de protecție la coliziunea ce provoacă rostogolirea | 43 |
| Figura 30 – Model de coliziune frontală..... | 47 |
| Figura 31 – Model pasager cu centura cuplată | 48 |
| Figura 32 – Model pasager cu centura cuplată, Airbag prezent..... | 48 |
| Figura 33 – Diagrama Solicitare – Deformație..... | 49 |
| Figura 34 – Model masă – element elastic..... | 50 |
| Figura 35 – Accelația sistemului masă – element elastic în funcție de timp | 51 |
| Figura 36 – Tribosistem | 53 |
| Figura 37 – Model masă – element elastic cu amortizare..... | 53 |
| Figura 38 – Sistem masă – element elastic cu amortizare | 56 |
| Figura 39 – Structura de rezistență simplificată a automobilului..... | 57 |
| Figura 40 – Sistem complex de masă și elemente elastice cuplate..... | 57 |
| Figura 41 – Descompunere sistem pentru tronsonul 4 | 58 |
| Figura 42 – Descompunerea sistemului pentru tronsonul 4-3..... | 58 |
| Figura 43 – Descompunerea sistemului pentru tronsonul 4-3-2..... | 59 |
| Figura 44 – Descompunerea sistemului pentru tronsonul 4-3-2-1..... | 59 |
| Figura 45 – Comportamentul sistemului complex de mase și elemente elastice cuplate | 60 |

| | |
|---|-----|
| Figura 46 – Transferul energetic în cazul coliziunii automobilului | 62 |
| Figura 47 – Direcții de optimizare a sistemelor | 65 |
| Figura 48 – Senzori de siguranță pasivă și conectarea lor la UCE | 67 |
| Figura 49 – Lanțul tipic de achiziție date senzor folosit în siguranța pasivă – UCE.. | 68 |
| Figura 50 – Accelația (decelerația) măsurată în cazul unei coliziuni reale (56 km/h, 10kHz) | 69 |
| Figura 51 – Date de coliziune frontală de la 3 senzori de accelerație..... | 70 |
| Figura 52 – Date coliziune laterală de la un senzor de presiune | 72 |
| Figura 53 – Lanțul de achiziție date senzori folosind mediul optic | 74 |
| Figura 54 – Exemple de fibre optice | 77 |
| Figura 55 – Senzor optic extrinsec (a), intrinsec (b) | 78 |
| Figura 56 – Soluții și principii uzuale folosite la senzorii optici..... | 79 |
| Figura 57 – Soluții de implementare senzor optic de presiune cu membrană elastică | 80 |
| Figura 58 – Soluție de implementare pentru senzor optic de presiune cu două fibre optice..... | 81 |
| Figura 59 – Încărcarea circulară a membranelor | 82 |
| Figura 60 – Modelarea 2D a membranei rezemate respectiv încastrate pe contur .. | 84 |
| Figura 61 – Modelarea 3D a membranei rezemate respectiv încastrate pe contur .. | 85 |
| Figura 62 – Grosimea membranei în funcție de presiune | 86 |
| Figura 63 – Reflexia razelor de lumină de pe membrană | 87 |
| Figura 64 – Variația distanței dintre membrană și fibre optice (transmisie / recepție) | 88 |
| Figura 65 – Frecvența naturală în funcție de grosimea membranei | 90 |
| Figura 66 – Soluție de implementare pentru senzor optic de accelerație cu două fibre optice..... | 92 |
| Figura 67 – Încărcarea circulară a membranelor | 93 |
| Figura 68 – Modelarea 2D a membranei rezemate respectiv încastrate pe contur cu o greutate amplasată pe mijloc..... | 94 |
| Figura 69 – Grosimea membranei în funcție de accelerație..... | 95 |
| Figura 70 – Frecvența naturală în funcție de grosimea membranei | 97 |
| Figura 71 – Stand experimental de încercare senzori..... | 98 |
| Figura 72 – Stabilizator de tensiune | 99 |
| Figura 73 – Modul electronic emițător – receptor semnal luminos | 100 |
| Figura 74 – Generator de semnal | 101 |
| Figura 75 – Semnal de sincronizare pentru un senzor cu interfața PSI | 102 |
| Figura 76 – Adaptor de semnal | 103 |
| Figura 77 – Vizualizare date senzori | 103 |
| Figura 78 – Schița mecanică a standului experimental | 105 |
| Figura 79 – Schița mecanică a plăcii de coliziune | 108 |
| Figura 80 – Intensitatea reflectată în funcție de distanța membranei | 113 |
| Figura 81 – Intensitatea reflectată în funcție de lungimea de undă | 115 |
| Figura 82 – Intensitatea fibrei încovoiate | 116 |
| Figura 83 – Distorsiunea în funcție de frecvența de intrare a echipamentului de achiziție date..... | 118 |
| Figura 84 – Variația ratei de semnal util – zgomot (SNR) | 119 |
| Figura 85 – Linearitatea echipamentelor de măsurare folosite la încercări experimentale | 120 |
| Figura 86 – Linearitatea senzorului optic de presiune..... | 123 |
| Figura 87 – Linearitatea senzorului optic de accelerație | 124 |
| Figura 88 – Linearitatea senzorului optic de accelerație | 124 |

| | |
|---|-----|
| Figura 89 – Mostră de date achiziție pentru determinarea acurateții | 125 |
| Figura 90 – Timp răspuns senzor optic de presiune | 127 |
| Figura 91 – Timp răspuns senzor optic de accelerație | 128 |
| Figura 92 – Schema bloc a algoritmului de detectare coliziune frontală simulată . | 132 |
| Figura 93 – Date nefiltrate de la scenariul de coliziune | 134 |
| Figura 94 – Date filtrate și integrate de la scenariul de coliziune | 134 |
| Figura 95 – Variația vitezei în funcție de timp | 135 |
| Figura 96 – Decizia algoritmului de coliziune | 136 |
| Figura 97 – Comparația datelor reale cu datele provenite de la senzori | 136 |
| Figura 98 – Schema bloc a algoritmului de detectare coliziune laterală | 137 |
| Figura 99 – Semnale provenite de la senzorii de presiune | 138 |
| Figura 100 – Semnale de presiune după blocul de anulare bandă | 139 |
| Figura 101 – Viteza de deformare a ușii | 139 |
| Figura 102 – Decizia algoritmului de coliziune | 140 |
| Figura 103 – Comparația datelor reale cu datele provenite de la senzorii de presiune | 140 |
| Figura 104 – Istorie CAN | 146 |
| Figura 105 – Formatul unui cadru de CAN | 146 |
| Figura 106 – Local Interconnect Network (LIN) | 147 |
| Figura 107 – Echipamente conectate pe LIN | 147 |
| Figura 108 – Model SciLab pentru sistem de masă – element elastic cu amortizor | 150 |
| Figura 109 – Model scilab [S.2] pentru simularea energiei cinetice, potențiale și pierderi | 151 |
| Figura 110 – Model de coliziune de sisteme masă – element elastic cuplate | 152 |
| Figura 111 – Modele masă – element elastic cuplate, rezultatul simulării | 153 |
| Figura 112 – Filtru IIR trece jos | 154 |
| Figura 113 – Filtru trece jos de ordinul unu | 156 |
| Figura 114 – Senzori pentru măsurarea accelerației și a presiunii | 157 |
| Figura 115 – Variația săgeții în funcție de grosimea membranei | 158 |
| Figura 116 – Variația săgeții în funcție de Modulul de elasticitate longitudinal | 159 |
| Figura 117 – Variația săgeții în funcție de coeficientul lui Poisson | 160 |
| Figura 118 – Modelul 3D al membranei sub acțiunea unei forțe concentrate | 161 |
| Figura 119 – Determinarea componentelor de frecvență ale semnalului util provenite de la senzorii folosiți pentru detectarea coliziunii | 162 |
| Figura 120 – Schema electronică a standului experimental | 163 |
| Figura 121 – Emițătorul (dioda LED) | 164 |
| Figura 122 – Receptorul (Fototranzistorul) | 165 |
| Figura 123 – Microcontrolerul folosit la realizarea standului | 166 |
| Figura 124 – Modulul Referință de tensiune (V_{ref}) | 167 |
| Figura 125 – Tensiunile generate de modulul V_{ref} | 167 |
| Figura 126 – Adaptor impulsuri PSI | 169 |
| Figura 127 – Osciloscop folosit la experimente | 170 |
| Figura 128 – Montaj electronic pentru transformarea intensității de lumină reflectată în mărimi electrice | 171 |
| Figura 129 – Generator de funcții | 171 |
| Figura 130 – Placa de achiziție semnale | 172 |
| Figura 131 – Placa de coliziune a standului experimental | 172 |
| Figura 132 – Stand experimental | 173 |
| Figura 133 – Senzori optici de presiune / accelerație | 174 |

Introducere

Protecția conducătorilor și a pasagerilor în caz de coliziune a autovehiculelor constituie o problemă deosebit de importantă la nivel mondial. Această lucrare abordează acest subiect din mai multe perspective, organizat în capitole, plecând de la necesitatea sistemelor până la funcționarea și optimizarea acestora.

Capitolul 1 – prezintă o privire de ansamblu asupra situației globale legate de importanța sistemelor de siguranță și de protecție a automobilelor. Este prezentat un scurt istoric care tratează problema necesității și apariției acestor sisteme de protecție, începând de la automobilele de epocă până la cele mai sofisticate. După clasificarea sistemelor de protecție, se acordă un interes deosebit sistemelor „pasive” de protecție/siguranță și funcționării acestora, deoarece aceste sisteme prezintă principalul domeniu de preocupare al acestei teze de doctorat. Tot în acest capitol sunt tratate procedurile de testare curentă a automobilelor și stabilirea calității sistemelor de protecție pe piața Europeană.

Capitolul 2 – discută construcția sistemelor de detectare/protecție care aparțin domeniului „pasiv” de siguranță. Sunt luate în discuție amplasamentul uzual al senzorilor și comunicarea acestora prin intermediul protocoalelor dedicate acestora, cu UCE (Unitatea Electronică de Control). Ultima parte a acestui capitol prezintă comanda echipamentelor de protecție și activarea acestora în funcție de timp. Va fi identificat și tipul coliziunii critice în timp, precum și măsurile care sunt luate pentru reducerea efectelor asupra persoanelor din automobil.

Capitolul 3 – analizează modelele matematice pentru descrierea și studiul coliziunii automobilelor. Pentru fiecare model este prezentat rezultatul simulării care descrie caracteristica și comportamentul sistemului. În finalul capitolului sunt prezentate modele de mai mare complexitate care țin cont de caracteristicile deformării diferitelor subsisteme mecanice, luând în considerare și factorii tribologici.

Capitolul 4 – prezintă contribuții personale ale autorului, privind optimizarea sistemelor de protecție la coliziune. Sunt prezentate cazuri de coliziune și date reale recepționate de la senzorii montați în automobil. După prezentarea lanțului de achiziție date pentru senzorii de presiune și accelerație, autorul prezintă un nou concept pentru optimizarea acestuia. Acest concept folosește mediul optic pentru a detecta informația utilă de accelerație și presiune, prin folosirea unui element sensibil pasiv (fără electronică). Aici sunt prezentate conceptele de realizare a senzorilor optici de presiune și de accelerație. O serie de modele matematice și simulări au fost realizate pentru ușurarea fazei de proiectare.

Capitolul 5 – este dedicat construcției standului experimental. Aici este prezentată partea electronică și mecanică a standului, cât și a diferitelor echipamente folosite pentru detectarea, măsurarea și interpretarea datelor experimentale.

Capitolul 6 – prezintă cercetările experimentale asupra senzorilor optici de presiune și accelerație, respectiv analiza proceselor de coliziune. Aici sunt descrise o serie de încercări experimentale efectuate pe senzorii optici pentru definirea caracteristicilor generice, comparativ cu senzorii de referință folosiți pentru validarea rezultatelor experimentale. După care, senzorii urmează să fie testați în condiții de coliziune apropiate celor reale. Aici sunt prezentați doi algoritmi, dezvoltați de autor, pentru evaluarea severității coliziunii și declanșarea echipamentelor de protecție pasageri.

Capitolul 7 – discută contribuțiile aduse de această lucrare cât și concluziile finale din partea autorului legat de tematica prezentată.

1 Stadiul actual al sistemelor pentru protecția persoanelor în cazul coliziunii automobilelor

Capitolul introductiv prezintă o privire de ansamblu asupra situației globale a importanței sistemelor de siguranță și de protecție a automobilelor. Sunt prezentate date statistice legate de accidentele rutiere și cauzele acestora, de asemenea informații legate de prognoza evoluției datelor pentru anii viitori.

Dezvoltarea și evoluția sistemelor de protecție are în vedere în primul rând tendințele constatate pe plan european. Un scurt istoric prezintă necesitatea și apariția acestor sisteme, de la automobilele de epocă până la cele mai sofisticate (dotate) dintre modelele actuale.

Unul dintre subcapitole se adresează reglementărilor impuse pentru producătorii de mașini. Analiza se concentrează cu deosebire pe Uniunea Europeană. În acest cadru este prezentat și modul de testare/evaluare a acestor sisteme.

După prezentarea generică a sistemelor de protecție urmează, în succesiune, o sistematizare a acestora și o enumerare a situațiilor critice ce trebuie avute în vedere pe parcursul unui accident rutier; în funcție de situația concretă sistemele trebuie activate parțial sau integral. Se acordă un interes deosebit sistemelor „pasive” de protecție/siguranță și funcționării acestora, deoarece aceste sisteme prezintă principalul domeniu de preocupare al acestei teze de doctorat.

1.1 Generalități

Protecția conducătorilor și a pasagerilor în caz de coliziune a autovehiculelor constituie o problemă deosebit de importantă la nivel mondial. Statisticile prezentate de „World Health Organization” (WHO) [W1, W2, W3] scot în evidență că în fiecare an în jur de 1.2 milioane de oameni mor la nivel mondial în accidente rutiere, iar alți 20 - 50 milioane suferă răni grave.

În ceea ce privește rata mortalității pe cap de locuitor [W.1] în urma accidentelor rutiere, pe primul loc se situează Kazahstan. Țara noastră este poziționată în mijlocul listei în raport cu alte țări din regiunea Europeană, iar pe ultimul loc, cu rata de mortalitate cea mai mică, statul San-Marino, asta cum rezultă din Figura 1. Ultimele statistici disponibile din anul 2007 scot în evidență faptul că în țara noastră au avut loc 2712 accidente fatale și 29832 de accidente rutiere în urma cărora au rezultat răniți.

Deși reglementările în vigoare obligă folosirea sistemelor de protecție, în urma controalelor s-a constatat că doar în proporție de 50% au fost folosite sisteme de protecție (ex. centuri de siguranță, cască de protecție).

14 Stadiul actual al sistemelor pentru protecția persoanelor în cazul coliziunii automobilelor - 1

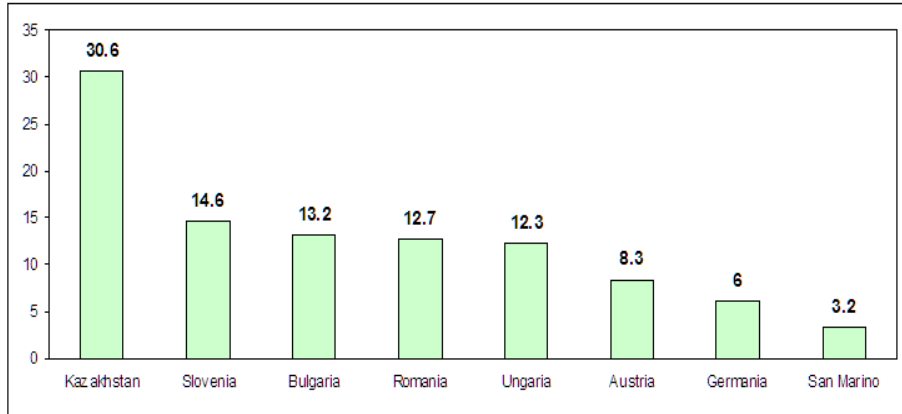


Figura 1 - Rata mortalității în accidente rutiere/100 000 locuitori [W.1]

După cum rezultă din Figura 2, accidentele fatale sunt cauzate de automobile pe 4 roți în proporție de 74%, fapt care ne atrage atenția asupra pericolului datorat automobilelor. Un alt fapt alarmant care reiese din statistici este că majoritatea accidentelor (aproximativ 22%) sunt provocate de tineri între 18 și 25 ani, urmat de categoria conducătorilor de 26 – 50 ani în proporție de aproximativ 16%. Accidentele rutiere în care sunt implicați pietoni se situează pe al treilea loc, cu 11%. Domeniul în care au avut loc cele mai puține accidente îl constituie accidentele provocate de bicicliști în proporție de 7%. Numărul cazurilor în care alcoolul a avut un rol în cauzarea unor accidente fatale este de aproximativ 1.5%.

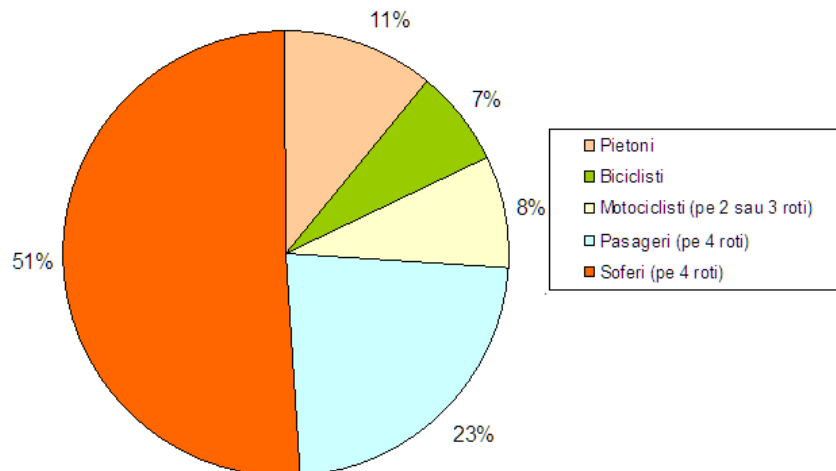


Figura 2 – Accidente fatale în funcție de categoriile de vehicule [W.1]

Statisticile arată că există o tendință de creștere a numărului accidentelor rutiere grave în viitor. Doar pentru zona Europeană se estimează o creștere de aproximativ 2.2% pentru anul 2020.

| Regiune | Nr. țărilor | Rata fatalității/100 000 persoane | |
|---------------------------------------|-------------|-----------------------------------|-------------|
| | | 2000 | 2020 |
| Asia de Est și Pacific | 15 | 10.9 | 16.6 |
| Europa de Est și Asia Centrală | 9 | 19 | 21.2 |
| America Latină și Caraibe | 31 | 26.2 | 31 |
| Estul Mijlociu Africa de Nord | 13 | 19.2 | 22.3 |
| Asia de Sud | 7 | 10.2 | 18.9 |
| Africa de Sub - Sahara | 46 | 12.3 | 14.9 |

Tabela 1 – Estimarea accidentelor de trafic pentru 2020 [W.3]

Pentru limitarea acestei situații pot fi identificate mai multe domenii de interes [W.4], care pot fi influențate, de exemplu, prin măsuri tehnice ingineresti, astfel:

- Măsuri pentru proiectarea unor drumuri mai sigure:
 - Marginea de drum cu linie de marcaj care produce un sunet de avertizare când este atinsă de roata mașinii;
 - Linii profilate pentru atenționarea apariției unei curbe periculoase sau a unei zone aglomerate de trecere pentru pietoni;
 - Vegetație lângă carosabil, etc.
- Managementul traficului mai bun pe drumurile publice:
 - Construirea drumurilor de centura pentru evitarea traficului intens în localități.
- Educație și legi care întăresc siguranța călătorilor cu automobile:
 - De exemplu în SUA, conducătorii tineri au o perioadă prelungită de pregătire pentru obținerea carnetului de șofer; de asemenea numărul de pasageri care pot fi transportați de ei este limitat în primul an după obținerea carnetului de conducere.
- Măsuri pentru proiectarea automobilelor și a sistemelor de detectare și de comandă pentru protecția persoanelor:
 - centuri de siguranță;
 - Airbag – uri;
 - sisteme active de evitare a coliziunii.

Pentru crearea unei vederi de ansamblu asupra factorilor/efectelor care influențează un accident rutier se poate folosi matricea Haddon [H.1], pentru prima dată introdusă în anii 1970. Această matrice arată pe de o parte fazele unui eveniment (accident rutier), iar pe de altă parte factorii care au un rol important în desfășurarea acestui eveniment.

Un factor important care are influență majoră în diminuarea factorilor de risc este „Mediul Social”. Acesta ne arată importanța legislației și a educației pentru cazuri de accidente rutiere. Mediul social, educația oamenilor și respectarea legislației pot influența în mare măsură numărul accidentelor rutiere.

Pe de altă parte, pot fi deduse importanța „Mediului Fizic”, care definește importanța infrastructurii definite pentru circulația automobilelor (semne de circulație și accesul la sisteme pentru cazuri de urgență), care pot avea rol semnificativ în reducerea accidentelor rutiere.

16 Stadiul actual al sistemelor pentru protecția persoanelor în cazul coliziunii automobilelor - 1

| Faze | Natura intervenției | Factori | | | |
|------------------|---------------------------------|--|--|---|--|
| | | Uman | Automobil | Mediu Fizic | Mediu Social |
| Pre – eveniment | Prevenire coliziune | - Atitudine - Exeriență | - Manevrabilitate - Frânare - Viteza automobilului | - Semne de circulație corăspunzătoare - Marcaje carosabil - Iluminare carosabil | - atitudine de consum alcool - limita de viteză |
| Eveniment | Prevenire accidentare / leziuni | - Folosirea sistemelor de siguranță | - Airbag - Alte sisteme de protecție - Dimensiuni / greutate mașină | - prezenta obiectelor solide în apropierea carosabilului - Gard de protecție la marginea carosabilului | - legislația în vigoare pentru folosirea centuri / căștii |
| Post – eveniment | Sustinere viață | - Starea de sănătate - Vârsta | - Risc de incendiu - Accesabilitate ușoară | - acces la sisteme pentru cazuri de urgență | - educația pentru cazuri de urgență |

Tabela 2 – Matricea Haddon aplicată pentru cazuri de coliziune și accidentare

Analizând Tabelul 2 rezultă cât de importantă este folosirea sistemelor de siguranță aflate în dotarea mașinii. De multe ori datorită neglijenței umane aceste sisteme sunt greșit folosite sau nu sunt folosite deloc. Pentru evitarea acestor situații una dintre soluțiile pentru sporirea siguranței conducătorului/călătorilor este folosirea sistemelor mecatronice inteligente care elimină din lanțul de decizie factorul uman.

1.2 Evoluția sistemelor de protecție la automobile

Prima mașină motorizată (automobil) a fost inventată de un inginer francez, Nicolas-Joseph Cugnot [E.1], în anul 1769. Aceasta era o tricicletă care folosea un motor cu aburi și era capabil să transporte patru oameni cu o viteză de 3.6 [km/h]. În anul 1771 când Cugnot se pregătea pentru o prezentare publică, mașina sa cu aburi a scăpat de sub control demolând un zid [W.5]. Acest fapt este catalogat în istorie ca primul accident rutier cauzat de o mașină motorizată. Pe data de 31 August a anului 1869, după 100 de ani de la apariția primului automobil, a avut loc și primul accident rutier cu victimă. Cercetătoarea Mary Ward [I.1] a fost omorâtă de automobilul în care era pasageră; în urma unei ciocniri a fost aruncată sub roțile automobilului, intrând astfel în istorie ca prima victimă ucisă de un automobil. În această fază a dezvoltării automobilului nu s-a pus un accent deosebit pe sisteme de siguranță, practic frâna avea doar rolul de a reduce viteza automobilului. Dezvoltarea și utilizarea frânei disc la automobile a avut loc în anii 1890 în Anglia, primul patent fiind depus în 1902 de către Frederick W. Lanchester [W.6]. A fost folosit la automobilele Lanchester, dar datorită materialelor disponibile pentru fabricarea discurilor și datorită drumurilor pline cu praf, invenția lui Lanchester a trebuit să mai aștepte încă 50 de ani pentru a fi utilizată pe scară largă ca sistem principal de frânare la automobile. În același timp, adică în 1902, Louis Renault inventează frâna cu tambur [W.7], modernă la timpul respectiv, care devine frâna preferată la contractarea automobilelor din perioada respectivă.

Primul proiect legat de folosirea centurii de siguranță apare în anii 1800 și aparține lui George Cayley [W.8]. În 10 Februarie 1885 apare primul patent care definește funcționalitatea centurii de siguranță ca fiind asigurarea unui persoane la un obiect al caroseriei. Acest patent aparține lui Edward J. Claghorn, american din New York. În 1949 apare prima dată centura de siguranță oferită opțional de producătorul de automobile Nash, iar la mașinile Ford în 1955. Centura modernă de

siguranță (fixată în trei puncte) apare pentru prima dată la mașinile produse de compania Volvo [W.8,W.9] în anul 1959.

Un inventator american, John W. Hetrick creează pentru prima dată în 1952 perna de AirBag pentru folosirea ei la automobile. Invenția sa însă nu a fost introdusă imediat la automobile, ci a fost lăsată să mai aștepte aproape 17 ani datorită unei componente cheie, neinventată până atunci, și anume un senzor inerțial pentru detectarea coliziunilor. Această componentă este brevetată de Dr. Allen S. Breed [W.10] sub numele de senzor inerțial „ball-in-tube”, adică „bilă într-un tub”. Invenția lui a fost vândută la Chrysler Group LLC.

1.3 Clasificarea sistemelor pentru protecția persoanelor în caz de coliziune

Sistemele de protecție a persoanelor în caz de coliziune se împart în două domenii distincte:

- Sisteme de siguranță/protecție **active**;
- Sisteme de siguranță/protecție **pasive**.

În domeniul sistemelor cu protecție **active** de siguranță intră toate sistemele, respectiv tehnicile folosite pentru prevenirea coliziunii (ex. camere de luat vederi pentru detectarea obiectelor aflate pe carosabil, radare de distanță scurtă și medie, etc.).

În domeniul sistemelor cu protecție **pasive** intră toate sistemele care ajută la protecția pasagerilor în timpul coliziunii (ex. centura de siguranță, diferite AirBag-uri, tetiere etc.).

Sistemele de siguranță active sunt axate pe starea de mișcare a automobilului, în timp ce sistemele pasive monitorizează mișcarea pasagerilor în automobil în timpul coliziunii.

Figura de mai jos prezintă clasificarea sistemelor de siguranță și varietatea condițiilor de-a lungul unui eveniment de coliziune cu unul sau mai multe obiecte. Cele două domenii ale sistemelor de siguranță (active și pasive) sunt delimitate de „Punct fără întoarcere”. Acesta marchează situația în care toate sistemele de siguranță active indică faptul că impactul nu mai poate fi prevenit sau evitat și va avea loc sigur. Sistemele pasive de siguranță sunt atenționate pentru pregătirea protecției umane. Fiind vorba despre sisteme sofisticate, inteligente [M.6], de multe ori același sistem este folosit în diferite faze ale identificării unei anumite condiții. Astfel, sunt cazuri în care sistemele active au sarcini în domeniul pasiv. Această suprapunere a celor două domenii are ca beneficiu direct creșterea siguranței și performanței protecției conducătorului și pasagerilor.

După ce a avut loc evenimentul de coliziune și sistemele de siguranță pasive au fost acționate, urmează domeniul de „După-coliziune”. În această fază accentul este pus pe menținerea și creșterea șanselor de viață a persoanelor implicate în accident. Una dintre acțiunile care are loc este reducerea șanselor de incendiu (prin tăierea alimentării circuitelor electrice), premeditată cu deblocarea automată a ușilor automobilului. Unele automobile sunt echipate și cu sisteme Telematice, care pot inițializa un apel de urgență la poliție să comunice locul, severitatea și numărul persoanelor implicate în accident. Pe parcursul accidentului sistemele de siguranță stochează seturi de date provenite de la senzori, algoritmi care pot fi folosiți pentru reconstruirea accidentului, în caz de nevoie. Aceste echipamente au rol important în

18 Stadiul actual al sistemelor pentru protecția persoanelor în cazul coliziunii automobilelor - 1

studierea cazurilor particulare de coliziune sau la cazuri unde echipamentele de protecție nu au avut efectul așteptat.

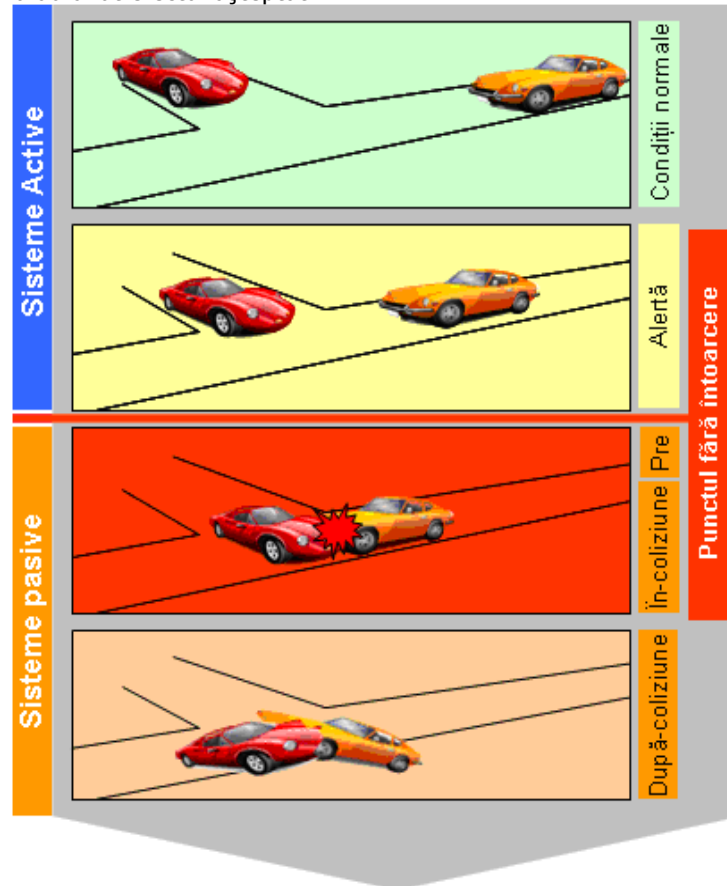


Figura 3 – Clasificarea sistemelor de siguranță pentru prevenirea accidentelor și protecția pasagerilor

1.3.1 Sisteme de siguranță active

Principala sarcină a sistemelor active de siguranță este detectarea și obținerea a cât mai multor informații despre obiectele care pot cauza coliziunea. Varietatea parametrilor care pot fi obținuți de la acești senzori sunt:

- Clasificarea obiectului (ca mărime sau formă);
- Distanța momentană la care se află obiectul;
- Timpul estimat pentru coliziune;
- Viteza și accelerația de apropiere;
- Traectoria obiectului;

- Direcția, poziția și punctul de impact al coliziunii estimate;
- Masa și rigiditatea obiectului.

Pentru realizarea acestei funcții se folosesc o gamă largă de senzori, spre exemplu: radare (distanță lungă, scurtă), lasere, senzori acustici, senzori infraroșii, camere video, etc.

Prin combinația diverselor tehnologii pot fi identificate următoarele tipuri de funcționalități:

- Active care sporesc confortul conducătorului, dar nu au posibilitatea de a prelua sarcini de la conducător;
- Active care pot interveni în controlul mișcării automobilului (ex. controlul mișcării laterale și/sau longitudinale);
- Funcționalități active care preiau controlul total al mișcării laterale și longitudinale, în caz de prevenire a coliziunii.

1.3.1.1 Condiții „normale” de conducere

În această stare „normală” de conducere sistemele de siguranță nu indică nici un pericol, au rolul de a asista conducătorul de automobil oferind de multe ori informații despre mediul înconjurător. În următoarele, câteva sisteme vor fi prezentate:

- Sisteme de monitorizare internă automobil conducător

Informațiile despre condiția mașinii și a conducătorului sunt informațiile primare pentru determinarea emiterii unei stări de avertizare. Din această categorie fac parte senzorii pentru detectarea presiunii din roți sau de temperatură ambiantă. De asemenea pot fi încorporați senzori pentru detectarea de alcool din respirația conducătorului sau senzori care, prin urmărirea clipirii ochilor conducătorului, pot determina starea de oboseală [D.1] a acestuia.

- Sisteme automatizate pentru schimbare fază – lungă – scurtă

Aceste sisteme folosesc de obicei camere de luat vederi care sunt sensibile și în domeniul infraroșu. Acest sistem controlează automat schimbarea fazei de lumini, în cazul în care apare un automobil din direcția opusă și schimbă faza lungă în faza scurtă în mod automat.

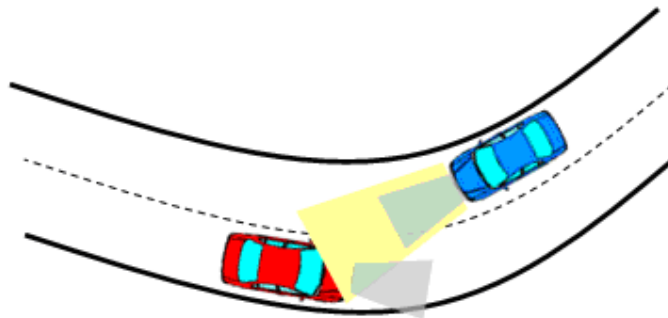


Figura 4 – Sistem automat pentru schimbarea fazei de lumină a farurilor

- Sisteme de viziune nocturnă (Night Vision sau „NV”)

20 Stadiul actual al sistemelor pentru protecția persoanelor în cazul coliziunii automobilelor - 1

Conducătorul automobilului echipat cu acest sistem este capabil să identifice mai ușor vechiculele aflate pe carosabil. Aceste sisteme sunt echipate cu inteligență artificială, sunt capabile să identifice în timp real pericolul și să avertizeze conducătorul.

- Sisteme adaptive de cursă (Adaptive Cruise Control sau „ACC”)

Aceste sisteme sunt capabile să mențină viteza prestabilită și distanța față de automobilul din față, acționând asupra sistemului de accelerație și frânare.

Atunci când carosabilul este liber, mașina va fi accelerată automat până la o viteză presetată. Această viteză este menținută automat până când o nouă situație creată impune intervenția conducătorului. Pentru aceasta se folosesc tehnologii bazate pe radar sau cu laser care emit semnal dirijat în direcție frontală [K.3].

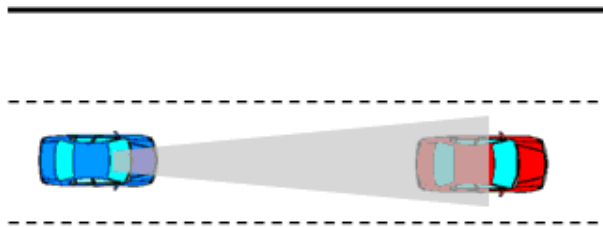


Figura 5 – Sistem ACC, urmărire automată a unui automobil

- Sisteme de asistență marcate rutiere (Traffic Sign Recognition sau „TSR”)

Aceste sisteme inteligente sunt capabile să recunoască semnele rutiere și să informeze conducătorul de automobil în caz de nevoie (ex. trecere de pietoni sau semne de limitare a vitezei).



Figura 6 – Sistem de recunoaștere a marcajelor rutiere

1.3.1.2 Condiții de „alertă”

În această situație sistemele de prevenție accident avertizează pasagerii de o posibilă coliziune cu un obiect străin. Avertizarea în sine trebuie să fie astfel făcută încât să atragă un timp minim posibil atenția conducătorului. Aceste sisteme folosesc tehnologii avansate, de multe ori combinând informația provenită de la senzori diferiți (ex. camere video, laser, radar, camere video de stereo viziune [V.1, V.2], accelerometre), pentru a sintetiza situația curentă și să filtreze cât se poate alertele false. În categoria acestor sisteme se pot enumera:

- Sisteme de atenționare coliziune din față (Forward Collision Warning sau FCW)

În urma evaluării condițiilor mediului înconjurător și distanța automobilului din față, aceste sisteme estimează distanța necesară pentru frânare și avertizează conducătorul despre riscul sporit al coliziunii [C.9].

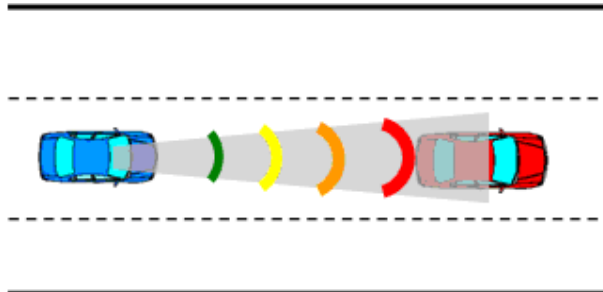


Figura 7 – Sistem FCW

- Sisteme de informare a depășirii liniei continue de carosabil (Lane Departure Warning sau „LDW”)

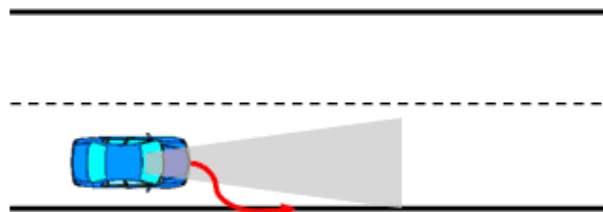


Figura 8 – Sistem LDW

- Sisteme de recunoaștere a pietonilor

Utilitatea acestor sisteme apare în condiții de vizibilitate redusă (ex. noapte). Imaginile preluate de la o cameră în infraroșu sunt procesate și afișate de obicei pe consola principală a mașinii. Poza de mai jos prezintă sistemul „Night Vision” dezvoltat de Autoliv.

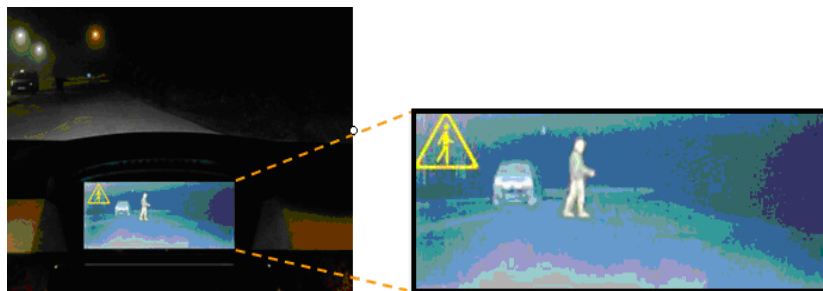


Figura 9 – Sistemul NV

1.3.1.3 Condiții de „pre-coliziune”

Îndată ce severitatea alertei depășește pragul definit, este clasificat „punctul fără întoarcere” care indică cert că va avea loc coliziunea automobilului cu un obiect străin. Principala funcționalitate a sistemelor de detectare în acest caz este să furnizeze informații precise și utile pentru sistemele bazate pe detectarea accelerației automobilului în timpul coliziunii. Această informație este transmisă către sistemele de detectare a protecției pasagerilor pentru diminuarea avariilor și reducerea leziunilor pasagerilor. În această fază sunt inițiate așa numitele sisteme „reversibile”, care au capacitatea de a fi resetate în cazul în care coliziunea nu are loc (spre exemplu: înarmare AirBag, pretensionarea centurii de protecție prin mijloace non-pirotehnice).

1.3.2 Sisteme de siguranță pasive

În timp ce sistemele active au sarcina să detecteze obiecte care pot cauza coliziunea, sistemele pasive de siguranță detectează/monitorizează cinematica automobilului și poziția sau mișcarea persoanelor aflate în automobil. Aceste sisteme sunt activate la primul contact cu obiectul străin. Modul în care este realizată funcționalitatea de protecție și activarea sistemelor de protecție depinde de tipul senzorilor și de arhitectura sistemului de detectare. Figura de mai jos evidențiază capacitatea sistemelor pasive de siguranță de a reduce leziunile în caz de coliziune [F.1]. Se poate observa că simpla folosire a centurii de siguranță poate avea impact semnificativ în accidente rutiere. De aceea, multe țări impun prin norme legislative folosirea obligatorie a acestora.

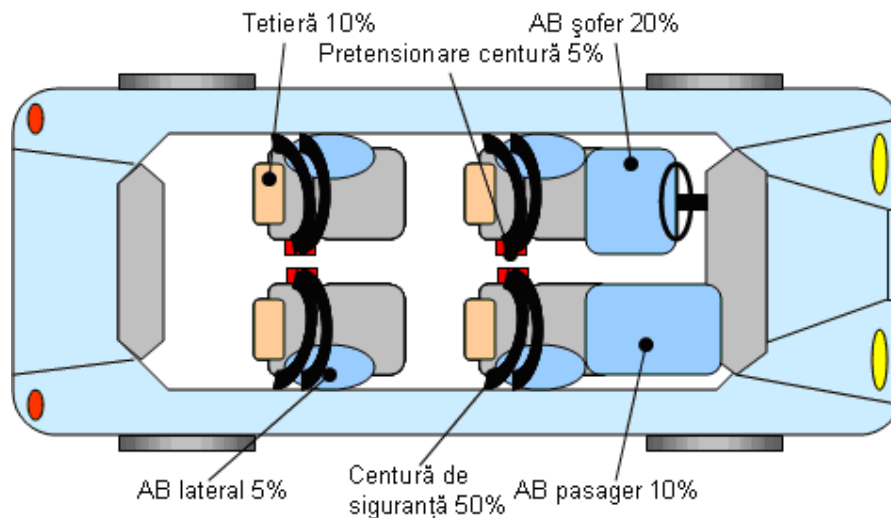


Figura 10 – Sisteme de siguranță și capacitatea lor de a reduce leziunile persoanelor din automobile

1.3.2.1 Condiții „în-coliziune”

În cazul în care după activarea sistemelor reversibile de siguranță persistă aceeași stare de alertă, așa numitele sisteme „ireversibile” de protecție și siguranță sunt activate (ex. centura de siguranță pirotehnică, Airbag, etc.). Multitudinea de informații provenite de la senzori este folosită pentru determinarea severității impactului și determinarea poziției pasagerilor automobilului. Aceste informații determină combinația optimă de activare a sistemelor pasive de siguranță care este în concordanță cu strategia de lansare definită de producătorul mașinii, împreună cu producătorul sistemului de protecție pasivă.

Astfel de exemplu:

- Vor fi activate numai pernele de Airbag la scaunele cu pasager;
- În funcție de poziția pasagerilor poate să fie activat primul nivel de umflare pernă AirBag sau toate treptele;
- În funcție de viteza de ciocnire numai retractoarele de centură de siguranță sunt activate.

Cele mai uzuale sisteme de protecție pasivă sunt:

1. Sac Airbag (AB)

Este o pernă gonflabilă, umflată cu un gaz cu presiune mare. Are rolul de a oferi pasagerilor automobilului o interfață moale înainte de a intra în contact cu elementele rigide ale automobilului în timpul ciocnirii. Există o serie de variante de saci de Airbag, depinzând de zona în care sunt amplasați sau de rolul de protecție prevăzut.

De exemplu [A.1]:

- AB Torace
- AB Cortină
- AB lateral
- AB frontal (conducător/pasager)
- Pernă AB împotriva alunecării sub bord a mașinii („Anti Submarine Cushion”)
- AB protecție Pelvis

2. Centura de siguranță

Diferite variante - implementări pot fi folosite, începând de la:

- cu mecanism centrifugal de blocare centură;
- cu mecanism pirotehnic de blocare centură;
- cu mecanisme mecatronice având rolul de a trage înapoi centura, astfel pasagerul este adus într-o poziție sigură, având predispoziții mai mici de leziuni, și în același timp, oferind un loc mai mare pentru umflarea AB.
- cu mecanisme mecatronice pentru limitarea forței pe centura de siguranță. Aceste sisteme au rolul de a evita leziunile corporale persoanelor când centura este trasă înapoi.

3. Tetiere

Aceste elemente sunt ajustabile la o înălțime corespunzătoare pentru a proteja capul pasagerului de leziuni care pot apărea din pricina forțelor inerțiale pe parcursul unei coliziuni frontale sau din spate.

24 Stadiul actual al sistemelor pentru protecția persoanelor în cazul coliziunii automobilelor - 1

4. Sistem de întrerupere de alimentare a pompei de combustibil

Pentru evitarea incendiilor, exploziilor în urma coliziunii, aceste sisteme sunt activate.

5. Sistem pentru întreruperea alimentării echipamentelor electrice

Aceste sisteme (de obicei pirotehnice) întrerup alimentarea sistemelor electrice după terminarea evenimentului de coliziune, reducând șansa incendiilor cauzate de scurtcircuite.

6. Bare de protecție în cazul rostogolirii automobilului

În special în mașinile decapotabile, este necesar un sistem de protecție a persoanelor. Se impune protejarea la partea superioară a corpului la contactul cu carosabilul. De obicei aceste sisteme conțin bare solide care suportă greutatea mașinii.

7. Sisteme de protecție pietoni

Diferite soluții tehnice sunt folosite astăzi pentru a reduce nivelul de leziuni ale pietonilor în caz de ciocnire frontală, astfel:

- bare de protecție din material deformabil;
- sisteme care ridică automat capota automobilului pentru a evita ciocnirea pietonilor cu pasagerii sau cu elementele solide ale blocului motor.

1.3.2.2 Condiții „post-coliziune”

După ce accidentul rutier a avut loc (semnalizat de senzori, AirBag-uri lansate), sistemele avansate de notificare accidente (Telematice) sunt activate. Acestea pot lansa un apel de urgență, care, în afara deschiderii unui canal de comunicare telefonică, pot trimite detalii legate de accident, cum ar fi:

- severitatea coliziunii;
- localizarea automobilului (Global Positioning System);
- numărul pasagerilor;
- viteza la care a avut loc accidentul.

Toate aceste informații măresc șansa de supraviețuire a persoanelor implicate în accident.

1.4 Coliziunea automobilelor

Atingerea „Punctului fără întoarcere” marchează cel mai critic eveniment în timp pentru alegerea strategiei corespunzătoare de salvare vieți. Sistemele de siguranță trebuie:

- Să monitorizeze toate informațiile relevante;
- Să proceseze informația;
- Să ia decizia corespunzătoare;
- Să inițieze acțiunea corespunzătoare de protecție.

Pot fi identificate următoarele cazuri de coliziune la automobile:

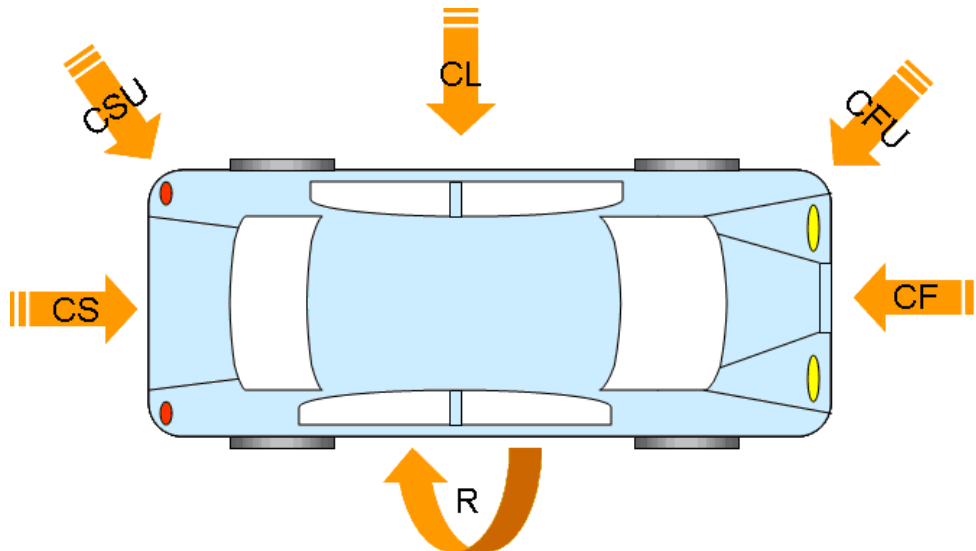


Figura 11 – Zone de coliziune

„CF” – Coliziune Frontală; „CFU” – Coliziune Frontală Unghiulară; „CL” – Coliziune Laterală; „CLU” – Coliziune Laterală Unghiulară; „CS” – Coliziune din Spate; „R” – Rostogolire

1. Coliziune Frontală (CF)

Datorită mișcării și a vitezei automobilului, la acest tip de coliziune o cantitate mare de energie trebuie să fie absorbită. Decizia de activare a sistemelor de protecție, de către algoritmi, trebuie luată în aproximativ 17 ms. Întregul eveniment de lansare a sistemelor de protecție are o durată de desfășurare de aproximativ 110 ms.

2. Coliziune Laterală (CL)

Acest tip de coliziune este considerată cea mai critică în timp. Spațiul dintre partea laterală a automobilului și pasager fiind foarte mic, deformațiile cauzate de către obiectul străin ajung în timp scurt la pasager. Rigiditatea automobilului fiind semnificativ mai mică decât la CF, compensarea acestui fapt este așteptată din partea sistemelor de protecție. Durata acestui eveniment este de aproximativ de 90 ms.

3. Coliziune din spate (CS)

Evenimente de acest gen au durata aproximativă de 100 ms. În această situație viteza de impact este mică, în majoritatea cazurilor nu depășește 25 km/h. Datorită acestui fapt puține sisteme trebuie activate, ceea ce simplifică munca sistemului de protecție.

4. Coliziunea Frontală respectiv din Spate, sub un unghi (CFU; CSU)

În aceste situații comportamentul sistemului este cel suprapus celor două evenimente principale Frontal/Spate cu cel Lateral. Forțele exercitate asupra cabinei de pasageri pot fi mai reduse datorită impactului unghiular. Decizia care trebuie să fie luată de către sistemul mecatronic va fi însă mai complicată.

5. Rostogolire (R)

Rostogolirea automobilului este cel mai lung eveniment, poate să ajungă la ordinul secundelor. Ca desfășurare, sistemele de protecție trebuie activate într-un interval de timp mai lung. Dacă până aici era importantă detectarea și acționarea sistemelor de protecție cât de repede posibil, acest eveniment constituie o provocare pentru sistemele de detectare care trebuie să urmărească evenimentul lent variabil în timp. Informațiile culese despre deplasarea centrului de greutate a mașinii sunt importante pentru alegerea timpului optim de activare a sistemelor ireversibile de protecție. Un alt parametru important este de asemenea urmărit, și anume viteza de deplasare a automobilului.

1.5 Reglementări impuse sistemelor de siguranță ale automobilelor

Legislațiile apărute în ultimii 50 ani au adus multe îmbunătățiri pentru siguranța automobilului. Însă, a trebuit să treacă ani buni pentru ca guvernele să înțeleagă și să sprijine aceste idei.

În 1958 Uniunea Europeană a întemeiat „Forumul Mondial pentru armonizarea reglementărilor Vehiculelor” (World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations), acesta devenind mai târziu „Comisia Economică pentru Europă” (Economic Commission for Europe, sau ECE) [W.12]. Această comisie are ca scop stabilirea de reglementări privind proiectarea, execuția și performanța în domeniul siguranței automobilului. La început Statele Unite nu s-a alăturat acestei inițiative, urmând să creeze o agenție proprie care devine funcțională în anul 1970 sub numele de „Administrația Națională de Drumuri de Transport” (National Highway Traffic Safety Administration, sau NHTSA).

Aceste reglementări constituie un punct de pornire pentru proiectarea sistemelor de siguranță și de protecție a automobilelor. Un avantaj constituie baza vastă de date și statisticile puse la dispoziția publicului de aceste organizații. Astfel, înainte de a cumpăra o mașină poate fi analizat profilul unui producător de automobile pentru a afla dacă la un model anume au fost depistate probleme de funcționare. De exemplu, poate fi obținută lista și analiza defectelor a diferitelor mărci de automobile care au fost chemate înapoi de producător pentru corectarea unor defecțiuni mecanice, electronice sau de SW. Pentru identificarea automobilelor a fost introdus un număr de identificare VIN („Vehicle Identification Number”) încă din anul 1954 de NHTSA, care a fost extins în anul 1994 și la componentele de bază ale automobilului, de exemplu:

- motorul și transmisia automobilului;
- bara de protecție față – spate;
- capota automobilului;
- ușile din față/spate stânga – dreapta.

Această măsură constituie un avantaj în depistarea componentelor furate sau schimbate la mașinile folosite, poate fi folosit pentru depistarea proprietarului anterior sau pentru verificarea odometrului (dacă arată valori reale de kilometri parcurși).

Următoarele tabele centralizează cele mai importante reglementări legate de coliziunile Față/Spate/cel Lateral și rostogolire cerute de ECE.

| Reglementări impuse de Economic Commission for Europe | | |
|--|--------------|---|
| Referitor la | Reglementare | Descriere |
| Coliziune Frontală | ECE R-12 | Măsuri de precauție legate de omologarea vehiculelor cu referire la protecția șoferului împotriva mecanismului de ghidare la evenimentul de impact. |
| | ECE R-14 | Măsuri de precauție legate de omologarea vehiculelor cu referire la suspendarea centurilor de siguranță. |
| | ECE R-16 | Măsuri de precauție legate de omologarea vehiculelor cu referire la sistemele de siguranță și sistemele de siguranță pentru copii. |
| | ECE R-33 | Măsuri de precauție legate de omologarea vehiculelor cu referire la comportamentul și structura vehiculului. |
| | ECE R-94 | Măsuri de precauție legate de omologarea vehiculelor cu referire la protecția pasagerilor în caz de coliziune frontală. |

Tabela 3 – Reglementări ECE referitor la coliziune frontală [E.2]

| Reglementări impuse de Economic Commission for Europe | | |
|--|--------------|---|
| Referitor la | Reglementare | Descriere |
| Coliziune Laterală | ECE R-11 | Măsuri de precauție legate de omologarea vehiculelor cu referire la închizătoarele ușilor. |
| | ECE R-95 | Măsuri de precauție legate de omologarea vehiculelor cu referire la protecția pasagerilor în cazul coliziunii laterale. |

Tabela 4 – Reglementări ECE referitor la coliziune laterală [E.2]

| Reglementări impuse de Economic Commission for Europe | | |
|--|--------------|---|
| Referitor la | Reglementare | Descriere |
| Coliziune din Spate | ECE R-42 | Măsuri de precauție legate de omologarea vehiculelor cu referire la echipamentele de protecție față / spate |

Tabela 5 – Reglementări ECE referitor la coliziune din Spate [E.2]

| Reglementări impuse de Economic Commission for Europe | | |
|--|--------------|--|
| Referitor la | Reglementare | Descriere |
| Rostogolire | ECE R-21 | Măsuri de precauție legate de omologarea vehiculelor cu referire la accesoriile interioare |

Tabela 6 – Reglementări ECE referitor la Rostogolirea automobilului [E.2]

1.5.1 Testarea performanței sistemelor de siguranță și protecție

Începând din 1970 numeroase guverne au lucrat pentru a stabili diferite aspecte ale sistemelor de siguranță și protecție [E.3]. Aceasta a avut ca și rezultat dezvoltarea procedurilor de testare a coliziunii, referitor la protecția pasagerilor automobilului în cazul evenimentelor frontale/laterale. În decembrie 1996 este fondat „Programul de Evaluare a Mașinilor Noi Europene” (European New Car Assessment Programme, sau Euro NCAP). La început, acest program a stârnit multă critică în rândul producătorilor care spuneau că programul este atât de sever încât nu poate fi împlinit. Însă, după aproape un an, automobilul Volvo S40 primește 4 stele pentru protecția pasagerilor adulți. În 2003 a fost introdusă evaluarea protecției copiilor, iar în 2008 este introdusă în programul de evaluare testarea protecției pentru coliziuni din spate.

În 2009 o nouă schemă de evaluare a fost introdusă, ca să evite situațiile în care producătorul de automobile investește doar în anumite sisteme (de exemplu: protecție frontală) pentru a obține o evaluare cât mai bună. Pentru prima dată sunt luate în considerare în programul de evaluare și sistemele de siguranță active, ca sisteme avansate de asistență a șoferului.

Programe asemănătoare NCAP, existent în Europa, pot fi găsite și în alte țări:

- US-NCAP – în Statele Unite este folosită o metodă asemănătoare pentru testarea automobilelor care există din 1994, dar nu a mai fost actualizată în raport cu progresul tehnologic;
- J-NCAP – în Japonia există o metodă de evaluare folosită pentru mașinile nou apărute; include evaluarea testelor pentru coliziuni frontale, frontale sub un unghi și laterale;
- ANCAP – fondat în Australia în 1992; în prima perioadă era influențat de US-NCAP, după care, în 1999, s-a aliniat procedurilor definite în Euro NCAP.

1.5.2 Proceduri de testare Euro NCAP

Noua schemă de evaluare introdusă în 2009 aduce și modularizarea proceselor de testare a automobilelor. Astfel, pot fi identificate următoarele module de procese de testare:

- Modul 1: Protecția adulților
 - Teste de coliziune frontală la 64 km/h cu o barieră deformabilă cu ofset;
 - Teste de coliziune laterală la o viteză de 50 km/h cu o barieră deformabilă;
 - Teste de coliziune laterală cu un stâlp, la 29 km/h;
 - Teste de pleasnă (Whiplash) la coliziuni din spate;
- Modul 2: Protecția copiilor
 - Teste dinamice ale sistemelor de protecție a copiilor la coliziune frontală laterală.
- Modul 3: Protecția pietonilor
 - Teste de coliziune la 40 km/h pentru testarea protecției piciorului inferior/superior/cap al copilului și adultului
- Modul 4: Asistență la siguranță
 - Prezența sistemelor de semnalizare automată a necuplării centurii de siguranță;

- Prezența sistemelor electronice de control de stabilitate (Electronic Stability Control, sau ESC);
- Prezența sistemelor de limitare a vitezei. În procedurile curente sunt două sisteme care sunt luate în considerare:
 - Sisteme la care șoferul poate seta o limită care nu este depășită de automobil;
 - Sisteme la care șoferul primește o atenționare sonoră în cazul în care automobilul depășește o viteză prestabilită.

1.5.2.1 Teste referitoare la protecția adulților (Modul 1)

Figura următoare arată testarea sistemelor de siguranță în cazul coliziunii frontale [E.3]. Automobilul este accelerat la 64 km/h după care are loc o coliziune frontală cu o barieră deformabilă fixă. Această barieră are proprietățile mecanice asemănătoare cu ale unui automobil, astfel încât scenariul simulează coliziunea frontală a două mașini de aceeași greutate. Suprafața de ciocnire este aleasă astfel încât să acopere 40% din partea frontală a automobilului, măsurată de la cel mai excentric punct al capotei. Datele sunt culese de la manechinii de testare și comparate cu valorile admisibile.

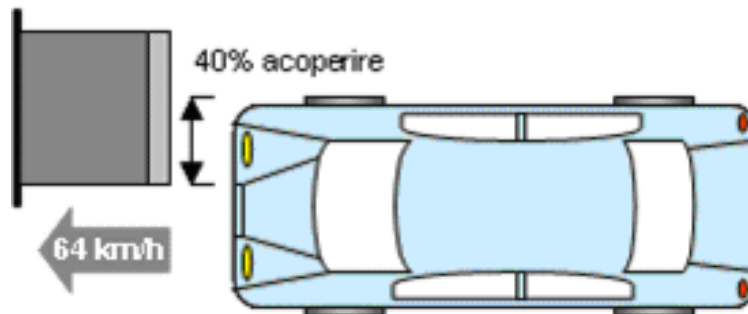


Figura 12 – Testarea sistemelor de siguranță în coliziunea frontală

Următorul test se referă la verificarea sistemelor de siguranță în caz de coliziune laterală [E.3]. Aici viteza de coliziune este mai mică decât la testul anterior (50 km/h), aceasta fiind stabilită pe baza datelor statistice la care au loc cele mai multe accidente laterale fatale. Pentru testarea eficienței sistemelor de siguranță la coliziune este aleasă partea mașinii unde se află șoferul automobilului.

Informațiile obținute la aceste teste au importanță deosebită, datorită distanței mici dintre ușa automobilului și conducător. În această situație de coliziune poate fi reflectată performanța sistemului de detectare a coliziunii, prin timpul scurt de reacție necesar pentru detectarea coliziunii și declanșarea sistemelor de protecție pasageri.

După cum se poate observa în figura de mai jos, coliziunea acoperă ușa și coloana de rezistență din mijloc a automobilului. În aceste locații sunt de obicei amplasați o serie de senzori de presiune și de accelerație pentru a oferi date cât mai amănunțite despre coliziunea laterală.

Ca și la testul anterior, datele sunt colectate de la un manechin de test, după care sunt comparate cu valorile admisibile.

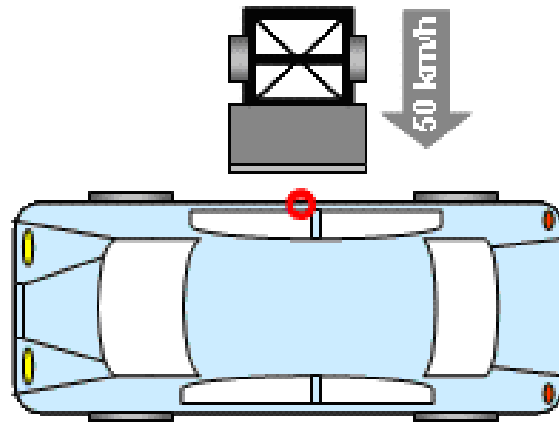


Figura 13 – Testarea sistemelor de siguranță în coliziunea laterală

Un sfert dintre accidentele fatale sunt cauzate de coliziuni laterale cu un automobil sau un obiect apropiat de automobil (ca de exemplu un copac sau un stâlp). În această situație pot apărea ușor leziuni craniene, care pot avea consecințe fatale. Euro NCAP pune la dispoziție o metodă de testare a sistemelor de protecție aflate în acest caz.

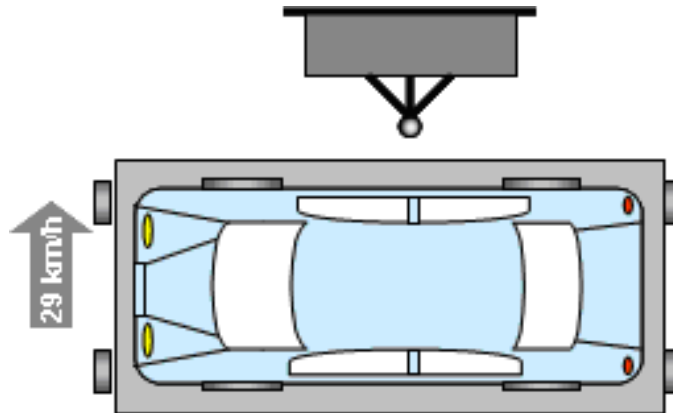


Figura 14 – Testarea sistemelor de siguranță în coliziunea laterală cu un stâlp

Automobilul testat este pus pe o platformă mobilă care se ciocnește cu un stâlp fix la o viteză de 29 km/h. Este foarte important ca sistemele de protecție să protejeze capul și partea superioară a corpului la coliziunea cu bariera. Detectarea acestui tip de coliziune este mai complicată decât în cazul anterior datorită faptului că, coliziunea este focalizată asupra unei arii restrânse, astfel informația legată de coliziune este disponibilă doar de la un număr restrâns de senzori. Viteza mai mică de coliziune este favorabilă pentru algoritmi de detectare a coliziunii, ca să sintetizeze informația necesară pentru pornirea sistemelor de protecție pasageri.

Din seria de teste care aparțin de domeniul protecției adulților face parte și testarea sistemelor de protecție în cazul coliziunii din spate. În acest caz factorii

decisivi sunt proiectarea scaunului ocupanților sau forma, respectiv mărimea tetierelor.

1.5.2.2 Teste referitoare la protecția copiilor (Modulul 2)

Euro NCAP a încurajat producătorii de automobile pentru introducerea standardului cunoscut sub numele de ISOFIX (sau ISO 13216) [E.3, W.13]. Acest standard definește modul în care pot fi cuplate scaunele de copil la structura mașinii.

Eficiența acestor sisteme este testată la coliziune frontală și laterală. La testare sunt folosiți diferiți manechini de testare (echivalenți cu copii de la 6 luni până la 3 ani). Rezultatele sunt evaluate pe baza comportamentului dinamic al scaunului și datele citite de la senzorii manechinilor de testare. Modul de atașare a scaunelor/sistemelor de protecție în Europa este diferit de cel folosit în Statele Unite. Apar și diferite categorii/modele de scaune pentru copii în funcție de greutate, respectiv vârstă [O.1].

| Notăție | Greutate copil | Vârstă |
|---------|----------------|----------------------------|
| 0 | 0 – 10 kg | Până la 9 luni |
| 0+ | 0 – 13 kg | Până la 12 luni |
| I | 9 – 18 kg | De la 8 luni până la 4 ani |
| II | 15 – 25 kg | De la 3 până la 7 ani |
| III | 22 – 36 kg | De la 6 până la 12 ani |

Tabela 7 – Scaun de protecție copil

1.5.2.3 Teste referitoare la protecția pietonilor (Modulul 3)

Euro NCAP definește o serie de teste pentru simularea cât mai reală a caracteristicii coliziunii cu pietoni adulți și copii [E.3]. În acest caz automobilul este accelerat la o viteză de 40 km/h, viteză la care are loc coliziunea.

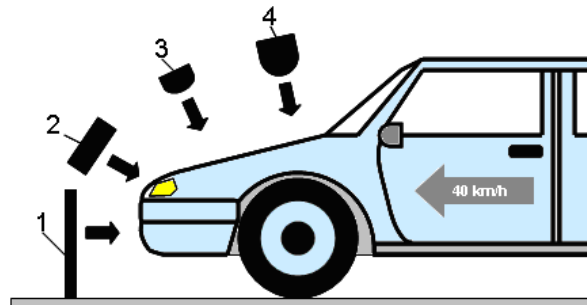


Figura 15 – Testarea sistemelor de protecție pietoni

1 – Partea inferioară a picior; 2 – parte superioară a picior; 3 – Cap de copil; 4 – Cap de adult

Este urmărită coliziunea automobilului cu diferitele obiecte (figura de mai sus) în care se simulează piciorul, respectiv capul unui pieton. Punctajul este influențat de locul de contact al capului manechinului, respectiv de abilitățile sistemelor de protecție pentru a proteja pietonul de a fi proiectat pe geamul mașinii.

1.5.2.4 Testarea sistemelor de asistență la siguranță

Sistem de avertizare cuplare centură de siguranță:

- Face parte din sistemele elementare care pot ajuta în folosirea sistemelor de siguranță. De obicei, acesta este realizat prin avertizare sonoră cuplat cu avertizare vizuală pe panoul de instrumente. Această funcționalitate este activată în cazul în care o serie de condiții sunt îndeplinite (ex. scaunul este ocupat, mașina se află în mișcare).

Sisteme electronice de control stabilitate (ESC):

- În cazul în care ESC detectează o pierdere a controlului de către conducător, acționează direct asupra frânelor pentru a readuce automobilul în direcția dorită [W.14]. Euro NCAP nu face teste explicite pentru această funcționalitate.

Sisteme de limitare automată a vitezei:

- Sunt mai multe soluții tehnice folosite astăzi pe piață, care folosesc sisteme cu camere de luat vederi, radare cu unde electromagnetice sau laser. Prezența acestor sisteme aduc puncte în plus la testele de NCAP, dar funcționalitatea lor nu este testată explicit. Recent Euro NCAP lucrează la definirea metodelor de testare a acestor soluții, care să permită testarea eficienței acestora. De asemenea, Euro NCAP lucrează și la un sistem de recompensare a producătorilor care introduc asemenea sisteme în automobile. Toate acestea oferă un sprijin producătorilor pentru a dezvolta și introduce în automobile sisteme inteligente bazate pe ultima tehnologie sau să creeze tehnologii noi.

1.5.2.5 Stabilirea calității sistemelor de protecție la Euro NCAP

Pentru calculul calității și eficienței sistemelor de siguranță și protecție, Euro NCAP folosește o formulă care implică toate aspectele prezentate în modulele 1 – 4.

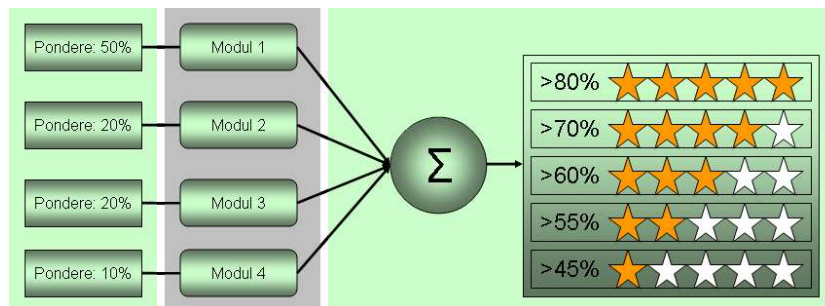


Figura 16 – Formula de evaluare a sistemelor de protecție după Euro NCAP

După cum se poate observa, fiecare modul are o pondere prestabilită. Acest concept sprijină producătorii de automobile pentru a lua în considerare toate aspectele care pot duce la creșterea siguranței pasagerilor, respectiv pietonilor.

2 Construcția și funcționarea sistemelor pentru protecția umană în cazul coliziunii

În acest capitol se prezintă construcția sistemelor de detectare/protecție aparținând domeniului pasiv de siguranță. Vor fi luate în discuție cele trei elemente de bază, vitale, folosite în construcția acestor sisteme.

De asemenea sunt luate în discuție amplasamentul uzual al senzorilor și comunicarea acestora prin intermediul protocoalelor dedicate acestora, cu UCE (Unitatea Electronică de Control).

Ultima parte a acestui capitol prezintă comanda echipamentelor de protecție și activarea acestora, în funcție de timp. Va fi identificat și tipul coliziunii critice în timp, precum și măsurile care sunt luate pentru reducerea efectelor asupra persoanelor din automobil.

2.1 Sisteme de detectare și comandă a coliziunii

Aceste sisteme aparțin domeniului de **siguranță pasivă**, adică devin active doar după primul contact al automobilului cu un obiect străin. Un astfel de sistem este alcătuit din următoarele părți:

- Senzori;
- Unitatea de Control Electronică (UCE) (cu sau fără senzori);
- Actuatori.

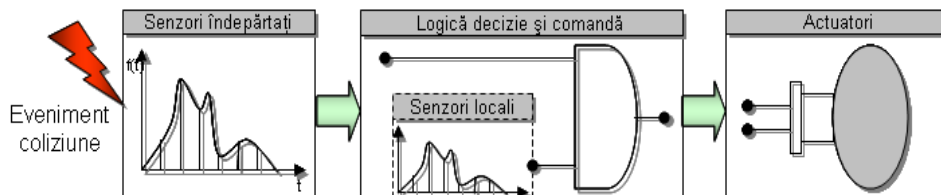


Figura 17 – Construcția sistemelor de siguranță pasive

Senzorii transmit valori măsurate în mod continuu (de la pornirea automobilului) despre situația curentă. Aceste date sunt analizate de către Unitatea de Control Electronică (UCE). În cazul în care senzorii depășesc un prag predefinit (offset), algoritmi din UCE sunt activați pentru analiza evenimentului de coliziune. După procesarea informației, UCE ia decizia de a activa (sau nu) sistemele de siguranță (actuatoarii).

Partea vitală a acestor sisteme sunt senzorii, tipul și amplasamentul acestora, adică conceptul (arhitectura) de detectare. Aceștia au influență directă asupra performanței detectării coliziunilor sau asupra recunoașterii tipului de coliziune (vezi capitolul anterior „Coliziunea autovehiculelor”). Într-un automobil sunt folosiți numeroși senzori și de diferite tipuri (acelerație, presiune,

temperatură, rotație, etc.). Unul dintre scopurile care trebuie satisfăcute este ca aceeași informație să fie confirmată din surse diferite/independente. Acest fapt este necesar în luarea deciziei în caz de coliziune. Sunt multe scenarii posibile unde o inteligență avansată este necesară pentru algoritmi de detectare, astfel încât să se ia decizia corectă pentru activarea sistemelor de protecție. Cazurile de „maltratare” care trebuie eliminate de către algoritmi pot fi frecvențele medii/înalte provenite de la un sistem sonor (muzical), drum accidentat, grindină, etc.

Pe următoarea figură sunt prezentate locurile cele mai frecvent folosite la amplasarea senzorilor pentru detectarea coliziunii automobilelor [A.1].

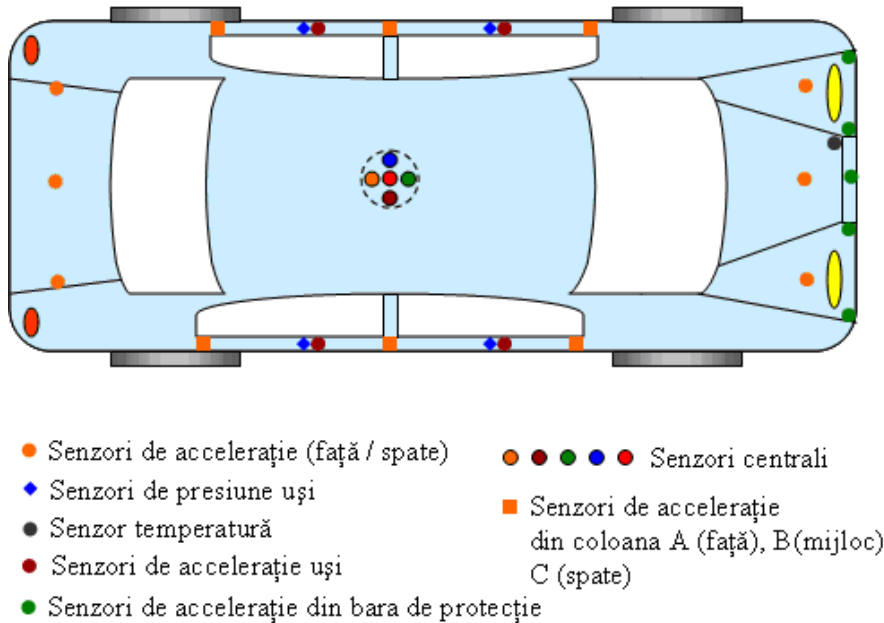


Figura 18 – Amplasamentul uzual al senzorilor pentru siguranță pasivă

După cum se poate identifica și pe figura de mai sus, majoritatea senzorilor folosiți pentru siguranța pasivă sunt de accelerație, urmați de senzorii de presiune și senzorii de temperatură. În cazul coliziunii, una dintre informațiile utile care sunt necesare pentru estimarea severității coliziunii este semnalul de accelerație. Din această informație poate fi obținută ușor, printr-o integrare, viteza, sau cu o nouă integrare, distanța parcursă până la coliziune. UCE poate să aibă și o serie de senzori (locali), dacă amplasarea lui este în centrul de greutate (CG) al mașinii.

Trebuie menționat că de fiecare dată, pentru comanda de activare a sistemelor de protecție, sunt necesare cel puțin două semnale de confirmare provenite din surse independente. De fapt, este o cerință de la producătorii de automobile, care solicită în mod explicit separarea căii de decizie prin circuite separate, în scopul eliminării posibilității de activare greșită a sistemelor de protecție.

Aceste cerințe sunt impuse și în ISO 26262 „Road vehicles – Functional Safety” (siguranța funcțională a vehiculelor rutiere) [W.15]. Acest standard focalizează asupra riscului care poate apărea în sistemele electronice complexe

folosite la automobile. Riscul este perceput ca o combinație între probabilitatea și severitatea sistemelor care se pot defecta și pot conduce la lezarea persoanelor aflate în zona de hazard. Standardul acoperă întregul ciclu de dezvoltare al unui produs, începând de la faza de concept, dezvoltare și producție a acestuia. Țelul propus este de a dezvolta un produs ale cărui funcționalități corespund cerințelor necesare de nivel ASIL (Automotive Safety Integrity Level). Componentele/modulele unui sistem electronic complex sunt încadrate (de către ISO 26262) în nivel ASIL – A (cerințe minime de siguranță) până la ASIL – D (cerințe ridicate de siguranță). Realizarea acestor cerințe poate fi atinsă prin strânsa conlucrare a domeniilor de HW și SW.

O altă inițiativă care focalizează asupra siguranței funcționale a automobilelor aparține ultimului standard (versiunea 4.0) de AUTOSAR (AUTomotive Open System ARchitecture) [A.1]. AUTOSAR propune o serie de mecanisme de implementare SW care pot ajuta la realizarea scopului, adică siguranța funcțională.

Se stabilește o arhitectură structurată, modularizată, în care sunt definite o serie de nivele abstractizate, cu interfețe SW standardizate. Acest concept sprijină o armonizare a diferitelor platforme provenite de la diferiți producători, sporind interschimbabilitatea componentelor de SW și crescând nivelul de re folosire a proiectelor de SW. Aceasta duce la reducerea costurilor de dezvoltare SW, de asemenea, duce la un timp mai scurt de dezvoltare a produsului, care, pentru sistemele de siguranță pasive, poate dura până la 3-4 ani.

Figura de mai jos ne arată diferitele nivele de abstractizare propuse de AUTOSAR. Această structurare a arhitecturii de SW permite de asemenea, ca diferitele nivele de abstractizare să fie procurate de la diferiți producători.

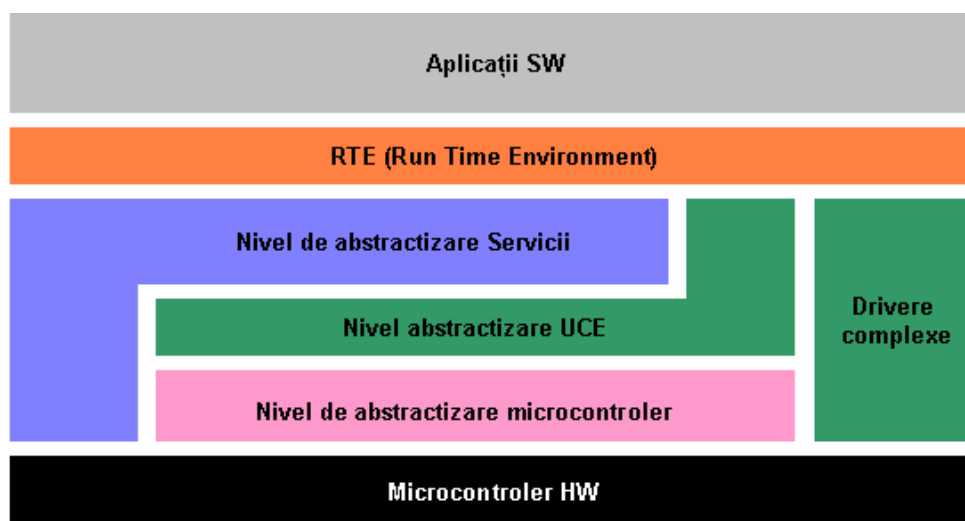


Figura 19 – AUTOSAR arhitectura de SW

Un alt avantaj oferit de conceptul de AUTOSAR este acela că, la nivelul de aplicație, componentele de SW sunt independente de platforma de HW pe care se rulează, însemnând că schimbarea microcontrolerului nu afectează funcționalitatea deja implementată la nivelul de aplicație.

2.1.1 Interfețe de comunicare ale senzorilor pentru detectarea coliziunilor

Unul dintre aspectele importante este realizarea comunicării dintre senzori și UCE, respectiv comanda echipamentelor de protecție. Comunicația trebuie să fie robustă, suficient de rapidă pentru transmiterea informațiilor și insensibilă la factori perturbatori (EMC sau Electromagnetic Compatibility). De asemenea interfața electronică trebuie să fie simplă, ușor realizabilă și simplu de programat.

Anexa A prezintă mai multe informații legate de protocoalele de comunicare folosite la automobile. În cele ce urmează sunt prezentate doar informațiile care sunt relevante pentru senzorii folosiți la detectarea coliziunii.

2.1.1.1 PSIS (Peripheral Sensor Interface)

În cazul senzorilor depărtați (senzori „sateliți”) care sunt folosiți pentru detectarea coliziunii, unul dintre standarde de bază este PSIS [P.1]. Este un standard deschis, coordonat de furnizorii de soluții de siguranță pasivă: Autoliv, Bosch, Continental, Freescale, TRW. Această interfață de comunicare are următoarele proprietăți:

- folosește două fire prin care sunt transmise date seriale în sistemul de codare Manchester;
- Transferul de date poate să ajungă până la 125 kbps (kilo biți pe secundă);
- Robust la EMC;
- Domeniu larg de variație a curentului de alimentare a senzorilor;
- Lungimea cuvântului de date este variabil (8,10,16,20,24 biți);
- Comunicarea este de tip sincron sau asincron;
- Comunicarea este bidirecțională.

Standardul definește mai multe moduri de conexiune printre UCE și senzori, depinzând de arhitectura care urmează să fie realizată.

- a.) Operație asincronă – Caz în care după alimentare senzorul începe automat să trimită informații periodice; temporizarea trimiterii datelor este determinată de senzor.

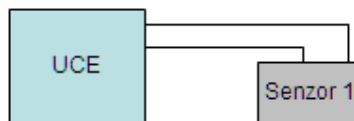


Figura 20 – PSIS operație asincronă

- b.) Operație sincronă – Caz în care transmiterea datelor este sincronizată de către UCE, folosind modulație în tensiune.

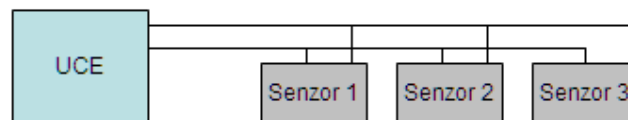


Figura 21 – PSIS operație sincronă

- c.) Operație sincronă, „Daisy chain” – Avantajul acestei conexiuni este adresarea flexibilă a senzorilor, UCE transmite automat la pornire aceste adrese.

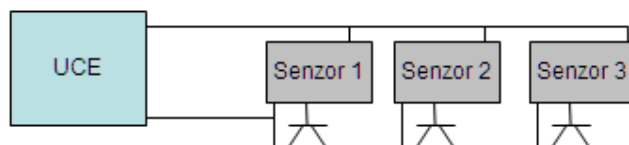


Figura 22 – PSI5 operație sincronă „Daisy chain”

Sunt și alte configurații posibile folosind PSI5, dar cele exemplificate sunt cele mai folosite în prezent. De menționat că în implementările curente numărul de senzori conectați la o rețea de PSI5 este de maxim trei.

2.1.1.2 DSI (Distributed System Interface)

Caracteristicile favorabile privind insensibilitatea la perturbații electromagnetice, modul de realizare HW simplu și ieftin al protocolului aferent, fac ca acesta să fie folosit în aplicațiile pentru Airbag, pentru achiziția de date de la senzori sau la acționarea sistemelor de protecție. Rata de transfer este în medie la DSI, între 125 – 200 kbps.

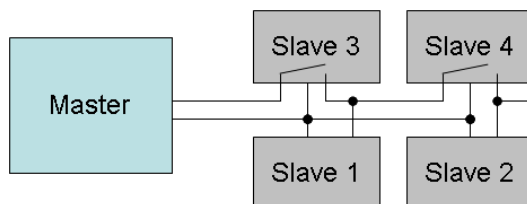


Figura 23 – DSI legătura Master – Slave

Protocolul de comunicare are un singur Master și mai multe unități Slave (pană la 16 unități, adică 1 Master 15 Slaves). Conexiunea dintre senzori este realizată prin două fire, prin care Master-ul poate adresa un singur Slave sau o combinație a acestora [D.2]. Master-ul transmite mesaje către Slave-uri prin:

- „mod de tensiune”, unde informația este trimisă prin modificarea nivelului de tensiune pe circuitele de comunicare;
- răspunsul primit de la Slave-uri este în „mod de curent”, unde schimbarea nivelului de curent prin firele de comunicare reprezintă chiar informația.

2.1.1.3 SPI (Serial Peripheral Interface)

Această interfață poate fi folosită în special pentru comunicarea locală (microcontroler și senzori locali) [W.16]. Este o comunicare serială, sincronă, care permite comunicarea bidirecțională a informației. Comunicarea este de tip Master – Slave, unde transferul de date este inițiat de Master, care asigură în același timp și semnalul de ceas. Comunicația se desfășoară pe patru fire, nu are constrângeri

legate de lungimea cuvântului de informație, iar interfața HW este realizată foarte simplu.

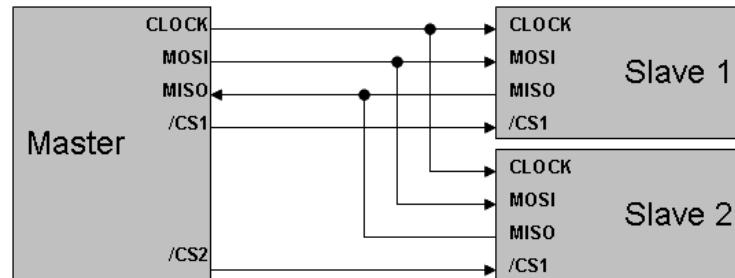


Figura 24 – SPI Master conectat la două Slave-uri
 CLOCK – semnal de ceas; MOSI – Ieșire Master intrare Slave; MISO – Intrare Master Ieșire Slave; /CS1, /CS2 – Selectare Slave

2.2 Comanda echipamentelor de protecție

Pentru activarea corectă a sistemelor de siguranță este necesară „dubla redundanță”, adică căi diferite de confirmare a comenzii de declanșare. În implementările curente sunt folosite mai multe variante, de multe ori rolul de a confirma activarea sistemelor de protecție este preluat de o componentă separată de HW (microcontroler separat sau ASIC separat).

Depinzând de automobil și de nivelul de protecție care este realizat în acesta, apar o serie de sisteme de protecție care trebuie activate în funcție de tipul de coliziune (vezi capitolul „Coliziunea automobilelor”). Figura de mai jos ilustrează sistemele de siguranță cele mai folosite și amplasamentul lor în structura automobilului [A.1].

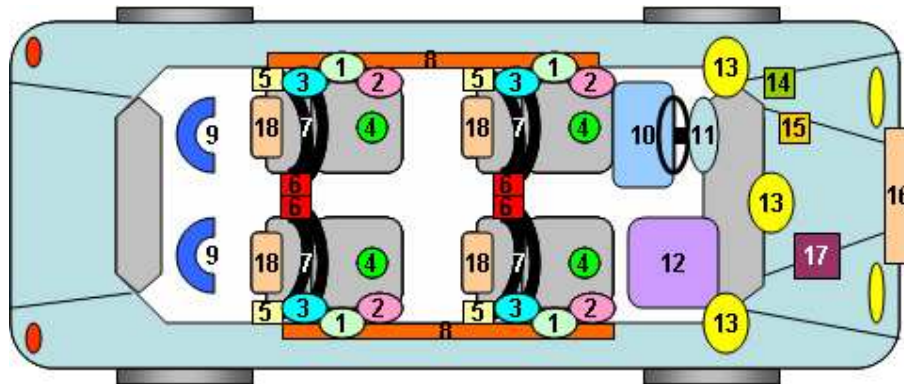


Figura 25 – Amplasamentul uzual al sistemelor de protecție pasivă
 1 – AB Lateral; 2 – AB pelvis; 3 – AB torace; 4 – Pernă AB împotriva alunecării sub bordul mașinii; 5 – Retractor centură de siguranță; 6 – Retractor centură de siguranță la ancoră; 7 – Centură de siguranță; 8 – AB cortină; 9 – Bare protecție la rostogolire; 10 – AB șofer; 11 – AB protecție genunchi; 12 – AB pasager; 13 – AB externi; 14 – Decuplare baterie; 15 – Decuplare combustibil; 16 – Bară de protecție pietoni; 17 – Actuator capotă; 18 – Tetiere.

Ordinea și timpul activării acestor sisteme sunt prestabilite de producătorii de automobile. Dacă acestea nu sunt respectate, eficiența sistemelor de protecție are un efect scăzut, iar leziunile care pot apărea sunt mari. În cele ce urmează sunt prezentate câteva dintre consecințele ce pot avea loc în caz de coliziune precum și ordinea de activare a sistemelor de protecție [A.2].

2.2.1 Coliziunea frontală

Figura de mai jos arată un scenariu de activare a sistemelor de siguranță. După cum se poate observa, în caz de coliziune, primul sistem de protecție care este activat este sistemul de pretensionare a centurii de siguranță (1). Acesta necesită un timp de circa 15 ms pentru a fi activat, după care se rezumă la disiparea energiei cinetice. Această energie provine din acțiunea forței de inerție a corpului uman aflat în mișcare pe parcursul accidentului. Activarea lui poate să provină de la sistemele de siguranță pasivă, care au identificat prealabil un scenariu de coliziune.

UCE (3) identifică de asemenea scenariul de coliziune, de data asta pe baza informației provenită de la senzorii dedicați detectării coliziunii care determină începerea activării sistemelor de siguranță propriu-zise.

Următorul sistem care este activat de UCE este retractorul pirotehnic (2), care are rolul de a bloca centura de siguranță. Acesta absoarbe energia cinetică în faza critică de coliziune (90 ms). Acest sistem este unul mecatronic, comanda mecanismului fiind realizată pe cale electronică.

Airbag-ul de șofer (4) este activat de la aproximativ 15 ms de la identificarea coliziunii. Până la umflarea sacului de AirBag mai sunt necesare 35 ms, care înseamnă că Airbag-ul devine funcțional după aproximativ 50 ms de la identificarea coliziunii. Acest sistem împreună cu centura de siguranță realizează principala protecție a șoferului la coliziune, protejând capul și partea superioară a corpului.

Airbag-ul de pasager (5) este activat în același timp cu cel al șoferului. Distanța între bordul automobilului și capul pasagerului fiind mai mare, este necesar un sac de AirBag mai mare din punct de vedere al volumului. Acest fapt determină sistemul să ajungă la starea funcțională ceva mai târziu decât Airbag-ul șoferului, cu aproximativ 13 ms. Astfel acest sistem de protecție devine în totalitate activat după 60-63 ms.

Următorul sistem care este activat de UCE este Airbag-ul de protecție a genunchilor (6). Distanța de la bordul mașinii până la genunchii pasagerilor fiind foarte mică, sistemul necesită un timp foarte redus de activare. De obicei, acest sistem devine activ înainte de Airbag-ul șoferului. Deoarece la coliziuni violente caroseria se deformează, duce inclusiv la deformarea cabinei pasagerilor, sistemul de protecție are o deosebită importanță. Astfel sistemul trebuie să devină în totalitate funcțional după cel mult 40 ms de la producerea coliziunii. Rolul lui este esențial în absorbția de energie și este activ până la 110 ms.

Airbag-ul de pelvis (7), care este pus în scaunele pasagerilor, are un rol important de realizat: să împiedice intrarea (căderea) pasagerului sub bordul mașinii. Acest fapt este mai important în cazul pasagerilor scunzi sau copiilor aflați pe scaunul pasagerului din față al mașinii. Sistemul este activat cel mai rapid în cazul coliziunii frontale, are numai 12 – 15 ms de la primirea comenzii din partea UCE, adică la aproximativ 30 ms de la identificarea coliziunii. Absorbția întregii energii provenite de la corpul uman aflat în mișcare trebuie să aibă loc în maxim 75 ms de la producerea coliziunii.

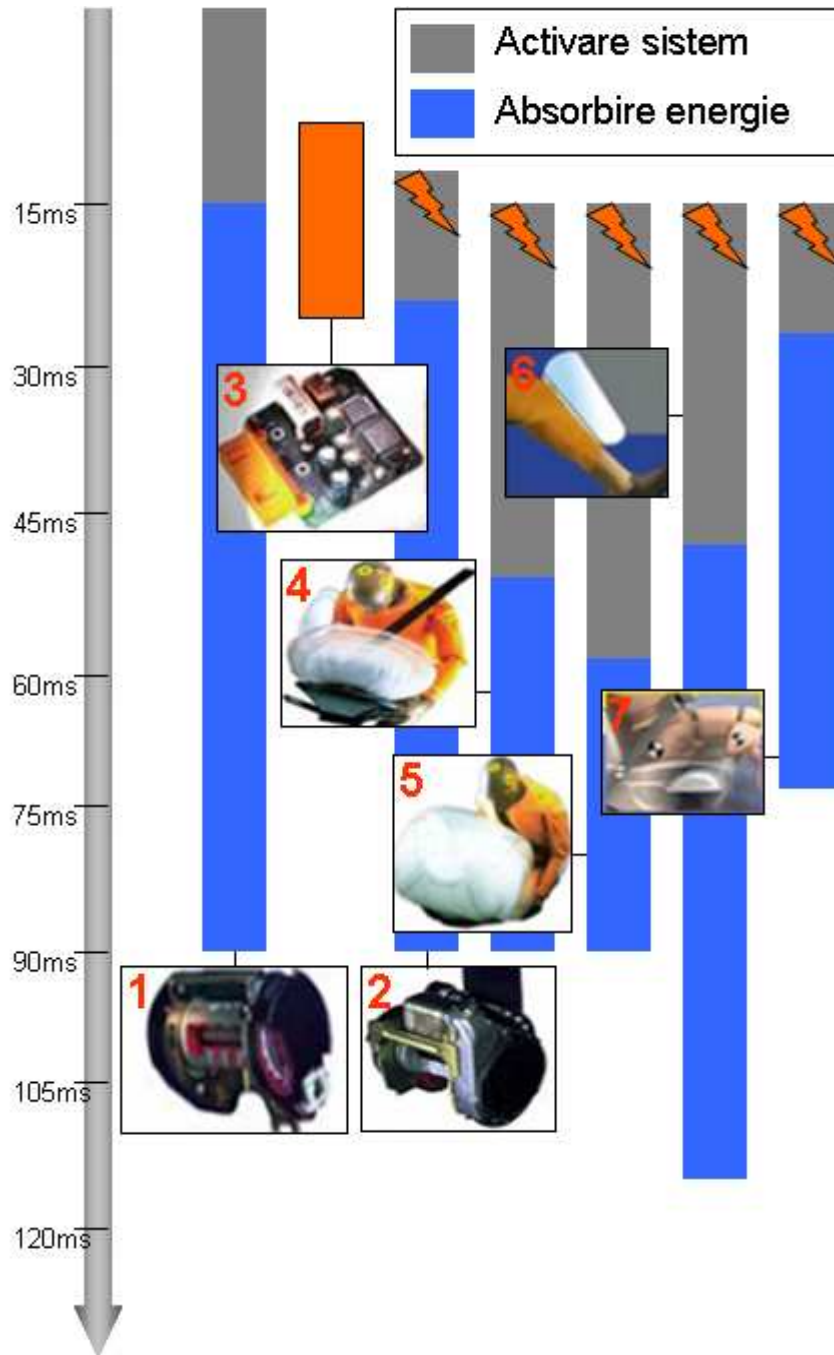


Figura 26 - Activarea sistemelor de protecție la coliziunea frontală

2.2.2 Coliziunea din spate

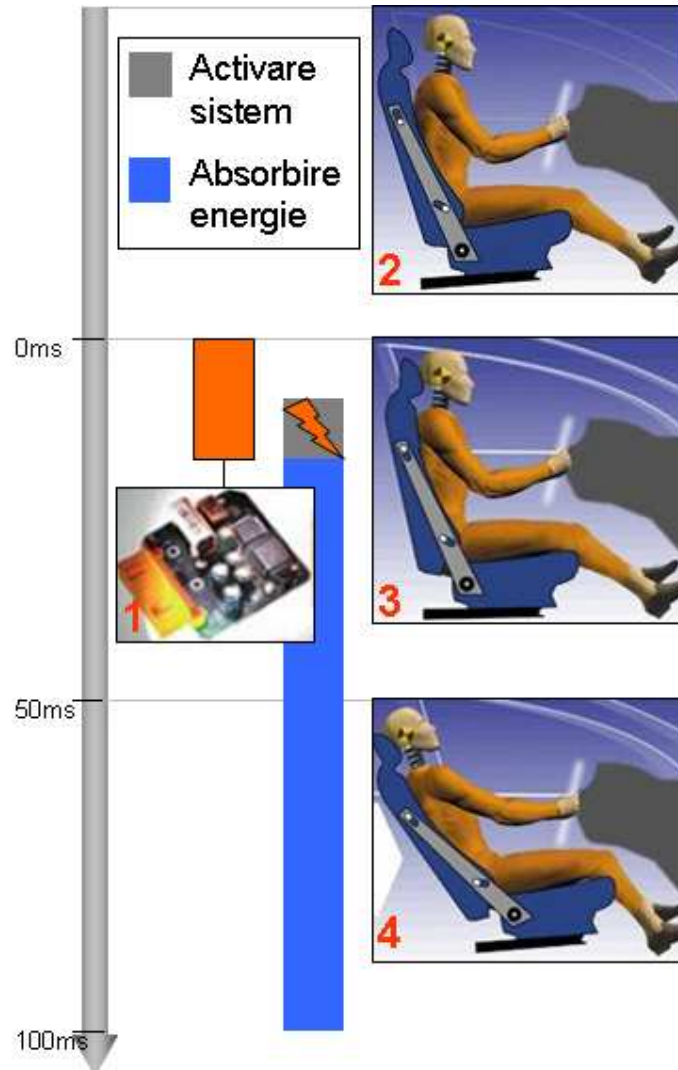


Figura 27 – Activarea sistemelor de protecție la coliziunea din spate

Figura de mai sus arată evoluția în timp a activării sistemelor de protecție în cazul coliziunii din spate [A.2]. Se poate observa că în prima fază (2), conducătorul se află în poziție normală, nefiind supus condițiilor de coliziune.

După ce UCE (1) detectează și identifică tipul de coliziune, începe faza de protecție a pasagerilor. În această etapă (3), în primul pas este redusă distanța dintre capul pasagerului și tetieră, în scopul de a împiedica mișcările bruște ale capului, respectiv coloanei. Protecția este realizată de către sistemul de

pretensionare a centurii de siguranță. Acțiunea de tensionare suplimentară a centurii de siguranță durează aproximativ 50 ms.

În faza următoare (4), spătarul scaunului este lăsat pe spate în funcție de forța care trebuie controlată, adică forța provenită datorită inerției corpului uman aflat în scaun. Acțiunea durează aproximativ 50 ms, adică la 100 ms de la producerea coliziunii.

2.2.3 Coliziunea laterală

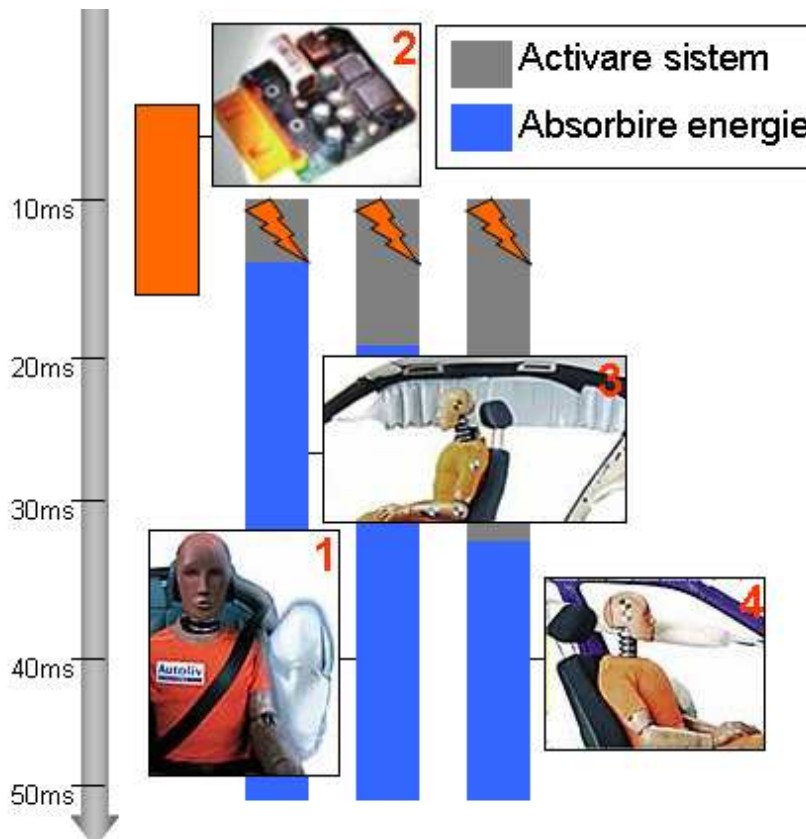


Figura 28 - Activarea sistemelor de protecție la coliziunea laterală

Spațiul redus dintre ușa automobilului și pasager determină ciocnirea laterală ca fiind cea mai critică coliziune din punct de vedere al timpului de desfășurare [A.2]. UCE (2) ia o decizie de activare în aproximativ 10 ms, după care imediat este activat Airbag-ul tip cortină (3), pentru protejarea pasagerilor față de ciocnirile provenite în urma spargerii geamului lateral. Airbag-ul amintit are rol dublu, de a proteja atât pasagerul din scaunul din față cât și pe cel aflat în scaunul din spate. Sistemul de protecție amintit devine în totalitate funcțional la aproximativ 5 ms după realizarea comenzii de activare, adică la aproximativ 13 - 15 ms de la

detectarea coliziunii. Energia cinetică trebuie integral absorbită pe parcursul evenimentului a cărei durată este în medie 50 ms.

Următorul sistem activat de UCE (2) este Airbag-ul de protecție piept (1). Acest sistem este de obicei încorporat în scaunul pasagerilor. Primul patent de Airbag lateral a fost acordat firmei Autoliv, iar în 1994 - 1995 și a fost aplicat cu succes la automobilele Volvo. Airbag-ul devine funcțional după aproximativ 20 ms de la detectarea coliziunii. Și în acest caz, sistemul de protecție absoarbe energie pe parcursul întregului proces de coliziune laterală.

Ultimul dintre sistemele de protecție care este activat este Airbag-ul de protecție a capului (4). Acest comportament se datorează spațiului mai mare dintre capul pasagerului și ușa automobilului. Airbag-ul de protecție cap devine în totalitate funcțional după aproximativ 30 ms de la detectarea coliziunii și absoarbe energia pe parcursul întregului proces al coliziunii laterale.

2.2.4 Rostogolirea cauzată de coliziune

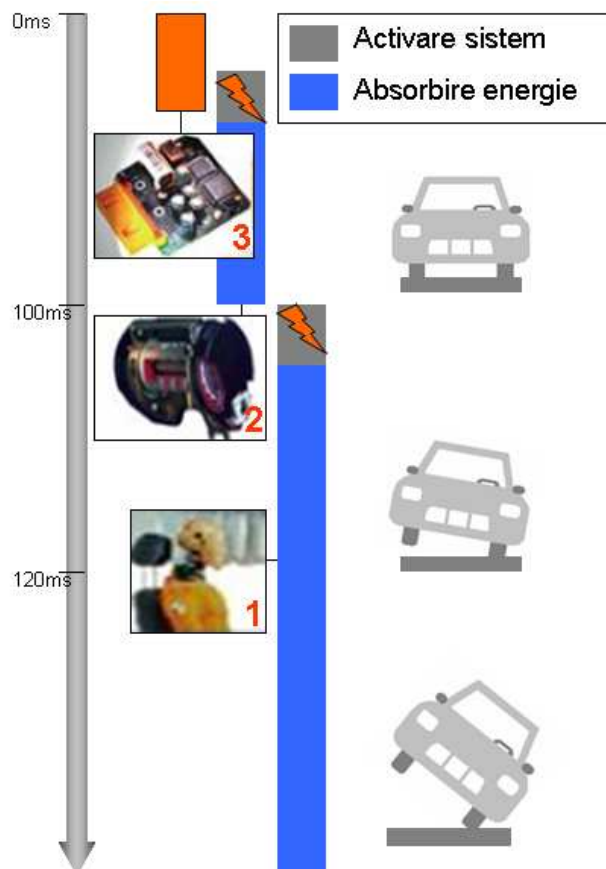


Figura 29 - Activarea sistemelor de protecție la coliziunea ce provoacă rostogolirea

Rostogolirea automobilului este un caz particular, care deseori devine foarte complicat de a fi detectat [A.2]. Acest fapt se datorează desfășurării lente a evenimentului de rostogolire, care poate ajunge la o secundă sau chiar mai mult.

Algoritmii de detectare a acestui eveniment sunt foarte complicați ca funcționalitate, deoarece trebuie să diferențieze evenimentul de rostogolire de înclinarea carosabilului, gropilor sau denivelărilor. Pentru luarea deciziei corecte este necesară informația provenită de la mai mulți senzori amplasați în diferite axe de mișcare a automobilului. Un grad de complexitate induce și varietatea modurilor în care poate să aibă loc evenimentul de rostogolire [N.2]:

- Automobilul având o mișcare laterală este împiedicat de o forță oponentă la roți (ex. bordură) care cauzează rostogolire;
- Automobilul având o mișcare laterală este împiedicat de o forță oponentă care provine din forța de frecare a roților cu carosabilul;
- Automobilul având o mișcare laterală este împiedicat de o forță oponentă care provine din forța de frecare a roților cu carosabilul suprapus cu un moment de rostogolire provenită la o pârtie sau sol moale nisipos;
- Automobil aflat în deplasare întrând într-o obiect tip rampă, de exemplu balustradă de protecție în curbe;
- Automobilul intră cu viteză excesivă într-o curbă ascuțită, unde datorită forțelor oponente provenite din forțele de frecare ale roților cu carosabilul are loc rostogolirea;
- Coliziunea cu un alt automobil sau un obiect aflat pe carosabil care produce rostogolirea automobilului.

După cum arată și figura anterioară, evenimentul începe cu înclinarea mașinii, având toate roțile pe carosabil. Acest eveniment este urmărit de UCE (3), care activează sistemul de pretensionare a centurii de siguranță pentru aducerea pasagerului într-o poziție de siguranță. Aceasta se întâmplă în primele 100 ms de la înclinarea mașinii.

Dacă înclinarea mașinii continuă să crească, se va produce micșorarea suprafeței de sprijin având doar două dintre roți în contact cu carosabilul, Airbag-ul tip cortină (1) este activat. Acesta are rolul de a împiedica contactul pasagerilor cu automobilul și de a împiedica expulzarea acestora din automobil. Sistemul de protecție devine funcțional după aproximativ 120 – 180 ms de la detectarea rostogolirii. Dacă centrul de greutate al automobilului iese în afara perimetrului de sprijin al automobilului, rostogolirea devine inevitabilă. De obicei în acest caz sunt activate și așa numitele bare de rostogolire prevăzute la unele modele de automobile, care au rolul de a proteja capul pasagerilor față de contactul cu carosabilul.

3 Cercetări teoretice

În acest capitol vor fi analizate modele matematice pentru descrierea, respectiv studiul coliziunii. Mai întâi se va prezenta comportamentul automobilului având în vedere un model simplu al acestuia, care va permite evidențierea lucrului mecanic în desfășurarea procesului de coliziune.

Sunt prezentate modele de mai mare complexitate care țin cont de caracteristicile deformării diferitelor subsisteme mecanice, luând în considerare și factorii tribologici care influențează comportamentul modelului. Pentru fiecare model este prezentată o simulare al cărei scop este vizualizarea efectelor care au loc în sistem.

Detalii legate de modelele supuse simulării precum și construcția acestora sunt prezentate în ANEXA B.

3.1 Notății utilizate

| Notăție | Unitate de măsură | Descriere |
|-----------------|--|---|
| x | [m] | Deplasare |
| t | [s] | Timp |
| v | [m/s] | Viteză |
| a | [m/s ²] | Accelerație |
| m | [kg] | Masa |
| F | [N] | Forța |
| L | [J] | Lucru mecanic |
| d | [m] | Distanța de deplasare pentru oprirea totală a automobilului |
| E _c | [J] sau [kg*m ² /s ²] | Energie cinetică |
| F _r | [N] | Forța de reacție |
| E _p | [J] sau [kg*m ² /s ²] | Energie potențială |
| k | [N/m] | Constanta arcului |
| G | [N/s ²] | Accelerația gravitațională |
| ω_U | [rad/s ²] | Frecvența unghiulară |
| T | [s] | Perioada |
| F | [Hz] | Frecvența |
| F _N | [N] | Forța normală |
| F _{am} | [N] | Forța de amortizare |
| C | [N*s/m] | Coeficientul de amortizare |
| ξ | [-] | Rata de amortizare |
| ω_a | [rad/s ²] | Pulsația |
| E _d | [J] sau [kg*m ² /s ²] | Energia disipată |

3.2 Dinamica coliziunii automobilelor

Comportamentul mecanic al automobilului pe parcursul unei coliziuni depinde de o serie de factori și procese complexe, cum ar fi:

- Proprietăți fizice ale automobilului (greutatea, structura mecanică);
- Proprietățile coliziunii (viteza de coliziune, obiectul cu care se întâmplă coliziunea, proprietățile mecanice ale obiectului străin).

Pentru înțelegerea evenimentului coliziunii, modelarea acestuia se va baza pe modele mecanice simplificate ale căror comportamente se supun legilor fizicii Newtoniene.

3.2.1 Model coliziune lucru mecanic - energie

Mișcarea poate fi descrisă în termeni de deplasare (x), timp (t), viteză (v) și accelerație (a). Folosind acești termeni, viteza se poate defini ca fiind rata schimbării deplasării,

$$\vec{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad 3.1$$

iar accelerația fiind rata schimbării vitezei.

$$\vec{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad 3.2$$

Viteza instantanee a vectorului de viteză „ v ” în poziția $x(t)$, la momentul „ t ” și $x(t+\Delta t)$ la momentul $t+\Delta t$, se poate calcula ca și o derivată:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{x(t + \Delta t) - x(t)}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} \quad 3.3$$

Analog accelerația instantanee va fi:

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{v(t + \Delta t) - v(t)}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} \quad 3.4$$

Având aceste noțiuni, cu ajutorul celei de a doua legi a lui Newton din mecanica clasică, se poate exprima relația forței (F) cu masa (m) aflat în mișcare.

$$F = \frac{d(m \cdot v)}{dt} = \frac{dp}{dt} = m \cdot a \quad 3.5$$

Unde „ dp ” reprezintă impulsul.

Lucrul mecanic (L) este un alt aspect care ne ajută în definirea modelului matematic. Acesta se definește ca fiind produsul dintre forța (F) care acționează asupra unui corp și mărimea deplasării cauzată (d).

$$L = F \cdot d \quad 3.6$$

În concordanță cu teoria lucru mecanic-energie, dacă o forță externă acționează asupra unui obiect, cauzând o schimbare a energiei cinetice E_c a acestuia, atunci lucrul mecanic este dat de următoarea relație:

$$L = \Delta E_c = E_{c2} - E_{c1} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (v_2^2 - v_1^2) \quad 3.7$$

Bazat pe aceste noțiuni, primul model de coliziune a automobilului arată în felul următor:

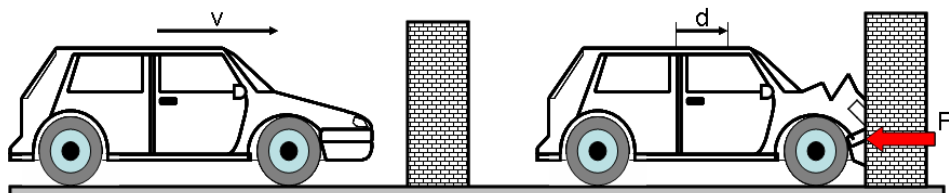


Figura 30 – Model de coliziune frontală
v – viteza automobilului; d – distanța necesară pentru oprirea automobilului; Fr – forța opozițională

Relația de calcul a forței necesare pentru a opri automobil, se poate calcula din 3.6, 3.7:

$$F_r = -\frac{m \cdot v^2}{2 \cdot d} \quad 3.8$$

Un exemplu de calcul este prezentat în ANEXA B (punctul 1), din care reiese că și la viteze reduse forțele care acționează asupra mașinii pot fi de ordinul zecilor de mii de Newton.

Dacă avem asemenea forțe imense care acționează asupra mașinii, ce forțe acționează asupra conducătorului mașinii sau pe pasageri? Această întrebare are o importanță semnificativă, fiindcă definește o informație care poate fi folosită în proiectarea sistemelor de siguranță și protecție.

Pentru calcularea acestei forțe se poate folosi aceeași relație, 3.8 (vezi ANEXA B, punctul 2).

În cazul forțelor care acționează asupra pasagerilor, pot apărea scenarii diferite:

- Centura de siguranță necuplată – în acest caz persoana este proiectată pe bordul mașinii sau prin geam. În această situație distanța de oprire pasager este mică, estimată la până de 5 ori mai mică decât cu centura de siguranță. Bazat pe relația lucru mecanic – energie cinetică (3.7), forța care acționează pe pasager o să fie de 5 ori mai mare decât cu centura de siguranță cuplată. Acesta evidențiază riscul sporit al producerii unui accident fatal;
- Centura de siguranță cuplată fără ajustare lungime centură pe parcursul coliziunii – în acest caz forța care acționează asupra corpului pasagerului o să fie aceeași cu forța care acționează asupra automobilului, încă un caz riscant care poate cauza leziuni severe. Însă, după cum a fost arătat în capitolul 1.3.2, simpla folosire a centurii de siguranță poate reduce cu 50% leziunile apărute în urma

accidentelor, protejează pasagerul de a fi proiectat pe bordul sau prin fereastra mașinii;

- Centura de siguranță cuplată, ajustare lungime centură pe parcursul coliziunii – în acest caz distanța de oprire a pasagerului va crește, forța care va acționa asupra corpului va fi mai mică (vezi relația 3.8). Modelul în ANEXA B, punctul 3 arată că o mică ajustare a lungimii centurii produce o scădere semnificativă a forței care acționează asupra corpului pasagerului, reducând riscul unui accident fatal. În acest caz riscul leziunilor este redus cu 55%.

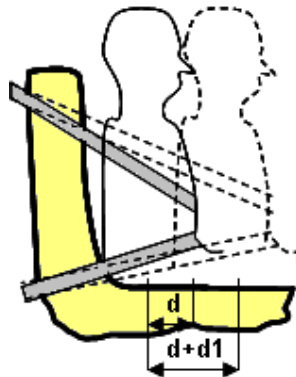


Figura 31 – Model pasager cu centura cuplată

d – distanța necesară pentru oprirea mașinii; d_1 – distanța provenită din ajustarea lungimii centurii pe parcursul coliziunii

- Centura de siguranță cuplată, ajustată și Airbag prezent – acest scenariu este cel mai favorabil pentru pasagerii automobilului.

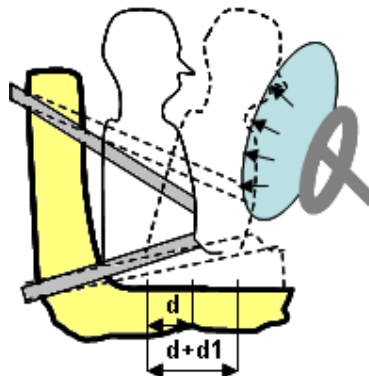


Figura 32 – Model pasager cu centura cuplată, Airbag prezent

Deși cu prezența AirBag-ului forța care acționează pe corpul pasagerului rămâne, AirBag-ul exersează o presiune egală pe toate punctele de contact. Astfel, aceeași forță distribuită pe o suprafață mai mare reduce presiunea exersată asupra corpului pasagerului, reducând semnificativ riscul unui accident fatal. Prin cele prezentate în capitolul 1.3.2, în această situație riscul leziunilor fatale sunt reduse cu

aproximativ 75% pentru conducătorul automobilului și aproximativ cu 65% pentru pasagerul din scaunul din față.

3.2.2 Model de coliziune masă – element elastic

Începând din faza de proiectare mecanică a automobilului, accentul este pus pe siguranța pasagerilor. Astfel caroseria automobilului este proiectată având zone speciale („crumple zones”) dedicate absorbirii șocurilor provenite în urma coliziunilor. Caracteristica de deformare a structurii automobilului prin coliziune, se poate exemplifica cu ajutorul curbei Sarcină – Deformație.

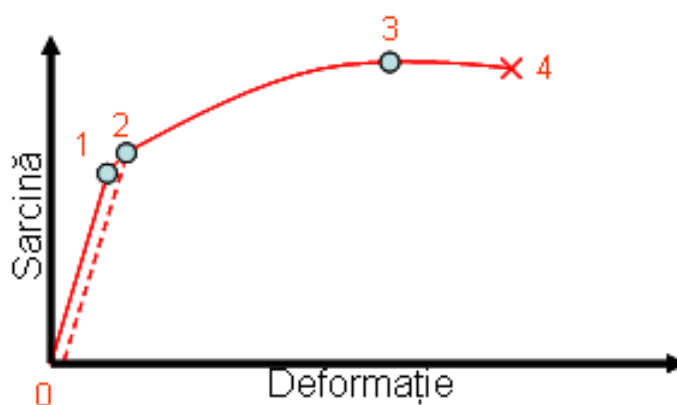


Figura 33 – Diagrama Solicitare – Deformație

Zona 0-1 - limita de proporționalitate; Zona 1-2 - limita de elasticitate; Zona 2-3 - rezistența la rupere; 4 - rupere

Depinzând de viteză și de caracteristicile mecanice ale automobilului și ale obiectului cu care are loc coliziunea, ciocnirea poate avea caracter elastic, elasto – plastic sau plastic.

Coliziunea elastică (vezi figura mai de sus, Zona 0-1) de obicei are loc la viteze foarte mici, automobilul având și el o greutate redusă. În aceste cazuri activarea sistemelor de protecție nici nu este necesară de multe ori.

Majoritatea accidentelor automobilelor au caracter elasto – plastic (vezi figura mai de sus Zona 1-2), unde, datorită forțelor care acționează asupra pasagerilor, sistemele de protecție sunt activate.

Coliziunea plastică se întâmplă la viteze foarte mari, având și automobilul o greutate semnificativă (vezi figura mai de sus, Zona 2-3-4). De multe ori în această situație abilitatea de a proteja pasagerii oferită de sistemele de protecție este insuficientă, fiind vorba de regulă despre accidente cu rezultate fatale.

Luând în considerare caracterul elasto – plastic al coliziunii, putem regăsi un comportament asemănător cu modelele de tip masă – arc sau element elastic cu sens mai larg. Datorită formei sale și materialului din care este fabricat, arcul transformă (în urma deformării) lucrul mecanic (L) în energie potențială (E_p) [S.1].

Forța dintr-un arc este dată de legea lui Hook, fiind produsul dintre k , constanta arcului și x , care definește deplasarea de la punctul de echilibru al arcului.

$$F_{el} = \pm k \cdot x \quad 3.9$$

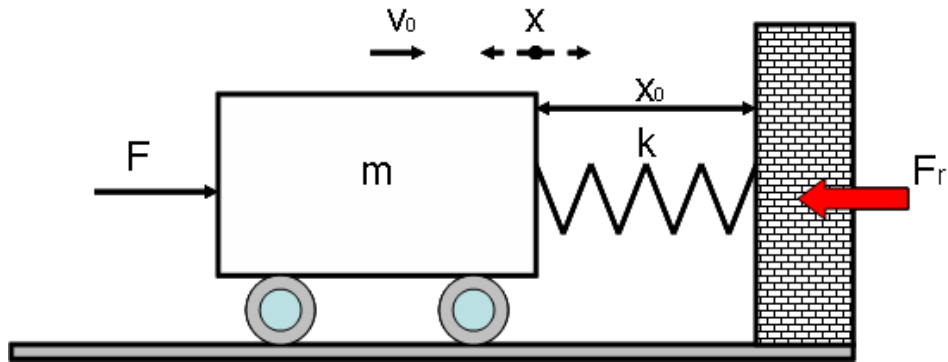


Figura 34 – Model masă – element elastic
 m – masa automobilului; F – forța la coliziune; Fr – forța oponentă; k – constanta arcului; x – care definește deplasarea de la punctul de echilibru al arcului

Dacă „m” este masa automobilului, iar dacă toate forțele de frecare sunt neglijate (în această fază), atunci din relația lui Newton (3.5) împreună cu relația 3.9 rezultă ecuația sistemului:

$$m \cdot \ddot{x} = -k \cdot x \quad 3.10$$

Dacă luăm ca punct de plecare mișcarea armonică simplă, frecvența unghiulară se poate scrie ca fiind [R.1]:

$$\omega_U^2 = \frac{k}{m} \quad 3.11$$

Introducând în relația 3.10, rezultă:

$$\ddot{x} + \omega_U^2 \cdot x = 0 \quad 3.12$$

Soluția generală a ecuației diferențiale omogene de ordinul doi, este:

$$x(t) = A \cdot \sin(\omega_U^2 t) + B \cdot \cos(\omega_U^2 t) \quad 3.13$$

În relația 3.13, „A” și „B” sunt constante care se calculează pe baza condițiilor inițiale și sunt dependente de $x(0)$ și $\dot{x}(0)$. Astfel ecuația 3.13 poate fi scrisă:

$$x(t) = \frac{\dot{x}(0)}{\omega_U} \cdot \sin(\omega_U t) + x(0) \cdot \cos(\omega_U t) \quad 3.14$$

Dacă admitem că $\dot{x}(0) = v_0$ (vezi figura de mai sus) și $x(0)$ deformația inițială este zero, ecuația 3.14, va avea forma:

$$x(t) = v_0 \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}} \cdot t\right) \quad 3.15$$

Din relația 3.10 se poate calcula accelerația, care va fi:

$$\ddot{x}(t) = -v_0 \cdot \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}} \cdot t\right) \quad 3.16$$

Perioada și frecvența proprie a acestui sistem sunt:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} \quad 3.17$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m}} \quad 3.18$$

Următoarea figură prezintă răspunsul de accelerație al unui asemenea sistem (modelat după 3.16, vezi și Anexa B, punctul 4):

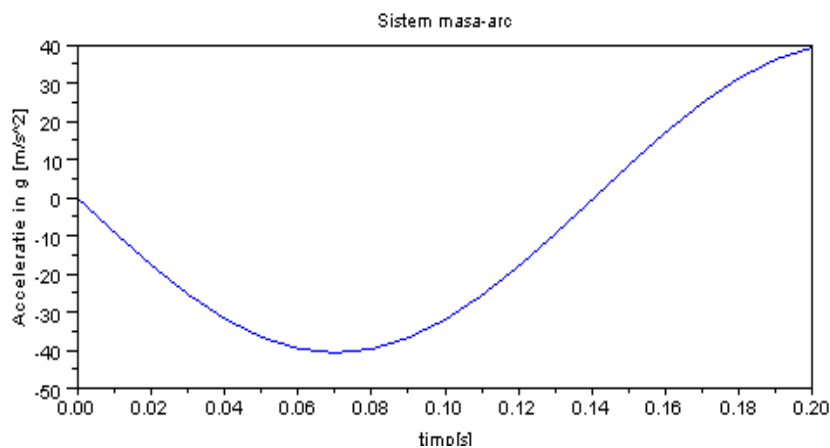


Figura 35 – Accelerația sistemului masă – element elastic în funcție de timp

Se poate identifica pe figura de mai sus mărimea decelerației, (exprimată în g), aceasta fiind aplicată corpului pasagerilor în caz de coliziune.

O altă informație importantă este desfășurarea în timp a evenimentelor, care evidențiază momentul optim pentru activarea sistemelor pentru o protecție eficientă (vezi figura mai de sus, zona 60 – 100 ms).

3.2.3 Model de coliziune masă – element elastic cu amortizare

Un factor important în studiul fenomenelor de coliziune este comportamentul tribologic al sistemelor mecanice analizate [B.1, F.2, P.2, C.8, R.3]. Subansamblurile mecanice elementare pot fi echivalate cu „tribosisteme”, iar prin suma comportamentelor acestor tribosisteme se poate descrie comportamentul tribologic al automobilului.

Tribosistemele formează un ansamblu de elemente conectate structural și funcțional, caracterizat printr-un număr mare de parametri. Funcția unui tribosistem constă în transformarea mărimilor de intrare în mărimi de ieșire, tehnic utile (mișcare, forță, energie). Această transformare este realizată prin structura tribosistemului, adică prin componentele aflate în interacțiune prin procese tribotehnice, unde în același timp apar pierderi prin frecare și uzare [F.2].

- **Mărimi de intrare**
Sunt mărimi tehnico-fizice care acționează asupra unui tribosistem. Cele mai importante dintre acestea sunt:
 - mișcarea (tipul de mișcare)
 - forța normală F_N
 - viteza v
 - temperatura
 - timpul de solicitare (acțiune)Pe lângă aceste mărimi mai sunt și mărimi perturbatoare, cum ar fi vibrațiile, radiațiile, etc.
- **Structură**
Structura generală a unui tribosistem este alcătuită din patru părți de bază:
 - corp de bază (1)
 - contra-piesă (2)
 - material interpus (3)
 - mediul ambiant (4)
- **Ieșiri (mărimi utile, neutre)**
Scopul tribosistemului este transformarea unui set determinat de intrări într-un set determinat de ieșiri. În cazul tribosistemului avem mai multe funcții fundamentale, cum ar fi:
 - transfer de lucru mecanic sau energie
 - formarea tehnologică a materialului
 - transmiterea informațieiAcestea sunt întotdeauna însoțite de efecte secundare nedorite, cum sunt:
 - pierderi energetice (prin frecare), adică procesul disipativ
 - pierderi materiale (uzura suprafețelor de contact)
 - pierderi de informații (degradarea geometrică a suprafețelor).
- **Procese tribologice**
Prin procese tribologice înțelegem acțiunile dinamice, fizico-chimice ale frecării, uzării care se produc între suprafețele aflate în contact direct sau prin intermediul materialului interpus.

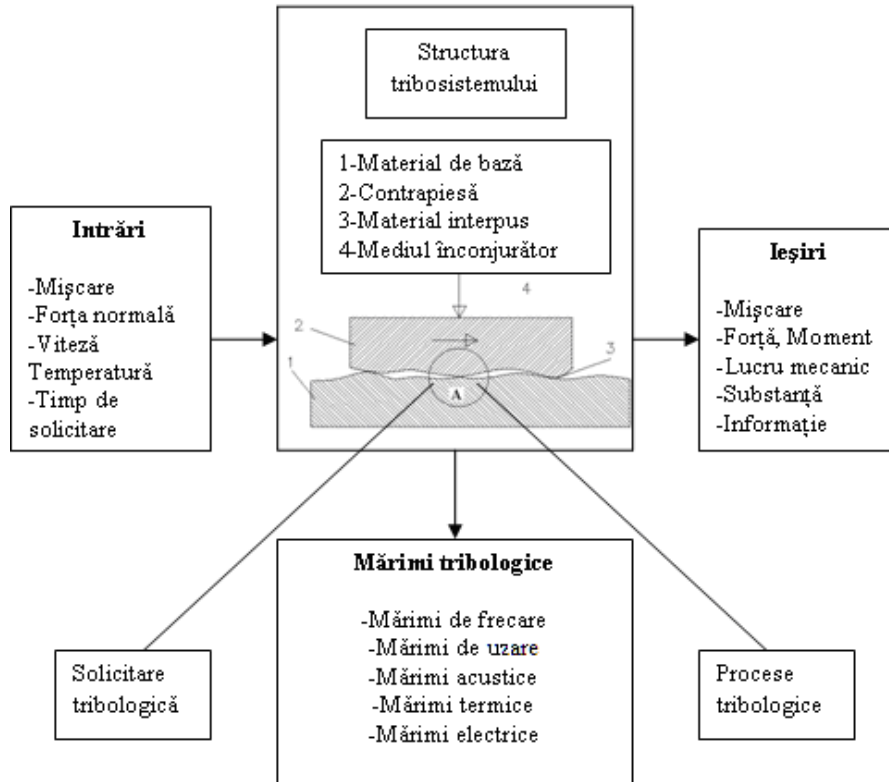


Figura 36 – Tribosistem

Pentru modelarea [S.4, T.2] acestui comportament bazat pe modelul anterior (masă – element elastic), se introduce componenta de amortizare care are rolul de a se „opune” mișcării. Astfel, modelul sistemului este completat cu un element amortizor care introduce forța de amortizare (F_{am}).

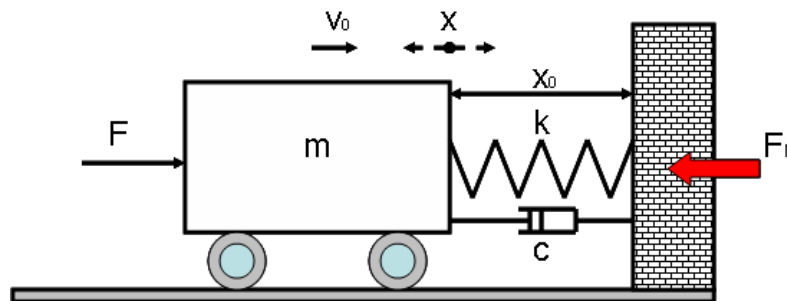


Figura 37 – Model masă – element elastic cu amortizare

m – masa automobilului; F – forța la coliziune; F_r – forța oponentă; k – constanta arcului; x – care definește deplasarea de la punctul de echilibru al arcului; c – amortizor

Forța amortizoare (F_{am}) se poate modela ca fiind o funcție dependentă de viteză:

$$F_{am} = -c \cdot \dot{x} \quad 3.19$$

În această relație „c” – este coeficientul de amortizare, având unitatea de măsură N * m/s. Semnul minus arată că aceasta este orientată împotriva forței active F.

Dacă ținem cont de cele exprimate în relația 3.10, ecuația sistemului se poate scrie ca fiind:

$$m \cdot \ddot{x} = -c \cdot \dot{x} - k \cdot x \quad 3.20$$

Analog relației 3.10, dacă luăm ca punct de plecare mișcarea armonică simplă, rata de amortizare „ ξ ” (neavând unitate de măsură) se poate scrie ca fiind:

$$\xi = \frac{c}{2 \cdot m \cdot \omega_U} \quad 3.21$$

Introducând în relația 3.20 și rearanjând, rezultă ecuația:

$$\ddot{x} + 2 \cdot \xi \cdot \omega_U \cdot \dot{x} + \omega_U^2 \cdot x = 0 \quad 3.22$$

Aplicând metoda variabilelor complexe la această ecuație diferențială de gradul doi, pentru x se poate scrie (γ - fiind un număr complex):

$$x = e^{\gamma t} \quad 3.23$$

Atunci, $\dot{x} = \gamma \cdot e^{\gamma t}$, iar $\ddot{x} = \gamma^2 \cdot e^{\gamma t}$, relația 3.22 devine:

$$\gamma^2 \cdot e^{\gamma t} + 2 \cdot \xi \cdot \omega_U \cdot \gamma \cdot e^{\gamma t} + \omega_U^2 \cdot e^{\gamma t} = 0 \quad 3.24$$

Această relație se poate simplifica cu $e^{\gamma t}$, după care devine:

$$\gamma^2 + 2 \cdot \xi \cdot \omega_U \cdot \gamma + \omega_U^2 = 0 \quad 3.25$$

Relația 3.25 poate soluționa formula calculând rădăcinile:

$$\gamma_{1,2} = \frac{-2 \cdot \xi \cdot \omega_U \pm \sqrt{(2 \cdot \xi \cdot \omega_U)^2 - 4 \cdot \omega_U^2}}{2} \quad 3.26$$

Soluționând ecuația diferențială 3.23, rezultă:

$$x(t) = A \cdot e^{\gamma_1 t} + B \cdot e^{\gamma_2 t} \quad 3.27$$

unde A, B sunt determinate de condițiile inițiale ale sistemului

$$A = x(0) + \frac{\gamma_1 \cdot x(0) - \dot{x}(0)}{\gamma_2 - \gamma_1} \quad 3.28$$

$$B = -\frac{\gamma_1 \cdot x(0) - \dot{x}(0)}{\gamma_2 - \gamma_1} \quad 3.29$$

După cum se poate observa în relația 3.26, factorii cei mai importanți care determină comportamentul sistemului sunt: ω_U respectiv ξ .

- „Amortizare critică”

În cazul în care valoarea $\xi = 1$, rădăcinile lui γ calculate cu relația 3.26, va rezulta $\gamma_1 = \gamma_2$, iar valoarea lor va fi o valoare reală. În acest caz sistemul este „amortizat critic” neavând oscilații. Soluția pentru relația 3.23 va fi:

$$x(t) = t \cdot e^{\gamma t} \quad 3.30$$

Astfel, soluția ecuației diferențiale 3.27 devine:

$$x(t) = (A + Bt) \cdot e^{-\omega_U t} \quad 3.31$$

A și B depinzând de condițiile inițiale ale sistemului:

$$\begin{aligned} A &= x(0) \\ B &= \dot{x}(0) + \omega_U \cdot x(0) \end{aligned} \quad 3.32$$

- „Supra-amortizare”

În acest caz valoarea lui $\xi > 1$; sistemul are două rădăcini reale și distincte. Soluția ecuației de mișcare va fi ca cea prezentată de relația 3.27. Soluția coeficientului A este prezentată de relația 3.28 respectiv pentru coeficientul B, relația 3.29.

- „Sub-amortizare”

În acest caz valoarea lui ξ este cuprinsă în domeniul $0 \leq \xi < 1$. În acest caz, sistemul va oscila cu o frecvență „amortizată” ω_a care este dependentă de frecvența proprie ω_U și de rata amortizării ξ . În acest caz valoarea γ devine o valoare complexă, iar soluția generică poate fi scrisă ca fiind [W.17]:

$$x(t) = e^{-\xi \omega_U t} (A \cdot \cos(\omega_a t) + B \sin(\omega_a t)) \quad 3.33$$

unde

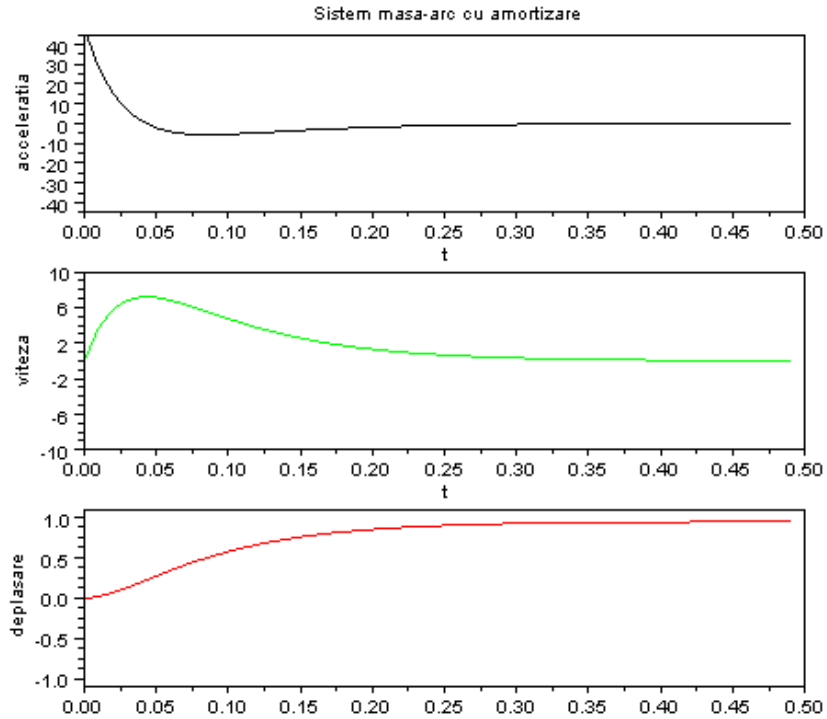
$$\omega_a = \omega_U \cdot \sqrt{1 - \xi^2} \quad 3.34$$

A, B sunt factorii care depind de condițiile inițiale ale sistemului, fiind:

$$A = x(0) \quad 3.35$$

$$B = \frac{1}{\omega_a} \cdot \left(\xi \omega_u x(0) + \dot{x}(0) \right) \quad 3.36$$

Comportamentul unui asemenea sistem (cu amortizare) este prezentat pe figura următoare:



În figură sunt prezentate accelerația, viteza și distanța parcursă în urma coliziunii. Se poate observa zona de decelerație bruscă (în primele 10 ms) și distanța parcursă până la oprirea sistemului. Detalii despre modelul matematic simulat sunt prezentate în Anexa B, punctul 5.

3.2.4 Model structural al automobilului în cazul coliziunii frontale

După cum s-a prezentat și în capitolele anterioare, automobilul este alcătuit dintr-o serie de subsisteme mecanice. Fiecare subsistem are un comportament anume pe parcursul coliziunii. Acest comportament depinde de proprietățile materialelor din care este alcătuit subansamblul și de forțele care acționează asupra acestuia. Figura de mai jos prezintă un model simplificat al caroseriei unui automobil care va fi folosit mai jos în construcția modelelor de simulare. Focusul în construcția modelelor de simulare este ținut asupra părții frontale a automobilului.

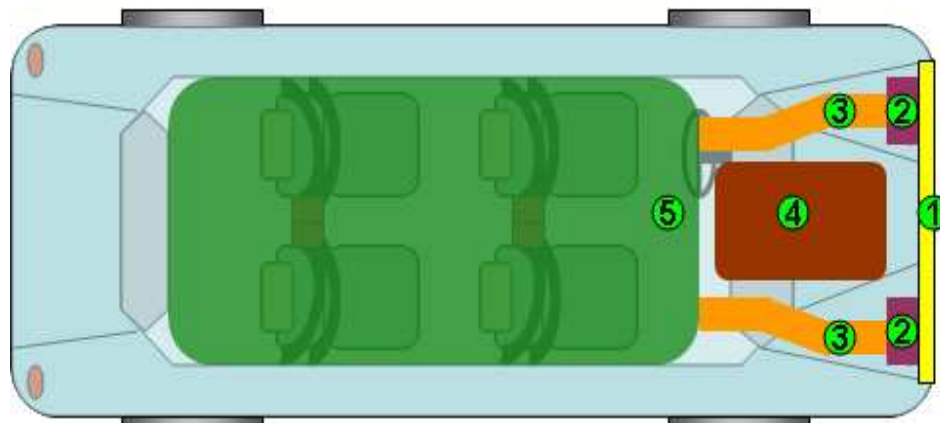


Figura 39 – Structura de rezistență simplificată a automobilului
1 – bara de protecție; 2 – cutie de coliziune; 3 – structura caroseriei; 4 – Motor; 5 – structura compartimentului de călători

O caroserie modernă de automobil conține toate elementele menționate în figura anterioară, fiind proiectată astfel încât să absoarbă o cantitate cât mai mare de energie. În cazul unei coliziuni, fiecare dintre elementele prezentate pe figură va absorbi o cantitate de energie care depinde de caracteristicile sale mecanice. În prima fază a coliziunii elementele se deformează elastic, urmat de deformarea plastică dacă energia provenită din coliziune nu a fost absorbită în totalitate. Deoarece caroseria este compusă dintr-o serie de elemente mecanice, propagarea șocului provenit din coliziune necesită o perioadă de timp până când ajunge la compartimentul de călători. Acest timp de propagare a șocului poate fi studiat pe modelul simulat. Dacă admitem că principalele structuri mecanice care joacă rol important pe parcursul coliziunii sunt cele prezentate în figură, atunci modelarea sistemului se poate echivala cu o serie de sisteme masă – arc interconectate. Cum arată figura de mai jos, forța F exersată pe compartimentul de călători poate fi modelată prin interconectarea unei serii de modele simple, prezentate în capitolele anterioare.

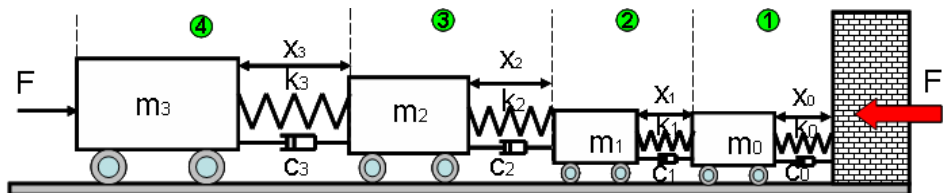


Figura 40 – Sistem complex de masă și elemente elastice cuplate
1 – Model echivalent bară de protecție; 2 – Model echivalent cutii de coliziune; 3 – Model echivalent structura caroseriei; 4 – Model echivalent motor

Modelul matematic pentru analiză se poate obține prin descompunerea sistemului în subsisteme elementare de tip masă – arc. Astfel, dacă analizăm tronsonul 1-2 (vezi figura anterioară, respectiv figura de mai jos), pentru echilibrul sistemului cu m_3 se poate scrie:

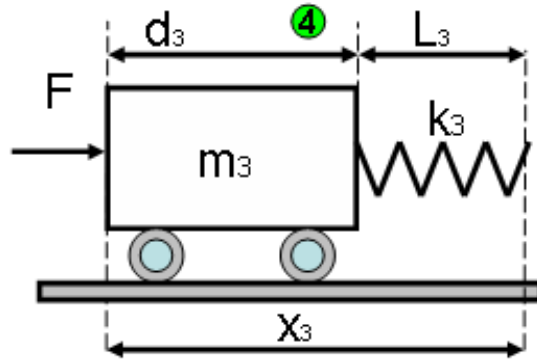


Figura 41 – Descompunere sistem pentru tronsonul 4
 x_3 – deformare arc; m_3 – masa sistemului; k_3 – constanta arcului; L_3 – lungimea inițială a arcului; F – forța care acționează asupra sistemului

$$0 = -k_3 \cdot (x_3 - (d_3 + L_3)) \quad 3.37$$

La fel se poate scrie ecuația de echilibru pentru tronsonul următor:

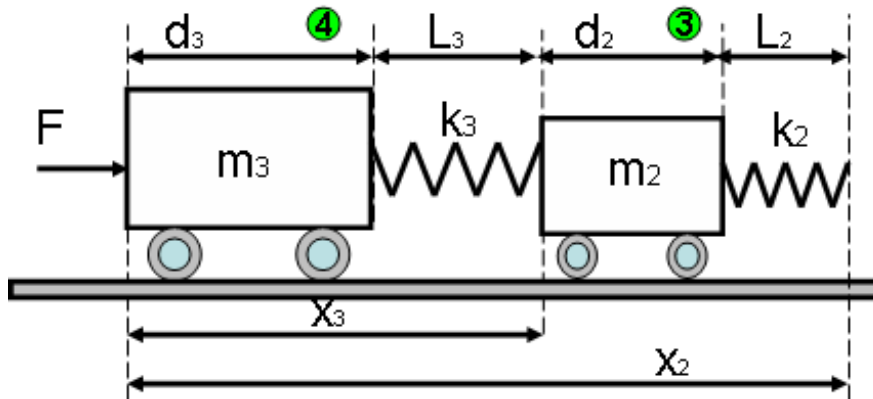


Figura 42 – Descompunerea sistemului pentru tronsonul 4-3
 $x_{3,2}$ – deformare arc; $m_{3,2}$ – masa sistemului; $k_{3,2}$ – constanta arcului; $L_{3,2}$ – lungimea inițială a arcului; F – forța care acționează asupra sistemului

$$-k_3 \cdot (x_3 - (d_3 + L_3)) = -k_2 \cdot (x_2 - (d_3 + L_3 + d_2 + L_2)) \quad 3.38$$

Analog tronsonul 3-2 se poate defini prin:

$$-k_2 \cdot (x_2 - (d_3 + L_3 + d_2 + L_2)) = -k_1 \cdot (x_1 - (d_3 + L_3 + d_2 + L_2 + d_1 + L_1)) \quad 3.39$$

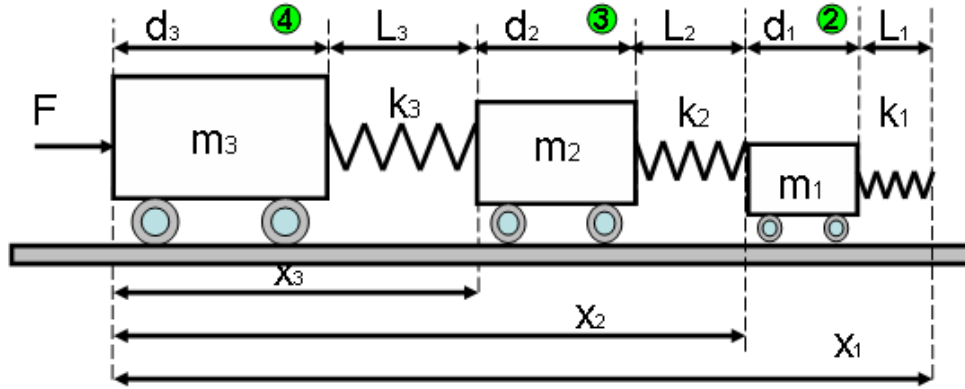


Figura 43 – Descompunerea sistemului pentru tronsonul 4-3-2
 $x_{3,2,1}$ – deformare arc; $m_{3,2,1}$ – masa sistemului; $k_{3,2,1}$ – constanta arcului; $L_{3,2,1}$ – lungimea inițială a arcului; F – forța care acționează asupra sistemului

Pentru ultimul tronson se poate scrie:

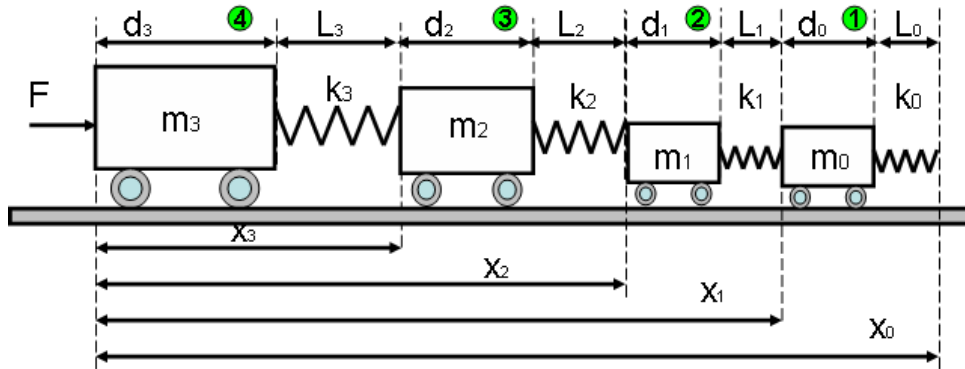


Figura 44 – Descompunerea sistemului pentru tronsonul 4-3-2-1
 $x_{3,2,1,0}$ – deformare arc; $m_{3,2,1,0}$ – masa sistemului; $k_{3,2,1,0}$ – constanta arcului; $L_{3,2,1,0}$ – lungimea inițială a arcului; F – forța care acționează asupra sistemului

$$-k_1 \cdot (x_1 - (d_3 + L_3 + d_2 + L_2 + d_1 + L_1)) = -k_0 \cdot (x_0 - (d_3 + L_3 + d_2 + L_2 + d_1 + L_1 + d_0 + L_0)) \quad 3.40$$

Din relațiile 3.37, 3.38, 3.39, 3.40 se pot scrie relațiile Newtoniene, luând în considerare accelerația, respectiv forța de amortizare a sistemelor:

- Pentru sistemul cu m_3

$$m_3 \cdot \ddot{x}_3 = F - c_3 \cdot \dot{x}_3 - k_3 \cdot (x_3 - (d_3 + L_3)) \quad 3.41$$

- Pentru sistemul cu m_2

$$m_2 \cdot \ddot{x}_2 = -c_2 \cdot \dot{x}_2 + k_3 \cdot (x_3 - (d_3 + L_3)) - k_2 \cdot (x_2 - (d_3 + L_3 + d_2 + L_2)) \quad 3.42$$

- Pentru sistemul cu m_1

$$m_1 \cdot \ddot{x}_1 = -c_1 \cdot \dot{x}_1 + k_2 \cdot (x_2 - (d_3 + L_3 + d_2 + L_2)) - k_1 \cdot (x_1 - (d_3 + L_3 + d_2 + L_2 + d_1 + L_1)) \quad 3.43$$

- În final pentru m_0

$$m_0 \cdot \ddot{x}_0 = -c_0 \cdot \dot{x}_0 + k_1 \cdot (x_1 - (d_3 + L_3 + d_2 + L_2 + d_1 + L_1)) - k_0 \cdot (x_0 - (d_3 + L_3 + d_2 + L_2 + d_1 + L_1 + d_0 + L_0)) \quad 3.44$$

Având aceste relații la bază, modelul sistemului matematic este definit și se poate construi modelul de simulare.

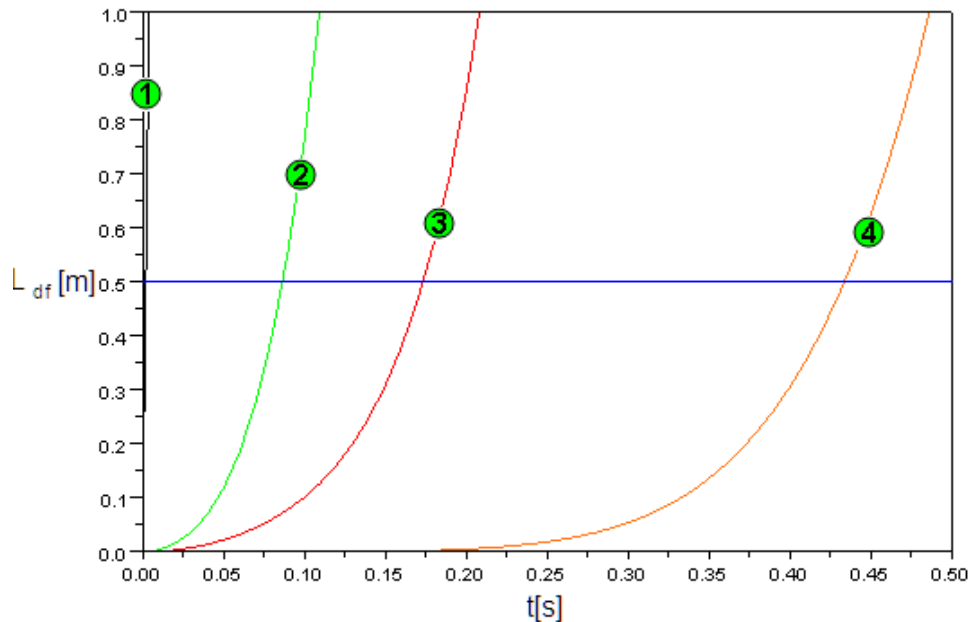


Figura 45 – Comportamentul sistemului complex de mase și elemente elastice cuplate
 L_{df} – Limita pre-definită a deformării elementelor

Rezultatul în urma simulării evidențiază (vezi figura de mai sus) cum și când se deformează elementele caroseriei automobilului (vezi Fig.39) pe parcursul unei coliziuni. Linia orizontală (unde $L_{df}=0.5$ m) definește distanța necesară pentru oprirea automobilului (0.5 metri), definită drept constantă de intrare pentru modelul matematic. Depășind această limită, deformarea elementelor caroseriei se situează în domeniul deformării plastice.

Forma liniilor de deformare depinde de proprietățile elasto-plastice ale elementelor caroseriei și de proprietățile de absorbire a șocurilor de energie. De asemenea, poate fi identificat pe figură momentul când începe deformarea blocului de motor (în acest caz, la aproximativ la 175 ms). Dacă ținem cont de evoluția în timp a coliziunii frontale, vezi (capitolul „Coliziune frontală”), în cazul acestui model toate sistemele de protecție au fost activate pentru protejarea pasagerilor

automobilului. La o coliziune puternică, rigiditatea blocului de motor poate constitui un pericol pentru pasagerii din față, prin eventuala pătrundere în compartimentul călătorilor. Pentru a reduce acest risc, producătorii de automobile folosesc diverse metode mecanice de suspendare a blocului motor, care pe parcursul unei coliziuni intră sub compartimentul călătorilor, protejând astfel pasagerii. Modelul de simulare creat oferă o metodă simplă și rapidă pentru analiza deformării diferitelor componente ale caroseriei automobilului, cât și evoluția în timp a deformării elementelor pe parcursul unei coliziuni. Detalii despre modelul simulat pot fi găsite în ANEXA B, punctul 7.

3.2.5 Modelul bilanțului energetic în cazul coliziunii

După cum s-a prezentat în modelele anterioare, caracteristicile de deformare ale automobilului pe parcursul unui coliziuni au un caracter elasto-plastic. Bazat pe această constatare și luând în considerare conceptul de transfer, respectiv de conservare a energiei, se poate scrie următoarea relație:

$$L = \Delta E \quad 3.45$$

Într-un sistem în care deformațiile au caracter elasto-plastic sunt prezente cele două forme ale energiei mecanice:

- Energia cinetică (E_c)
- Energia potențială (E_p)

Depinzând de transferul de energie, apare și un al treilea termen care evidențiază disiparea (pierderile) de energie, de exemplu prin căldură, E_d . Astfel, energia totală (E_{tot}) a sistemului va fi:

$$E_{tot} = E_c + E_p + E_d \quad 3.46$$

Ținând cont de relațiile 3.6, 3.45, 3.46 se poate scrie:

$$F \cdot d = E_c + E_p + E_d \quad 3.47$$

Sau

$$F \cdot d = \frac{m \cdot v^2}{2} + \frac{k \cdot x^2}{2} + E_d \quad 3.48$$

Unde:

d – este distanța de oprire a automobilului;

v – viteza de coliziune;

k – constanta elementului elastic a sistemului (automobilului);

x – lungimea cu care se comprimă automobilul în cazul unui accident.

Problema fundamentală în cazul coliziunii automobilului este, câtă parte din energia totală pierdută în timpul coliziunii poate fi absorbită de către structura automobilului și cât de repede, și câtă energie trebuie să se absoarbă pe alte căi.

Figura de mai jos evidențiază evoluția transferului de energie pe parcursul coliziunii. Mai multe detalii legate de modelul simulat pot fi găsite în ANEXA B, punctul 6.

După cum se poate observa din figura de mai jos, la o coliziune frontală la care desfășurarea impactului este rapidă (aproximativ 200 ms, vezi capitolul „Coliziune frontală”), energia care urmează a fi disipată este semnificativă.

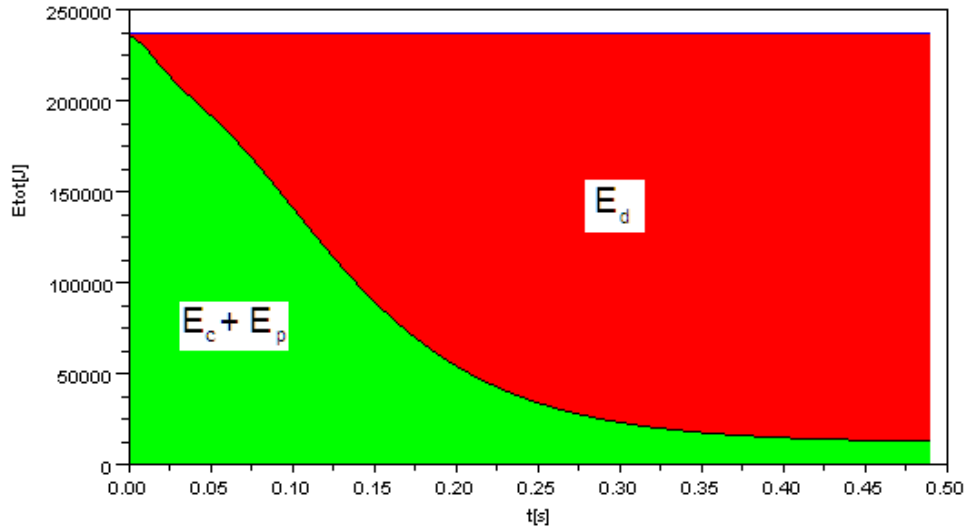


Figura 46 – Transferul energetic în cazul coliziunii automobilului

Figura arată de asemenea cota parte de energie care se absoarbe de către structura mașinii. Astfel, dacă viteza, respectiv forța de coliziune este mai mare, curba $E_c + E_p$ devine mai abruptă, iar caroseria automobilului nu mai este capabilă să absoarbă energie. În acest caz deformările și căldura disipată vor fi mai mari, ca și forțele care vor acționa asupra pasagerilor. De exemplu, la modelul folosit, simularea arată că punctul critic a fost atins undeva la aproximativ 90 km/h (200 ms de la coliziune) la care caroseria mașinii nu mai este capabilă să absoarbă energie semnificativă.

Factorii cei mai importanți care au influență sporită la comportamentul sistemului în cazurile de coliziune sunt:

- Viteza la care are loc impactul;
- Masa automobilului;
- Capabilitatea structurii mecanice a automobilului de a absorbi energia;
- Proprietățile obiectului cu care are loc coliziunea.

4 Contribuții privind optimizarea sistemelor de protecție la coliziune

În acest capitol sunt prezentate contribuțiile personale privind optimizarea sistemelor de protecție la coliziune. Sunt prezentate cazuri de coliziune și date reale recepționate de la senzorii montați în automobil. Pentru interpretarea acestor date autorul a realizat:

- Un program care poate citi fișiere standard (ISO 6487) folosite pentru stocarea datelor provenite de la senzorii de siguranță pasivă;
- Filtre trece – jos implementate în SW pentru filtrarea semnalelor provenite de la senzori. Un filtru de ordinul trei (Butterworth) și alte filtre care sunt folosite pentru filtrarea semnalelor de accelerație, respectiv un filtru de ordinul unu folosit pentru filtrarea datelor provenite de la senzorii de presiune.

Se prezintă lanțul de achiziție date pentru senzorii de presiune și accelerație, urmat de o analiză critică asupra acestor componente. Autorul prezintă un nou concept pentru optimizarea lanțului achiziției de date de la senzori. Acest concept folosește mediul optic pentru a detecta informația utilă de accelerație și presiune, prin folosirea unui element sensibil pasiv (fără electronică). După prezentarea acestor concepte, autorul face o analiză critică asupra diferitelor metode folosite în prezent pentru realizarea senzorilor optici și definește conceptele care urmează să fie implementate.

În subcapitolul următor se prezintă un concept de realizare a unui senzor optic de presiune. O serie de modele matematice și simulări au fost realizate pentru a ușura faza de proiectare:

- Modelul matematic al deformării membranei sub acțiunea unei presiuni uniform distribuite pe suprafață (pentru cazurile de rezemare, respectiv încastrare pe contur);
- Modelul 3D al deformării membranei;
- Modelul matematic pentru calculul reflexiei fasciculelor de lumină de pe suprafața membranei și intensitatea luminoasă reflectată, obținută de la fibra optică emițătoare, respectiv receptoare;
- Influența anumitor mărimi mecanice asupra comportamentului membranei (E , μ , grosimea membranei);
- Model matematic pentru determinarea frecvenței proprii a membranei în funcție de grosimea membranei;
- Modelul matematic pentru determinarea sensibilității membranei.

Următorul subcapitol prezintă modelarea matematică a unui senzor optic de accelerație. Aici autorul definește modelele matematice pentru determinarea accelerației, asemănător cu principiul prezentat la senzorul de presiune, astfel:

- Modelul matematic al deformării membranei sub acțiunea unei forțe concentrate pe o greutate amplasată pe centrul membranei (rezemată, respectiv încastrată pe contur);
- Modelul 3D al deformării membranei;
- Model matematic pentru determinarea răspunsului de frecvență al membranei;

• Modelul matematic pentru determinarea sensibilității membranei. Modelele matematice anterior menționate sunt folosite de către autor pentru definirea constrângerilor de implementare.

Autorul subliniază că aceste idei și concepte au fost propuse pentru patentare în cadrul companiei Autoliv în 2009, acțiune care este încă în curs. Având în vedere protecția celor menționate în propunerea de patentare, autorul face precizări limitate asupra anumitor aspecte de implementare.

4.1 Notații utilizate

| Notație | Unitate de măsură | Descriere |
|------------------|----------------------|--|
| p | $[N/m^2]$ sau $[Pa]$ | Presiune |
| R | $[m]$ | Raza membranei |
| r | $[m]$ | Raza punctului de calcul |
| v | $[m]$ | Săgeata |
| e | $[m]$ | Grosimea membranei |
| E | $[MPa]$ | Modul de elasticitate longitudinal |
| μ | $[-]$ | Coeficientul lui Poisson |
| A | $[m^2]$ | Aria membranei |
| σ_r | $[MPa]$ | Tensiune normală radială |
| L_m | $[m]$ | Distanța membranei față de capătul fibrelor optice |
| L_{FO} | $[m]$ | Distanța dintre fibra de transmisie și recepție |
| S_{rp}, S_{ip} | $[m/Pa]$ | Sensibilitatea senzorului optic de presiune |
| S_{ra}, S_{ia} | $[m/N]$ | Sensibilitatea senzorului optic de accelerație |
| a_{mn} | $[-]$ | Constantă dependentă de tipul vibrației |
| g | $[m/s^2]$ | Accelerația gravitațională |
| ρ | $[kg/m^3]$ | Densitate material membrană |

4.2 Definirea direcțiilor de optimizare în cadrul lucrării

Complexitatea sistemelor de detectare și protecție la coliziune oferă multe aspecte ce pot fi optimizate. Pentru asigurarea succesului, fiecare dintre direcțiile posibile de optimizare trebuie analizată cu precauție și aleasă cea mai potrivită a aplicației [F.3].

Dezvoltarea unui nou concept sau optimizarea unuia existent are anumite riscuri, încă din faza de concepție. Pentru a avea succes, riscurile trebuie identificate și soluționate în timp. Pe de altă parte, conceptele propuse trebuie să aducă o valoare adăugată soluțiilor existente pe piață. Pe lângă inovația propusă, noul produs trebuie să fie competitiv pe piață; competitivitatea este determinată în mare parte de costurile de producție și prețul de comercializare care trebuie să fie atractiv pentru clienți.

De multe ori se poate întâmpla ca un concept nou să propună „prea multă inovare”, iar piața să nu fie încă pregătită să-l accepte. Un caz asemănător legat de sistemele de protecție pasivă (invenția AirBag – ului) a fost prezentat în capitolul 1.2, unde de la invenție până la aplicarea în automobile au trecut aproape 17 ani.

Tratarea acestei teme complexe se poate face luând în considerare direcțiile generale de optimizare a unui produs. În funcție de concept, trebuie aleasă direcția de urmat și scopul care urmează să fie realizat.

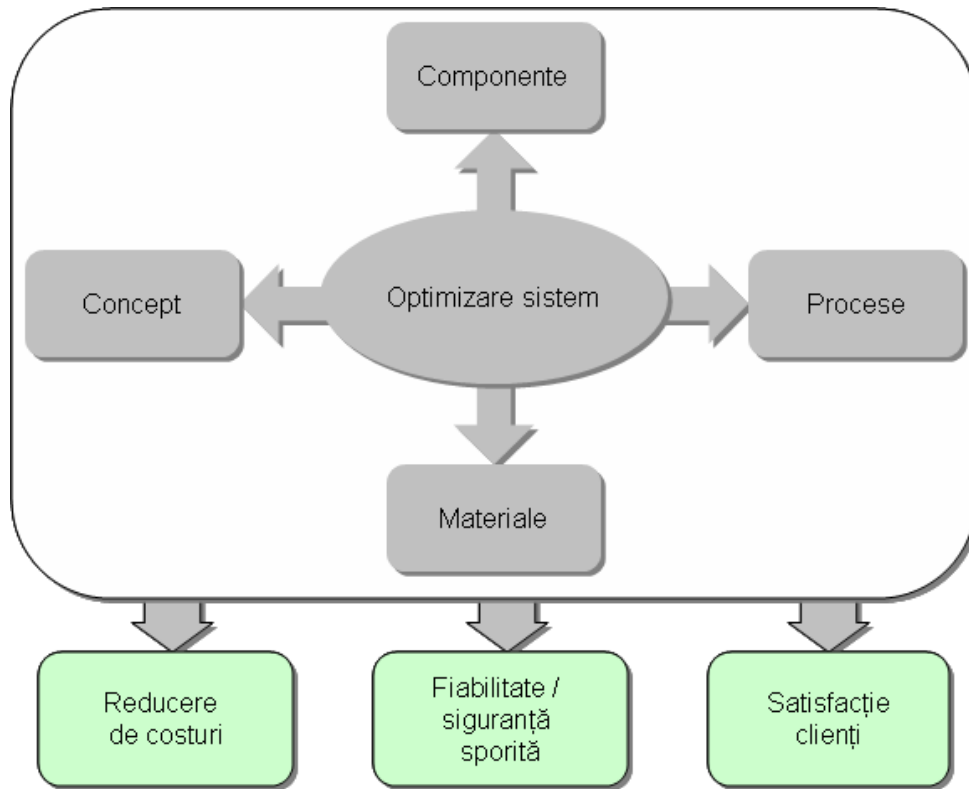


Figura 47 – Direcții de optimizare a sistemelor

- Optimizarea proceselor – Independent de tipul acestuia (fabricație/dezvoltare), acest aspect are o influență sporită asupra produsului propus pentru realizare. Un proces optimizat poate aduce îmbunătățiri asupra timpului de realizare și/sau calității produsului. Un timp mai scurt de producție aduce reducere de costuri.
- Optimizarea materialelor folosite – datorită dezvoltării rapide a tehnologiei, apar materiale care au proprietăți superioare în raport cu cele folosite în proiectarea originală. Acestea pot avea efect pozitiv asupra modelului existent (ex. piese electronice cu dimensiuni mai reduse sau capacități sporite), reducând de exemplu greutatea sau consumul de energie al sistemelor mecatronice [G.3] sau pot avea efect chiar și asupra protecției mediului (un exemplu directiva RoHS „Restriction of Hazardous Substances”, [W.18])

- Optimizarea componentelor – de multe ori (în special la produsele noi), în primul ciclu de producție componentele folosite nu sunt alese în condiții optime (ex. raport preț – proprietăți necesare), fapt care conduce la costuri de producție ridicate. Alegând componentele optime, respectiv parametrii acestora, prețul de producție poate fi redus semnificativ.
- Optimizarea conceptului – acesta are rolul dezvoltării conceptelor noi care pot crea produse noi, inexistente pe piața actuală. Patentele asigură în multe cazuri un avantaj față de concurența din domeniu.

Aspectul cel mai important (pe lângă reducerea costurilor sau fiabilitatea sporită) rămâne însă satisfacerea condițiilor cerute de clienți. În această formă, fiecare dintre părți (producător – client) are de câștigat.

În urma analizei diferitelor direcții de optimizare, autorul își propune să aducă în cadrul acestei lucrări următoarea contribuție:

- „Optimizarea de concepte” – reflectată prin propunerea de noi soluții tehnice pentru realizarea senzorilor folosiți la detectarea coliziunilor. Astfel, vor fi prezentate concepte pentru realizarea unor senzori de presiune, respectiv de accelerație care nu conțin elemente electronice în capul de senzori (denumite de autor: senzori pasivi).

4.3 Optimizarea conceptelor folosite în dezvoltarea sistemelor de detectare a coliziunii

În acest subcapitol autorul prezintă câteva modele de senzori și caracteristicile acestora folosite curent în domeniul siguranței pasive. În completare va fi prezentat lanțul pentru achiziția de date și o posibilă optimizare a acestuia.

Se prezintă apoi conceptele pentru senzorii optici pentru controlul accelerației și presiunii, materializați prin componentele ce utilizează doar elementele pasive. Prin modelarea matematică a acestora (modele 2D respectiv 3D), autorul definește constrângerile privitoare la proiectarea acestora, care sunt folosite pentru construirea prototipurilor.

4.3.1 Conceptul de detectare a coliziunii

Conceptul de detectare a coliziunii este un proces complex, astfel că necesită la realizare un sistem mecatronic complicat. După cum s-a prezentat în capitolul „Sisteme de detectare și comandă a coliziunii”, aceste sisteme sunt alcătuite din următoarele părți:

- Senzori;
- Unitatea de Control Electronic (UCE) ce poate fi cu sau fără senzori;
- Actuatori.

Fiecare dintre aceste componente trebuie să lucreze corect pentru a asigura efectul dorit. De asemenea, fiecare dintre aceste părți are caracteristici specifice care sunt necesare a fi asigurate.

În prima parte autorul își focalizează activitatea asupra problematicei senzorilor și a comunicării acestora cu UCE.

Zeci de senzori sunt implicați în detectarea diferitelor tipuri de coliziuni. Aceștia sunt amplasați în diferite locații, aproape de zona în care poate apărea coliziunea

(vezi Figura 18). Majoritatea senzorilor folosiți în domeniul sistemelor de siguranță pasivă sunt:

- Accelerometrele – pentru detectarea accelerației/decelerației automobilului;
- Sensorii de presiune – folosiți pentru detectarea schimbărilor de presiune în cavități (de exemplu în ușile automobilului pentru detectarea coliziunii laterale).

Desigur, mai apar și alte tipuri de senzori folosiți în cadrul sistemelor de siguranță pasive cum ar fi:

- Sensori de temperatură;
- Sensori de detectare a ratei unghiulare;
- Sensori de detectare a prezenței pasagerilor de tip inductiv, rezistiv sau pieso – electrici.

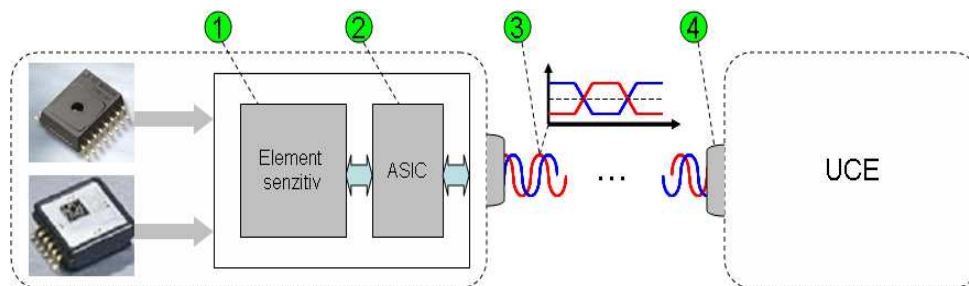


Figura 48 – Sensori de siguranță pasivă și conectarea lor la UCE

1 – element senzitiv (presiune/acelerație); 2- ASIC de diagnoză și comunicare; 3 – cabluri de date și alimentare; 4 – conectori

*) Sursa figurilor [B.2]

După cum rezultă din figura de mai sus, arhitectura de HW a senzorului are două componente de bază:

- Elementul senzitiv – având rolul de a sesiza și de a transforma informația utilă în semnal electric;
- ASIC (Application – Specific Integrated Circuit) – are rolul de a efectua diagnoza elementului senzitiv și de a realiza transmiterea semnalelor la UCE.

O importanță deosebită are mediul prin care sunt transmise semnalele, mai ales din punctul de vedere al perturbațiilor care pot apărea. Acest mediu de transmisie a datelor este format din conectorii și cablurile care leagă senzorul la UCE. Pentru a proteja informația utilă de perturbații, aceasta este digitalizată înainte de a fi transmisă; prin intermediul unui protocol de comunicare care diminuează influența perturbațiilor (vezi capitolul „Interfețe de comunicare ale senzorilor de detectare a coliziunilor”) informațiile sunt trimise la UCE.

Caracteristicile principale ale senzorilor folosiți pentru detectarea coliziunii sunt următoarele (exemplu: Anexa C, punctul 3):

- Domeniul de măsurare - domeniul în care senzorul poate să livreze valori de încredere (ex. +/- 100g);
- Sensibilitatea senzorului – aceasta indică cât de mult se modifică semnalul de la ieșirea senzorului în funcție de cantitatea măsurată;
- Rezoluția – variația cea mai mică care poate fi detectată de senzor în funcție de cantitatea măsurată;
- Valoarea inițială (offset) – definește cât este valoarea măsurată la ieșirea senzorului, în cazul în care semnalul de la intrare are valoarea zero.

Desigur, pe lângă aceste caracteristici mai apar și caracteristici electrice/mecanice:

- Tensiunea de operare (ex. 3.15 V... 5.25 V);
- Consumul de curent (ex. 10 mA);
- Temperatura de funcționare (ex. -40 ... +105 °C).

Lanțul tipic de achiziție a datelor, folosit la senzorii din domeniul siguranței pasive, este prezent în figura mai de jos.

După cum se vede, semnalul util parcurge o cale lungă până la destinație, fiind convertit în mărimi electrice, filtrat local, convertit din analog în digital (ADC), serializat și trimis la UCE. De pe figura de mai jos pot fi identificate și principalele surse de perturbații/erori care influențează valoarea măsurată:

- Zgomotul cauzat de conversia în mărimi electrice;
- Eroarea de conversie ADC;
- Perturbația care se află pe canalul de transmisie.

Ultima din aceste surse de perturbații poate fi neglijată fiindcă apare suprapusă peste semnalul deja digitalizat și nu pe semnalul măsurat. Reducerea perturbațiilor care apar pe canalul de transmisie e contracarată de abilitățile protocolului de transmisie folosit.

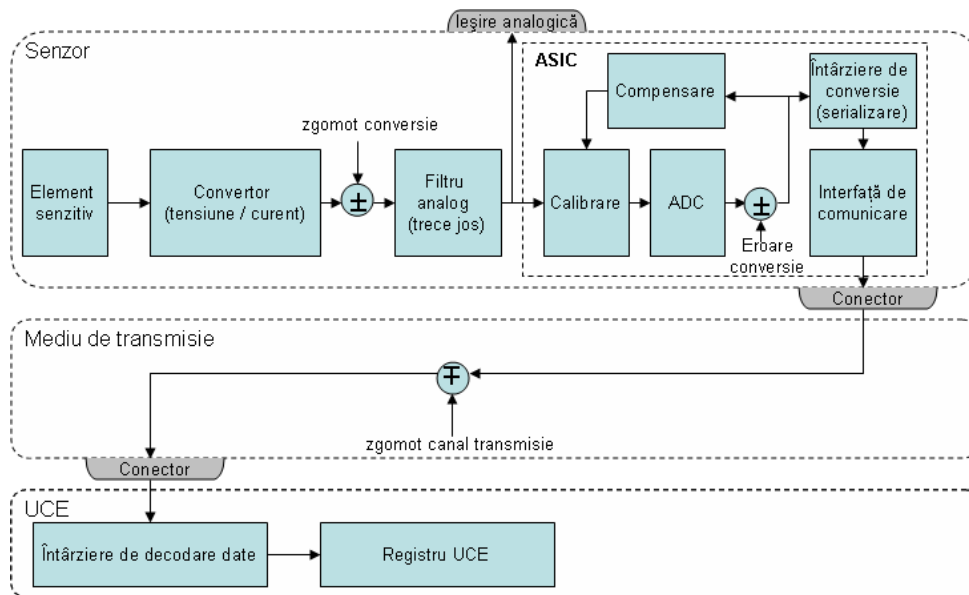


Figura 49 – Lanțul tipic de achiziție date sensor folosit în siguranța pasivă – UCE

Un alt aspect important este întârzierea semnalului, datorată serializării și decodării informației. În sistemele actuale de siguranță pasivă rata de achiziție maximă a datelor ajunge la 4 kHz (250 μs), dar în majoritatea cazurilor este de doar 2 kHz (500 μs). Aceasta se datorează abilității microcontrolerelor folosite, dar și ASIC-urilor integrate în senzori, în multe cazuri (ex. accelerometre la senzorii îndepărtați) acestea fiind capabile să realizeze o conversie la aproximativ 250 μs.

4.3.1.1 Senzori de accelerație

Alegerea caracteristicilor acestor senzori depinde de locația (zona) montării în automobil. De obicei senzorii cu un domeniu mai larg de detectare a accelerației, dar cu o rezoluție mai scăzută, sunt folosiți atunci când aceștia sunt montați în partea din față a automobilului (cunoscută în literatura tehnică ca senzori „High – g”). Sunt capabili să detecteze valori de accelerație între ± 60 g cu 8 digit/g, ± 120 g cu 4 digit/g, ± 240 g cu 2 digit/g, ± 480 g cu 1 digit/g (exemple: Anexa C, punctul 3). Timpul de reîmprospătare a datelor este cuprins între 250-330 μ s.

În cele ce urmează se prezintă o diagramă care scoate în evidență date reale pentru o coliziune frontală (la 56 km/h). Datele au fost achiziționate la 10 kHz de la ieșirea analogică a unui senzor de accelerație. Direcția de măsurare a accelerației este identică cu direcția de deplasare a mașinii, iar plasarea senzorului este în centrul de greutate al automobilului (CG). A fost ales acest senzor pentru că informația care este livrată conține mai multe detalii despre întregul eveniment de coliziune decât în cazul unui plasat în jurul barei de protecție. În majoritatea cazurilor, senzorul plasat în CG supraviețuiește coliziunii, astfel informațiile sunt utile pentru studierea caracteristicilor coliziunii, cât și la studierea comportamentului mecanic al automobilului.

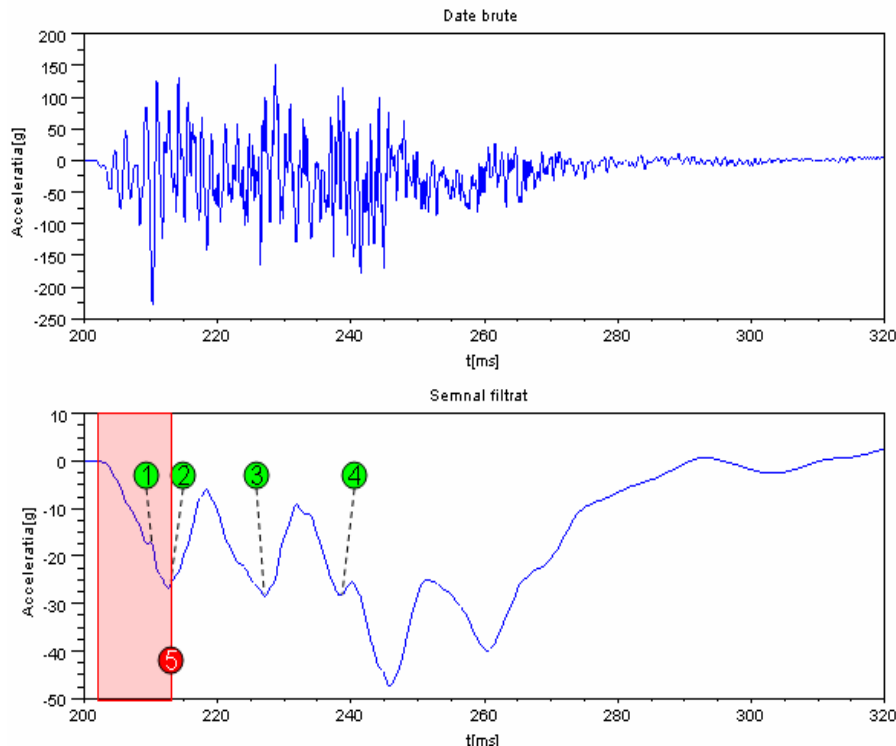


Figura 50 – Accelerația (decelerația) măsurată în cazul unei coliziuni reale (56 km/h, 10kHz)
 1 – deformare bara de protecție; 2 – deformare cutie de coliziune; 3 – deformare structura caroseriei; 4 – deformare bloc motor; 5- decizia UCE pentru activarea sistemelor de protecție

Prima imagine de pe figura de mai sus prezintă semnalul brut (nefiltrat) cu toți parametrii perturbatori și frecvențele înalte suprapuse peste informația utilă. Pentru a identifica datele utile, semnalul trebuie în primul rând prelucrat, adică filtrat. Alegerea corectă a filtrului de date constituie primul criteriu pentru a crea un sistem efectiv de detectare a coliziunii. Senzorii care includ și un ASIC au un filtru analogic HW încorporat, care are rolul de a tăia frecvențele înalte. Acest lucru este urmat de un filtru digital implementat în SW înainte de a oferi datele utile pentru algoritmi de detectare a coliziunii. Rata de achiziție a datelor fiind mare (2-4kHz), procesul de filtrare a datelor necesită o putere de procesare sporită [H.2].

Pentru reprezentarea datelor utile autorul a dezvoltat un filtru trece jos IIR (Infinite Impulse Response) SW (detalii: Anexa C, punctul 1). După aplicarea acestui filtru și centrarea asupra zonei utile de date, se poate identifica particularitatea curbei coliziunii (figura de mai sus). Poate fi identificată și deformarea (elasto - plastică) elementelor structurale, la fel și proprietățile de absorbție a energiei de către diferitele componente. Zonele 1-4 coincid cu cele modelate în capitolul „Model structural al automobilului în cazul coliziunii frontale”. Domeniul marcat cu „5” de pe figură arată domeniul în care UCE culege informația necesară pentru luarea deciziei de declanșare a sistemelor de protecție pasageri. Succesiunea evenimentelor după luarea deciziei a fost prezentată în capitolul „Coliziune frontală”.

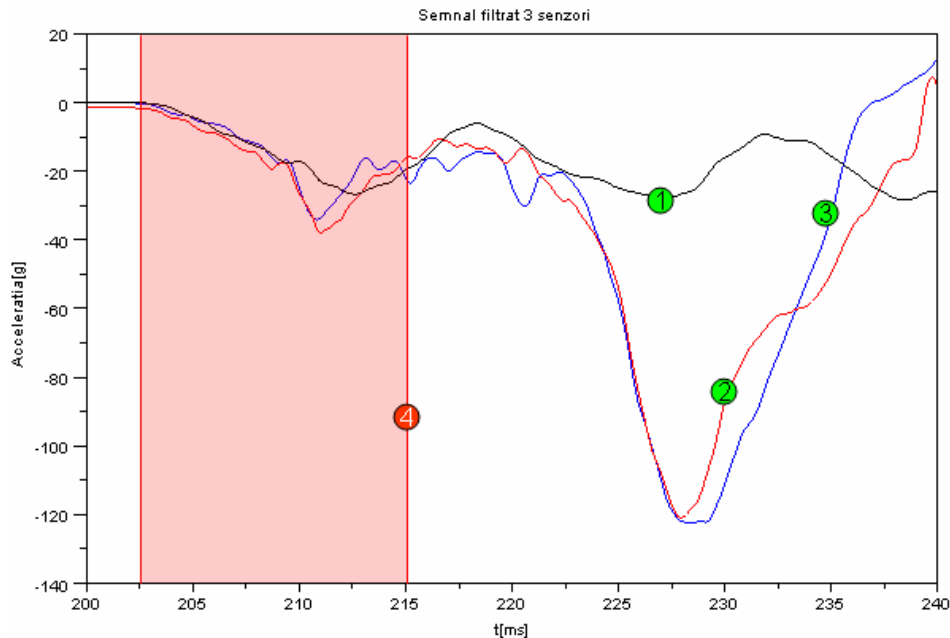


Figura 51 - Date de coliziune frontală de la 3 senzori de accelerație
 1 - Senzor plasat în CG; 2 - Senzor plasat în fața mașinii, stânga; 3 - Senzor plasat în fața mașinii, dreapta; 4- decizia UCE pentru activarea sistemelor de protecție

Datele provenite de la senzori sunt stocate în fișiere standard (ISO 6487), folosite la automobilele de testare coliziune. Autorul a dezvoltat un SW care poate citi și interpreta datele din aceste fișiere cu formatul lor specific și permit prelucrarea acestora.

Figura de mai sus prezintă semnalele provenite de la trei senzori de accelerație care detectează același eveniment în cazul coliziunii frontale. Mașina de test a avut viteza de 56 km/h în momentul coliziunii, iar semnalul a fost filtrat și focalizat la începutul evenimentului de coliziune. Doi dintre senzori au fost montați în apropierea barei de protecție (stânga „3” respectiv dreapta „2”), unu în CG al mașinii notat cu „1” pe figură. Domeniul marcat cu „4” indică zona în care algoritmi trebuie să ia decizia de declanșare a sistemelor de siguranță. Analizând figura de mai sus, putem observa că semnalul provenit de la cei doi senzori montați în fața mașinii „2” respectiv „3” confirmă caracterul coliziunii „total” frontale (cu un unghi de incidentă zero față de direcția deplasării), prin mărimea aproximativ identică a decelerației. Semnalul provenit de la senzorul montat în CG al mașinii are o mărime mai redusă (aproximativ cu 10g) și un defazaj în timp de aproximativ 3 ms a informației, care confirmă poziția de montaj a acestuia.

4.3.1.2 Senzori de presiune

Cele prezentate anterior au arătat caracteristicile senzorilor de accelerație și comportamentul acestora. În următoarele vor fi analizați senzorii de presiune care, de obicei, sunt montați în ușa automobilului și au rolul de a detecta coliziunile laterale. Acești senzori folosiți în domeniul de siguranță pasivă au următorii parametri de funcționare (exemple: Anexa C, punctul 3):

- Domeniul de presiune: 20 – 250 kPa;
- Domeniul de temperatură: -40 până +125 °C;
- Tensiune de alimentare: 4.5 V – 5.5 V;
- Timp de reîmprospătare date aproximativ 100 μs.

Avantajul față de senzorii de accelerație constă în convertirea rapidă a unor valori noi măsurate, chiar înaintea senzorilor de accelerație. Acest avantaj este necesar la detectarea coliziunii laterale; dată fiind distanța mai mică dintre pasager și ușa laterală, fiecare milisecundă contează pentru salvarea vieților.

Coliziunea laterală este cel mai critic eveniment de coliziune (vezi capitolul „Coliziune laterală”), unde în aproximativ 50 ms AirBag-ul trebuie să fie umflat, iar umflarea sacului trebuie să ajungă la maxim 20-30 ms.

Mediul în care sunt amplasați acești senzori este ostil, vara ajungând temperaturi de până la +100 °C. Fiind un spațiu parțial etanșat, ușa automobilului permite pătrunderea umidității și formarea condensului, care fac mai dificilă buna funcționare a acestora. Avantajul menționat anterior ne confirmă că acest tip de senzor ar fi ideal de folosit uniform în automobil pentru detectarea coliziunilor de orice tip, dar de obicei prețul de achiziție și necesitatea unei cavități în care trebuie montat indică folosirea lor numai în locuri absolut necesare.

Pentru analiza caracteristicii semnalelor provenite de la acești senzori, autorul a studiat mai multe cazuri de coliziuni laterale provocate la mașini de testare. Datele provenite de la senzorii de presiune confirmă viteza rapidă și violentă a desfășurării evenimentului de coliziune laterală.

În următoarele vor fi prezentate datele înregistrate la o coliziune laterală reală, unde automobilul de test avea viteza de coliziune 29 km/h. După cum se poate identifica, în primele 20 ms după contact, presiunea ajunge la un maxim, după care scade. Scăderea presiunii se datorează deformării intense a cavității din ușa automobilului, care duce la pierderea etanșeității dintre mediul exterior și cavitate ușă. Deși informația provenită de la senzorul de presiune indică clar coliziunea, pentru siguranță, acest eveniment trebuie să fie confirmat și de la un alt senzor amplasat în apropierea senzorului de presiune. Sunt diferite combinații de

senzori și concepte care sunt folosite împreună cu informația provenită de la senzorii de presiune; în multe cazuri confirmarea evenimentului provine de la un senzor de accelerație amplasat în apropierea senzorului de presiune.

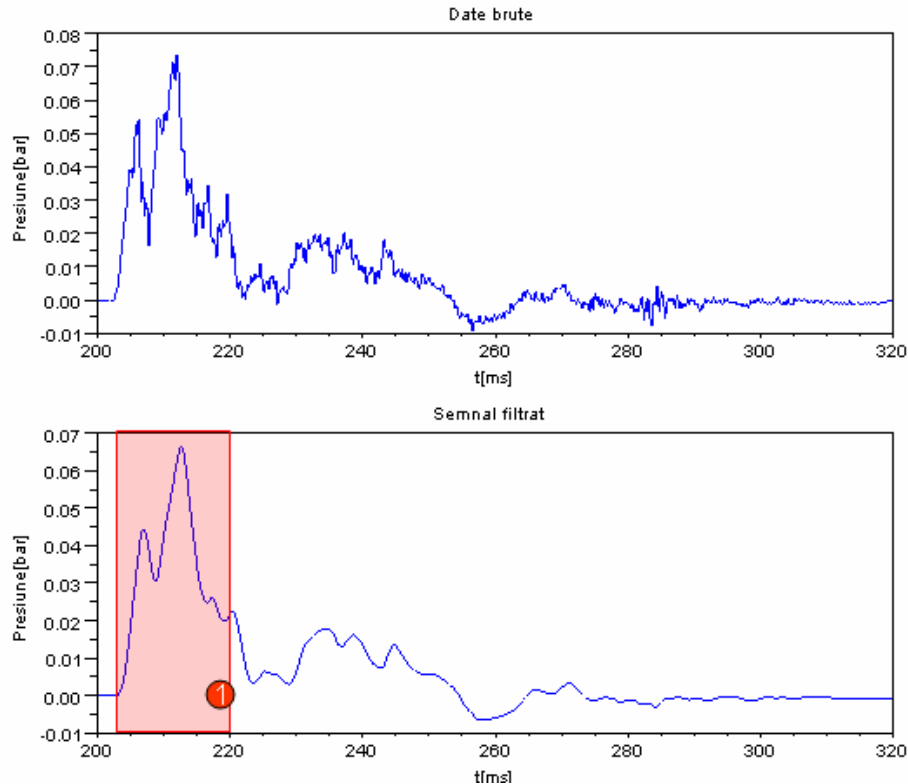


Figura 52 – Date coliziune laterală de la un senzor de presiune
1 - decizia UCE pentru activarea sistemelor de protecție

Datele brute, după cum se poate identifica de pe prima figură, conțin informații mai „clare”, cu mai puțin zgomot față de cele întâlnite la senzorii de accelerație. Asta depinde și de proprietățile filtrului de HW încorporat în senzor care determină limita de tăiere a frecvențelor înalte. Acest fapt întâlnit la senzorii de presiune constituie un avantaj inclusiv la implementarea filtrului SW în UCE, care are efect direct asupra reducerii întârzierii provocate de filtru. Acesta poate fi identificat și pe filtrul creat de autor pentru acest caz (detalii: Anexa C, punctul 2), unde gradul filtrului este redus cu un ordin de mărime, fiind un filtru SW de gradul 1.

După caracterul curbei, coliziunea poate fi ușor identificată, însă domeniul „1” în care trebuie să fie luată decizia de activare a sistemelor de protecție arată adevăratul punct critic al evenimentului. Trebuie reținut că UCE ia aproximativ 1/3 (~16 ms) din timpul necesar activării sistemelor de protecție în cazul coliziunii laterale, intervin și o serie de factori care influențează nivelul de protecție oferit (ex. poziția pasagerului în scaun sau partea (șofer sau pasager) unde are loc coliziunea).

4.3.1.3 Concluzii privind senzorii de detectare a coliziunilor

Cele prezentate în capitolele precedente legate de senzorii de accelerație și de presiune, folosiți curent în domeniul siguranței pasive, permit tragerea câtorva concluzii:

- Lanțul de achiziție a datelor este complex (transformare date în mărimi electrice → conversie → codare → transmisie → recepție → decodare);
- Pe parcursul lanțului de achiziție apar mai mulți factori perturbatori și întârzieri ale semnalului util (zgomot conversie, eroare de conversie ADC, întârziere datorată codării datelor, zgomot pe canalul de transmisie, întârziere cauzată de decodarea datelor transmise);
- Datele ajunse la UCE trebuie filtrate în SW, ceea ce cauzează o întârziere a semnalului util și necesită o putere de procesare sporită;
- Frecvența de achiziție a datelor ajunge în cadrul siguranței pasive la 2 – 4 kHz, ceea ce face ca aceste sisteme să aibă cerințe înalte de răspuns în timp real (denumite în literatura de specialitate „Hard Real – Time embedded systems”);
- Senzorii de accelerație sunt folosiți pe scară largă în domeniul siguranței pasive. Domeniul de măsurare diferă în funcție de locul unde sunt montați și de funcționalitatea pe care o realizează. Cei montați în fața mașinii au un defazaj în timp în informația utilă față de cei montați în CG al automobilului;
- Senzorii de presiune sunt mai performanți, livrează date utile în timp mai scurt, însă au dezavantajul de a avea prețuri de achiziție mai ridicate și necesitatea unei cavități în care să fie montați;
- Senzorii trebuie să fie robusți și siguri, să reziste la temperaturi scăzute și ridicate, în medii ostile.

Având aceste informații la bază autorul va prezenta în cele ce urmează concepte noi care permit optimizarea unora sau mai multor factori necesari la senzorii folosiți în domeniul siguranței pasive. Autorul subliniază că aceste idei au fost propuse pentru patentare în cadrul companiei Autoliv în 2009, acțiune care se află în curs de omologare.

4.3.2 Optimizarea lanțului de achiziție date

Avansul tehnologic făcut în ultimii ani în domeniul electronicii/ telecomunicațiilor/ informaticii, e prezent în structura automobilelor de astăzi. Dacă la început în automobile funcționalitățile și comanda acestora erau realizate pe cale mecanică, astăzi tendința este de înlocuire a acestora cu soluții sofisticate mecatronice. În aceste sisteme accentul este pus pe comanda/controlul electronic al acestora prin SW. Deși aceste trenduri noi constituie un avantaj net față de vechile sisteme, induce complexitatea comunicării în cadrul noilor structuri.

Dacă luam în considerare doar conductorii care sunt folosiți pentru conectarea senzorilor la UCE sau la rețeaua de comunicare din UCE, rezultă o lungime de peste 4 km de cabluri într-un singur automobil. Această cantitate de cabluri constituie aproximativ 70 kg din greutatea automobilului. Materialul de bază din care sunt fabricate aceste cabluri este cuprul, iar prețul acestuia este semnificativ pe piața mondială [C.2] și se află în creștere. Acest preț este direct reflectat în prețul automobilului.

Primele tendințe cu privire la eliminarea acestor cabluri încep să se manifeste; un exemplu referitor la automobile este MOST (vezi anexa A, „Protocoale de comunicare în automobile”). În această soluție, în loc de mediul electric de transmitere a datelor este folosit mediul optic, însă focalizarea se referă doar asupra rețelei de comunicare dintre unitățile electronice.

Autorul propune folosirea mediului optic (fibra optică) pentru realizarea comunicației dintre senzori și UCE folosiți în domeniul siguranței pasive. Numărul senzorilor fiind mare (aproximativ 70 de bucăți/ automobil), soluția propusă ar aduce beneficii semnificative.

Folosirea fibrelor optice aduce o serie de avantaje față de cabluri:

- Fibra optică pierde 3% din puterea optică de intrare pe o lungime de 100 m, față de un cablu electric care pierde 99.37 % din puterea semnalului de intrare la același lungime [W.19];
- Sunt mai ușoare decât cablurile fabricate din cupru de aproximativ 2.4 ori [W.19];
- Sunt mai ieftine decât cablurile din cupru [F.5];
- Prezintă imunitate la interferențele electromagnetice;
- Puterea mică de consum energetic evidențiată prin curentul mic de aproximativ 20 mA, față de soluțiile electronice la care consumul ajunge până la 70 mA la anumite categorii de senzori, cu interfața de comunicare încorporată în ei.

Un aspect care trebuie soluționat prin conceptul propus este că senzorii din domeniul siguranței pasive folosesc același cablu prin care sunt trimise datele utile ca și cablul de alimentare (vezi capitolul „Interfețe de comunicare ale senzorilor pentru detectarea coliziunilor”). Soluția propusă de autor este una simplă: rearanjarea lanțului tipic de achiziție date (vezi figura 49) în felul prezentat în figura de mai jos.

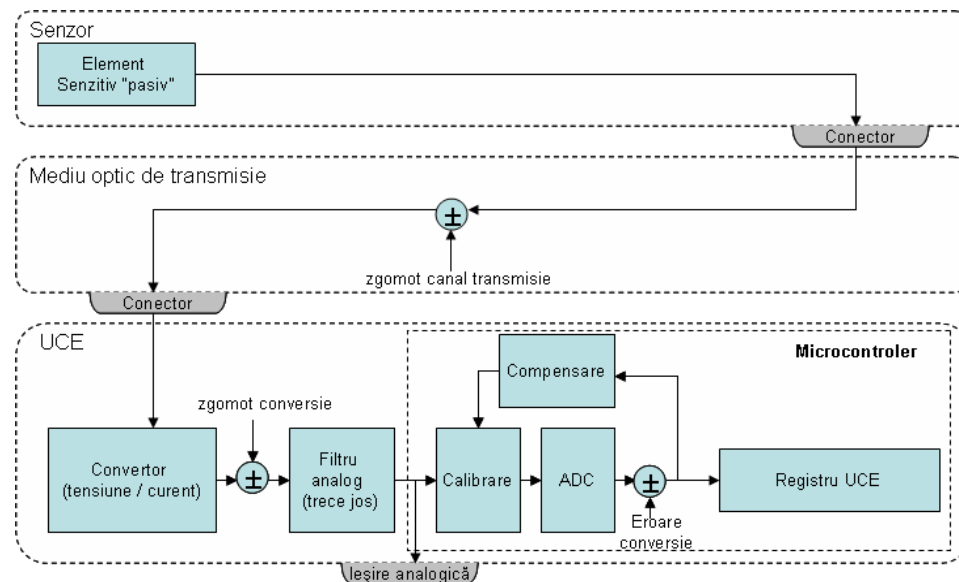


Figura 53 – Lanțul de achiziție date senzori folosind mediul optic

Rearanjarea lanțului de achiziție date aduce separarea elementului senzitiv (denumit de autor „Element Senzitiv pasiv” sau ES pasiv) de componentele electronice.

Avantajele aduse de conceptul propus:

1. Separă cele două părți: electronica de elementul senzitiv;
2. Eliminarea electronicii și a cablurilor conductorilor din construcția sensorului îl face pe acesta imun la interferențe electromagnetice;
3. Reduce dimensiunile sensorului datorită eliminării electronicii din structura sensorului;
4. Simplifică procesul de fabricație, care duce la scăderea costurilor de fabricație;
5. Elimină din lanțul de achiziție întârzierile cauzate de serializarea datelor din partea de transmisie, respectiv decodarea acestora la partea de UCE.
6. Rata de eșantionare nu mai depinde de abilitățile circuitului electronic (ASIC) încorporat în senzor, poate fi liber ales de UCE, și de abilitățile acestuia. Frecvența de achiziție uzuală de 2 – 4 kHz cunoscută de la sistemele de siguranță pasivă poate fi ușor depășită. Aceasta are ca efect îmbunătățirea abilităților algoritmului de a detecta coliziunile. De asemenea, permite sistemelor care au convertor analog – digital (ADC) mai puțin performant să crească rata de eșantionare (cunoscută în literatura tehnică ca metoda „oversampling”) pentru a atinge performanțe comparabile ADC cu rezoluție mai mare.
7. Deteriorarea informației transmisă prin mediul optic este mai mică decât în cel electric.
8. Filtrul analog trece – jos din figura anterioară poate fi ajustat în funcție de necesitățile sistemului. Aceasta are ca efect reducerea puterii de calcul necesară implementării filtrului de semnal în SW (vezi capitolele anterioare „Senzori de accelerație/presiune”). Având un filtru SW cu un grad mai scăzut, întârzierea procesării semnalului scade.
9. Tipul semnalului optic care este emis prin mediul optic poate fi ales în funcție de felul aplicației (ex. lumină infraroșie/vizibilă/ultravioletă). Felul în care este transmisă informația depinde de aplicație (ex. nemodulată/modulată (în amplitudine sau în frecvență)).
10. Având mai puține componente, senzorii care sunt pasivi (fără electronică), sursele de defectare și de erori se reduc.

Pe lângă avantajele prezentate de mai sus, pot fi identificate și câteva dezavantaje legate de conceptul propus:

1. Eliminarea electronicii din structura senzorilor favorizează suprapunerea zgomotului de pe canalul de transmisie peste semnalul util. Acest neajuns este parțial compensat prin schimbarea mediului de transmisie din electric în optic (vezi punctul 2, 7 din avantajele menționate).
2. UCE trebuie să realizeze compensarea semnalului, care duce la creșterea puterii de procesare în partea de SW. Aceasta poate fi compensată prin cele menționate în punctul 8.
3. Strategia de testare pentru determinarea avariei acestor senzori trebuie implementată la partea de UCE. Acesta se reflectă printr-un model mai complicat de achiziție de date care urmează să fie realizat în partea de SW. Acesta, odată implementat în SW poate fi refolosit ușor pentru diferitele tipuri de UCE. Permite un mod deschis pentru introducerea sau optimizarea mecanismelor SW sau schimbarea strategiilor de testare în diferite faze ale funcționării automobilului (ex. pornire sau funcționare normală).

Analizând cele constatate mai de sus, este evident avantajul oferit de conceptul optoelectronic propus, care urmează să fie validat pe parcursul încercărilor experimentale.

4.3.3 Senzor optic de presiune pentru aplicații de siguranță pasivă

Folosind conceptul prezentat legat de optimizarea lanțului de achiziție prin introducerea mediului optic, în următoarele autorul prezintă modelul matematic pentru realizarea unui senzor de presiune.

După cum a fost prezentat în schema bloc din figura 53, un astfel de senzor constă din următoarele părți:

- Element senzitiv „pasiv”;
- Mediul comunicare;
- Convertor de informație în mărimi electrice (tensiune/curent).

Elementul senzitiv (ES) este cel mai important dintre cele menționate, acesta este cel care determină metoda prin care se va modula informația optică cu semnalul util care urmează să fie cuantificat. Odată ce semnalul ajunge la UCE, partea de conversie capătă un rol important; aceasta are în compoziție și un filtru HW trece – jos la intrarea căruia este aplicat semnalul.

4.3.3.1 Generalități despre senzorii optici

Lumina transmisă prin fibra optică are anumite caracteristici care depind de parametri ca: intensitate, fază, lungime de undă sau polarizare. Prin detectarea variației acestor parametri, cauzată de informația care urmează a fi măsurată, senzorii pot fi implementați să măsoare o gamă largă de proprietăți fizice (ex. presiune, solicitări, lungime, temperatură, accelerație, vâscozitate, vibrații, curent, câmpuri electrice, câmpuri magnetice) [J.1].

Senzorii optici au deja o gamă largă de domenii de aplicație, de exemplu:

- Monitorizare țevi de gaz sau țigeli (temperatura și solicitări ale acestora);
- Monitorizare baraje sau poduri (presiune, solicitare construcție);
- Submarine – senzorii (optici) acustici sunt folosiți pentru supravegherea fundului mărilor;
- Aviație – pentru detectarea presiunii în camera de ardere a motoarelor cu propulsie;
- Domeniul automobilelor – senzori de detectare a greutateii și prezenței pasagerilor în scaune;
- Medicină – senzori de determinare a nivelului glucozei, sau măsurării pH.

Fibra optică folosită pentru realizarea acestor senzori poate să fie „Single – mode” sau „Mono – Modal” (notat de autor cu „SM”) sau „Multi – mode” (MM). Primul (SM), permite pătrunderea unui singur fascicol de lumină în fibra optică (având miezul foarte subțire), celălalt (MM) permite pătrunderea mai multor fascicule de lumină (având miezul mai mare). Figura de mai jos exemplifică aceste două tipuri de fibră optică generic folosită în aplicații optice [C.4].

Diametrul miezului poate să difere în funcție de tipul de fibră optică. Varianta de fibră optică cel mai des întâlnită în sistemele audio este POF (fibra optică din plastic) care poate avea un miez de 980 μm ; dacă am lua în considerare și învelișul, diametrul poate ajunge la 1 mm.

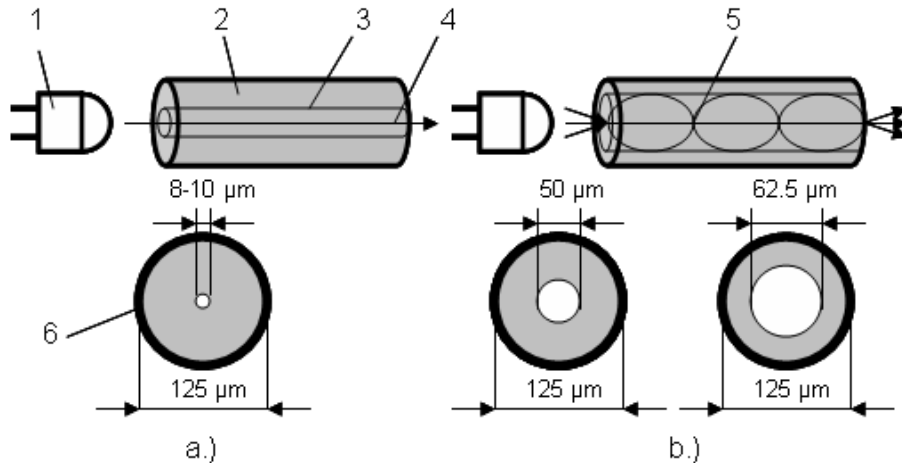


Figura 54 – Exemple de fibre optice

1 – sursă de lumină; 2- Înveliș cu indice de refracție mai mică decât miezul; 3- miezul cu indice de refracție mai mare decât manta; 4 – Fascicol de lumină pătrunsă pe fibra optică; 5 – Fascicule de lumină pătrunse în fibra optică; 6 – Înveliș de protecție fibră optică;
a.) Fibră optică „Single - Mode”; b.) Fibră optică „Multi - mode”

Materialul din care este fabricată fibra optică este de mai multe feluri:

- **Fibră optică din sticlă** – unde miezul și învelișul sunt fabricate din material cu conținut de Siliciu, folosit în telecomunicații de la bun început;
- **Fibră optică mixtă** – cu miezul din material cu conținut de Siliciu, dar cu învelișul fabricat din plastic, pentru a întruni abilitățile celor două materiale. Este folosită în telecomunicații pentru transmisii la distanțe mari.
- **Fibră optică din plastic** – cunoscută în literatura tehnică sub numele POF (Plastic Optical Fiber). În acest caz, miezul și învelișul sunt fabricate din plastic. Materialele de bază folosite pentru fabricație sunt: Polimethyl Metacrilate, Policarbonat, Polistiren. Datorită pierderilor mai mari decât cele întâlnite la fibrele optice din sticlă, aceste tipuri de fibre sunt folosite la transmiterea informațiilor la distanțe mici sau în domeniul casnic [B.4].

Fibra, care leagă elementul sensibil la dispozitivul de măsurare, trebuie aleasă în funcție de mediul în care urmează să fie folosit sensorul optic. Dacă mediul în care se întâmplă măsurarea are o temperatură ridicată, sunt folosite fibre optice preparate din materiale speciale care rezistă la temperaturi ridicate. Cercetările existente arată folosirea cu succes a materialelor bazate pe SiO_2 pentru fabricarea senzorilor optici [C.6] la temperaturi de peste 900°C . Cercetătorii de la NASA au prezentat o soluție pentru construcția senzorilor optici, care folosește în compoziția lui zefirul, ajungând astfel la temperaturi de operare de până la 2000 de grade Celsius [N.3].

Analizând soluțiile existente pentru fabricarea senzorilor optici, putem identifica diferitele principii care stau la baza funcționării acestora [F.6, W.20, J.1, K.1, C.3]:

- **În funcție de mediul sensibil** – senzorii optici pot fi extrinseci sau intrinseci. În cazul senzorilor extrinseci, fibra optică are rolul de a transporta lumina la un dispozitiv extern unde va avea loc modulația informației. În realizarea acestor senzori pot fi folosite mai multe

cabluri (emițător – receptor) sau o singură fibră optică, realizând amândouă funcționalități în același timp. În cazul senzorilor optici intrinseci are loc o variație a caracteristicilor fizice ale fibrei care corespunde informației utile, adică fibra optică în sine este elementul sensibil. Tipurile de senzori optici sunt exemplificate în figura de mai jos.

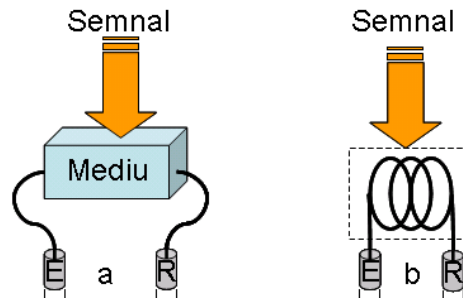


Figura 55 – Senzor optic extrinsec (a), intrinsec (b)
E – emițător; R – receptor

- **Bazat pe modul de operare (modulare semnal)** – pot fi clasificați în:
 - a. modulați în intensitate – acest principiu se bazează pe detectarea pierderii semnalului optic în funcție de informația măsurată. De obicei aceste tipuri de senzori optici au o construcție simplă, folosesc fibre optice de tip MM POF, care duc la costuri de fabricație reduse. Precizia care poate fi obținută la acești senzori este mai mică decât la interferometre, dar au avantajul că partea electronică care transformă semnalul util în semnal electric este mult mai simplă de realizat decât la interferometre optice. În figura de mai jos sunt prezentate câteva soluții de implementare larg folosite („a”, „b”, „c”). Implementările „a” și „b” sunt soluții extrinseci, unde mediul este modulat în funcție de informația utilă. Implementarea prezentată pe „c”, este o soluție intrinsecă, unde aplicarea forței pe cele două suprafețe îndoaie fibra optică cauzând schimbarea caracteristicii fasciculelor transmise prin aceasta.
 - b. modulați în fază (interferometre) – aceste tipuri de senzori au o precizie și rezoluție de semnal util foarte ridicată. Una dintre cele mai folosite soluții este „Fabry - Perot” bazată pe interferența mai multor raze de lumină care constă din două oglinzi semitransparente și un mediu reflectiv.
 - c. modulați prin polarizare – sunt două direcții mari în realizarea acestor tipuri de senzori optici [J.1]: implementări care folosesc efectul Faraday și cele cu efectul foto-elastic. Primul este folosit pentru măsurarea câmpurilor electrice sau magnetice, pe când celălalt pentru măsurarea presiunii. În figura de mai jos este prezentată o soluție pentru un asemenea senzor („d”), unde forța aplicată pe elementul foto-elastic schimbă caracteristica luminii polarizate transmise.

Cele mai uzuale soluții pentru realizarea mediului modulator sunt prezentate în figura de mai jos [M.1].

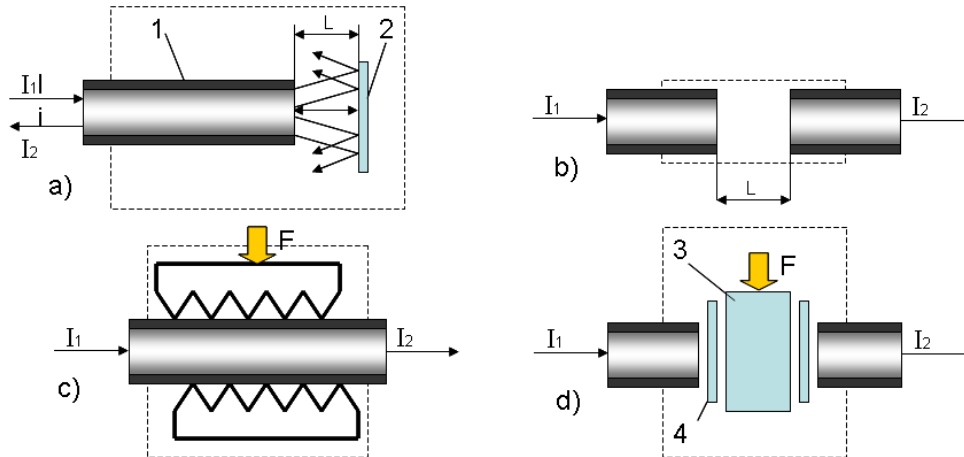


Figura 56 – Soluții și principii uzuale folosite la senzorii optici
 1 – Fibră optică; 2 – Oglindă; 3 – Element opto-elastic; 4 – Polarizor de lumină;
 I_1 – Intensitate de lumină la intrare; I_2 – Intensitate de lumină la ieșire; F – forță

4.3.3.2 Selectarea conceptului de implementare a senzorii optic de presiune

Analizând principiile de funcționare în funcție de cerințele din domeniul automobilelor, putem trage următoarele concluzii:

| Principii de funcționare | Comentarii autor | Calificativ |
|--|--|-------------|
| Mediu senzitiv intrinsec | <ul style="list-style-type: none"> - De obicei acești senzori au dimensiuni mai mari, datorită faptului că fibra în sine este elementul senzitiv. - Timpul de viață al senzorului este determinat de caracteristicile fibrei, fiindcă elementul senzitiv este fibra în sine (ex. caracteristica de obosire la încovoiere a fibrei, figura 56 „c”). | - |
| Mediu senzitiv extrinsec | <ul style="list-style-type: none"> - Fibra optică are rolul de a transmite și recepționa informația de la un element senzitiv. - Arată o flexibilitate mai mare datorită faptului că cele două medii (comunicare, respectiv sesizare informație) sunt separate. De asemenea, fibra optică în elementul senzitiv poate fi diferită față de cea folosită la comunicare, lăsând opțiunea de a fi aleasă pe baza specificațiilor necesare pentru un caz anume. | + |
| Modularea în intensitate a informației utile | <ul style="list-style-type: none"> - Construcție simplă de senzor, permite folosirea fibrelor MM POF. - Fibra optică are rolul de a colecta informația optică, este implicată în mod indirect în conceptul de | + |

| | | |
|--|--|---|
| | sesizare. - Costuri reduse de implementare. | |
| Modulare în fază a informației optice | - Deși interferometrele optice sunt de înaltă precizie și de multe ori sunt folosite ca și etaloane pentru alți senzori, partea electronică de demodulare și obținere a informației utile este dificil de realizat. - Costuri ridicate de implementare la partea de demodulare. | - |
| Modulare prin polarizarea informației optice | - Acest tip de senzor are un număr ridicat de componente în construcția lor. - Elementele constructive pot fi sensibile la variațiile de temperatură. - Costurile de producție sunt mai ridicate față de soluțiile menționate anterior. | - |

Din tabelul de mai sus reiese că soluția optimă pentru crearea unui senzor optic folosit în domeniul automobilelor este: **un senzor optic extrinsec, modulat în intensitate.**

4.3.3.3 Selectarea conceptelor pentru modelarea senzorului optic de presiune

Bazat pe cele precizate anterior, autorul a ales ca punct de plecare conceptul prezentat pe figura 56, „a”, unde modularea informației utile are loc prin variația distanței dintre fibra optică și suprafața reflectantă. Pentru convertirea informației presiunii în mărimi de deplasare (raportat la capătul fibrei optice), autorul a ales să folosească o membrană elastică [D.5]. În funcție de modul de fixare a membranei, pot fi identificate două moduri: cu membrană rezemată sau cu membrană încastrată pe contur:

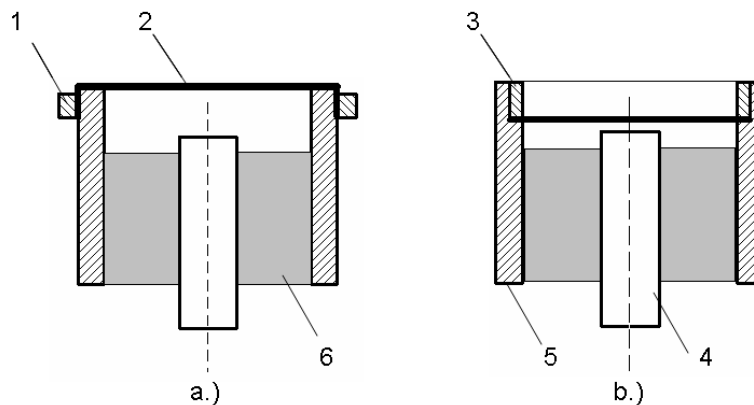


Figura 57 – Soluții de implementare senzor optic de presiune cu membrană elastică
a.) Membrană rezemată pe contur; b.) Membrană încastrată pe contur; 1- Inel exterior fixare membrană; 2 – Membrană elastică; 3 – Inel interior fixare membrană; 4 – Fibră optică; 5 – corp element sensibil; 6 – material fixare fibră optică

Avantajul construcției cu membrană încastrată pe contur față de cel cu membrană rezemată este compactitatea soluției obținute. Pe de altă parte procesul tehnologic necesar pentru producerea elementelor este mai complicat pentru varianta cu membrană încastrată. Un alt avantaj al soluției cu membrană încastrată constituie faptul că membrana este ferită de muchii exterioare ale corpului elementului senzitiv, cât și de contactul corpurilor străine de pe partea exterioară a sensorului. Ținând cont de argumentele aduse, reiese că varianta cu membrana elastică încastrată are avantaje semnificative la implementare.

Dacă analizăm modul de operare și electronica necesară pentru implementarea sensorului, constatăm că realizarea părții de emisie recepție poate avea câteva constrângeri. Astfel, pentru obținerea informației utile ar fi necesară o rată mare de eșantionare, o comutare rapidă între transmisie și recepție sau o componentă electronică care să aibă ambele părți integrate în aceeași capsulă. O altă soluție ar fi folosirea unui divizor optic (cunoscut în literatura de specialitate sub numele de „splitter”), dar acesta ar crește semnificativ costul produsului. Autorul propune o soluție simplă, rezonabilă ca și concept dar și ca preț, prin folosirea a două fibre optice montate în paralel una lângă cealaltă în corpul sensorului optic. Pentru realizarea senzorilor optici de presiune diferențială este necesară o gaură de intrare pentru presiunea de referință (în cazul actual presiunea atmosferică). Această soluție este prezentată în figura următoare (figura 58 „a”, poziția 7), care poate să fie generalizată și la alte variante de implementare.

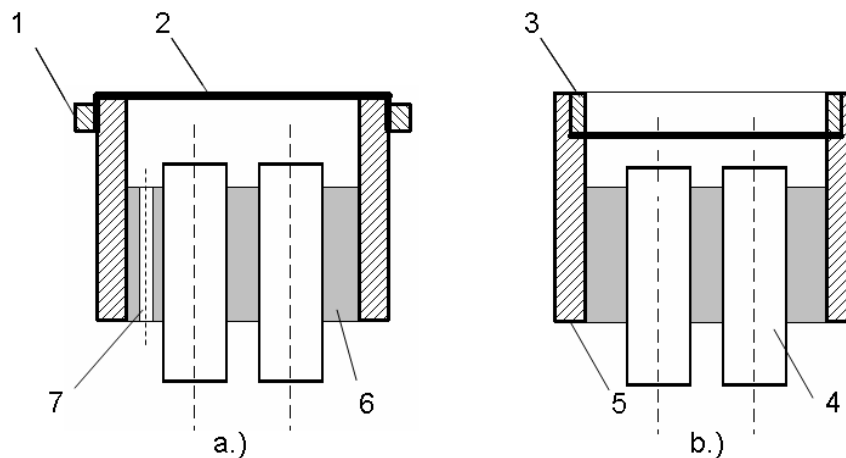


Figura 58 – Soluție de implementare pentru senzor optic de presiune cu două fibre optice
a.) Membrană rezemată pe contur; b.) Membrană încastrată pe contur; 1- Inel exterior fixare membrană; 2 - Membrană elastică; 3 - Inel interior fixare membrană; 4 - Fibră optică; 5 - corp element senzitiv; 6 - material fixare fibră optică; 7 - Gaură de intrare presiune atmosferică

4.3.3.4 Modelarea matematică a senzorului optic de presiune

Modelarea matematică a senzorului constituie un ajutor în luarea deciziilor corecte în faza de proiectare. Având la bază modelul, pot fi simulate ușor situațiile limită, combinații de proprietăți ale componentelor constructive și astfel este posibilă o

optimizare precoce a conceptului. Modelul matematic al senzorului include o serie de sub-modele responsabile pentru o funcționalitate, astfel:

- Modelul matematic al deformării membranei
- Modelul matematic al reflexiei razelor de pe membrană

Toate aceste modele sunt bazate pe calcule teoretice, de multe ori autorul folosește aproximări sau generalizări matematice pentru sintetizarea rezultatelor provenite din aceste modele, urmând să fie confirmate de încercările efectuate asupra prototipurilor ce urmează să fie implementate.

4.3.3.4.1 Modelul matematic al deformării membranei

Considerând membrana o placă plană a cărei grosime este mică, modelul matematic al membranei se poate reduce la cazul calculului plăcilor circulare, încastrate/rezimate simetric cunoscut din rezistența materialelor. Ipotezele care se admit sunt următoarele [M.2]:

- Secțiunea mediană a membranei după deformare rămâne cu aceeași arie ca înaintea deformării;
- Este valabilă legea lui Kirchoff, adică toate punctele aflate pe normală la suprafața mediană nedeformată rămân pe normală la suprafața mediană deformată;
- Este valabilă legea lui Hooke, adică solicitările nu depășesc limita de proporționalitate.

Sunt două aspecte importante pentru construcția modelului matematic:

- a.) Săgeata, adică deplasarea secțiunii medii deformată în funcție de sarcina uniform distribuită pe suprafață;
- b.) Calculul rezistenței membranei.

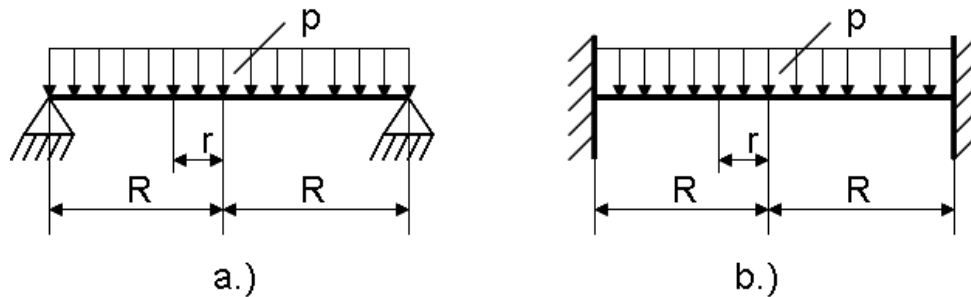


Figura 59 - Încărcarea circulară a membranelor

a.) Membrană rezemată pe contur; b.) Membrană încastrată pe contur;

R - raza membranei; p - sarcină uniform distribuită pe suprafață; r - raza punctului de interes în care se fac calculele

a.) Relațiile de calcul a săgeții pentru cazurile menționate mai sus, sunt [M.2]:

$$v = \frac{p \cdot R^4}{64 \cdot D} \cdot (1 - k^2) \cdot \left(\frac{5 + \mu}{1 + \mu} - k^2 \right) \quad 4.1$$

Pentru varianta membranei rezemate pe contur (4.1), respectiv pentru membrana încastrată pe contur (4.2):

$$v = \frac{p \cdot R^4}{64 \cdot D} \cdot (1 - k^2)^2 \quad 4.2$$

Unde k este:

$$k = \frac{r}{R} \quad 4.3$$

Iar „D” este modulul de rigiditate al plăcii:

$$D = \frac{E \cdot e^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \quad 4.4$$

b.) Pentru proiectarea membranei mai sunt necesare formulele de calcul pentru tensiunile normale radiale (σ_r), care pentru cazul membranei rezemate poate fi scrisă:

$$\sigma_r = \frac{3 \cdot p \cdot R^2}{8 \cdot e^2} \cdot (3 + \mu) \cdot (1 - k^2) \quad 4.5$$

Respectiv pentru cazul membranei încastrate pe contur:

$$\sigma_r = \frac{3 \cdot p \cdot R^2}{8 \cdot e^2} \cdot (1 + \mu - (3 + \mu) \cdot k^2) \quad 4.6$$

Rezultatele simulării modelului matematic al membranei rezemate, respectiv încastrate pe contur sunt prezentate în figura următoare.

Ce se poate identifica este faptul că pentru același material, aceleași dimensiuni și presiune aplicată pe membrană, la membrana rezemată deformările sunt mai mari. Pentru cazul prezentat mai jos magnitudinea este 4 la 1 pentru membrana rezemată pe contur față de membrana încastrată. Acest comportament poate să constituie un avantaj în faza de proiectare a senzorului, permițând sensibilitate sporită la aceleași dimensiuni. În același timp acesta poate să constituie un dezavantaj care poate să cauzeze îmbătrânirea (la oboseală) mai rapidă a membranei. Pentru domeniul automobilelor timpul de viață a componentelor electronice este stabilit pentru cel puțin 15 ani, dar în majoritatea cazurilor ajunge la 20 ani de funcționare. Pe de altă parte componentele trebuie să reziste și la schimbările de temperatură și la efectele cauzate de mediul în care acționează. Caracteristica senzorului trebuie să rămână cât se poate de stabilă sub acțiunea acestor influențe exterioare. În majoritatea cazurilor sunt folosite diverse tehnici pentru diminuarea acestor influențe, cum ar fi:

- tabele cu valori de calibrare care sunt programate în senzor;
- teste în timp real pentru determinarea abaterii senzorului;
- compensare de offset semnal implementată pe partea de SW.

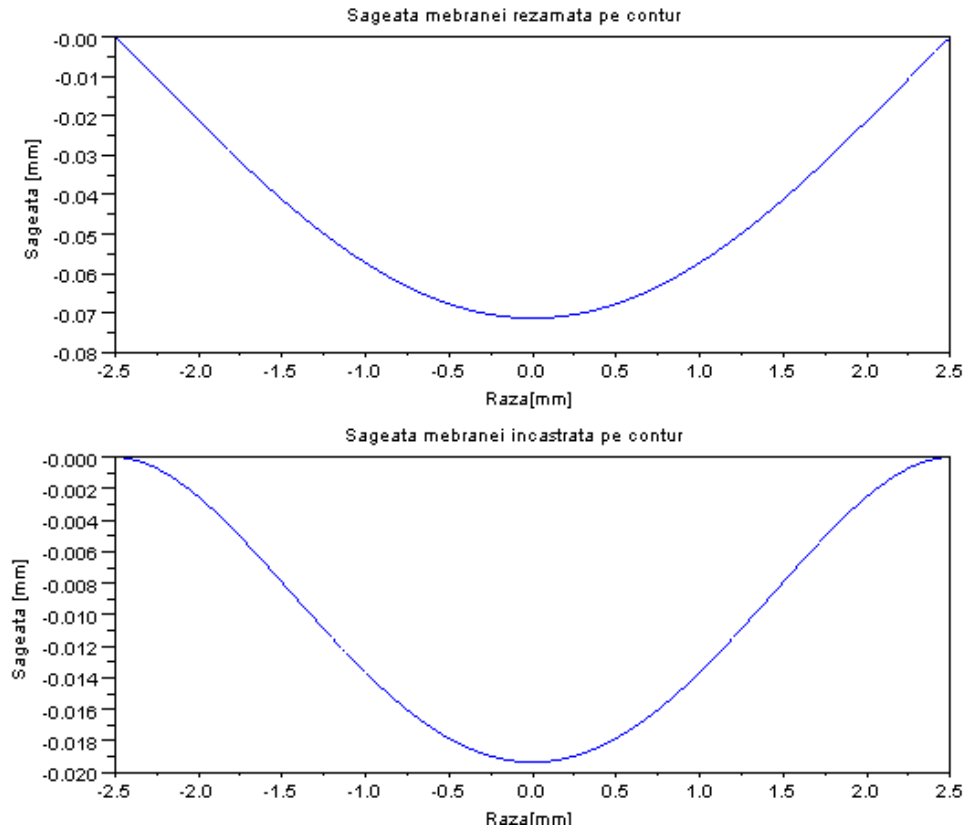


Figura 60 – Modelarea 2D a membranei rezemate respectiv încastrate pe contur

După cum se poate observa de pe figura de mai sus, deformarea membranei rezemate pe contur este mai mare decât la membrana încastrată. În modelul matematic a fost aplicată pe suprafața senzorului o presiune de aproximativ 763 Pa, pentru care a rezultat o deformare a membranei de 80 μm pentru cazul membranei rezemate pe contur, respectiv 20 μm pentru cazul membranei încastrate. Bazat pe aceste rezultate se poate trage următoarea concluzie: pentru crearea unui senzor cu o sensibilitate sporită, varianta cu membrană rezemată pe contur constituie un avantaj. Însă dacă scopul este crearea unui senzor care să permită detectarea unui domeniu mai larg de presiune, atunci varianta cu membrana încastrată pe contur constituie o alegere mai avantajoasă.

Pentru reprezentarea mai detaliată a diferențelor, autorul a creat un model 3D folosind mediul scilab [S.2] (figura de mai jos), care confirmă cele prezentate pe modelele 2D. Parametrii mecanici care au fost introduși în modelul matematic corespund unui membrane elastice (pe bază de cauciuc), având diametrul de 5 mm. Autorul a analizat comportamentul modelului dezvoltat introducând diferiți parametri pentru a determina:

- Comportamentul membranei la diferite grosimi ale acesteia;
- Comportamentul membranei având diferite proprietăți mecanice (ex. E , μ).

Mai multe detalii pot fi găsite în Anexa D, punctul 1, 2, 3.

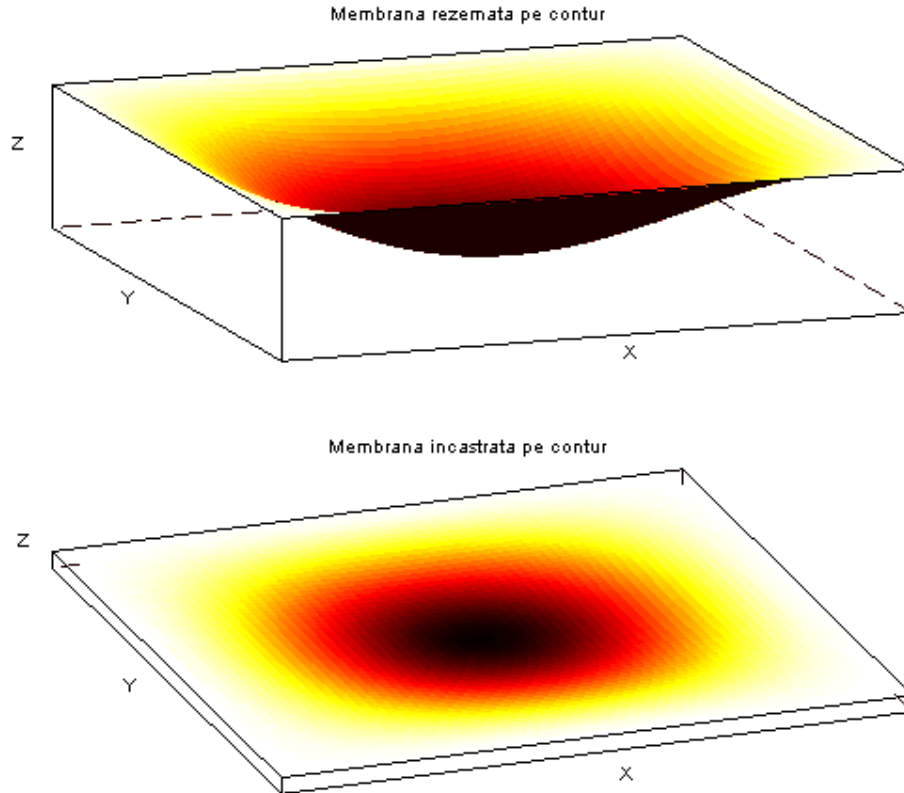


Figura 61 – Modelarea 3D a membranei rezemate respectiv încastate pe contur

În faza de proiectare a senzorului, unul dintre cei mai importanți parametri de intrare este domeniul de presiune care este aplicată pe senzor. Dacă de exemplu urmează să fie proiectat un senzor care trebuie să detecteze variații de presiune între 0 – 100 kPa, trebuie să fie schimbat unul dintre parametrii de intrare ai modelului matematic pentru a fi posibilă satisfacerea acestei cerințe. Parametrii care au influența sporită asupra valorilor de ieșire sunt (ec. 4.1):

- Diametrul membranei;
- Grosimea membranei;
- Proprietățile materialului membranei.

Dacă analizăm acești parametri, putem trage concluzia că schimbarea diametrului membranei poate avea un efect complex asupra procesului tehnologic folosit. De asemenea, corpul senzorului având un diametru mai mare favorizează apariția factorilor perturbatori (ex. vibrații). Schimbarea materialului membranei ar aduce o serie de complicații legate de fiabilitatea materialului ales și aprovizionarea acestuia. Varianta optimă, care soluționează problemele menționate mai sus, rămâne manipularea grosimii membranei în funcție de cerințele senzorului. Figura următoare prezintă rezultatul simulării pentru cazul menționat.

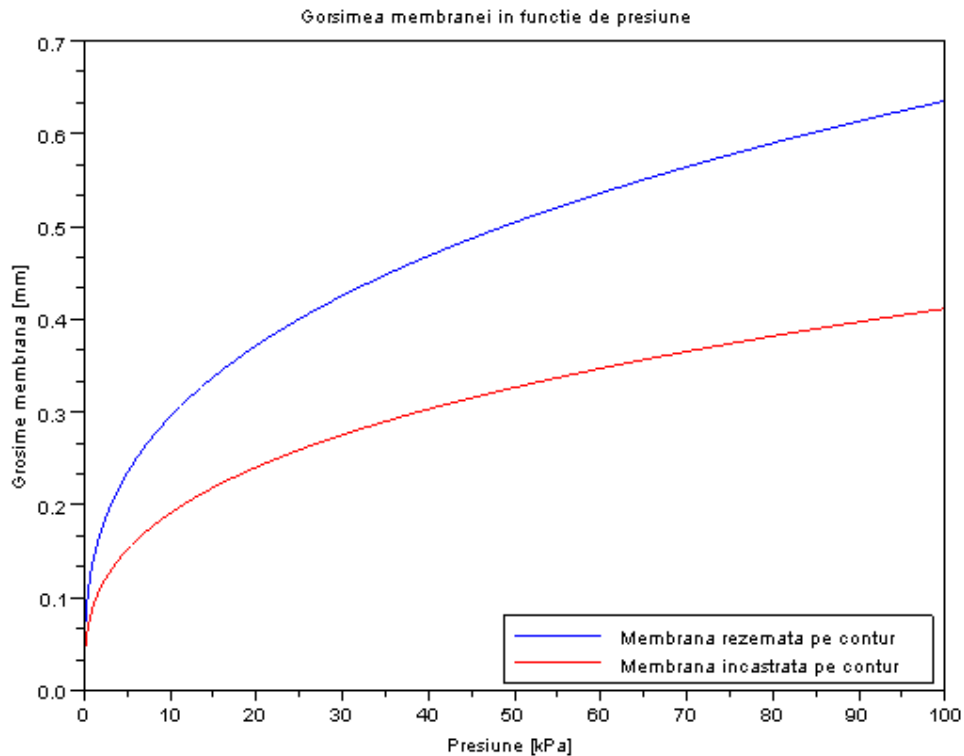


Figura 62 – Grosimea membranei în funcție de presiune

4.3.3.4.2 Modelul matematic al reflexiei razelor de pe membrană

În figura de mai jos este prezentat modul în care se produce reflexia razelor de lumină de pe suprafața membranei deformate, respectiv nedeformate, sub acțiunea unui presiuni distribuite uniform. Pentru soluția prezentată în figură, se poate vedea că în cazul în care membrana este deformată, ajung pe fibra optică de recepție mai puține fascicule de lumină reflectate. Această variație în intensitatea de lumină reflectată sub acțiunea presiunii, constituie semnalul de modulare a informației utile peste lumina transmisă. Parametrii care au o influență majoră asupra comportamentului modelului sunt:

- Distanța dintre capătul fibrelor și membrană – cazul în care distanța este mică, iar variația de semnal produsă este mai mare. Alegerea acestei distanțe trebuie să fie făcută astfel încât să fie în corelație cu presiunea maximă aplicată pe suprafață și deformația rezultată. Aceasta va determina domeniul de măsurare al senzorului optic.
- Distanța dintre fibra de emisie, respectiv recepție – Acesta are efect asemănător cu cel descris dinainte.

- Proprietățile membranei de a reflecta lumina – În funcție de materialul ales pentru membrană diferă rugozitatea, care determină difuzia fasciculelor de lumină incidente.

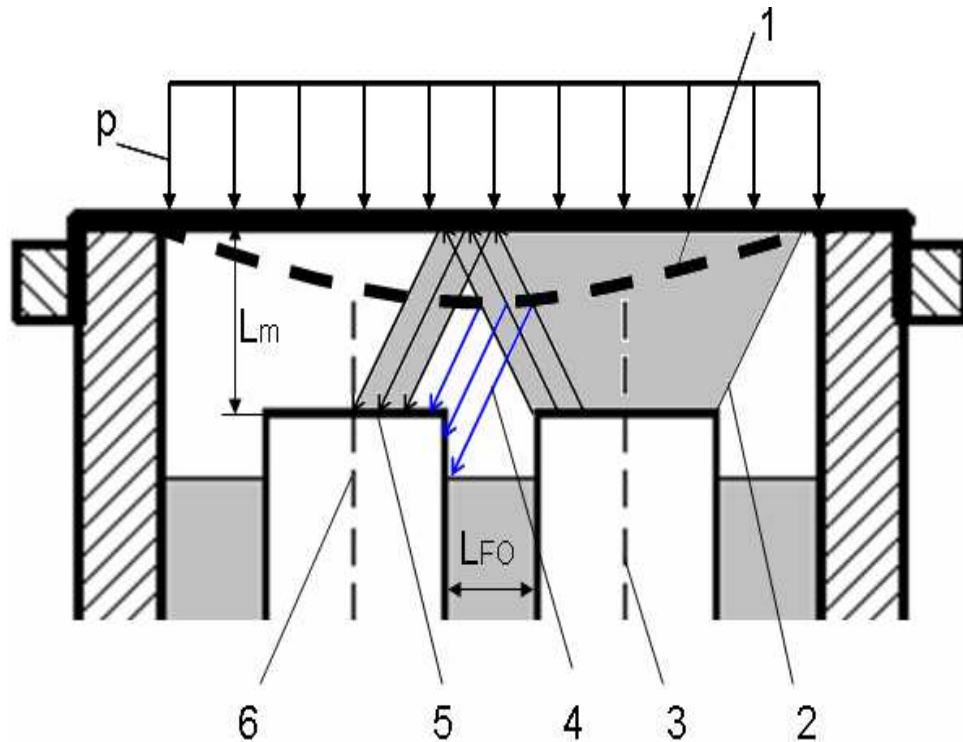


Figura 63 – Reflexia razelor de lumină de pe membrană

p – presiune uniform distribuită pe suprafață; L_m – Distanța dintre capătul fibrei optice și membrană; L_{FO} – Distanța dintre fibrele optice de transmisie - recepție; 1 – membrana deformată sub aplicarea presiunii; 2 – Razele de lumină emise de fibra optică de transmisie; 3 – Fibra optică de emisie; 4 – Razele de lumină reflectate de pe suprafața membranei deformate; 5 – razele de lumină reflectate de pe suprafața nedeformată a membranei; 6 – Fibra optică de recepție.

Bazat pe ideile menționate mai sus, autorul a creat un model matematic care simulează aceste comportamente și sunt reprezentate în figura de mai jos. Folosind acest model se poate identifica cantitatea de lumină reflectată de pe suprafața membranei, care este aproximativ 1.6% din cantitatea de lumină emisă. De asemenea, se poate identifica și distanța optimă pentru amplasamentul membranei față de capetele fibrei optice, în ideea de a obține intensitatea reflectată sporită. Datele de intrare folosite în simulare sunt următoarele:

- Fibra optică de emisie recepție POF MM (vezi capitolul „Generalități despre senzori optici”), cu miezul de 1 mm;
- Distanța dintre fibrele optice L_{FO} este de 3.4 mm;
- Unghiul de emisie 28 grade [Z.1];

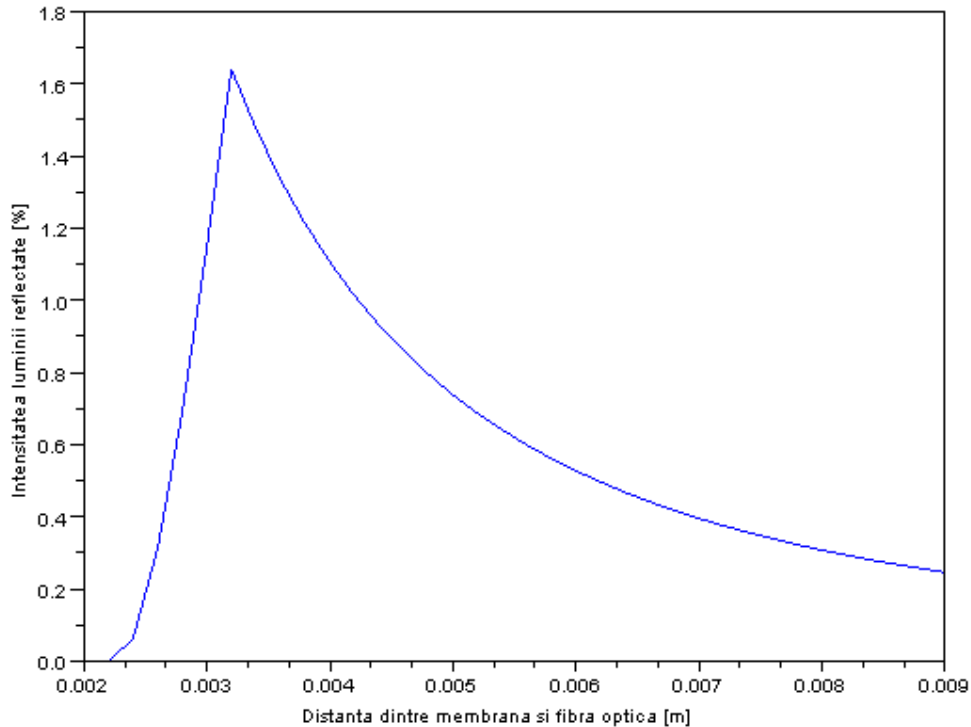


Figura 64 – Variația distanței dintre membrană și fibre optice (transmisie / recepție)

Se poate identifica de pe figura de mai sus zona în care fasciculele de lumină reflectate cad doar parțial pe fibra optică receptoare (la o distanță de aproximativ 3.5 mm). Acest punct de tranziție trebuie evitat pentru a obține o liniaritate bună pentru senzorul optic. Distanța optimă pentru amplasamentul membranei față de capătul fibrelor optice este de aproximativ 3 mm. Este posibilă o distanță mai mare de 3.5 mm, dar în acest caz liniaritatea senzorului va avea de suferit.

4.3.3.4.3 Determinarea sensibilității membranei

Sensibilitatea membranei este determinată de raportul dintre deformarea membranei sub acțiunea presiunii aplicate pe suprafață [G.1]. Deformația maximă poate fi calculată folosind relațiile de calcul a săgeții [M.2].

Astfel, pentru membrana rezemată pe contur:

$$v_{r \max} = \frac{3 \cdot p \cdot R^4}{16 \cdot E \cdot e^3} \cdot \left(\frac{5 + \mu}{1 + \mu} \cdot (1 - \mu^2) \right) \quad 4.7$$

Respectiv pentru membrana încastrată pe contur:

$$v_{i\max} = \frac{3 \cdot p \cdot R^4}{16 \cdot E \cdot e^3} \cdot (1 - \mu^2) \quad 4.8$$

Având valorile maxime ale săgeții, sensibilitatea membranei și implicit a senzorului este, pentru cazul rezemat:

$$S_{rp} = \frac{v_{r\max}}{p_{\max}} \quad 4.9$$

Pentru cazul membranei încastrate pe contur, sensibilitatea este:

$$S_{ip} = \frac{v_{i\max}}{p_{\max}} \quad 4.10$$

Unitatea de măsură este dată în [m/Pa], unde p_{\max} este presiunea maximă aplicată pe membrană.

4.3.3.4.4 Determinarea răspunsului de frecvență al membranei

Membrana senzorului optic trebuie să măsoare presiuni dinamice, astfel un parametru important constituie răspunsul de frecvență al acesteia. În literatura tehnică, calculul frecvenței naturale a membranei este echivalat cu cazul unei plăci rezemate pe contur având vibrație liberă [G.1]:

$$f_n = \frac{a_{mn}}{2 \cdot \pi \cdot R^2} \cdot \sqrt{\frac{g \cdot D}{e \cdot \rho}} \quad 4.11$$

Unde:

a_{mn} – constantă dependentă de tipul vibrației [-];

R – este raza membranei [m];

g – accelerația gravitațională [m/s²];

D - modulul de rigiditate al plăcii, se poate calcula folosind ecuația 4.4;

e – grosimea membranei [m];

ρ – densitate material [kg/m³].

Din relația de mai sus se pot identifica parametrii care au rolul cel mai semnificativ în definirea frecvenței naturale a membranei. Astfel, raza membranei (R) este unul dintre factorii determinanți ai frecvenței proprii, dar bazat pe cele descrise anterior, este de preferat ca aceasta să fie ținută constantă la o valoare definită. Următorul parametru care are rol semnificativ este grosimea membranei. Acest parametru este cel preferabil a fi modificat, în cazul în care scopul este realizarea senzorilor cu diferite domenii de măsurare.

Folosind aceste relații, autorul a creat un model matematic care reprezintă dependența dintre grosimea membranei și frecvența naturală. Acesta este prezentat în figura de mai jos.

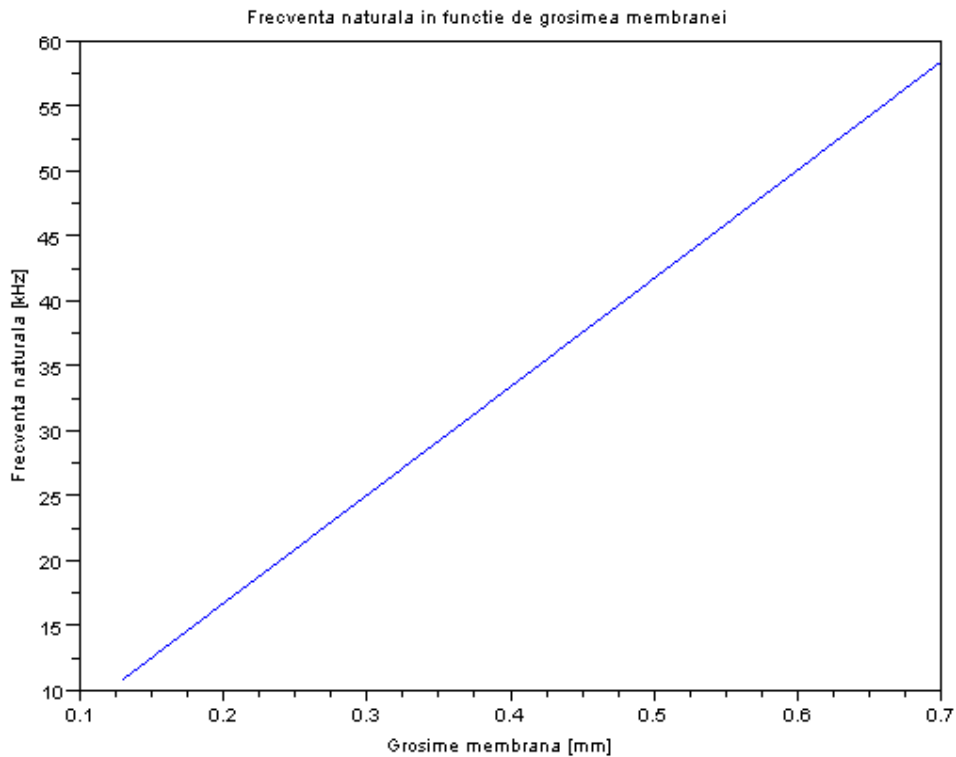


Figura 65 – Frecvența naturală în funcție de grosimea membranei

Pentru a fi sigur că răspunsul membranei la informația utilă este corect, literatura de specialitate indică că frecvența naturală a membranei trebuie să depășească de cel puțin trei ori frecvența informației măsurate.

Pentru a determina frecvența informației măsurate, autorul a analizat domeniul de frecvență a semnalelor provenite de la accidente reale (Anexa D, punctul 5). Acesta arată că frecvența vibrațiilor apărute în cazul coliziunii automobilului, măsurată de diferiți senzori este aproximativ 4 kHz. Bazat pe cele enunțate de mai sus, se poate trage concluzia că frecvența naturală a membranei folosită pentru senzorul optic de presiune trebuie să fie aproximativ de 12 kHz sau mai mare. Astfel, grosimea membranei poate fi determinată folosind figura de mai sus.

4.3.3.5 Concluzii pentru implementarea senzorului optic de presiune

Bazat pe informațiile prezentate în capitolele anterioare, reiese modelul optim de senzor optic de presiune pentru aplicațiile din domeniul siguranței pasive la automobile:

- Tipul senzorului optic: extrinsec, modulat în intensitate. Oferă o implementare ușoară și proces tehnologic simplu;

- Elementul senzitiv pasiv: membrană elastică. Pentru a obține un răspuns rapid în timp, modulul de elasticitate longitudinal al materialului membranei trebuie să fie mare (de ordinul 100 - 400 MPa). Grosimea optimă a membranei elastice începe de la 130 μm ;
- Două fibre optice POF MM (transmisie, respectiv recepție). O posibilă optimizare ar fi folosirea unei singure fibre;
- Diametrul corpului senzorului poate să fie mic, începând de la 5 mm în sus. La aceste dimensiuni poate fi aplicată aceeași carcasă de protecție folosită la senzorii de presiune obișnuiți. Câteva exemple pot fi identificate în ANEXA C, punctul 3;
- Distanța optimă a membranei față de capătul fibrelor optice este în jur de 3 mm;
- Distanța optimă dintre cele două fibre optice începe de la 3.4 mm. Aceasta depinde de diametrul fibrelor optice folosite; pentru acest caz diametrul miezului este de aproximativ 1 mm.

4.3.4 Senzor optic de accelerație pentru aplicații de siguranță pasivă

Pentru ca senzorul optic de accelerație să fie folosit în domeniul aplicațiilor de siguranță pasivă, trebuie să realizeze cel puțin caracteristicile senzorilor actual folosiți la automobile. Aceste caracteristici au fost prezentate în capitolul anterior „4.3.1.1 Senzori de accelerație”.

În literatura de specialitate sunt folosite diferite concepte/soluții pentru a realiza aceste caracteristici [A.1, F.7, C.5, L.1, M.3]; autorul va folosi conceptele teoretice prealabil prezentate la senzorul optic de presiune. Astfel, implementarea folosită pentru conversia semnalului util va rămâne aceeași la partea de UCE cu cea folosită la senzorii optici de presiune. Diferența care va apărea la senzorul optic de accelerație va fi partea de filtrare a semnalului, care trebuie adoptată pentru domeniile de frecvență folosite pentru măsurarea accelerației.

4.3.4.1 Selectarea conceptelor pentru modelarea senzorului optic de accelerație

Soluția de implementare pentru senzorul de accelerație este asemănătoare cu cea propusă în capitolul 4.3.3.3, figura 58, având anumite modificări constructive:

- O greutate este amplasată pe membrană;
- Orificiul de intrare pentru presiunea de referință lipsește.

Aceste mici modificări schimbă comportamentul sistemului, astfel încât să fie sensibil la accelerații-decelerații datorită inerției masei amplasate în centrul membranei. Practic, comportamentul sistemului se poate echivala cu un sistem de masă – element elastic. Rolul elementului elastic, în acest caz, va fi preluat de membrană. Proprietățile și comportamentul unui asemenea sistem a fost prezentat în capitolul 3.2.2. Greutatea amplasată pe mijlocul membranei va avea o suprafață mică de contact pentru a ține într-o limită admisibilă o influență exersată pe deformarea membranei. Amplasarea greutății pe membrană va avea influență importantă și pe frecvența proprie a membranei, care va fi discutată în următoarele capitole. Un senzor de accelerație dezvoltat pe aceste idei va avea o singură direcție

de detectare. Direcția de detectare a accelerației-decelerației este direcția perpendiculară pe membrana elastică.

Avantajul în selecția implementării constituie sinergia existentă între cele două concepte de implementare (presiune/acelerație), care simplifică procesul tehnologic de producție senzori reducând în același timp și prețul de cost.

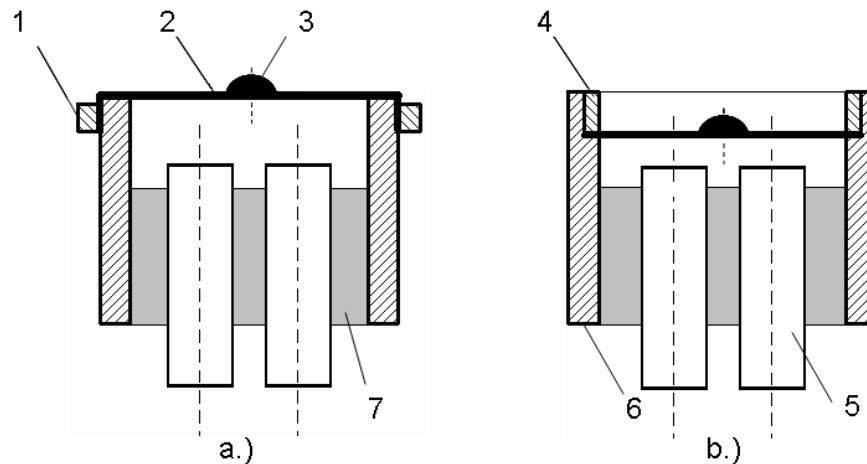


Figura 66 – Soluție de implementare pentru senzor optic de accelerație cu două fibre optice
a.) Membrană rezemată pe contur; b.) Membrană încastrată pe contur; 1- Inel exterior fixare membrană; 2 – Membrană elastică; 3 – Greutate amplasată pe membrană; 4 – Inel interior fixare membrană; 5 – Fibră optică; 6 – corp element sensibil; 7 – material fixare fibră optică;

4.3.4.2 Modelarea matematică a senzorului optic de accelerație

Modelul matematic al senzorului de accelerație poate fi împărțit în felul următor:

- Modelul matematic al deformării membranei;
- Modelul matematic al reflexiei razelor de pe membrană – care coincide cu cel definit la senzorul de presiune (cap. 4.3.3.4);
- Modelul matematic al sistemului masă – element elastic. Relațiile de calcul coincid cu cele prezentate în cap. 3.2.2 „Model de coliziune masă – element elastic”;
- Modelul răspunsului de frecvență al membranei – care a fost tratat în capitolul anterior „4.3.3.4.4 Determinarea răspunsului de frecvență al membranei”
- Modelul pentru determinarea sensibilității membranei, care coincide cu cele prezentate în capitolul 4.3.3.4.3.

4.3.4.2.1 Modelul matematic al deformării membranei

Teoriile matematice enunțate pentru modelarea membranei în cazul senzorului optic de presiune sunt valabile și în acest caz. Diferența constă în faptul că, în acest caz, pe membrana rezemată/încastrată pe contur este aplicată o sarcină distribuită pe aria unde se află greutatea. Pentru acest caz formulele de calcul diferă de cele prezentate pentru senzorul de presiune [M.2].

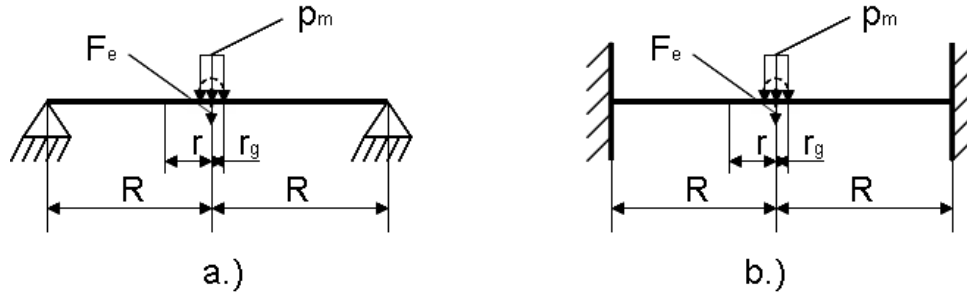


Figura 67 – Încărcarea circulară a membranelor

a.) Membrană rezemată pe contur; b.) Membrană încastrată pe contur; R – raza membranei; F_e – forța echivalentă; r – raza punctului de interes în care se fac calculele; r_g – raza greutateții

Datorită faptului că diametrul greutateții amplasate peste membrană este foarte mic, se face un compromis prin substituirea acestei presiuni distribuite pe aria de contact a greutateții cu cazul în care o forță echivalentă F_e este aplicată pe membrană. Astfel relațiile de calcul pentru deformarea membranei pot fi scrise în felul următor:

a.) Relațiile de calcul pentru săgeata membranei rezemate pe contur la care acționează o forță concentrată [M.2]:

$$v = \frac{F_e \cdot R^2}{16 \cdot \pi \cdot D} \cdot \left(\frac{3 + \mu}{1 + \mu} \cdot (1 - k^2) + 2 \cdot k^2 \cdot \ln(k) \right) \quad 4.12$$

Respectiv pentru membrana încastrată pe contur:

$$v = \frac{F_e \cdot R^2}{16 \cdot \pi \cdot D} \cdot \left(1 - k^2 + 2 \cdot k^2 \cdot \ln(k) \right) \quad 4.13$$

Unde D se poate calcula folosind relația 4.4, iar k din relația 4.3.

b.) Relațiile de calcul pentru tensiunile normale radiale (σ_r), pentru cazul membranei rezemate pe contur pot fi scrise [M.2]:

$$\sigma_r = -\frac{3 \cdot F_e}{2 \cdot \pi \cdot e^2} \cdot (1 + \mu) \cdot \ln(k) \quad 4.14$$

Respectiv pentru membrana încastrată pe contur:

$$\sigma_r = \frac{3 \cdot F_e}{16 \cdot \pi \cdot e^2} \cdot (\mu + (1 + \mu) \cdot \ln(k)) \quad 4.15$$

Pentru cazuri în care $k > 0.05$.

Rezultatele modelului simulat sunt prezentate în figura de mai jos:

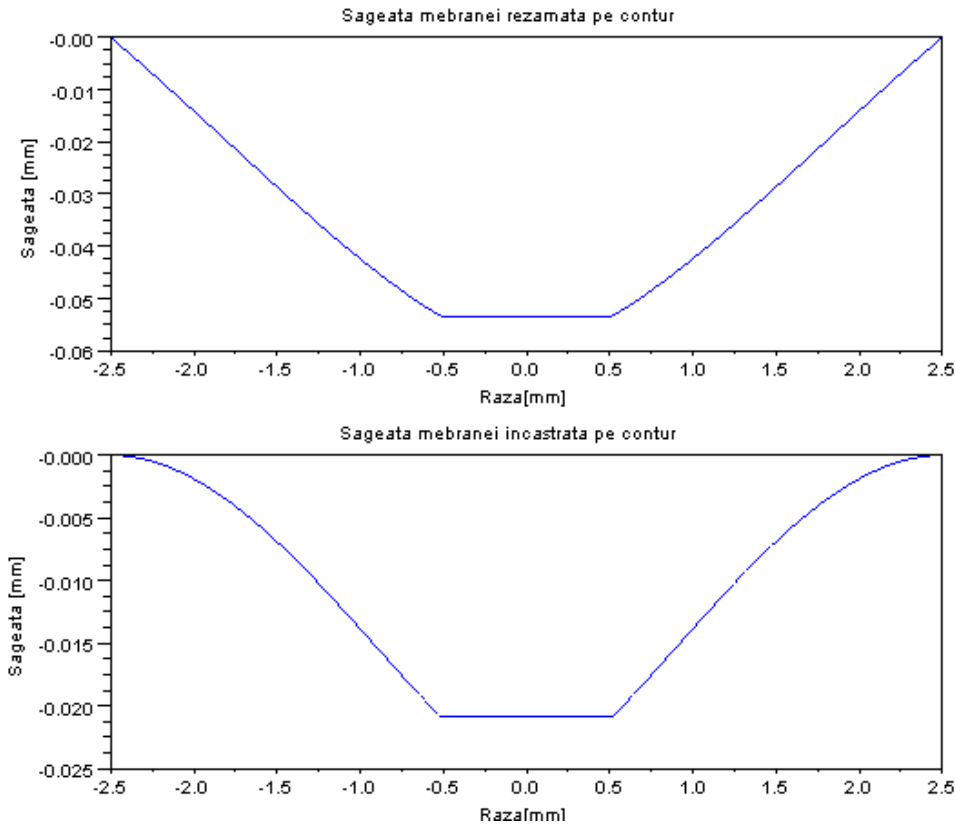


Figura 68 – Modelarea 2D a membranei rezamate respectiv încastate pe contur cu o greutate amplasată pe mijloc

Linia orizontală marchează locul în care este amplasată greutatea pe membrană. În modelul folosit în simulare era amplasată pe membrană o greutate de 0.5 grame.

După cum se poate identifica pentru acest caz, valorile rezultate pentru deformarea membranei (30 – 60 μm) sunt apropiate de rezultatele simulării pentru senzorul de presiune (care era: 20 – 80 μm). Aceasta indică că prin ajustarea mărimii greutății plasate pe membrană se poate obține un comportament asemănător ca la un senzor de presiune, cu diferența că informația utilă este accelerația. Acest lucru poate constitui un avantaj în faza de validare a accelerometrului optic, unde comportamentul poate fi comparat direct cu senzorul de presiune.

Bazat pe modelul matematic 2D, autorul a generat în 3D deformarea membranei (Anexa D, punctul 4).

Influența parametrilor de intrare care au rol important asupra valorilor de ieșire din model (diametrul membranei, grosimea membranei, proprietățile materialului membranei) care au fost discutate în capitolul anterior la modelarea matematică a senzorului optic de presiune. Pentru cazul curent, membrana cu o forță concentrată, autorul a creat un model matematic, care calculează grosimea membranei în funcție de accelerația pentru care urmează să fie proiectat senzorul.

Astfel, dacă cerința este ca senzorul să fie capabil să sesizeze accelerații între 0 – 100 g, figura mai de jos indică grosimea necesară a membranei.

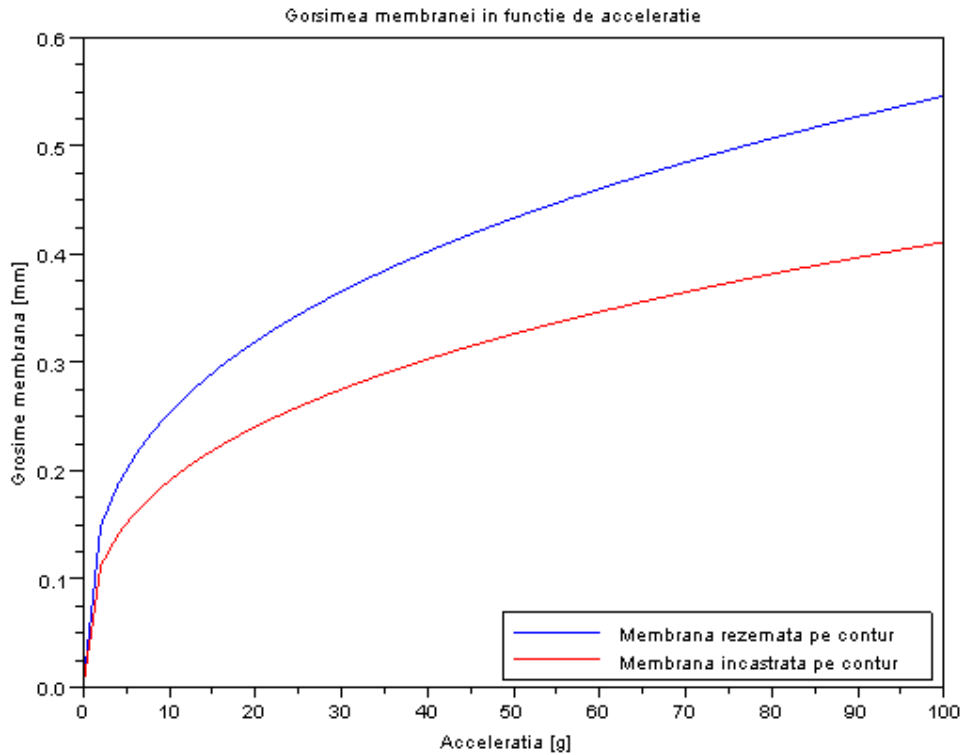


Figura 69 – Grosimea membranei în funcție de accelerație

4.3.4.2.2 Determinarea sensibilității membranei

Sensibilitatea membranei este determinată de raportul de deformare sub acțiunea forței echivalente aplicate pe suprafața [G.1]. Deformația maximă poate fi calculată folosind relațiile de calcul ale săgeții [M.2].

Astfel, pentru membrana rezemată pe contur se poate scrie:

$$v_{rmax} = \frac{3 \cdot F_e \cdot R^2}{4 \cdot \pi \cdot E \cdot e^3} (1 - \mu^2) \cdot \left(\frac{3 + \mu}{1 + \mu} \right) \quad 4.16$$

Respectiv pentru membrana încastrată pe contur:

$$v_{imax} = \frac{3 \cdot F_e \cdot R^2}{4 \cdot \pi \cdot E \cdot e^3} (1 - \mu^2) \quad 4.17$$

Având valorile maxime ale săgeții, sensibilitatea membranei și implicit a senzorului poate fi calculată următoarea relație:

$$S_{ra} = \frac{V_{r \max}}{F_{e \max}} \quad 4.18$$

Pentru cazul membranei încastrate pe contur, sensibilitatea este:

$$S_{ia} = \frac{V_{i \max}}{F_{e \max}} \quad 4.19$$

Unitatea de măsură este dată în [m/N], unde $F_{e \max}$ este forța echivalentă maximă aplicată pe membrană.

4.3.4.2.3 Determinarea răspunsului de frecvență al membranei

Modelul de calcul al răspunsului de frecvență în cazul accelerometrului diferă de cel prezentat la senzorul de presiune. Aici, pe suprafața membranei este amplasată o masă care schimbă răspunsul de frecvență al membranei. Astfel, comportamentul membranei poate fi echivalat cu un arc lamelar și se poate aplica teoria prezentată în capitolul 3. Punctul de plecare pentru determinarea frecvenței naturale poate fi considerat relația 3.10, respectiv 3.18.

$$m \cdot \ddot{x} = -k \cdot x \quad 4.20$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m}} \quad 4.21$$

Pentru determinarea teoretică a constantei arcului k putem folosi 4.20, introducând accelerația gravitațională în formulă. Astfel din 4.20 poate fi exprimat k, fiind:

$$-k = \frac{m \cdot g}{x} \quad 4.22$$

Unde deplasarea x poate fi echivalată cu rezultatele simulării. Introducând relația 4.22 în 4.21 rezultă formula de calcul a frecvenței naturale a membranei având o greutate amplasată pe mijloc:

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{x}} \quad 4.23$$

Figura de mai jos prezintă rezultatele simulării pentru determinarea frecvenței naturale a sistemului masă – membrană, unde comportamentul membranei este echivalat cu un element elastic.

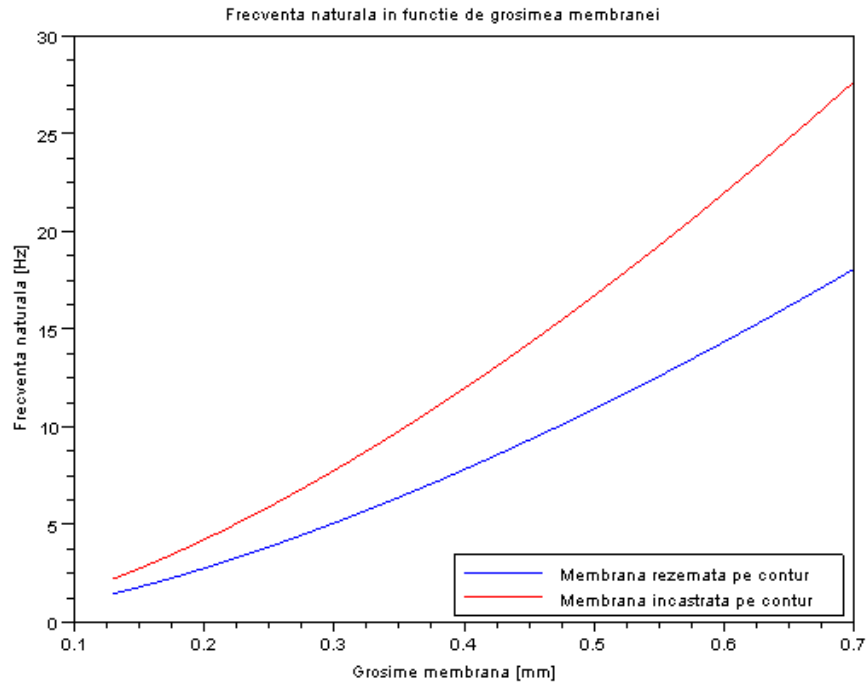


Figura 70 – Frecvența naturală în funcție de grosimea membranei

După cum se poate identifica, odată cu creșterea grosimii membranei crește și frecvența naturală. În faza de proiectare, grosimea membranei trebuie să fie aleasă astfel încât frecvența naturală corespunzătoare să depășească de cel puțin trei ori frecvența maximă din semnalul util măsurat.

4.3.4.3 Concluzii pentru implementarea senzorului optic de accelerație

Același principiu de detectare a informației utile prezentat la senzorul de presiune (extrinsec, modulat în intensitate) poate fi folosit pentru realizarea unui senzor de accelerație.

Alegând corespunzător masa amplasată pe membrană, deformările membranei pot fi asemănătoare cu cele de la senzorul de presiune.

Cu mărimile (diametru/grosime membrană) alese pentru senzorul de presiune (capitolul „4.3.3.5 Concluzii pentru implementarea senzorului optic de presiune”), se poate realiza un senzor de accelerație.

5 Construcția standului experimental

În cele ce urmează va fi prezentată schema de bloc a standului experimental folosit pentru încercarea senzorilor optici de accelerație, respectiv de presiune, proiectat și realizat de autor. Pentru proiectarea standului, autorul a luat în considerare următoarele aspecte:

- Standul experimental trebuie să ofere mijloacele de a detecta semnale de accelerație, respectiv de presiune provenite de la senzorii folosiți în domeniul siguranței pasive;
- Conceptul de achiziție trebuie să fie simplu și portabil, ușor conectabil la calculator;
- Informația provenită de la senzori trebuie să fie stocată pe calculator, astfel încât să fie posibilă reconstruirea semnalelor originale bazate pe informațiile stocate;
- Prin intermediul standului de încercare, trebuie să fie posibilă crearea condițiilor similare cu cele din cazul coliziunii automobilelor;
- Standul trebuie să ofere două căi independente de achiziție de date în același timp (un canal pentru senzorul de referință, un canal pentru senzorul optic);
- HW de achiziție de date trebuie să aibă sensibilitate redusă la perturbații pentru a oferi informații utile.

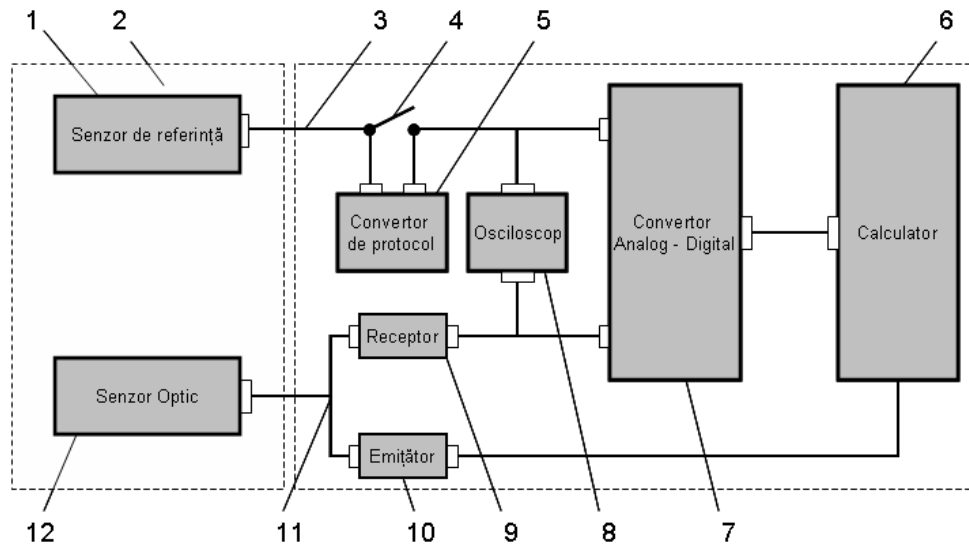


Figura 71 – Stand experimental de încercare senzori

Standul experimental are două canale de achiziție; la unul dintre ele este legat senzorul de referință [1], la celălalt este legat senzorul optic care urmează să

fie testat. Sensorii sunt plasați într-un mediu de încercare [2], care permite crearea condițiilor asemănătoare coliziunilor automobilelor. Pe canalul senzorului de referință [3] este plasat un dispozitiv [5] care are rolul de a converti informația provenită de la senzorul de accelerație, având interfețe de comunicare PSI (prezentate în capitolul 2.1.1.1). Acest dispozitiv poate fi deconectat prin intermediul comutatorului [4] pentru a efectua încercări la senzori care nu dispun de interfețe PSI și livrează direct informații analogice.

Pentru analiza datelor analogice provenite de la senzorul de referință, respectiv de la senzorul optic, este folosit un osciloscop [8]. Informația analogică este introdusă într-un convertor analog – digital [7], care digitalizează semnalul și îl trimite la calculator [6]. Senzorul optic [12] care urmează să fie testat, este amplasat în același mediu [2] de încercare cu senzorul de referință [1].

Senzorul optic [12] este legat prin intermediul fibrelor optice [11] la partea de emisie [9], respectiv recepție [10] semnal optic. Aceste elemente au rolul de a transforma informația optică în informație electrică analogică, semnal care este conectat la al doilea canal de intrare al osciloscopului [7]. Acest semnal este conectat și la convertorul analog – digital [7], care concomitent cu informația citită de pe canalul unde este conectat senzorul de referință trimite informația la calculator. Datele citite de convertorul analog – digital sunt digitalizate și trimise la calculator prin intermediul unei interfețe USB (Universal Serial Bus). Interpretarea datelor se face prin intermediul SW dezvoltat de autor în mediul de dezvoltare Scilab [S.2, F.8, F.11].

Schema electronică a standului de încercare este prezentată în Anexa E, punctul 1. Modulele electronice și rolul acestora vor fi discutate în capitolele următoare.

5.1 Componentele standului experimental

5.1.1 Stabilizatorul de tensiune

Standul este alimentat de la 15 V, dar ținând cont de celelalte componente electronice (ex. microcontroler) este necesară reducerea acestei tensiuni la 5 Volți.

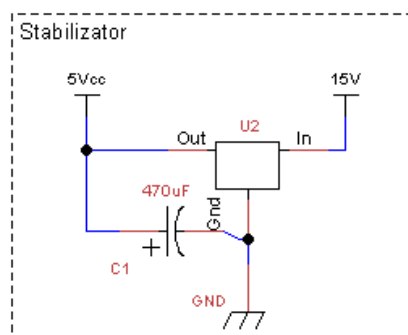


Figura 72 – Stabilizator de tensiune

Autorul a folosit un circuit integrat 7805 [K.2] care include toate circuitele electronice necesare pentru stabilizarea tensiunii la 5 Volți. La ieșirea circuitului integrat a fost pus un condensator electrolitic pentru filtrarea eventualelor semnale parazitiți apărute după circuitul integrat. Una dintre metodele cheie pentru reducerea erorilor de măsurare și sistematice care pot apărea pe parcursul experimentelor este menținerea stabilă a tensiunii de alimentare.

5.1.2 Emițător – Receptor fascicul de lumină

Figura de mai jos prezintă modulul electronic responsabil pentru emiterea fascicolului luminos, respectiv recepționarea acestuia. Pentru partea de emisie a fost folosită o diodă LED (IF-E96) [P.3], detalii în Anexa E, punctul 2. Dioda LED folosită la experimente emite în domeniul vizibil ochiului uman, având culoarea roșie. Alimentarea acesteia este comandată de un microcontroler (legat la pinul de „Alimentare_LED”), care generează o tensiune selectată de operator.

Selectarea optimă a intensității luminii diodei LED are rol important în sensibilitatea senzorului. Aceasta depinde și de o serie de factori constructivi, cum ar fi:

- Distanța dintre membrană și capătul fibrei de emisie/recepție;
- Distanța dintre fibra de recepție și fibra de emisie;
- Conul de emisie al fibrei optice;
- Proprietățile de reflectare/absorbție a membranei și a materialului din care este fabricat corpul senzorului;

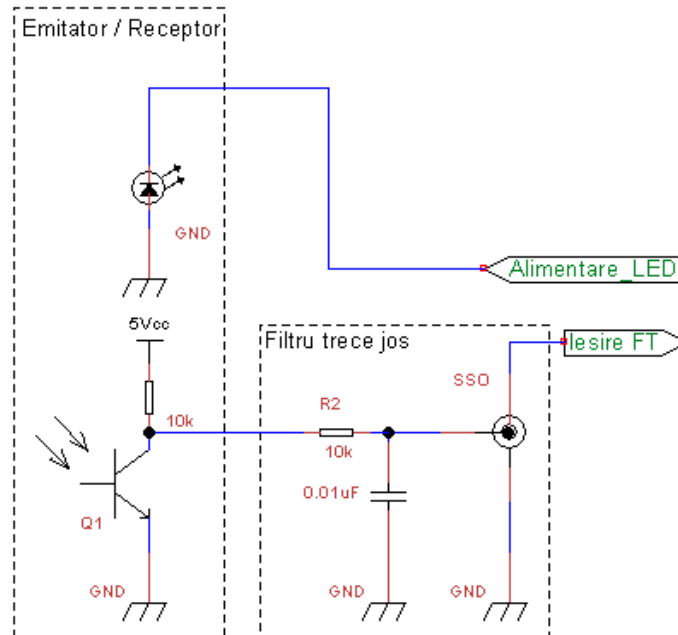


Figura 73 – Modul electronic emițător – receptor semnal luminos

Recepționarea semnalului luminos de la elementul sensibil pasiv este realizată prin intermediul unui fototranzistor (IF-D92), detalii în Anexa E, punctul 3. După fototranzistor este amplasat un filtru trece – jos (realizat prin intermediul unei rezistențe și unui condensator), având rolul de a respinge semnalele care au frecvențe mai mari de 400 Hz. Datorită faptului că fototranzistorul folosit la experimente este de tip NPN, semnalul util va fi „inversat” la ieșirea fototranzistorului. Altfel spus, când crește intensitatea recepționată, tensiunea de pe colectorul tranzistorului și masa va scădea. Inversia polarității semnalului este realizată prin SW după achiziționarea semnalului pe calculator. Montajul electronic realizat este prezentat în ANEXA F, punctul 3.

5.1.3 Generatorul de semnal

Modulul electronic realizat mai jos îmbină multe funcționalități, cum ar fi:

- Comunicare prin interfața serială. Are rolul de a conecta microcontrolerul cu calculatorul. Autorul a folosit un circuit integrat MAX 3235, care realizează automat convertirea de nivele logice TTL ale microcontrolerului în nivele logice necesare pentru protocolul serial RS232;
- Selectarea voltajului aplicat pe dioda LED emițătoare. Soluția folosește modulul HW „generator de tensiune de referință” („Vref”) din microcontrolerul PIC16F877A, detalii în Anexa E, punctul 4 [F.10, F.12, F.13]. Pentru setarea tensiunii potrivite a modulului Vref, autorul a dezvoltat un program care, scris în microcontroler prin interfața serială, recepționează comenzile provenite de la calculator. Comenzile recepționate sunt decodate și interpretate, urmând să fie selectată valoarea corespunzătoare de tensiune din modulul Vref. Astfel, intensitatea de lumină emisă de dioda LED poate fi controlată într-un mod automat;
- Generatorul semnal de sincronizare pentru convertorul de protocol. Acesta este folosit pentru senzori care dispun de o interfață PSI și au nevoie de un impuls de sincronizare complex. Acest puls are o frecvență de 2 kHz, unde la fiecare tact este citită valoarea curentă a senzorului de referință.

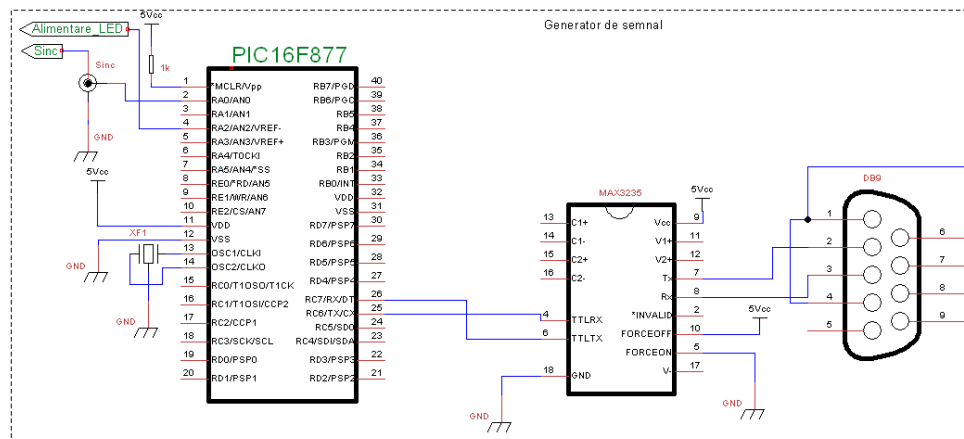


Figura 74 – Generator de semnal

5.1.4 Convertorul de protocol și vizualizare

Senzorii care au interfață de comunicare PSI sunt conectați la un echipament care are rolul de a converti datele primite în date analogice echivalente cu cele măsurate de senzor. Datorită faptului că modul de comunicare al senzorului pe o interfață de PSI poate fi diferit (ex. sincron/ asincron, detalii în cap. 2.1.1.1) echipamentul de conversie de protocol are nevoie de un semnal de sincronizare pe parcursul comunicării. Figura de mai jos prezintă forma semnalului de sincronizare care este cerut de dispozitivul de conversie protocol PSI în semnal analog.

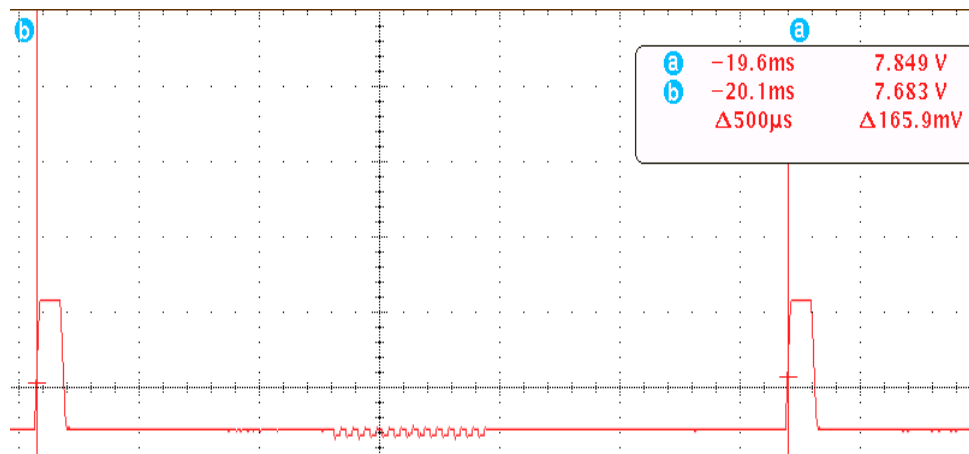


Figura 75 – Semnal de sincronizare pentru un senzor cu interfața PSI

Acest semnal de sincronizare are următoarele proprietăți:

- Un ofset de aproximativ 6.3 V fața de masă;
- Un impuls cu un ofset de aproximativ 3.7 V, fața de 6.3 V;
- Frecvența impulsului generat (având amplitudinea de 3.7 V) la 2 kHz.

Pentru realizarea acestor caracteristici, microcontrolerul în sine nu este suficient, acesta poate genera forma impulsului la frecvența necesară (2 kHz), dar nu și amplitudinea de aproximativ (6.3 V + 3.7 V) 10 V necesară. Pentru soluționarea acestei probleme, autorul a realizat un modul de amplificare a semnalului cu un tranzistor care preia semnalul generat de microcontroler și se transformă după cerințele prezentate.

Figura de mai jos prezintă schema electronică, care este formată dintr-un tranzistor și un stabilizator de tensiune. În acest montaj tranzistorul are rolul de a amplifica semnalul de intrare la amplitudinea dorită, producând de asemenea ofsetul de 6.3 V necesar. Stabilizatorul de tensiune are rolul de a menține stabilă tensiunea de alimentare (10V) și în același timp să definească amplitudinea maximă de semnal la ieșirea „ASinc”.

În prima fază, autorul a modelat circuitul electronic (Anexa E, punctul 5), după care a fost simulat comportamentul acestuia pentru a-i evalua caracteristicile [K.4].

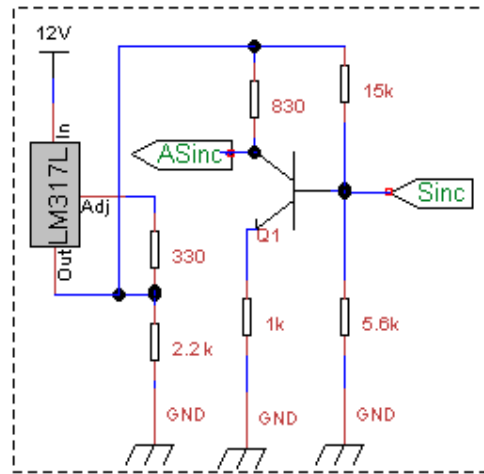


Figura 76 – Adaptor de semnal

Informația generată de acest montaj electronic ajunge la sistemul de vizualizare date, prezentată în figura de mai jos.

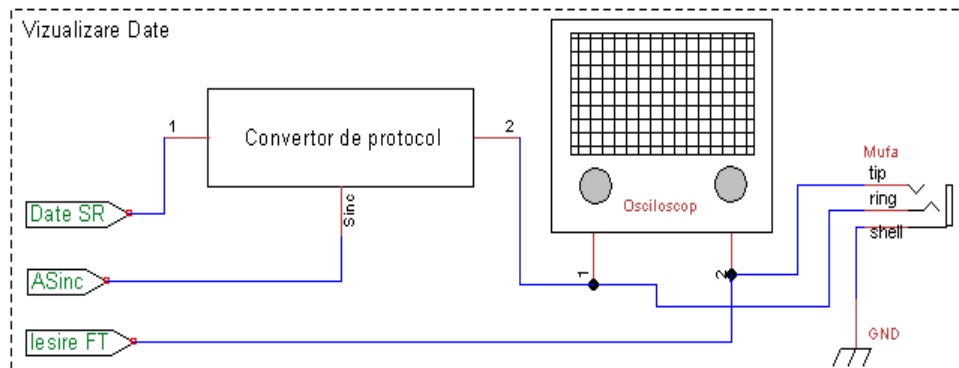


Figura 77 – Vizualizare date senzori

Sistemul este alcătuit din echipamentul de conversie protocol și un osciloscop. Având două canale de intrare, osciloscopul permite vizualizarea concomitentă a datelor recepționate de la senzori. Astfel, datele provenite de la senzorul de referință sunt recepționate pe canalul „Date SR”, iar cele provenite de la senzorul optic sunt recepționate prin canalul „Iesire FT”. Canalul „ASinc” este folosit pentru introducerea semnalului de sincronizare, după cum a fost prezentat anterior.

5.1.5 Convertorul analog – digital

Pentru a fi posibilă analiza stocării datelor recepționate de la senzori, acestea trebuie digitalizate și introduse în calculator. Punctul de plecare pentru alegerea metodei corecte de digitalizare a datelor provenite constituie caracteristica semnalului care

urmează să fie măsurat. Analizele făcute de autor arată că în majoritatea cazurilor din domeniul siguranței pasive, componentele de frecvență ale semnalului măsurat cad în domeniul 2 – 4 kHz, dar pot apărea și cazuri specifice în care semnalul să fie compus din componente de frecvență apropiate de 10 kHz.

Având această informație la dispoziție, bazat pe teorema Nyquist–Shannon, pot fi definite cerințele minime de eșantionare date necesare pentru convertorul analog – digital. Această teoremă enunță că un semnal analogic poate fi reconstruit perfect dacă rata de eșantionare depășește de două ori frecvența maximă din semnalul original [W.21]. Astfel, rata de eșantionare minimă necesară este de minim de două ori 10 kHz, adică minim 20 kHz.

O caracteristică importantă a sistemului de conversie analog – digital, este răspunsul de frecvență al acestuia. Adică, valoarea frecvenței la ieșire ca răspuns la o frecvență de intrare. Cu cât curba trasată pentru un domeniu de frecvență (ex. domeniul audio 20 Hz – 20 kHz) este mai lineară, cu atât fidelitatea sistemului este mai mare. Literatura de specialitate definește pentru sistemele de înaltă fidelitate o toleranță de ± 0.1 dB [W.23].

Un alt aspect constituie zgomotul de cuantificare provenit în urma conversiei digitale; acesta trebuie să fie cât se poate de mic. În literatura de specialitate acesta este exprimat prin rata semnalului raportat la zgomot (SNR „Signal to Noise Ratio”). Acesta poate fi reprezentat și prin metode statistice [S.3], în felul următor:

$$SNR = \frac{\mu}{\sigma} \quad 5.1$$

Unde μ este media aritmetică calculată pe un număr de valori cuantificate, iar σ este deviația standard.

Alt aspect important care trebuie luat în considerare la alegerea echipamentului de conversie analog – digitală este caracteristica de distorsiune totală a armoniilor, cunoscută din literatura de specialitate sub numele de THD (Total Harmonic Distorsion). Această caracteristică primește importanță sporită în faza calibrării standului experimental [G.2], unde de exemplu este emis un semnal cu o anumită frecvență (de la modulul de DAC (Digital to Analog Converter)) și același semnal este legat la intrarea convertorului analog – digital. Literatura de specialitate enunță că un echipament este considerat unul de fidelitate înaltă dacă această caracteristică se află sub 1% [W.22].

Alt aspect care trebuie luat în considerare la alegerea echipamentului de conversie analog – digitală este distorsiunea semnalului prin inter-modulare sau IMD (Intermodulation Distorsion). La un sistem cu ieșire neliniară la care este introdusă o anumită frecvență de intrare, se produc o serie de armonici. În cazul în care sunt introduse două frecvențe separate în acest sistem, pe lângă armonici mai apar și frecvențe care provin din suma sau diferența frecvențelor de intrare, acestea provocând distorsiuni în calitatea semnalului [B.5].

Având la bază caracteristicile menționate mai sus, autorul a ales ca echipament de conversie analog – digitală o placă de sunet de tipul: „Creative™ Sound Blaster X-Fi Surround 5.1”. Principalele caracteristici sunt următoarele:

- Interfața de conectare la calculator – USB 2.0;
- Cuantificare de date în 8, 16, 24 biți;
- Frecvența maximă de eșantionare 96 kHz;
- Intrare linie stereo

Analizele de laborator făcute pentru acest echipament arată următoarele caracteristici [R.2]:

| Parametru | Unitate de măsură | Valoare |
|---|-------------------|---------------------|
| Răspunsul de frecvență (de la 40 Hz până la 15 kHz) | dB | +0.10 până la -0.08 |
| SNR | dB | -96 |
| THD | % | 0.0046 |
| IMD la 10 kHz | % | 0.0075 |
| THD + zgomot | dB | -82.7 |
| IMD + zgomot | % | 0.0077 |

Tabela 8 – Parametrii echipamentului de conversie analog – digitală

5.2 Construcția mecanică a standului experimental

Unul din țelurile propuse de autor a fost construcția unui stand experimental care permite crearea condițiilor apropiate de cele din cazul coliziunilor. Standul a fost conceput ca să permită executarea experimentelor pentru senzori de accelerație și de presiune. Acesta a fost materializat folosind un mecanism cu pendul, prezentat în figura următoare.

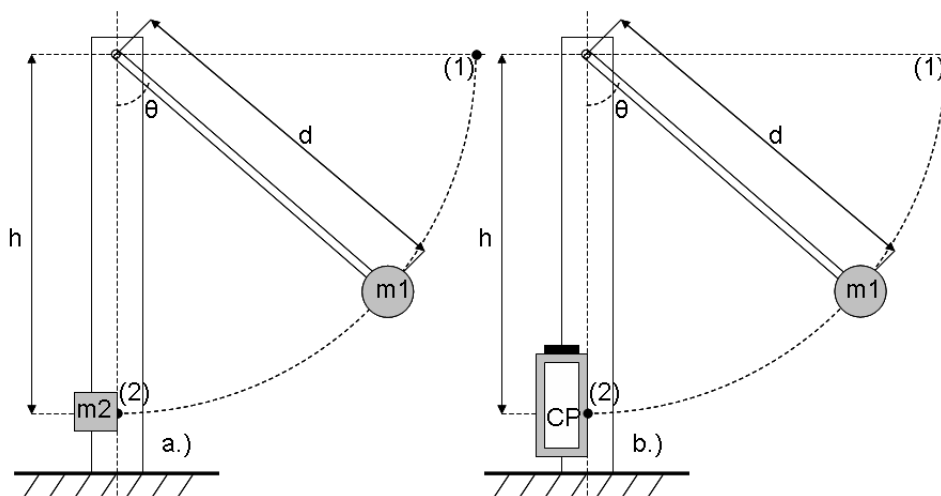


Figura 78 – Schița mecanică a standului experimental

a.) Varianta pentru testarea senzorilor de accelerație; b.) Varianta pentru testarea senzorilor de presiune

Unde:

h – este distanța dintre masa m_2 și cupla de rotație a brațului pendulului;

d – lungimea brațului pendulului;

θ – este unghiul determinat de axa de simetrie verticală a coloanei de sprijin și brațul pendulului;

m_1 – este greutatea pendulului;

m_2 – este masa corpului care simulează modelul barei de protecție (la o scară redusă) a automobilului folosit pentru testarea senzorilor de accelerație;

CP – este camera de presiune care simulează cavitatea din ușa automobilului folosit pentru testarea senzorilor de presiune.

Folosind mecanismul cu pendul, repetabilitatea vitezei sau presiunii de impact este asigurată, aceasta fiind necesară pentru reproducerea condițiilor similare în măsurări repetate. În definierea modelului matematic, forța de frecare a fost neglijată pentru calcularea vitezei de impact. Aceasta se datorează greutateii mari amplasate la capătul pendulului. Pe de altă parte, evenimentul cel mai important este prima ciocnire a pendulului, pentru care o să fie determinat comportamentul senzorilor. Pentru a determina parametrii la impact, trebuie scrise ecuațiile pentru punctele (1) respectiv (2) din figura anterioară. Astfel, relația pentru punctul (1) este:

$$(1) E_c = 0 \quad 5.2$$

$$E_p = m_1 \cdot g \cdot h_d$$

Unde E_c este energia cinetică, iar E_p corespunde energiei potențiale a masei m_1 aflată la înălțimea h_d . Valoarea lui h_d poate fi calculată folosind următoarea formulă:

$$h_d = h - h \cdot \cos \theta \quad 5.3$$

Analog pot fi scrise relațiile pentru punctul (2), care va fi:

$$(2) E_c = \frac{m_1 \cdot v_1^2}{2} \quad 5.4$$

$$E_p = 0$$

Din relațiile 5.2, 5.3 și 5.4 poate fi calculată viteza de impact v_1 a masei m_1 în punctul (2), care este:

$$v_1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot h \cdot (1 - \cos \theta)} \quad 5.5$$

Unde g este accelerația gravitațională exprimată în $[m/s^2]$. Pentru modelarea comportamentului unei coliziuni trebuie calculată viteza finală (v_{2f}) a corpului m_2 după ciocnire. Astfel, pe corpul cu greutatea m_2 sunt montați și cei doi senzori de accelerație; cel optic, respectiv de referință, care furnizează date pe parcursul evenimentului de coliziune.

Pentru modelarea comportamentului sistemului se pleacă de la ideea unui sistem izolat, astfel impulsul total al sistemului format din corpurile care se ciocnesc se conservă.

Pentru cazul unei ciocniri total elastice poate fi scrisă următoarea relație:

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v_{1f} + m_2 \cdot v_{2f} \quad 5.6$$

$$\frac{m_1 \cdot v_1^2}{2} + \frac{m_2 \cdot v_2^2}{2} = \frac{m_1 \cdot v_{1f}^2}{2} + \frac{m_2 \cdot v_{2f}^2}{2} \quad 5.7$$

Unde:

v_{1f} – este viteza finală a corpului având masa m_1 ;

v_{2f} – este viteza finală a corpului având masa m_2 .

După rearanjare ecuațiile 5.6 și 5.7 devin:

$$m_1 \cdot (v_1 - v_{1f}) = m_2 \cdot (v_{2f} - v_2) \quad 5.8$$

$$m_1 \cdot (v_1 - v_{1f}) \cdot (v_1 + v_{1f}) = m_2 \cdot (v_{2f} - v_2) \cdot (v_{2f} + v_2) \quad 5.9$$

Împărțind relația 5.9 cu 5.8 rezultă:

$$v_1 + v_{1f} = v_{2f} + v_2 \quad 5.10$$

Rearanjat va fi:

$$v_1 - v_2 = v_{2f} - v_{1f} \quad 5.11$$

Dacă înmulțim relația 5.11 cu m_2 și adunăm cu relația 5.6 rezultă:

$$v_{1f} = 2 \cdot \frac{m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2}{m_1 + m_2} - v_1 \quad 5.12$$

Analog poate fi dedusă ecuația:

$$v_{2f} = 2 \cdot \frac{m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2}{m_1 + m_2} - v_2 \quad 5.13$$

Dacă admitem că viteza inițială a corpului cu greutatea m_2 este zero ($v_2=0$), rezultă din 5.13:

$$v_{2f} = 2 \cdot \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot v_1 \quad 5.14$$

Introducând în 5.14 relația 5.5 pentru punctul (2) din figura 78, rezultă viteza finală a corpului cu care a avut loc ciocnirea elastică:

$$v_{2f} = 2 \cdot \frac{m_1 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h \cdot (1 - \cos \theta)}}{m_1 + m_2} \quad 5.15$$

Corpul cu greutatea m_2 este de fapt un subansamblu care modelează comportamentul barei de protecție. Acesta este construit dintr-un sistem masă – elemente elastice, care în cazul ciocnirii absoarbe o parte din energia cinetică și o stochează sub formă de energie potențială în arcuri. Lungimea de comprimare a arcurilor este definită de opritoare care au rol dublu:

- De a proteja senzorii;
- De a simula capătul zonei deformării elastice.

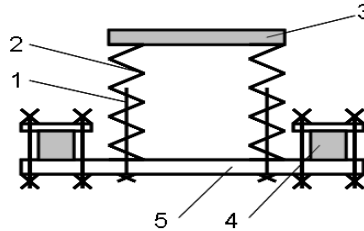


Figura 79 – Schița mecanică a plăcii de coliziune

1 – Opritor; 2 – Arc; 3 – placa cu greutatea m_2 ; 4 – stâlp pendul; 5 – placa de baza

Din relația 5.14 se poate observa că alegerea corectă a rației maselor m_1 respectiv m_2 poate fi folosită pentru a obține efectul dorit. Tabela de mai jos prezintă dimensiunile de bază ale standului experimental realizat.

| Parametru stand | Descriere | Valoare | Unitate de măsură |
|-----------------|--|---------|-------------------|
| H | Este distanța maximă dintre masa m_2 și cupla de rotație a brațului pendulului | 0.8 | m |
| d | Este lungimea brațului pendulului | 0.8 | m |
| m_1 | Masa pendulului | 1.3 | kg |
| m_2 | Masa modelului barei de protecție | 0.3 | kg |

Tabela 9 – Dimensiunile cheie ale standului experimental

Folosind valorile prezentate mai sus, cu ajutorul relației 5.14 poate fi calculată viteza inițială a corpului m_2 imediat după ciocnire, care este prezentată în ANEXA F, punctul 1.

5.3 Prelucrarea statistică a datelor experimentale

Unul dintre cele mai importante aspecte din cadrul măsurătorilor experimentale îl constituie determinarea corespondenței dintre indicațiile mijlocului de măsurare și valoarea convențională adevărată a semnalului măsurat [D.3, I.2]. Mijlocul de măsurare în acest caz este compus din:

- Emițător – Receptor (figura 71 [10, 9]) – având rolul de a transforma informația optică în informație electrică;
- Elementul de comparare – care compară semnalul primit de la receptor cu valoarea de referință (figura anterioară [1]);
- Elemente auxiliare – având rolul de a sintetiza valoarea adevărată a semnalului. În cazul curent acesta este realizat folosind calculatorul [6].

Pe parcursul procesului de măsurare apar o serie de erori, care pot fi clasificate în:

- Erori aberante – care pot apărea în urma încălcării principiilor generale de măsurare;
- Erori sistematice – care pot apărea în urma variațiilor condițiilor de mediu, cum ar fi: temperatură, umiditate, lumină intensă. Aceste variații de obicei pot fi eliminate prin metode statistice.
- Erori aleatorii – care apar în urma mai multor factori perturbatori și nu există posibilitatea înlăturării acestora.

Folosind metode statistice, cum ar fi corelația și regresia datelor, efectul erorilor menționate mai sus poate fi redus. În măsurătorile experimentale dependența dintre parametrul care caracterizează senzorul (presiunea sau accelerația) și intensitatea luminii transformate în tensiune prezintă un aspect linear.

Coefficientul corelației simple de sondaj (denumit și coeficientul empiric de corelație) care reflectă interdependența liniară dintre două variabile, este definit prin STAS 7122-80, [D.3]. Astfel, relația pentru perechile de variabilă x (variabilă independentă), respectiv y (variabilă dependentă) este următoarea:

$$r_{x,y} = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{\sqrt{\left(n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right) \cdot \left(n \cdot \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right)}} \quad 5.16$$

Unde, n este numărul de valori x_i și y_i . Coeficientul de corelație ia valori între $[-1, 1]$, iar cu cât valoarea calculată este mai aproape de unitate, cu atât legătura dintre variabilele x_i și y_i este mai puternică. De menționat, coeficientul corelației simple poate fi interpretat din punctul de vedere al dependenței lineare dintre cele variabile x_i și y_i , fiind un indicator calitativ, nu cantitativ.

Datorită împrăștierii aleatoare a datelor experimentale, se poate întâmpla ca valoarea coeficientului corelației simple să difere de zero chiar și pentru două variabile independente. Bazat pe acest motiv, se poate verifica valoarea acestui coeficient, folosind următoarea relație:

$$H = |r_{x,y}| \cdot \sqrt{n-1} \quad 5.17$$

Valoarea obținută se compară cu un H_{cr} , care este o funcție de n – numărul valorilor x_i și y_i , și o probabilitate α . Valoarea lui α poate fi determinată folosind tabela prezentată în [D.3]. Pentru cazul curent a fost aleasă o probabilitate $\alpha = 95\%$, pentru care $H_{cr} = 1960$. În cazul în care:

$$H > H_{cr} \quad 5.18$$

Se poate afirma că datele sunt corelate cu o probabilitate α , altfel pot fi considerate independente.

Pentru prelucrarea experimentală a datelor se va folosi regresia liniară [D.3]. Ecuația dreptei de regresie prin punctul cu coordonatele \bar{x} respectiv \bar{y} este:

$$y - \bar{y} = b_{yx} \cdot (x - \bar{x}) \quad 5.19$$

Unde:

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n y_i \quad 5.20$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad 5.21$$

Iar b_{yx} – reprezintă coeficientul de regresie, care exprimat din relația 5.5 devine:

$$b_{yx} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad 5.22$$

Analog se poate determina coeficientul de regresie a lui x în raport cu y care este:

$$b_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad 5.23$$

Incertitudinea care afectează coeficientul de regresie are relația de calcul [D.3]:

$$u_b = \pm t \cdot \sqrt{\frac{S_y^2 - b^2 \cdot S_x^2}{(n-2) \cdot S_x^2}} \quad 5.24$$

Unde n este numărul punctelor, t este variabila student, determinabilă prin;

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}} \quad 5.25$$

În această relație σ constituie abaterea mediei pătratice, μ este media aritmetică S_x^2 respectiv S_y^2 poate fi exprimat prin:

$$S_x^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 \right) \quad 5.26$$

Respectiv

$$S_y^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad 5.27$$

Incertitudinea pentru valoarea y se poate calcula folosind ecuația următoare:

$$u_{yb \max} = \pm u_b \cdot (x_{\max} - \bar{x}) \quad 5.28$$

Iar incertitudinea globală se poate calcula cu:

$$u_{yb \max} = \pm u_b \cdot (x_{\max} - \bar{x}) \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{S_x^2 \cdot (n-1)}{n \cdot (x_{\max} - \bar{x})^2} + 1} \right) \quad 5.29$$

6 Cercetări experimentale asupra proceselor de coliziune

În acest capitol autorul va prezenta rezultatele obținute pe bază experimentală pentru senzorii optici de presiune și de accelerație. Au fost executate o serie de experimente, unele generice, care sunt valabile pentru amândouă tipurile de senzori, altele specifice. Astfel, testele au fost grupate:

a.) Teste generice:

- Definierea distanței optime dintre membrană și capătul fibrelor optice;
- Influența lungimii de undă a luminii emise asupra intensității reflectate;
- Determinarea pierderilor de intensitate la fibrele încovoiate;
- Timpul de stabilizare a senzorului;
- Definierea caracteristicilor echipamentului de achiziție de date.

b.) Teste specifice:

- Testarea senzorului de presiune;
- Testarea senzorului de accelerație.

Va fi prezentat și analizat comportamentul acestor senzori în condiții de coliziune, unde informația provenită de la senzorii montați pe standul experimental este filtrată, integrată și introdusă într-un algoritm. Acest algoritm analizează informația provenită de la cei doi senzori și bazat pe caracteristicile semnalelor ia decizia de activare a sistemelor de protecție.

6.1 Definierea distanței optime dintre membrană și capătul fibrelor optice

Scopul experimentului: este de a determina distanța ideală dintre membrană și capătul fibrelor optice de emisie – recepție, pentru care intensitatea reflectată este maximă. Informația obținută pe această cale va fi folosită pentru a defini sensibilitatea maximă a senzorilor.

Metoda de testare: pentru testarea diferitelor distanțe ale fibrelor optice de la membrană a fost realizat un senzor prototip al cărui capăt nu a fost sigilat. Astfel, fibrele optice de emisie, respectiv recepție au rămas glisabile. A fost măsurată distanța inițială dintre capătul senzorului și fibrele optice cu un șubler, după care a fost montată membrana pe capătul corpului de senzor. A fost aplicată o intensitate de lumină la fibra optică de emisie, și măsurată pe fibra de recepție intensitatea de lumină reflectată. Pentru transformarea intensității de lumină în mărimi electrice a fost folosit montajul electronic prezentat în ANEXA F, punctul 3.

Valorile măsurate au fost înregistrate cu ajutorul unui osciloscop. După stocarea datelor, distanța dintre fibrele optice și membrană a fost mărită și măsurată cu șublerul. După acest pas, întregul proces a fost repetat până când valoarea intensității de lumină reflectată a rămas aproximativ constantă între două măsurători.

Echipele folosite la experiment:

- Șubler digital – folosit pentru măsurarea distanței dintre fibrele optice și membrană.
- Osciloscop Tektronix™ MSO4034 – folosit pentru măsurarea intensității reflectate, detalii în ANEXA F, punctul 2.

Concluzii:

Datele centralizate sunt prezentate în tabela de mai jos.

| Nr. Crt. | Distanța [mm] | Tensiune [V] |
|----------|---------------|--------------|
| 1 | 2.00 | 1.26 |
| 2 | 3.07 | 1.10 |
| 3 | 4.20 | 0.93 |
| 4 | 4.87 | 0.76 |
| 5 | 5.65 | 0.57 |
| 6 | 6.68 | 0.45 |
| 7 | 7.85 | 0.30 |
| 8 | 8.21 | 0.27 |

Tabela 10 – Variația intensității în funcție de tensiune

Datele au fost măsurate folosind un corp de senzor cu următoarele caracteristici:

| Corp senzor | Valoare | Unitate de măsură |
|---------------------|---------|-------------------|
| Lungime corp senzor | 11.23 | mm |
| Diametrul exterior | 6.35 | mm |
| Diametrul interior | 4.37 | mm |

Tabela 11 – Caracteristicile corpului de senzor

Reprezentarea grafică a valorilor măsurate este prezentată pe figura următoare.

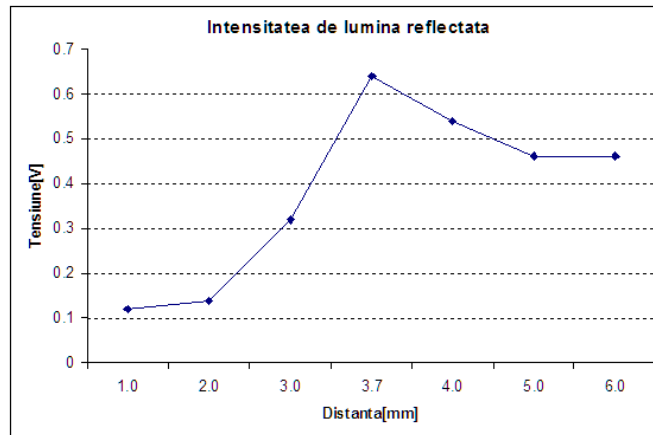


Figura 80 – Intensitatea reflectată în funcție de distanța membranei

După cum se poate identifica de pe figură, intensitatea maximă reflectată se află la o distanță de aproximativ 3.7 mm de la membrană. Dacă comparăm modelul matematic creat de autor pentru simularea reflexiei razelor de lumină (în capitolul 4.3.3.4.2), se confirmă valorile măsurate. Diferența dintre valoarea teoretică 3.4 mm, respectiv cea experimentală 3.7 mm se datorează rugozităților de pe suprafața membranei care tind să disperseze lumina, crescând astfel intensitatea de lumină reflectată. Un alt lucru care are influență asupra intensității reflectate sunt erorile de montaj a fibrelor. Ca urmare, se poate trage concluzia că pentru construcția acestui tip de senzor optic, distanța optimă dintre capătul fibrelor și membrană se află la aproximativ 3.7 mm. Această valoare va fi folosită mai departe pentru construirea prototipurilor senzorilor optici de presiune, respectiv accelerație.

6.2 Influența lungimii de undă a luminii emise asupra intensității reflectate

Scopul experimentului: Diferite lungimi de undă pot avea influență asupra sensibilității senzorului. Astfel, în funcție de rugozitatea suprafeței și lungimea de undă incidentă pe membrană, intensitatea reflectată poate să difere. Un alt factor care trebuie luat în considerare este sensibilitatea fototranzistorului, care detectează lumina reflectată. În acest experiment a fost folosit un fototranzistor IF D92 [1.3] care are banda spectrală sensibilă între 400 și 1100 nm.

Metoda de testare: A fost folosit un prototip de senzor de presiune cu două fibre optice, una de recepție alta de emisie. Pe fibra optică de emisie a fost plasată dioda LED care urma să fie testată. După ce a fost aplicată pe intrarea diodei LED o tensiune constantă de 2 Volți, a fost luată o mostră cu osciloscopul, după care alimentarea LED-ului testat a fost întreruptă și repetat ciclul de măsurare de trei ori.

Echipamente folosite la experiment:

- Osciloscop Tektronix™ MSO4034 – folosit pentru măsurarea intensității reflectate, detalii în ANEXA F, punctul 2.

Concluzii:

| LED emisie | Tensiune maximă [V] | | | Media |
|---------------|---------------------|-----------|-----------|-------|
| | Valoare 1 | Valoare 2 | Valoare 3 | |
| IR LED DK | 0.76 | 0.78 | 0.74 | 0.76 |
| IR LED FA | 0.62 | 0.64 | 0.60 | 0.62 |
| LED HI - Roșu | 0.52 | 0.54 | 0.50 | 0.52 |
| LED Galben | 0.07 | 0.08 | 0.06 | 0.07 |
| LED Verde | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.05 |

Tabela 12 – Influența lungimii de undă de lumină asupra intensității reflectate

Tabela de mai sus arată centralizat rezultatele experimentelor executate. După cum se poate vedea și pe figura de mai jos, lungimea de undă folosită are un efect semnificativ asupra intensității de lumină reflectate. Ce este interesant de remarcat este că, primele două diode LED (IR_LED DK, IR_LED FA) emit în același domeniu (infraroșu), dar au caracteristici diferite în ceea ce privește lumina reflectată.

Acestea provin de la producători diferiți, care au procese tehnologice de fabricație diferite. Astfel, toleranța componentelor diferă și este reflectată și în rezultate. Acest fapt indică importanța selecției optime a componentelor electronice, dar și a furnizorului.

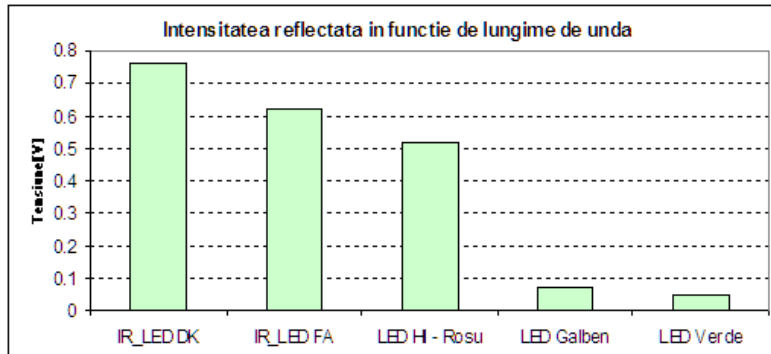


Figura 81 – Intensitatea reflectată în funcție de lungimea de undă

Caracteristica diodelor LED folosite în testele experimentale sunt prezentate în tabela de mai jos.

| Tip | Lungime de unda [nm] | | Voltaaj [V] | |
|-----------|----------------------|------|-------------|------|
| | Min. | Max. | Min. | Max. |
| IR LED DK | - | 935 | 1.6 | 1.8 |
| IR LED FA | 760 | 910 | 1.6 | 1.8 |
| Rosu | 610 | 760 | 1.63 | 2.03 |
| Galben | 570 | 590 | 2.1 | 2.18 |
| Verde | 500 | 570 | 1.9 | 4 |

Tabela 13 – Caracteristica diodelor LED folosite la experimente

6.3 Determinarea pierderilor de intensitate la fibrele optice încovoiate

Scopul experimentului: Cu acest experiment urmează să fie determinată influența încovoierii fibrelor optice asupra intensității reflectate.

Metoda de testare: pentru experimente a fost folosit un prototip de senzor optic de presiune, al cărui fibre au fost îndoite într-o buclă de 360° , după care a fost măsurat diametrul buclei. Apoi a fost măsurată intensitatea reflectată. Experimentul a fost repetat pentru diferite diametre de buclă. Fibra optică folosită la experimente avea un miez de 1 mm, cu diametrul exterior de 2.2 mm.

După acest experiment, măsurătorile au fost repetate separat pentru fibra de emisie, respectiv recepție.

Echipele folosite la experiment: - Osciloscop Tektronix™ MSO4034 – folosit pentru măsurarea intensității reflectate, detalii în ANEXA F, punctul 2.

Concluzii:

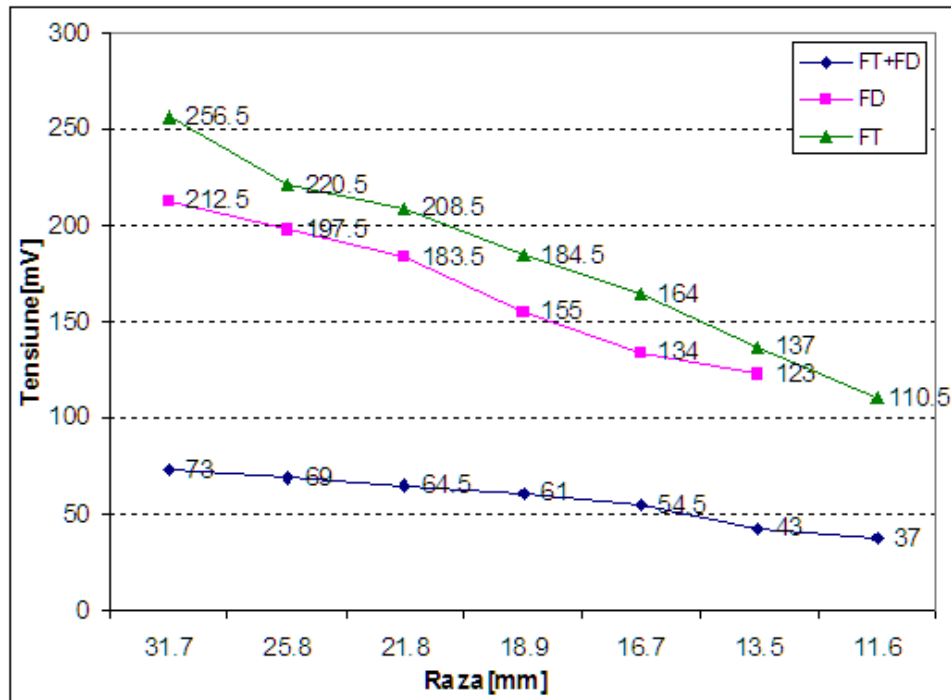


Figura 82 – Intensitatea fibrei încovoiate
 FT+FD – amândouă fibre optice sunt încovoiate; FD – Fibra optică de emisie încovoiată; FT- Fibra de recepție încovoiată

După cum se poate observa din figura de mai sus, cele mai mari pierderi apar cu amândouă fibrele încovoiate. Este interesant de văzut diferența semnificativă în cazul fibrei de emisie încovoiate comparativ cu cazul unde fibra de recepție este încovoiată.

Ce se poate identifica de asemenea este că, la diametre mici de încovoiere intensitatea luminii poate să aibă pierderi până la 50%. Aceste experimente arată un dezavantaj al soluției alese, care trebuie luat în considerare în cazul aplicării sensorului în automobil. Una dintre modalitățile de a soluționa această problemă ar fi calibrarea sensorului după montarea acestuia pe automobil.

6.4 Timpul de stabilizare a sensorului

Scopul experimentului: este de a stabili timpul necesar de la pornirea sensorului până când acesta ajunge operațional.

Metoda de testare: pentru determinarea timpului de stabilizare a fost folosit un prototip de senzor de presiune care a fost montat pe placa de testare (ANEXA F, punctul 3). Cu un osciloscop a fost măsurat timpul necesar fototranzistorului pentru a se stabili. Au fost făcute o serie de măsurări pentru obținerea datelor cât mai relevante.

Echipele folosite la experiment: - Osciloscop Tektronix™ MSO4034 – folosit pentru măsurarea intensității reflectate, detalii în ANEXA F, punctul 2.

Concluzii:

| Timp de stabilizare | Rezultat [μ s] |
|---------------------|---------------------|
| t 1 | 456 |
| t 2 | 532 |
| t 3 | 496 |
| t 4 | 504 |
| t 5 | 484 |
| t mediu | 494.4 |

Tabela 14 – Timp de stabilizare senzor

Tabela de mai sus arată valoarea timpului necesar de stabilizare a senzorului optic. Această valoare depinde în mare parte de caracteristica componentelor folosite în construcția senzorului. Valoarea experimentală măsurată (maximă de 532 μ s) arată un timp scurt de pornire comparabil cu senzori asemănători, care au caracteristici de stabilizare în ordinul milisecundelor.

6.5 Definirea caracteristicilor echipamentului de achiziție de date

6.5.1 Determinarea distorsiunii echipamentului de achiziție date

Scopul experimentului: este de a determina caracteristica lanțului de achiziție de date, de la intrarea semnalului analog până la digitalizarea, respectiv stocarea acestuia. Pentru validarea rezultatelor, datele stocate au fost retransmise pe un canal analog spre un osciloscop.

Metoda de testare: Un semnal analogic (sinusoidal) provenit de la un generator de funcții cu o amplitudine de 300 mV a fost aplicat la intrarea analogică a echipamentului de achiziție. În mediul scilab [S.2], a fost selectată frecvența de achiziție de 44100 Hz, cu 100000 de eșantioane. Frecvența semnalului sinusoidal a fost setată la o valoare prestabilită, după care a fost pornit echipamentul de achiziție. După stocarea datelor, programul scilab le-a redirecționat automat pe canalul de ieșire al plăcii de achiziție, la care a fost legat un osciloscop. După stocarea datelor provenite de pe osciloscop, procesul a fost preluat pentru diferite frecvențe prestabilite. Pentru eliminarea erorilor de măsurare, ciclul de experimente a fost repetat de mai multe ori.

Echipamente folosite la experiment:

- Osciloscop Tektronix™ MSO4034 – folosit pentru măsurarea intensității reflectate, detalii în ANEXA F, punctul 2.
- Generator de semnal – folosit pentru generarea frecvențelor de referință, aplicată la intrarea echipamentului de achiziție, detalii în ANEXA F, punctul 4.
- Placa de achiziție semnale, (detalii în capitolul 5.5), ANEXA F, punctul 5.
- Mediul de dezvoltare scilab [S.2]

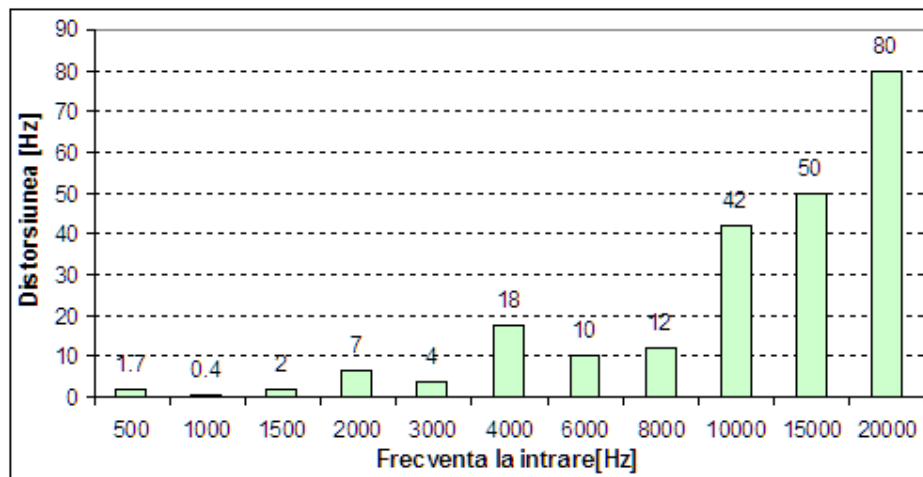
Concluzii:

Figura 83 – Distorsiunea în funcție de frecvența de intrare a echipamentului de achiziție date

Domeniul de interes pentru achiziția datelor pentru senzorii de accelerație, respectiv de presiune este până la 10 kHz. După achiziția datelor a fost aplicat un filtru SW care taie frecvențele mai mari de 4 kHz. Se poate observa de pe figura anterioară valoarea scăzută a distorsiunii (de aproximativ 18 Hz) pentru această frecvență. Aceasta indică că valorile provenite de la echipamentul de achiziție sunt calitativ bune, chiar și la frecvențe mai mari.

6.5.2 Determinarea ratei de semnal util - zgomot

Scopul experimentului: prin acest experiment este determinată rata semnalului util față de zgomotul de achiziție.

Metoda de testare: La intrarea echipamentului de achiziție de date, a fost conectată o sursă de tensiune stabilizată, la care era selectată o tensiune prestabilită. Datele au fost achiziționate folosind mediul de dezvoltare scilab [S.2], după care au fost prelucrate și stocate prin intermediul unui program dezvoltat de autor. Experimentul a fost repetat pentru diferite tensiuni preselectate, pentru obținerea unor date cât mai relevante.

Echipamente folosite la experiment:

- Osciloscop Tektronix™ MSO4034 – folosit pentru măsurarea intensității reflectate, detalii în ANEXA F, punctul 2.
- Placa de achiziție semnale, (detalii în capitolul 5.5), ANEXA F, punctul 5.
- Mediul de dezvoltare scilab [S.2]

Concluzii:

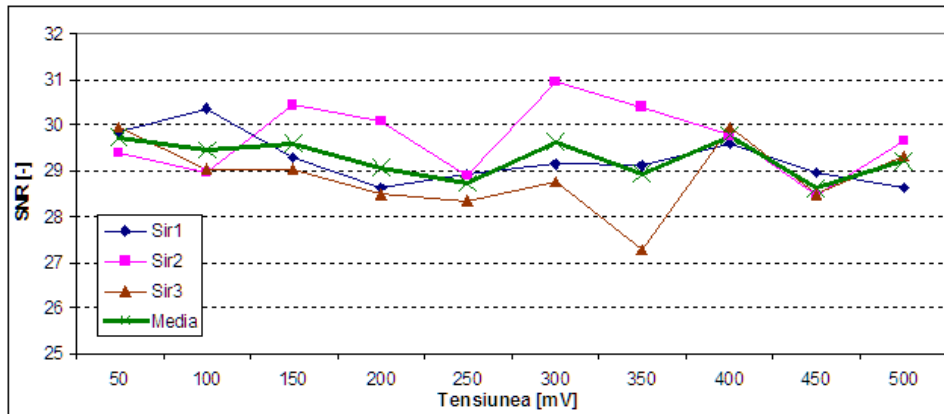


Figura 84 – Variația ratei de semnal util – zgomot (SNR)

După cum se poate observa din figura de mai sus, au fost aplicate la intrarea echipamentului de achiziție tensiuni de intrare între 50 – 500 mV. Valorile obținute pentru SNR se situează între vârfurile de minim și maxim de 27.28 respectiv 30.96. Din aceste valori se poate calcula diferența maximă, care este de 3.68. Această variație a SNR devine importantă în cazul semnalelor care au o amplitudine foarte mică, comparabilă cu zgomotul de conversie. Acest comportament al echipamentului de conversie trebuie luat în considerare la prelucrarea datelor experimentale, datorită faptului că are efect asupra calității semnalului achiziționat.

6.5.3 Liniaritatea echipamentului de achiziție date pe domeniul de măsurare

Scopul experimentului: este de a determina deviația valorilor măsurate de echipamentul de achiziție pe domeniul de măsurare, față de o mărime de intrare prestabilită.

Metoda de testare: la intrarea echipamentului de achiziție date s-a conectat un osciloscop, după care a fost aplicat un șir de tensiuni prestabilite. Datele astfel achiziționate au fost prelucrate prin intermediul mediului de dezvoltare scilab de un SW dezvoltat de autor, și comparate cu valorile de intrare, respectiv datele provenite de la osciloscop.

Echipamente folosite la experiment:

- Osciloscop Tektronix™ MSO4034 – folosit pentru măsurarea intensității reflectate, detalii în ANEXA F, punctul 2.

- Placa de achiziție semnale, (detalii în capitolul 5.5), ANEXA F, punctul 5.
- Mediul de dezvoltare scilab [S.2]

Concluzii:

| Tensiune de intrare [mV] | Tensiune măsurată pe osciloscop [mV] | Tensiune măsurată de placa de achiziție [mV] |
|--------------------------|--------------------------------------|--|
| 100 | 100 | 106.10 |
| 200 | 198 | 199.33 |
| 300 | 296 | 294.05 |
| 400 | 360 | 365.09 |
| 500 | 460 | 454.81 |
| 600 | 528 | 511.66 |
| 700 | 646 | 628.33 |

Tabela 15 – Linearitatea echipamentului de achiziție de date

Datele prezentate în tabelă, respectiv pe figură, arată că cele două echipamente de măsurare a mărimii de intrare au aceleași caracteristici la tensiuni mai mici de 300 mV. Acuratețea de măsurare începe să scadă la tensiuni de intrare mai mari, ajunând la o diferență de 17.67 mV la 700 de mV.

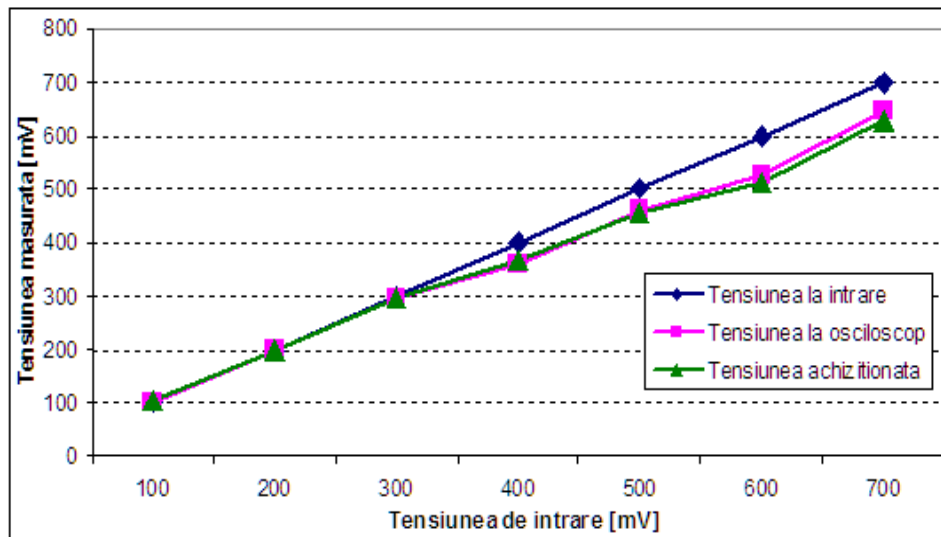


Figura 85 – Linearitatea echipamentelor de măsurare folosite la încercări experimentale

Deviația la capătul șirului de măsurători arată imprecizia echipamentelor de măsurare. De menționat că apar pierderi provenite din interconectarea aparatelor cu cabluri, respectiv pe suprafețele de contact ale mufelor, care se comportă ca o rezistență introdusă în calea semnalului. Având aceste informații la bază, se poate enunța că pe parcursul experimentelor aceste domenii (600 – 700 mV) să fie evitate pentru a menține semnalul cât mai apropiat de semnalul de intrare.

6.6 Testarea senzorului optic de presiune respectiv de accelerație

În acest capitol autorul prezintă rezultatele experimentale obținute în urma experimentelor folosind prototipuri de senzori optici de presiune și de accelerație. Au fost executate o serie de teste pentru determinarea caracteristicilor principale ale acestor senzori. În urma acestor teste au fost determinate:

- Domeniului de măsurare;
- Acuratețea senzorului;
- Rezoluția senzorului;
- Repetabilitatea valorilor;
- Timpul de răspuns;
- Linearitatea senzorului;
- Raportul semnal util – zgomot.

Echipamentele folosite la testarea senzorilor optici de presiune, respectiv de accelerație:

- Osciloscop Tektronix™ MSO4034 – folosit pentru măsurarea intensității reflectate, detalii în ANEXA F, punctul 2;
- Mediul de dezvoltare scilab [S.2] – folosit pentru achiziționarea paralelă a datelor de la senzorul de referință, respectiv optic de presiune ori de accelerație;
- Microsoft™ Excel™;
- Senzor de referință de accelerație (ANEXA F, punctul 8);
- Senzor de referință de presiune (ANEXA F, punctul 9);
- Stand experimental (ANEXA F, punctul 7).

6.6.1 Domeniul de măsurare

Scopul experimentului: Scopul acestui experiment este de a determina valoarea minimă și maximă între care senzorul livrează date corecte. În cazul în care sunt aplicate valori în afara acestui domeniu, senzorul livrează valori constante ori eronate, sau chiar poate fi avariat.

6.6.1.1 Senzor optic de presiune

Metoda de testare: Senzorul de presiune optică, împreună cu un senzor de referință este plasat într-o incintă. Presiunea inițială în incintă este presiunea atmosferică. Pe incintă s-a aplicat o forță care a cauzat deformarea acesteia. Acest comportament avea rolul de a simula deformarea cavității ușii mașinii. Pe parcursul evenimentului au fost stocate datele provenite de la amândoi senzorii.

Concluzii:

Tabela de mai jos prezintă domeniul de măsurare al senzorului optic de presiune, care este de aproximativ 15 kPa peste presiunea atmosferică (101.325 kPa). Aceasta este valoarea maximă care a fost obținută pe standul experimental, unde pendulul se află la 120 de grade față de placa de coliziune (capitolul 5.2, respectiv ANEXA F, punctul 7).

| | Senzor Referința [kPa] | Senzor Optic de accelerație [kPa] |
|------------------------|---|--|
| Valoarea maximă | 115.130 | 116.829 |
| Valoarea minimă | 97.391 | 101.325 |
| Domeniu | 17.738 | 15.504 |

Tabela 16 – Domeniul de măsurare a senzorului optic de presiune

Domeniul de măsurare al senzorului optic de presiune este de aproximativ 15 kPa. Acesta este valoarea maximă care a fost obținută pe standul experimental.

6.6.1.2 Senzor optic de accelerație

Metoda de testare:

Pe standul experimental au fost montați doi senzori:

- un senzor de referință, având domeniul de măsurare de $\pm 120g$ (ANEXA F, punctul 8);

- un prototip de senzor optic de accelerație.

Brațul pendulului de pe standul experimental a fost poziționat la un unghi de 120 de grade, de unde a avut o cădere liberă pe placa de coliziune (ANEXA F, punctul 6). Valorile provenite de la senzori au fost înregistrate cu ajutorul unui osciloscop, după care au fost prelucrate în mediul de dezvoltare scilab.

Concluzii:

| | Senzor Referința [g] | Senzor Optic de accelerație [g] |
|------------------------|---------------------------------------|--|
| Valoarea maximă | 81.455 | 38.051 |
| Valoarea minimă | -89.212 | -109.055 |
| Domeniu | 170.667 | 147.106 |

Tabela 17 – Deviația maximă de la linearitate

Tabela de mai sus prezintă domeniul de măsurare a senzorului de referință. După cum se poate identifica, printr-o direcție senzorul optic de accelerație acoperă un domeniu mai mare, datorită distanței optime aleasă la construcția prototipului (capitolul 6.1). În cazul în care este necesar același domeniu de măsurare pe amândouă axele, distanța dintre membrană și capătul fibrelor optice trebuie să fie ajustată (în limita distanței optime definite).

6.6.2 Linearitatea senzorului

Scopul experimentului: este de a determina cât diferă valorile provenite de la senzor față de o curbă ideală. În anumite cazuri, senzorii nu au un răspuns linear pe un domeniu, în cazuri diferite pentru redresarea acestui comportament sunt folosite tabele de calibrare pentru diferite domenii.

6.6.2.1 Senzor optic de presiune

Metoda de testare: Într-o incintă au fost introduși un senzor de referință și un prototip de senzor optic de presiune. Pe incintă s-a aplicat o presiune, iar datele au fost achiziționate cu un osciloscop. Experimentul a fost repetat pentru a obține informații cât mai relevante. Datele au fost prelucrate, valoarea maximă și minimă au fost identificate. Folosind metoda celor mai mici pătrate, a fost determinată curba de referință bazată pe datele provenite de la senzorul de referință.

Concluzii:

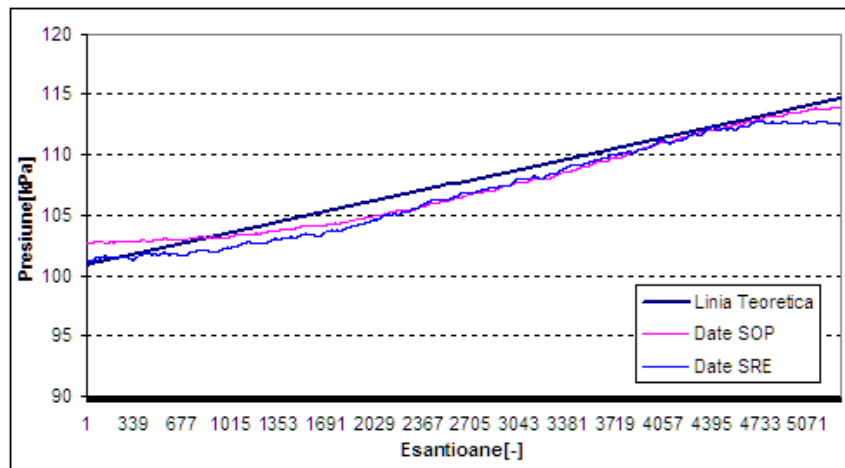


Figura 86 – Linearitatea senzorului optic de presiune
SRE – senzor de referință; SOP – senzor optic de presiune

Figura de mai sus arată cele două curbe provenite de la senzori precum și curba ideală. A fost calculată valoarea maximă a deviațiilor celor două curbe, care se regăsesc centralizate în tabela de mai jos.

După cum se poate identifica, deviația maximă a senzorului de presiune optică este de 3.188 kPa. Dacă comparăm cu deviația maximă a senzorului de referință ajungem la o valoare subunitară de 0.526 kPa. Această valoare indică deviație mică, care poate fi compensată folosind o tabelă de calibrare implementată în SW.

Acest principiu este folosit în multe implementări de senzori, la unele cu electronică încorporată (i.e. ASIC) aceste valori sunt automat aplicate peste semnalul măsurat.

| | Senzor Referința [kPa] | Senzor Optic de presiune [kPa] |
|------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| Valoarea maximă | 2.187 | 1.410 |
| Valoarea minimă | -0.475 | -1.778 |
| Deviația | 2.662 | 3.188 |

Tabela 18 – Deviația maximă de la linearitate

6.6.2.2 Senzor optic de accelerație

Metoda de testare: Folosind standul experimental, au fost aplicate pe placa de coliziune diferite impacturi. Valorile livrate de la senzori au fost măsurate prin intermediul unui osciloscop și au fost prelucrate cu un SW dezvoltat de autor.

Concluzii:

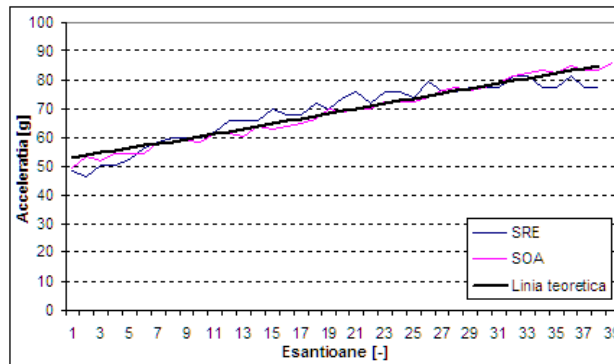


Figura 87 – Linearitatea senzorului optic de accelerație
SRE – senzor de referință; SOP – senzor optic de presiune

A fost analizată linearitatea valorilor livrate de la cei doi senzori (figura de mai sus), pentru a determina deviația cauzată față de o valoare teoretică. Domeniul de analiză este cuprins între 50 respectiv 80 g.

| | Senzor Referință [g] | Senzor Optic de presiune [g] |
|------------------------|---------------------------------|---|
| Valoarea maximă | 7.214 | 1.960 |
| Valoarea minimă | -3.012 | -5.543 |
| Deviația | 10.226 | 7.503 |

Figura 88 – Linearitatea senzorului optic de accelerație

Tabela de mai sus arată deviațiile maxime de la linia teoretică. După cum se poate observa, senzorul optic de accelerație livrează valori mai apropiate de curba ideală decât cel de referință. Acest comportament favorizează acuratețea valorilor obținute de la acest senzor, care este confirmată și reflectată în capitolul următor.

6.6.3 Acuratețea senzorului

Scopul experimentului: prin acest experiment urmează să fie determinat cât de bine măsoară senzorul mediul înconjurător, comparabil cu un senzor de referință legat de un standard recunoscut, de exemplu presiunea sau accelerația.

6.6.3.1 Senzor optic de presiune

Metoda de testare: Într-o incintă au fost introduși un senzor de referință și un prototip de senzor optic de presiune. Pe incintă a fost aplicată o presiune, care a fost măsurată folosind un osciloscop. Datele stocate au fost prelucrate și reprezentate pe grafic.

Caracteristica senzorului de presiune folosit ca referință la măsurători este prezentată în ANEXA F, punctul 9. Pentru calculul tensiunii de la ieșire s-a folosit funcția de transfer a senzorului:

$$U_{ie} = (c_1 \cdot p_{abs} + c_0) \cdot U_{al}$$

Unde:

U_{ie} – tensiunea la ieșire [V];
 U_{al} – tensiunea de alimentare, 5.5V a fost folosit;
 p_{abs} – presiunea absolută 101.325 [kPa];
 c_1 – este 0.85-230 [kPa⁻¹];
 c_0 – 1.4/230 [-];

Concluzii:

Figura de mai jos arată rezultatul celor trei măsurători, unde au fost aplicate pe senzor aproximativ 115 kPa. Pentru a ușura măsurările, prima dată a fost aplicat pe setul de date un filtru de bandă trece – jos de ordinul trei, cu o frecvență de tăiere de 53 Hz. Rata de achiziționare a fost pentru fiecare măsurare de 4 μs.

Din fiecare set de date a fost luat un șir de date experimentale și comparate pentru aceleași valori de senzor de referință din celelalte șiruri.

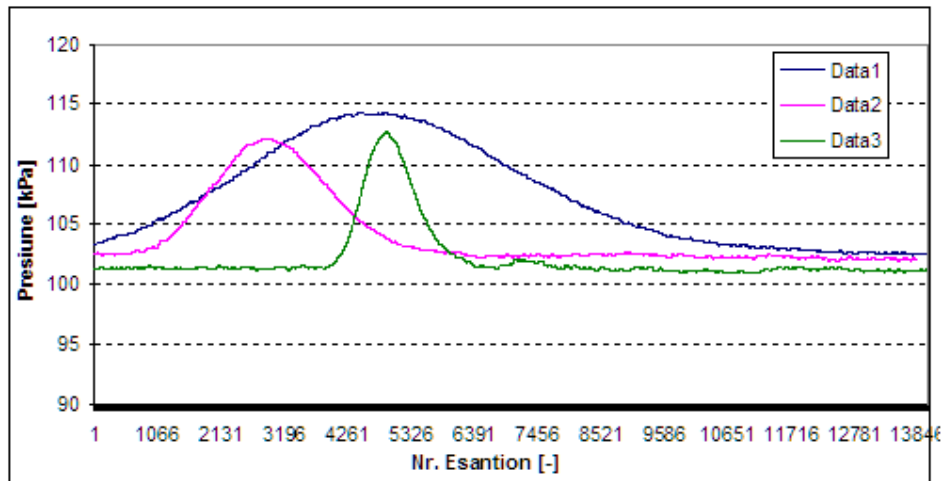


Figura 89 – Mostră de date achiziție pentru determinarea acurateței

Tabela de mai jos arată un set de valori măsurate, unde deviațiile au fost maxime pentru presiunea aplicată. Aceste date au fost folosite pentru determinarea acurateții senzorului optic de presiune.

| Set de date | Senzori | | Deviația [kPa] |
|-------------|-----------------|-----------|----------------|
| | Referința [kPa] | OPS [kPa] | |
| data 1 | 110.30516 | 111.8123 | -1.50716 |
| data 2 | 110.30143 | 112.0925 | -1.79112 |
| data 3 | 110.30433 | 113.7364 | -3.43209 |

Tabela 19 – Determinarea acurateții senzorului optic de presiune

Astfel, valoarea acurateții pentru senzorul optic de presiune este: -3.01%. Indică o deviație acceptabilă pentru a fi folosit la detectarea modificării presiunii provenite din deformarea cavității ușii în caz de coliziune cu un obiect extern.

6.6.3.2 Senzor optic de accelerație

Modul de testare: Prin intermediul standului experimental s-au aplicat pe placa de coliziune o serie de impacturi. Datele măsurate au fost prelucrate și au fost filtrate pentru eliminarea elementelor perturbatoare, după care a fost stabilită funcția de transformare a mărimilor dintre cei doi senzori. Valorile astfel obținute au fost comparate cu diferite seturi de date, iar deviația maximă a fost calculată pentru o valoare specifică.

Concluzii:

| Șir de date | Senzori | | Deviația [g] |
|-------------|---------------|---------|--------------|
| | Referința [g] | OPS [g] | |
| data 1 | 50.700 | 50.383 | 0.317 |
| data 2 | 50.692 | 50.715 | -0.023 |
| data 3 | 50.582 | 50.831 | -0.248 |

Tabela 20 – Determinarea acurateții senzorului optic de accelerație

Tabela de mai sus arată că senzorul optic de accelerație are o deviație maximă de aproximativ de ± 0.3 g față de senzorul de referință. Acesta constituie un rezultat bun, ținând cont că senzorii de accelerație cu această rezoluție (± 120 g) ajung la o acuratețe de aproximativ ± 0.25 g. Acuratețea senzorului optic indică rezultate bune pentru a fi posibilă aplicarea acestora pentru detectarea coliziunilor la automobile.

6.6.4 Timpul de răspuns

Scopul experimentului: prin acest experiment urmează să fie determinat timpul necesar pentru ca senzorul să răspundă complet la o schimbare aplicată pe intrarea lui. Timpul de răspuns al senzorului este alcătuit din suma răspunsurilor fiecărui element mecanic/electric, care face parte din lanțul de măsurare/conversie a valorii

de intrare. Cu cât este mai mic acest timp, cu atâta abilitatea senzorului de a sesiza evenimente în timp util crește. De obicei, senzorii cu un timp de răspuns scurt sunt mai costisitori.

6.6.4.1 Senzor optic de presiune

Metoda de testare: Într-o incintă a fost amplasat un senzor de referință și un senzor optic de presiune. Pe incintă au fost aplicate în mod repetat șocuri de presiune și au fost înregistrate valorile de la ieșirea senzorilor. Datele obținute au fost filtrate după care au fost identificate valorile maxime pentru fiecare șir de măsurători. A fost calculată diferența dintre variația maximă a senzorului de referință și cel optic de presiune, după care s-a calculat diferența de timp (Δt) dintre valorile maxime.

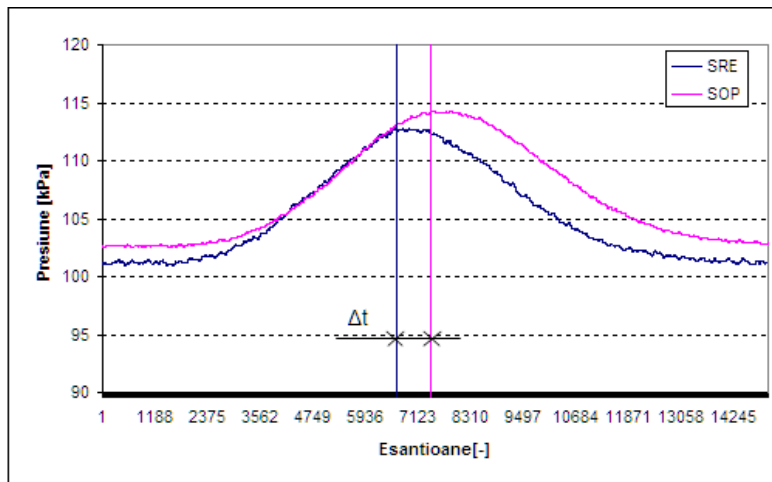


Figura 90 – Timp răspuns senzor optic de presiune
SRE – senzor de referință; SOP – Senzor optic de presiune; Δt – diferența timp răspuns

Concluzii:

Timpul de răspuns este de 2872 μs , dar din manualul senzorului de referință se știe că acesta are un timp de răspuns de 1ms, astfel valoarea devine 3.872 ms. Aceasta indică un răspuns lent al senzorului optic de presiune față de senzorul de referință. Acest comportament poate fi compensat cu un fototranzistor mai rapid, dar mai costisitor.

6.6.4.2 Senzor optic de accelerație

Metoda de testare: Pe standul experimental au fost montați doi senzori, un senzor de referință și un prototip de senzor de accelerație. Cu ajutorul pendulului au fost aplicate o serie de șocuri de accelerație pe placa de coliziune a standul experimental (ANEXA F, punctul 6). Datele au fost filtrate prin intermediul unui program scilab [S.2] dezvoltat de autor, după care a fost măsurată distanța dintre maximele valorilor achiziționate.

Concluzii:

Figura de mai jos prezintă rezultatul măsurătorii. După cum se poate observa, senzorul optic de accelerație are un timp de răspuns mai scurt decât senzorul de referință. Datele au fost achiziționate la un interval de 10 μ s, iar diferența dintre primele maxime au fost măsurate cu scilab [S.2], și a indicat 150 de unități. De aici se poate calcula diferența care este de 1.5 ms pentru senzorul de referință.

Aceasta arată avantajul lanțului simplu de achiziție propus de autor (Figura 53), care elimină elementele active cum ar fi codarea și decodarea datelor înainte de a fi trimise pe canalul de comunicare (Figura 43).

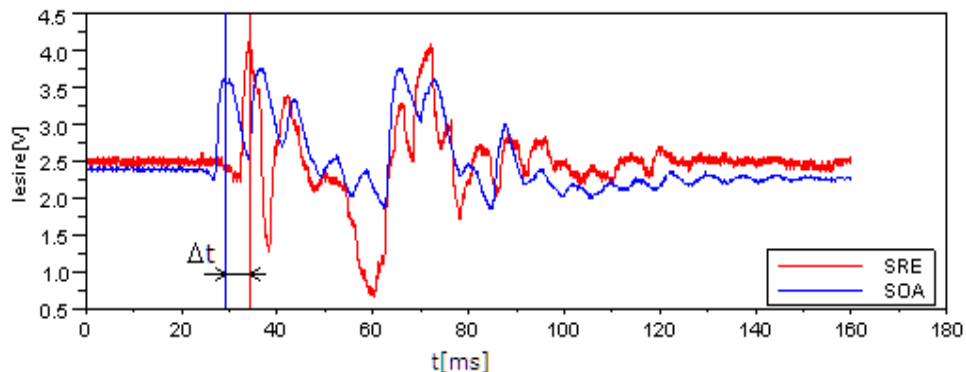


Figura 91 – Timp răspuns senzor optic de accelerație
SRE – senzor de referință; SOA – Senzor optic de accelerație; Δt – diferența timp răspuns

6.6.5 Rezoluția senzorului

Scopul experimentului: prin acest experiment este determinată valoarea cea mai mică la care senzorul optic provoacă o modificare la ieșire.

6.6.5.1 Senzor optic de presiune

Metoda de testare: Într-o incintă au fost plasați un senzor de referință și un prototip de senzor optic de presiune. Pe această incintă s-a aplicat o presiune, iar datele obținute au fost stocate pe calculator. Datele obținute au fost prelucrate și filtrate, pentru determinarea caracteristicilor statistice. Pe baza acestor rezultate a fost determinată variația de presiune minimă, maximă. Experimentul a fost repetat pentru diferite presiuni, pentru obținerea unor rezultate cât mai relevante.

Concluzii:

Tabela de mai jos arată rezoluția senzorului de referință (SRE), respectiv senzor optic de presiune (SOP). După cum se poate identifica, la amândoi senzorii rezoluția este stabilă pe domeniul de măsurare (0.02 respectiv 0.036). Rezoluția senzorului optic de presiune este mai mică (adică are pasul mai mare/unitate de kPa mai mare).

| Caracteristica | șir 1 | șir 2 | șir 3 | Unități |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|
| SRE Max | 115.130 | 113.159 | 115.130 | kPa |
| SRE Min | 97.391 | 98.377 | 98.377 | kPa |
| SRE delta | 17.738 | 14.782 | 16.753 | kPa |
| SRE Max | 2.370 | 2.330 | 2.370 | V |
| SRE Min | 2.010 | 2.030 | 2.030 | V |
| SRE delta | 0.360 | 0.300 | 0.340 | V |
| SOP Max | 115.409 | 113.156 | 113.719 | kPa |
| SOP Min | 100.762 | 100.198 | 99.635 | kPa |
| SOP delta | 14.648 | 12.958 | 14.084 | kPa |
| SOP Max | 1.800 | 1.720 | 1.740 | V |
| SOP Min | 1.280 | 1.260 | 1.240 | V |
| SOP delta | 0.520 | 0.460 | 0.500 | V |
| Sensibilitate SRE | 0.020 | 0.020 | 0.020 | V/kPa |
| Sensibilitate SOP | 0.036 | 0.036 | 0.036 | V/kPa |

Tabela 21 – Rezoluția senzorului de presiune

6.6.5.2 Senzor optic de accelerație

Metoda de testare: Pe placa de coliziune (ANEXA F, punctul 6) pe care erau montați senzorul de accelerație de referință și senzorul optic de accelerație s-au aplicat diferite șocuri. Pentru fiecare șir de măsurare a fost determinată valoarea maximă și minimă. Valorile de intrare (măsurate în Volți) au fost transformate în m/s^2 după care au fost împărțite cu accelerația gravitațională, unitate de măsură folosită în domeniul siguranței pasive a automobilelor.

Concluzii:

| Caracteristica | șir 1 | șir 2 | șir 3 | Unități |
|-------------------|----------|----------|----------|---------|
| SRE Max | 81.455 | 96.970 | 91.152 | g |
| SRE Min | -89.212 | -85.333 | -89.212 | g |
| SRE delta | 170.667 | 182.303 | 180.364 | g |
| SRE Max | 4.180 | 4.500 | 4.380 | V |
| SRE Min | 0.660 | 0.740 | 0.660 | V |
| SRE delta | 3.520 | 3.760 | 3.720 | V |
| SOP Max | 38.051 | 31.010 | 28.622 | g |
| SOP Min | -109.055 | -108.332 | -105.995 | g |
| SOP delta | 147.106 | 139.342 | 134.617 | g |
| SOP Max | 2.620 | 2.600 | 2.560 | V |
| SOP Min | 0.200 | 0.220 | 0.260 | V |
| SOP delta | 2.420 | 2.380 | 2.300 | V |
| Sensibilitate SRE | 0.021 | 0.021 | 0.021 | V/g |
| Sensibilitate SOP | 0.016 | 0.017 | 0.017 | V/g |

Tabela 22 – Rezoluția senzorului de accelerație

După cum se poate identifica din tabele de mai sus, rezoluția senzorului optic de accelerație este cu aproximativ 0.004 V/g unități mai mică. Adică senzorul optic de accelerație are o rezoluție mai mare față de senzorul de referință. Acest fapt confirmă că senzorul optic de accelerație are o rezoluție suficient de bună și poate fi folosit pentru detectarea coliziunilor din domeniul automobilelor.

6.6.6 Raportul semnal util – zgomot

Scopul experimentului: este de a determina cantitatea de semnal util față de perturbările măsurate.

6.6.6.1 Senzor optic de presiune

Metoda de testare: Semnalul a fost achiziționat de la un senzor de referință și un prototip de senzor optic de presiune, amândouă introduse într-o incintă, pe care au fost aplicate diferite presiuni. Semnalul a fost prelucrat pentru a afla valoarea mediei și a deviației standard.

Concluzii:

Datele centralizate sunt prezentate în tabela de mai jos:

| Caracteristici semnal | Set 1 | Set 2 | Set 3 |
|---------------------------|----------|----------|----------|
| Valoarea mediei SRE [kPa] | 103.5504 | 102.1602 | 101.8254 |
| Deviația standard SRE [-] | 3.7861 | 2.5517 | 2.2912 |
| Valoarea mediei SOP [kPa] | 105.2614 | 103.5655 | 102.0135 |
| Deviația standard SOP [-] | 3.8586 | 2.6142 | 2.2891 |
| SNR SRE [-] | 27.3504 | 40.0358 | 44.4410 |
| SNR SOP [-] | 27.2797 | 39.6164 | 44.5650 |
| Media SNR SRE [-] | 37.2757 | | |
| Media SNR SOP [-] | 37.1537 | | |

Tabela 23 – Raportul semnal util și zgomot pentru senzorul de presiune

Rata de semnal în raport cu zgomotul (SNR – Signal to Noise Ratio) este ridicată, ceea ce indică o calitate bună de semnal util.

Se poate identifica din tabela de mai sus că diferența dintre calitățile semnalelor provenite de la senzorul de referință (SRE), respectiv prototip de senzor optic de presiune nu depășește nici măcar o unitate (aproximativ egal cu 0.4).

Acest fapt arată ca lanțul de achiziție propus de autor (capitolul 4.3.2) funcționează și poate fi folosit cu succes la implementarea acestor tipuri de senzori optici de presiune, fără să aibă de suferit calitatea semnalului achiziționat.

6.6.6.2 Senzor optic de accelerație

Metoda de testare: Pe placa de coliziune a standului experimental au fost aplicate o serie de șocuri de accelerație. Datele achiziționate au fost prelucrate, media și

deviația standard a fost calculată, din care a fost obținută rata de semnal util – zgomot.

Concluzii:

| Caracteristici semnal | Set 1 | Set 2 | Set 3 |
|---------------------------|-------|-------|-------|
| Valoarea mediei SRE [V] | 2.489 | 2.489 | 2.490 |
| Deviația standard SRE [-] | 0.344 | 0.341 | 0.361 |
| Valoarea mediei SOP [V] | 1.985 | 2.061 | 2.063 |
| Deviația standard SOP [-] | 0.379 | 0.336 | 0.294 |
| SNR SRE [-] | 7.230 | 7.293 | 6.907 |
| SNR SOP [-] | 5.233 | 6.143 | 7.017 |
| Media SNR SRE [-] | 7.144 | | |
| Media SNR SOP [-] | 6.131 | | |

Tabela 24 – Raportul semnal util și zgomot pentru senzorul de accelerație

După cum se poate identifica din tabela de mai sus, senzorul de accelerație optic are un raport de cantitate mai mic cu o unitate față de senzorul de referință. Diferența de o unitate de măsură indică o diferență acceptabilă. Aceasta confirmă teoria prezentată de autor în capitolul 4.3.2, în care acesta propune să demonstreze că lanțul de achiziție de date propus poate fi folosit cu succes. De asemenea, arată că acest tip de senzor poate fi folosit pentru detectarea accelerațiilor în aplicații pentru detectarea coliziunilor automobilelor.

6.7 Comportamentul senzorilor de accelerație în condiții de coliziune

Literatura de specialitate referitoare la această tematică este restrânsă, datorită complexității fenomenelor de coliziune care trebuie urmărite în timp real. De multe ori sunt folosite aproximări/simulări sau modele simple pentru testarea conceptelor dezvoltate pentru detectarea coliziunilor automobilelor [C.7, D.4, M.5].

Pentru validarea senzorilor optici, autorul a construit un stand experimental care simulează comportamentul barei de protecție în cazul unei coliziuni frontale. Amplasamentul acestor senzori a fost prezentat în capitolul 2.1.

Modelul matematic pentru simularea comportamentului unui asemenea sistem a fost prezentat detaliat în capitolul 3.2.2 și 3.2.4.

Pentru studierea acestui eveniment, autorul a creat un algoritm în mediul de dezvoltare scilab [S.2, F.9, A.5, L.2, M.7, W.24], care prelucrează semnalul în timp real și ia decizia de activare a sistemelor de protecție în funcție de parametrii de calibrare introduși.

Algoritmul dezvoltat are o arhitectură modulară care permite ușor urmărirea transformării semnalului de intrare, de asemenea expune funcționarea algoritmului care oferă o identificare ușoară a caracteristicii semnalului. Majoritatea blocurilor din algoritm au parametri configurabili, care sunt setați înainte de pornirea simulării și depind de caracteristicile senzorilor folosiți. Schema de bloc a algoritmului este prezentată în figura următoare.

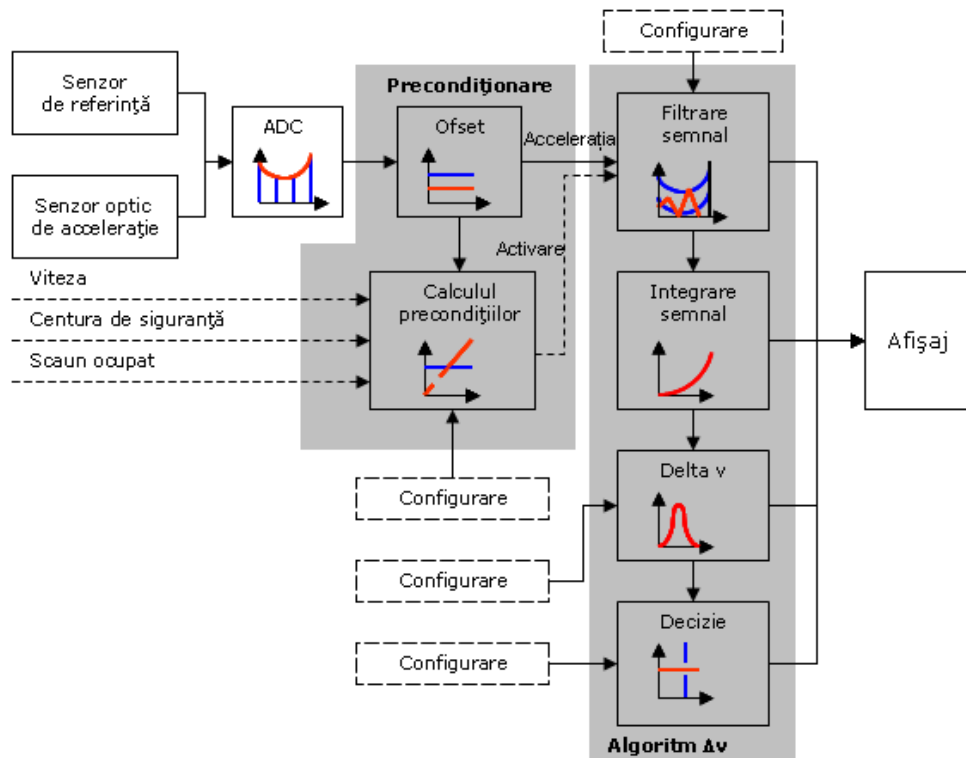


Figura 92 – Schema bloc a algoritmului de detectare coliziune frontală simulată

După cum se poate identifica din figură, sunt folosiți doi senzori, unul pentru detectarea coliziunii, celălalt pentru confirmarea acestuia. Prin această arhitectură se elimină decizia eronată a algoritmului, care crește robustețea sistemului și stabilitatea algoritmului.

Dat fiind faptul că senzorul de referință livrează datele măsurate în mV care trebuie prima dată transformate în unități „g”, semnalul provenit de la senzorul optic de accelerație trebuie adus la aceeași scară. Aceasta sarcină este realizată de primul modul de calcul.

Semnalele prelucrate ajung la următorul modul unde sunt calculate condițiile pentru activarea algoritmului. Una dintre informațiile care stă la baza condițiilor este viteza. Valoarea minimă definită depinde de sistem și de cerințele producătorilor de automobile. De multe ori condiția este ca viteza minimă (înainte de coliziune) la care trebuie activate sistemele de protecție este în de jur 20 km/h.

În acest modul este configurată și valoarea de prag la care procesarea situației de coliziune trebuie să înceapă. Pe lângă semnalul de viteză apar și date suplimentare (starea centurii de siguranță, starea scaunului) care adaugă o inteligență sporită pentru algoritmul de detectare a coliziunii. În cazul experimentelor, aceste semnale au fost simulate, dar lăsând posibilitatea de a fi cuplate la semnale provenite de la senzori reali.

Dacă toate condițiile sunt îndeplinite, algoritmul este activat. Urmează ca datele de intrare să fie filtrate, pas important pentru eliminarea frecvențelor înalte

inutile pentru algoritm. Autorul a folosit un filtru SW trece jos (IIR) de ordinul 1, prin intermediul căruia frecvențele înalte (mai mari de 100 Hz) au fost tăiate.

Semnalul de accelerație filtrat este introdus într-un modul de integrare. Astfel accelerația este transformată în viteză, ceea ce constituie o informație mult mai relevantă pentru algoritm.

Modulul „delta v” calculează, pentru fiecare punct din semnalul de intrare integrat, diferența de viteză pe parcursul evenimentului. O variație mai mare de viteză pe unitate de timp indică o severitate mai mare la coliziune.

Această informație este transmisă către modulul de decizie, care, bazat pe datele de configurare, clasifică severitatea evenimentului. Depinzând de informația nivelului de severitate, este luată decizia activării elementelor de siguranță. Nivelele de severitate pentru o coliziune simulată sunt clasificate în felul următor:

| Nivel de severitate | Descriere | Acțiune |
|---------------------|--|---|
| Nivel 0 | - algoritmul a fost activat, dar una dintre condiții de activare nu a fost îndeplinită | Nici un sistem de protecție nu trebuie activat. |
| Nivel 1 | - toate condițiile de activare au fost îndeplinite - Delta v prea mic | Centura de siguranță electrică este activată |
| Nivel 2 | - toate condițiile de activare au fost îndeplinite - Delta v peste limita maximă | - Centura activată - AirBag activat |

Tabela 25 – Nivele de severitate folosite la algoritmul de detectare coliziune

Folosind standul experimental, pe placa de coliziune (ANEXA F, punctul 6) s-au aplicat diferite viteze de coliziune. Pentru fiecare măsurare s-a verificat comportamentul algoritmului și informația livrată. Scenariile de coliziune au fost organizate în felul următor:

| Poziție Pendul | Viteza teoretică înainte de coliziune [km/h] |
|----------------|--|
| 30° | 8.48 |
| 45° | 12.5 |
| 60° | 16.4 |
| 90° | 23.2 |
| 120° | 28.4 |

Tabela 26 – Scenarii de coliziune pe standul experimental

Scenariile cele mai importante sunt cele care au o viteză de coliziune mai mare sau egală cu 20 km/h. Pentru o coliziune frontală reală acesta este pragul (20 km/h) la care algoritmul trebuie să decidă dacă trebuie să activeze sistemele de protecție. De obicei sunt o serie de teste executate pe automobile reale pentru a strânge date suficiente de calibrare ale algoritmului pentru acest domeniu. Acest lucru este necesar pentru a fi posibilă distingerea cazurilor de activare eronată a sistemelor de protecție la aceste viteze reduse.

Figura de mai jos prezintă datele de la un scenariu de coliziune cu pendulul la 120 de grade, unde viteza pendulului înainte de coliziune era de aproximativ 28 de km/h.

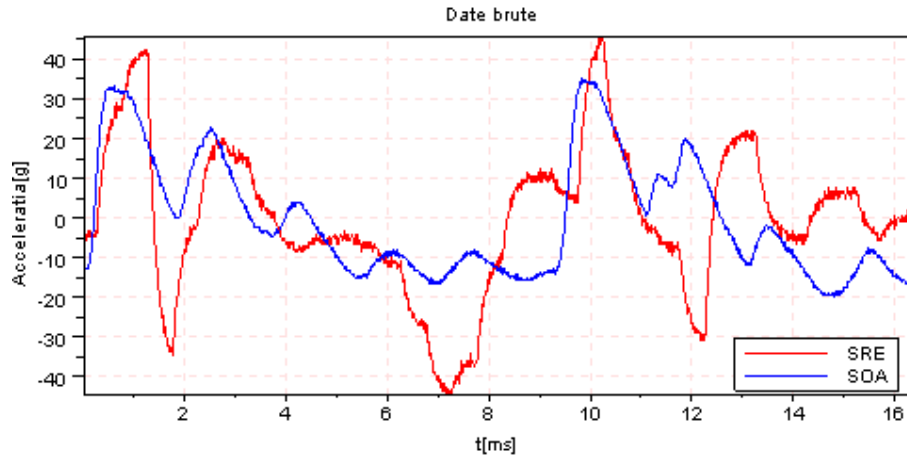


Figura 93 – Date nefiltrate de la scenariul de coliziune
SRE – senzor de referință; SOA – senzor optic de accelerație

După cum se poate observa, comportamentul sistemului este greu de identificat, bazat doar pe semnalele de accelerație. Integrând semnalul de accelerație este obținută viteza plăcii de coliziune. Această informație este prezentată pe figura de mai jos, unde pot fi identificate ușor diferitele faze ale coliziunii.

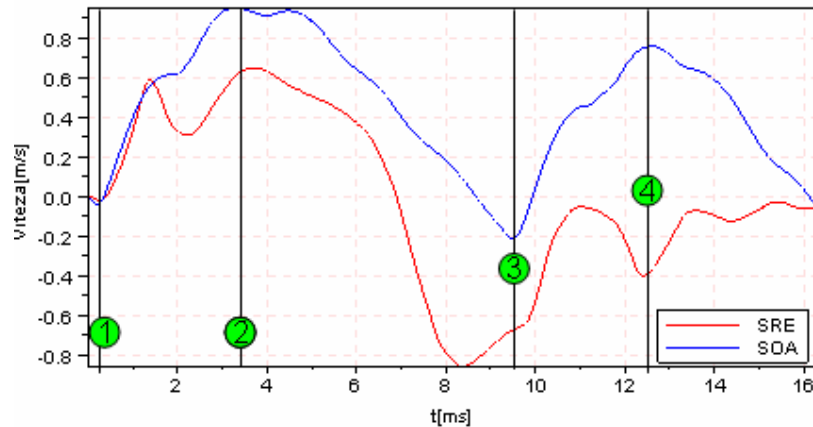


Figura 94 – Date filtrate și integrate de la scenariul de coliziune
SRE – senzor de referință; SOA – senzor optic de accelerație

Bazat pe semnalul SOA, punctul „1” marchează momentul impactului și începutul comprimării arcurilor din sistem (ANEXA F, punctul 6). Punctul „2” marchează zona unde arcurile au acumulat energia cinetică maximă (sub formă de energie potențială) și începe eliminarea acesteia ca energie cinetică. Punctul „3” arată zona unde placa de coliziune este împinsă înapoi de arcuri și ciocnește la capătul delimitatoarelor „4”. Ciocnirea plăcii de coliziune la capătul delimitatorilor creează o „coliziune falsă”, adică arată același comportament ca și o coliziune doar cu direcția opusă a

impactului cu pendulul. Această „ciocnire falsă” provine din construcția standului experimental și poate fi ignorată în analize, zona de interes fiind situată între punctele 1 – 3.

După cum se poate observa pe figura anterioară, viteza maximă la care ajunge placa de coliziune este aproximativ de 0.8 m/s în zona de interes. Senzorul optic de accelerație indică viteze mai mari decât senzorul de referință, acest lucru se datorează modului de montare a senzorului pe placa de coliziune.

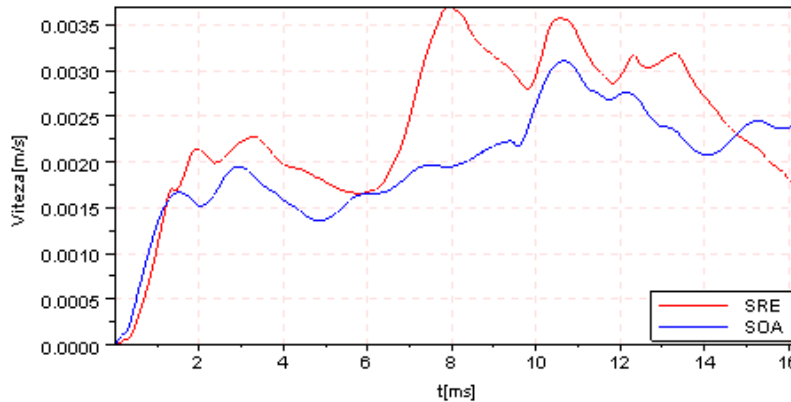


Figura 95 – Variația vitezei în funcție de timp

Penultimul pas în lanțul de prelucrare a semnalului este calcularea variației vitezei în funcție de timp. Prin aceasta pot fi obținute informații relevante care stau la baza deciziei de declanșare a sistemelor de protecție.

În figura de mai sus este prezentat cazul corespunzător al scenariului de coliziune prealabil descris. Amândoi senzorii prezintă același comportament, cu mici diferențe de offset. Din aceasta rezultă că, comportamentul senzorului optic de accelerație este același cu cel de referință și poate fi folosit pentru detectarea coliziunilor.

Ultimul pas făcut de algoritmul de detectare a coliziunii este clasificarea severității coliziunii. Algoritmul este astfel calibrat încât să nu se declanșeze la orice eveniment care are comportament asemănător cu o coliziune (de exemplu: mingea care lovește bara de protecție), excluzând astfel cazurile de activare greșită a sistemelor de protecție.

Pe parcursul unui accident real, de multe ori au loc evenimente de coliziune interconectate. Depinzând de cerințele sistemului, algoritmul poate fi repornit după o coliziune și să aștepte următorul eveniment, care se desfășoară imediat după prima coliziune cu obiectul. Statistica arată că în aceste cazuri prima coliziune este mai puțin severă, însă urmată de o coliziune cu o severitate mai mare. Sunt sisteme de AirBag cu mai multe nivele de protecție, care includ două capsule pirotehnice, și pot fi comandate secvențial, în funcție de cerințe. Pentru cazul menționat, poate fi folosit acest tip de AirBag. Algoritmul dezvoltat de autor este implementat astfel încât odată atins nivelul de severitate, nu mai poate fi resetat (până când mașina se află în mișcare), dar în schimb evenimentele interconectate sunt vizibile.

Un astfel de caz este prezentat pe figura următoare, unde „coliziunea falsă” provocată de revenirea plăcii de coliziune și de ciocnirea acestuia cu placa de suport

stand este folosită ca un eveniment separat, însă interconectat cu coliziunea anterioară.

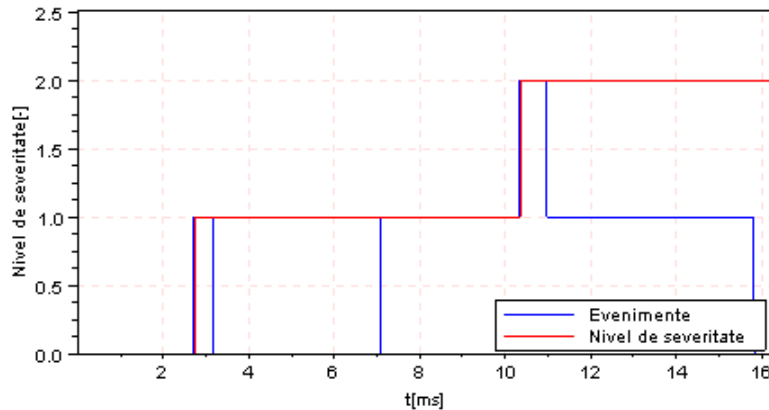


Figura 96 – Decizia algoritmului de coliziune

După cum se poate observa în figura de mai sus, la aproximativ 0.5 ms (de la prima activare) algoritmul identifică un eveniment care l-ar putea reseta, după care apare evenimentul interconectat la aproximativ 8 ms, care este mai intens. Acesta indică algoritmului să crească nivelul de severitate al evenimentului de coliziune. Corespunzător nivelelor de severitate prealabil definite, ar însemna că prima dată este activată centura de siguranță (la ciocnirea cu un obiect mai mic), urmată de activarea AirBag-ului (la coliziunea cu un obiect masiv).

Concluzii:

- Datele provenite de la senzorii de pe standul experimental au fost comparate cu date provenite de la coliziuni reale, la 20 km/h, care au confirmat același comportament al senzorului optic cu cel real.
- Bazat pe rezultatele obținute prin intermediul algoritmului dezvoltat de autor, senzorul optic de accelerație poate fi folosit la detectarea coliziunilor.

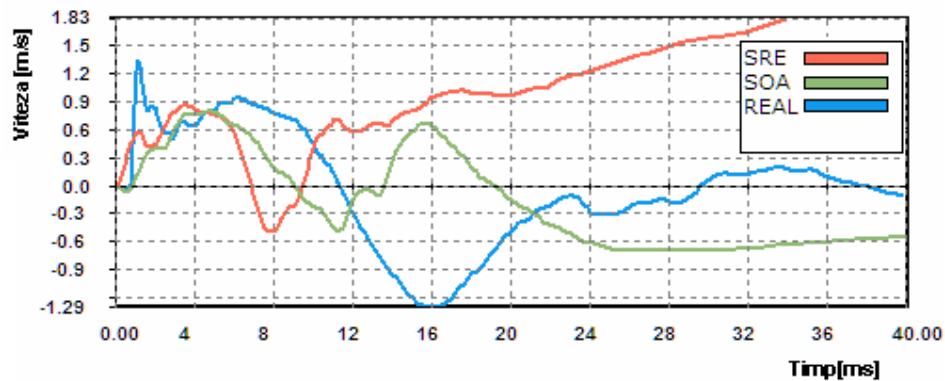


Figura 97 – Comparația datelor reale cu datele provenite de la senzori
REAL – senzor de accelerație montat pe o mașină la o coliziune reală; SOA – Senzor optic de accelerație; SRE – senzor de referință

6.8 Comportamentul senzorului de presiune în condiții de coliziune

Pentru studierea comportamentului senzorului de presiune în condiții de coliziune, autorul a folosit standul experimental descris în capitolul 5.2. Pe acesta a fost montată o incintă în care au fost plasați senzorii de referință (ANEXA F, punctul 9), respectiv cel optic de presiune. Prin aplicarea diferitor presiuni pe incintă, a fost simulat comportamentul ușii unui automobil în cazul în care suferă deformări datorită coliziunii cu un obiect străin. Amplasamentul acestor tipuri de senzori a fost prezentat în capitolul 2.1. Studiul evenimentului a fost realizat printr-un algoritm dezvoltat de autor în mediul de dezvoltare scilab [S.2, F.9, A.5, L.2, M.7]. După cum a fost prezentat în capitolul 2.2.3, acest tip de coliziune este cea mai critică în timp, posibilitatea cercetării acestor tipuri de evenimente înainte de fi aplicate pe automobile, constituie un avantaj semnificativ. Astfel, algoritmi de detectare a coliziunii pot fi optimizați ușor, încă din prima fază de dezvoltare.

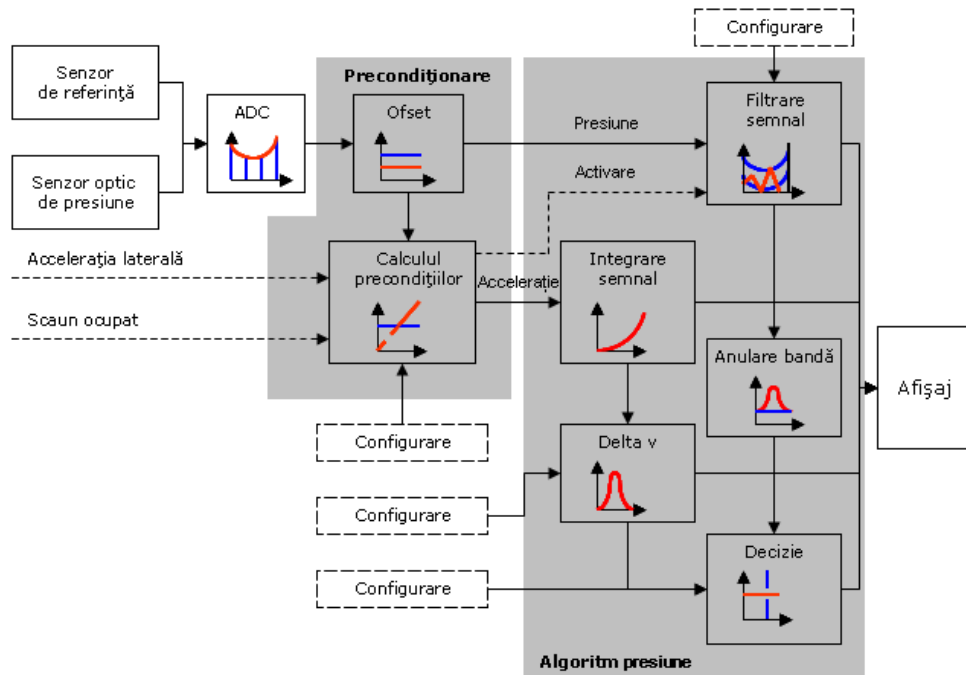


Figura 98 – Schema bloc a algoritmului de detectare coliziune laterală

Algoritmul dezvoltat prelucrează în timp real datele provenite de la senzori, după care ia decizia de activare a diferitelor sisteme de protecție. Schema de bloc a algoritmului este prezentată în figura de mai sus.

Semnalul preluat de la senzori este transformat în prima fază în mărimi de presiune și trimis la blocul de „calculul precondițiilor”.

Informația de presiune împreună cu semnalele de intrare (accelerație laterală, starea scaunului) este analizată și comparată cu valorile de prag configurate. În cazul în care semnalele de intrare depășesc pragul definit, se

activează algoritmul. În prima fază de procesare semnalul de presiune este filtrat, în timp ce semnalul de accelerație este integrat pentru obținerea vitezei.

În pasul următor, pe semnalul de presiune este aplicată o funcție de „anulare bandă”, care are rolul de a tăia banda în care se situează zgomotul suprapus informației utile. După acest modul, semnalul ajunge la una dintre intrările blocului de decizie.

Blocul de decizie preia semnalele de viteză, respectiv de presiune și le compară cu valorile configurate. Dacă profilul semnalului corespunde unui profil de coliziune, atunci începe analiza severității coliziunii. După procesarea informațiilor de intrare, la ieșirea algoritmului este aplicat nivelul corespunzător de severitate, care corespunde unei combinații de sisteme de protecție care necesită să fie activate.

| Nivel de severitate | Descriere | Acțiune |
|---------------------|--|---|
| Nivel 0 | - una dintre condiții de activare nu a fost îndeplinită | Nici un sistem de protecție nu trebuie activat. |
| Nivel 1 | - viteza de coliziune sau deformație ușă prea mică | Airbag-ul tip cortină este activat. |
| Nivel 2 | - toate condițiile de activare au fost îndeplinite - deformări peste limita maximă definită | Airbag-ul tip cortină Airbag-ul de protecție piept Airbag-ul de protecție a capului |

Tabela 27 – Nivele de severitate folosite la algoritmul de detectare coliziune laterală

La experimentele executate pe standul experimental pendulul se afla la 120 de grade. De la această poziție viteza teoretică de coliziune este de 28.4 km/h, care corespunde cu unul dintre cazurile prezentate în capitolul 1.5.2.2, coliziune laterală cu un stâlp (Euro NCAP).

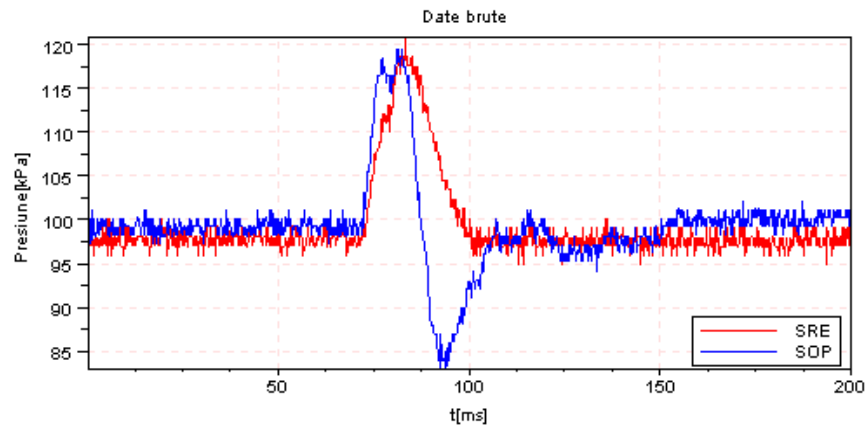


Figura 99 – Semnale provenite de la senzorii de presiune
SRE – senzor de referință; SOP – Senzor optic de presiune.

Figura de mai sus prezintă semnalele de la cei doi senzori, de referință și senzor optic de presiune, provenite de la intrarea primului bloc de procesare.

După cum se poate vedea din figură, senzorul optic de presiune coboară brusc imediat după ce semnalul atinge un nivel maxim. Acest comportament se

datorează soluției mecanice folosite pentru incinta în care sunt amplasați senzorii. După comprimare în urma coliziunii cu pendulul, acesta revine în forma inițială, adică are un comportament elastic.

După transformarea mărimilor de tensiune în presiune, semnalul este filtrat și aplicat la modulul de „anulare bandă”. Forma semnalului de la intrarea blocului de decizie este prezentată în figura de mai jos.

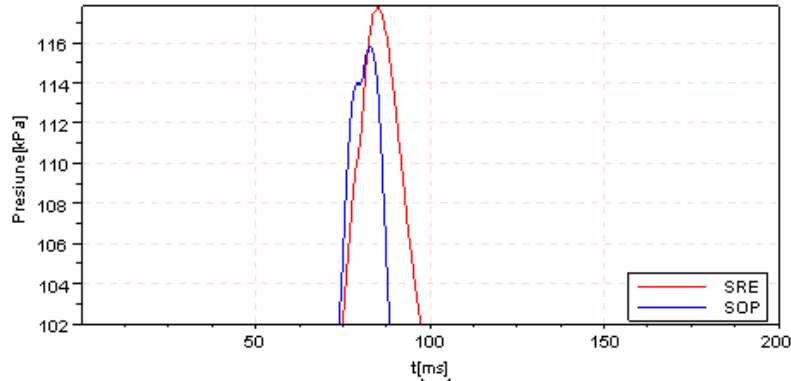


Figura 100 – Semnale de presiune după blocul de anulare bandă
SRE – senzor de referință; SOP – Senzor optic de presiune.

Pentru luarea deciziei corecte este nevoie de semnalul de presiune și de semnalul provenit de la un accelerometru. Prin integrarea semnalului de accelerație rezultă viteza deformării mecanice a ușii automobilului. Prin folosirea acestei informații, cazurile de activare incorectă a sistemelor de protecție sunt eliminate.

Figura următoare arată profilul curbei de viteză aplicată la intrarea blocului de decizie.

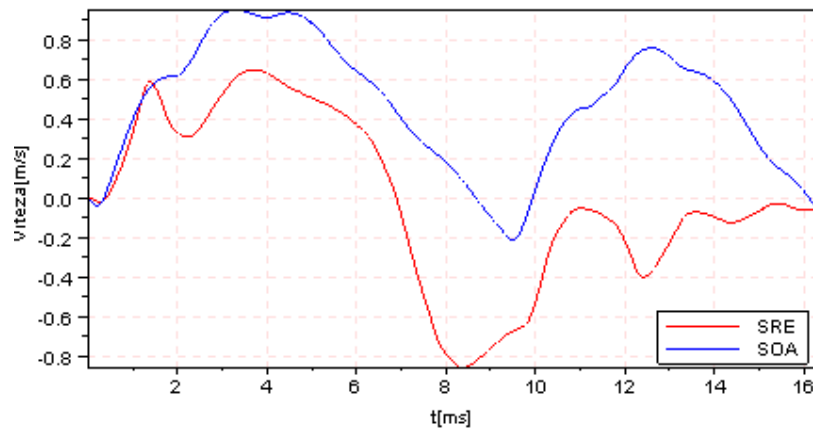


Figura 101 – Viteza de deformare a ușii
SRE – senzor de referință; SOP – Senzor optic de presiune.

În urma informației aplicate la intrare (presiune, accelerație) blocul de decizie determină severitatea scenariului de coliziune, după care selectează nivelul corespunzător de severitate care este prezentat în figura de mai jos.

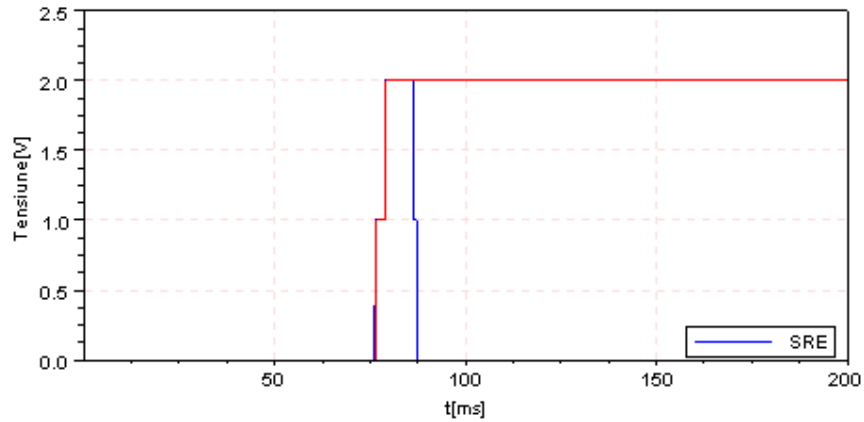


Figura 102 – Decizia algoritmului de coliziune

Concluzii:

- În experimentele făcute pe standul experimental, algoritmul împreună cu senzorul optic de presiune s-au comportat corespunzător cerințelor definite.
- Informația livrată de senzorul optic de presiune a fost comparată cu date reale provenite de la coliziuni laterale reale, care confirmă comportamentul tipic al unui senzor de presiune. Acesta indică faptul că senzorul optic de presiune poate fi folosit la detectarea coliziunilor laterale.

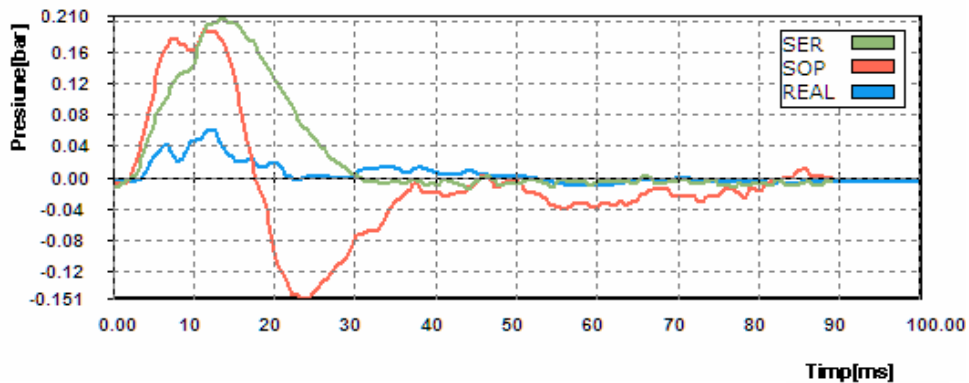


Figura 103 – Comparația datelor reale cu datele provenite de la senzorii de presiune
 REAL – senzor de presiune montat pe o mașină la o coliziune reală; SOP – Senzor optic de presiune; SRE – senzor de referință

7 Contribuții personale și concluzii finale

7.1 Contribuții personale

Protecția conducătorilor și a pasagerilor în caz de coliziune a autovehiculelor constituie o problemă deosebit de importantă la nivel mondial. Fenomenele care au loc pe parcursul unei coliziuni sunt deosebit de complexe. Studiul acestor fenomene constituie o temă multidisciplinară care include diferite domenii ale ingineriei: ingineria mecanică, ingineria electrică și știința calculatoarelor - într-un sigur cuvânt, mecatronică.

Autorul a analizat cerințele actuale și legislațiile (Capitolul 1.5) curente existente pe piața mondială, care definesc așteptările de la sistemele de detectare și de comandă pentru protecția persoanelor în cazul coliziunii automobilelor. În momentul actual aceste sisteme sunt împărțite în două mari domenii (Capitolul 1.3):

- Sisteme de siguranță/protecție **active**;
- Sisteme de siguranță/protecție **pasive**.

În domeniul sistemelor cu protecție **active** de siguranță intră toate sistemele, respectiv tehnicile folosite pentru prevenirea coliziunii (ex. camere de luat vederi pentru detectarea obiectelor aflate pe carosabil, radare de distanță scurtă și medie, etc.).

În domeniul sistemelor cu protecție **pasive** intră toate sistemele care ajută la protecția pasagerilor în timpul coliziunii (ex. centura de siguranță, diferite AirBag-uri, tetiere etc.).

Lucrarea abordează domeniul pasiv de siguranță, unde autorul identifică diferitele cazuri de coliziune (Capitolul 2) și sistemele de protecție care trebuie să fie activate. Astfel sunt descrise evenimentele și evoluția acestora în timp, evenimente care au loc pe parcursul unei coliziuni de tip:

- Frontale;
- Din spate;
- Laterale;
- Și evenimentul de rostogolire a automobilului.

În următorul capitol autorul definește o serie de modele de simulare care stau la baza studiului teoretic a fenomenului de coliziune frontală. Autorul pleacă de la un model simplu de simulare: masă – element elastic cu amortizare (Capitolul 3), care este folosit în continuare pentru construcția modelului structural al automobilului în cazul unei coliziuni frontale.

Următorul model matematic creat de autor studiază bilanțul energetic în cazul unei coliziuni, cu ajutorul căruia este determinată cantitatea de energie care trebuie disipată și energia care poate fi absorbită de caroseria automobilului.

Bazat pe aceste modele matematice, sunt identificați factorii critici care stau la baza proiectării unui sistem de detectare și comandă pentru protecția persoanelor în cazul coliziunii automobilelor.

Direcțiile de optimizare care sunt propuse prin această lucrare (Capitolul 4), sunt definite și au la bază cercetările teoretice asupra fenomenului de coliziune a automobilelor.

În prima parte a acestui capitol (Capitol 4) sunt prezentate contribuțiile personale la optimizarea sistemelor de protecție la coliziune. Sunt prezentate cazuri de coliziune și date reale recepționate de la senzorii montați în automobil. Pentru interpretarea acestor date autorul a realizat:

- Un program care este capabil să citească fișiere standard (ISO 6487) folosite pentru stocarea datelor provenite de la senzorii de siguranță pasivă;
- Filtre trece – jos implementate în SW pentru filtrarea semnalului provenit de la senzori. Un filtru de ordinul trei (Butterworth) și alte filtre care sunt folosite pentru filtrarea semnalelor de accelerație, respectiv un filtru de ordinul unu, folosit pentru filtrarea datelor provenite de la senzorii de presiune.

Se prezintă lanțul de achiziție date pentru senzorii de presiune și accelerație, urmat de o analiză critică asupra acestor componente.

Autorul prezintă un nou concept pentru optimizarea lanțului achiziției datelor de la senzori. Acest concept folosește mediul optic pentru detectarea informației utile de accelerație și presiune, prin intermediul unui element sensibil pasiv (fără electronică).

După prezentarea acestor concepte autorul face o analiză critică asupra diferitelor metode folosite în prezent pentru realizarea senzorilor optici, și definește conceptele care urmează să fie implementate.

În subcapitolul următor prezintă un concept de realizare a unui sensor optic de presiune. O serie de modele matematice și simulări au fost realizate pentru a ușura faza de proiectare:

- Modelul matematic al deformării membranei sub acțiunea unei presiuni uniform distribuite pe suprafața acestuia. Sunt prezentate modelele membranei rezemate, respectiv încastrate pe contur;
- Modelul 3D al deformării membranei;
- Modelul matematic pentru calculul reflexiei fasciculelor de lumină de pe suprafața membranei și intensitatea luminoasă reflectată, obținută de la fibra optică emițătoare respectiv receptoare;
- Influența anumitor mărimi mecanice asupra comportamentului membranei (E , μ , grosimea membranei);
- Model matematic pentru determinarea frecvenței proprii a membranei în funcție de grosimea membranei;
- Modelul matematic pentru determinarea sensibilității sensorului.

Următorul subcapitol prezintă modelarea matematică a unui sensor optic de accelerație. Aici autorul definește modelele matematice pentru determinarea accelerației asemănător cu principiile prezentate la senzorul de presiune, astfel:

- Modelul matematic al deformării membranei sub acțiunea unei forțe concentrate pe o greutate amplasată pe membrana rezemată, respectiv încastrată pe contur;
- Modelul 3D al deformării membranei;
- Model matematic pentru determinarea răspunsului de frecvență al membranei;
- Modelul matematic pentru determinarea sensibilității sensorului de accelerație.

Autorul subliniază că aceste idei și concepte au fost propuse pentru patentare în cadrul companiei Autoliv în 2009, acțiune care este în curs.

În următorul capitol (5), este prezentată construcția standului experimental (partea electronică și mecanică) care este folosit pentru testarea prototipurilor de senzori optici de presiune, respectiv de accelerație.

Unul din țelurile propuse de autor a fost construcția unui stand experimental care permite crearea condițiilor apropiate de cele din cazul coliziunilor. Acesta a fost materializat folosind un mecanism cu pendul, unde greutatea amplasată la capătul pendulului ciocnește o placă metalică pe care au fost montați senzorii. Prin acest mecanism pot fi create condiții de coliziune care să producă comportament asemănător barei de protecție la o coliziune frontală de aproximativ 20 km/h.

Pentru a testa senzorul optic de presiune, a fost montată o incintă pe standul experimental, care, la o coliziune cu pendulul simulează o coliziune laterală unde ușa automobilului (în care este montat senzorul) se deformează.

În cadrul cercetărilor experimentale (Capitolul 6) au fost executate o serie de experimente, unele generice, care sunt valabile pentru amândouă tipurile de senzori, altele specifice. Testele au fost grupate în felul următor:

- Teste generice, pentru senzorii optici de presiune, respectiv de accelerație:
 - Definierea distanței optime dintre membrană și capătul fibrelor optice;
 - Influența lungimii de undă a luminii emise asupra intensității reflectate;
 - Determinarea pierderilor de intensitate la fibrele încovoiate;
 - Timpul de stabilizare a senzorului;
 - Definierea caracteristicilor echipamentului de achiziție de date.
- Teste specifice:
 - Testarea senzorului de presiune;
 - Testarea senzorului de accelerație.

În testele specifice ale senzorilor optici de presiune, respectiv de accelerație, pentru compararea comportamentului și valorilor obținute pe cale experimentală, au fost folosiți senzori de referință proveniți de la implementări existente de sisteme de AirBag. Au fost analizate următoarele caracteristici ale senzorilor pe cale experimentală:

- Domeniul de măsurare;
- Liniaritatea senzorului pe un anumit domeniu;
- Acuratețea senzorilor;
- Timpul de răspuns;
- Rezoluția senzorilor;
- Raport semnal util – zgomot.

Pentru studierea și validarea comportamentului senzorilor în condiții de coliziune autorul a implementat doi algoritmi:

- Algoritm pentru detectarea coliziunii frontale, unde pe standul experimental este simulată comportamentul barei de coliziune, folosit pentru testarea senzorului optic de accelerație;
- Algoritm pentru detectarea coliziunii laterale, unde pe standul experimental este simulată deformarea ușii automobilului pe parcursul coliziunii, folosit pentru testarea senzorului optic de presiune.

Datele provenite de la experimente au fost comparate cu valori provenite de la teste de coliziune reale. În amândouă cazurile, comportamentul senzorilor optici corespund cu cele de referință, ceea ce indică posibilitatea folosirii acestor tipuri de senzori pentru detectarea coliziunilor automobilelor.

7.2 Concluzii finale

Pe baza cercetărilor teoretice și experimentale autorul trage următoarele concluzii:

- Modelele teoretice, respectiv matematice abordate în cadrul acestei lucrări, au fost confirmate de comportamentul senzorilor optici pe standul experimental;
- Lanțul de achiziție de date propus de autor funcționează și poate fi folosit pentru detectarea coliziunilor;
- Rata de eșantionare nu mai depinde de abilitățile circuitului electronic (ASIC) încorporat în senzor, poate fi liber ales de Unitatea Centrală Electronică (UCE).
- Frecvența de achiziție uzuală de 2 – 4 kHz cunoscută de la sistemele de siguranță pasivă poate fi ușor depășită. Aceasta are ca efect îmbunătățirea abilităților algoritmului de a detecta coliziunile. De asemenea, permite sistemelor care au convertor analog – digital (ADC) mai puțin performant să crească rata de eșantionare (cunoscută în literatura tehnică ca metoda „oversampling”) pentru a atinge performanțe comparabile ADC cu rezoluție mai mare. Prin această idee pot fi construite implementări mai puțin costisitoare;
- Tipul senzorilor optici extrinseci, modulați în intensitate oferă o implementare ușoară și un proces tehnologic simplu de realizat, care duce la optimizarea costurilor de producție.
- Tipul semnalului optic care este emis prin mediul optic poate fi ales în funcție de felul aplicației (ex. lumină infraroșie/vizibilă/ultravioletă). Felul în care este transmisă informația depinde de aplicație (ex. nemodulată/modulată (în amplitudine sau în frecvență)). Acesta prezintă un concept deschis, care poate fi ușor adoptat pentru aplicații având diferite cerințe;
- Consumul de curent la senzorii optici este mai mic decât al senzorilor actual folosiți pentru detectarea coliziunilor. Acesta aduce optimizări pe partea de realizare HW a Unității Centrale Electronice (exemplu: dacă sarcina electrică necesară pentru alimentarea senzorilor în cazul coliziunilor, care trebuie stocată în condensatori electrici scade, scad și costurile de material);
- Soluția de senzori optici propusă de autor separă cele două părți, electronica de elementul senzitiv. Eliminarea electronicii și a cablurilor conductorilor din construcția senzorului îl face pe acesta imun la interferențe electromagnetice;
- Standul experimental realizat permite crearea condițiilor asemănătoare unei coliziuni la o viteză mică tip frontală, respectiv laterală;
- Algoritmii de detectare realizați permit studiul evenimentelor rapide și al coliziunii. Pot fi folosiți pentru studierea evenimentelor încă din prima fază de proiectare – dezvoltare pentru testarea algoritmilor de coliziune;
- Soluția aleasă pentru realizarea senzorului optic de presiune, respectiv de accelerație funcționează și poate fi aplicată pentru detectarea coliziunilor la automobile.

Anexa A

1. Protocoale de comunicare

Tabela de mai jos conține cele mai folosite protocoale de comunicare din domeniul automobilelor.

Protocoale de comunicare în automobile

| Name | Folosire | Topologie | Tip | Bitrate |
|---|----------------------|-------------------|---------------------------------|-------------|
| LIN (Local Interconnect Network) | Comunicare simplă | Bus | Singur – Maestru de comunicare | 20 [KBit/s] |
| CAN (Controller Area Network) | Sisteme de timp real | Bus | Mai multi Maestru de comunicare | 500[KBit/s] |
| TTCAN (time-triggered communication on CAN) | Sisteme de timp real | Bus | Mai multi Maestru de comunicare | 500[KBit/s] |
| Bluetooth | Sisteme de timp real | 1:1, Multi puncte | Singur – Maestru de comunicare | 1[MBit/s] |
| FlexRay | Sisteme de timp real | Bus/Stea | Mai multi Maestru de comunicare | 10[MBit/s] |
| Byteflight | Sisteme de timp real | Stea | Singur – Maestru de comunicare | 10[MBit/s] |
| D2B (domestic digital data bus) | Sisteme de timp real | Inel/Stea | Singur – Maestru de comunicare | 20[MBit/s] |
| TTP/C (time-triggered communication protocol) | Sisteme de timp real | Bus/Stea | Mai multi Maestru de comunicare | 25[MBit/s] |
| MOST (Media Oriented Systems Transport) | Sisteme de timp real | Inel/Stea | Mai multi Maestru de comunicare | 25[MBit/s] |
| IntelliBus | Sisteme de timp real | Bus/Stea | Singur – Maestru de comunicare | 25[MBit/s] |
| IDB-1394 | Sisteme de timp real | Bus/arbore | Singur – Maestru de comunicare | 100[MBit/s] |

Tabela 28 – Protocoale de comunicare

2. CAN (Controller Area Network) [C.1]

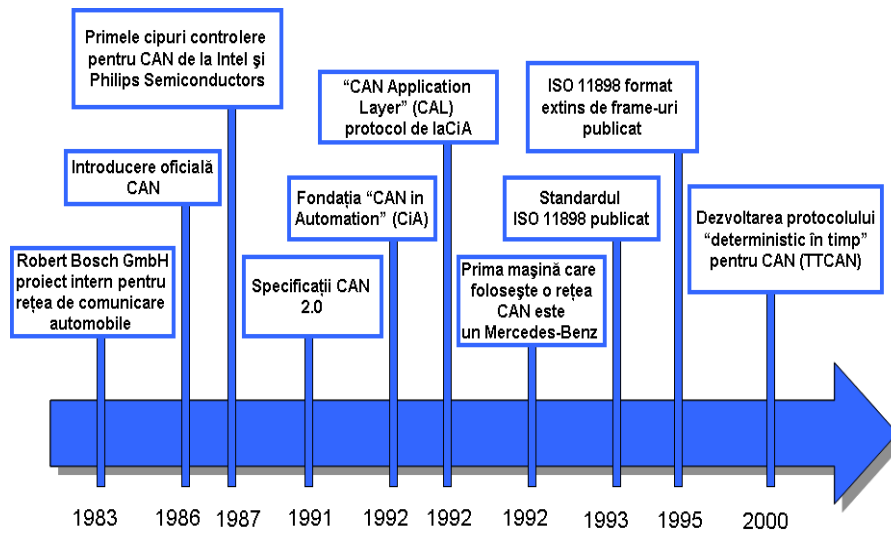


Figura 104 – Istorie CAN

3. Formatul unui cadru de CAN[C.1]

Formatul unui cadru de CAN

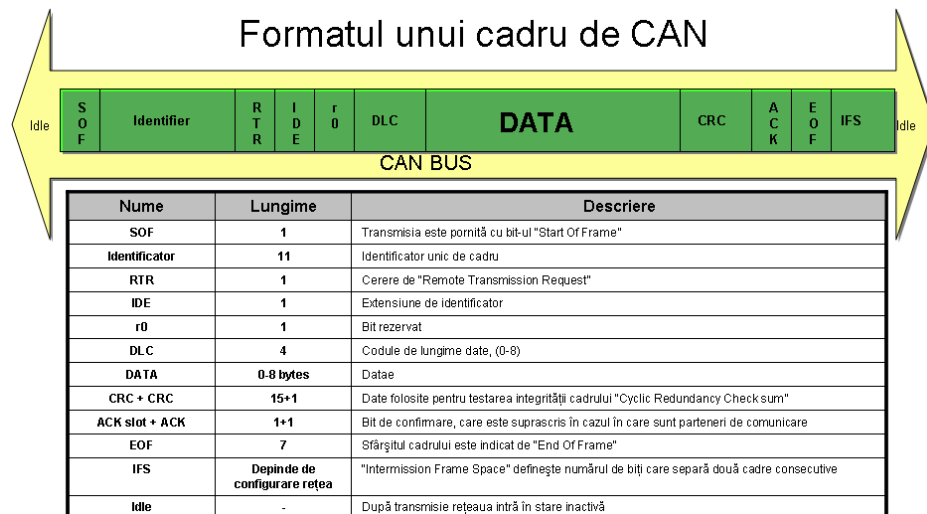


Figura 105 – Formatul unui cadru de CAN

4. LIN (Local Interconnect Network)

Este un protocol de comunicare serial cu un singur Master și mai mulți Slave (până la 16). Folosește un singur fir de comunicare cu masă comună, este capabil până la 19.2 kbps, cu o lungime maximă de fir de comunicare până la 40 m. De obicei Master-ul este un microcontroler mai puternic, care are rolul de a traduce mesajele provenite de la o rețea CAN la LIN (vezi figura de mai jos).

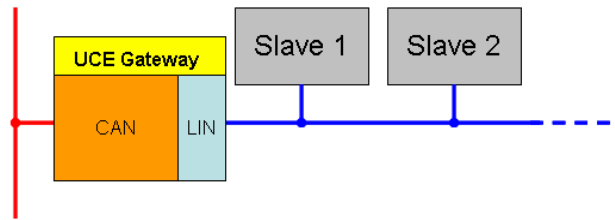


Figura 106 – Local Interconnect Network (LIN)

Acest protocol de comunicare este folosit în special în sisteme de:

- blocare a ușii;
- poziționare a oglinzii;
- poziționare a scaunelor;
- activare a încălzitorului din scaunul automobilului;
- comanda automată a acoperișului automobilului.

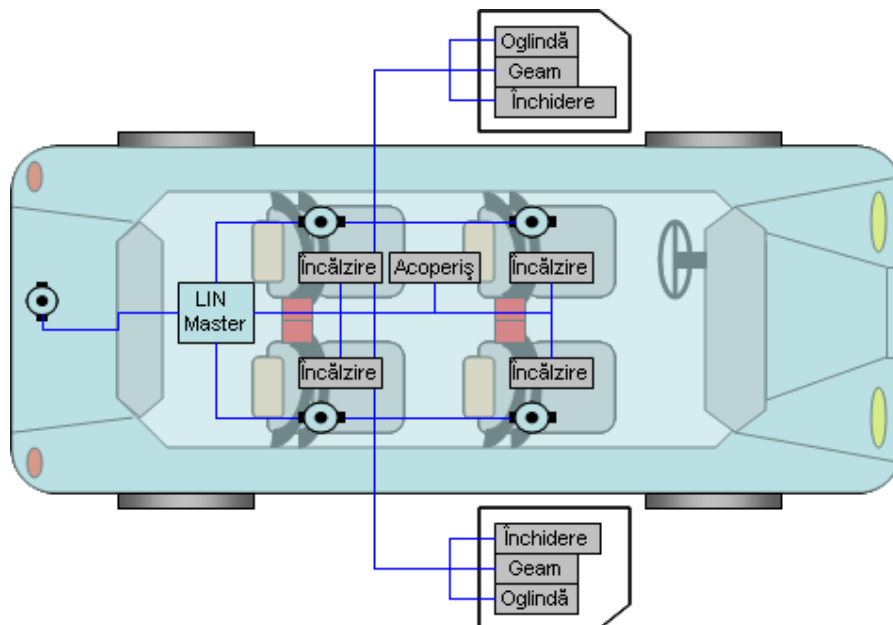


Figura 107 – Echipamente conectate pe LIN

Anexa B

1. Model de coliziune 1, calculul forței oponente

```
//*****  
// Model 1 coliziune  
// Forța oponenta în cazul unei  
// coliziuni cu obiect rigid  
//*****  
clc();  
  
//masa automobil [kg]  
m_auto = 900;  
  
//viteza de coliziune [km/h]  
v_col = 20;  
  
//viteza [m/s]  
v_ms = v_col*1000/3600;  
  
//distanța de oprire a automobilului [m]  
d_opr = 0.5;  
  
//Forța necesară pentru oprirea automobilului [N]  
F_r = -(m_auto*v_ms^2)/(2*d_opr)
```

Rezultat

F_r = - 27777.778

2. Model de coliziune 2 – calculul forței care acționează asupra persoanelor din mașina

```
//*****  
// Model 1 coliziune  
// Forța care acționează  
// asupra șoferului  
//*****  
clc();  
  
//masa persoanei în automobil [kg]  
m_pers = 65;  
  
//viteza de coliziune [km/h]  
v_col = 20;
```

```
//viteza [m/s]
v_ms = v_col*1000/3600;

//distanța de oprire a automobilului [m]
d_opr = 0.5;

//Forța necesară pentru oprirea automobilului [N]
F_r = -(m_pers*v_ms^2)/(2*d_opr)
```

Rezultat

F_r = - 2006.1728

3. Model de coliziune, în care lungimea centurii de siguranță este ajustată

```
//*****
// Model 1 coliziune
// Forța care acționează
// asupra șoferului, lungimea centurii
// ajustată pe parcursul coliziunii
//*****
clc();

//masa persoanei în automobil [kg]
m_pers = 65;

//viteza de coliziune [km/h]
v_col = 20;

//viteza [m/s]
v_ms = v_col*1000/3600;

//distanța de oprire a automobilului [m]
d_opr = 0.5;

//lungime centura ajustată [m]
d_ajust = 0.15;

//Forța necesară pentru oprirea automobilului [N]
F_r = -(m_pers*v_ms^2)/(2*d_opr)
F_r_ajust = -(m_pers*v_ms^2)/(2*(d_opr + d_ajust))
```

Rezultat

F_r = - 2006.1728
F_r_ajust = - 1543.2099

4. Model de coliziune masă-element elastic

```

//*****
// Model2
// Sistem masa-arc
//*****
clc;

v_col = 64; //viteza de coliziune [km/h](inițială)
t=[0.0:0.01:0.200]; //perioada accident [s]
k = 500000; //constanta arcului [N]
m = 1000; //Greutate automobil [kg]

v_ms = v_col*1000/3600; //viteza [m/s]

//Accelerația (Decelerația)automobilului
a = -v_ms*sqrt(k/m)*sin(sqrt(k/m)*t);

clf();
xtitle("Sistem masa-arc","timp[s]","Accelerație in g [m/s^2]");
plot (t,a/9.8);

a=gca();
a.x_location = "origin";

```

5. Model de coliziune masă – element elastic cu amortizare

Model SciLab, pentru sistem de masă – arc cu amortizare.

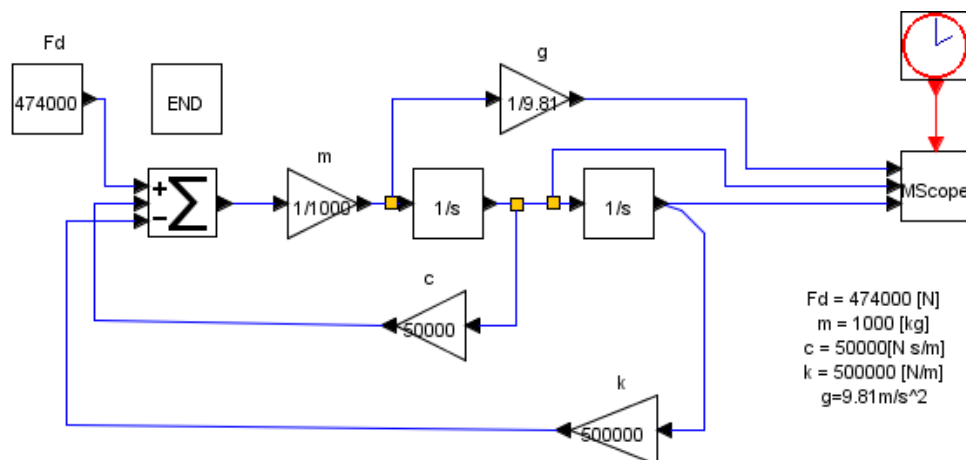


Figura 108 – Model SciLab pentru sistem de masă – element elastic cu amortizor

6. Model de coliziune energie - cinetică, - potențială, - pierderi

Model scilab [S.2] pentru simularea energiei cinetice, potențiale și pierderi.

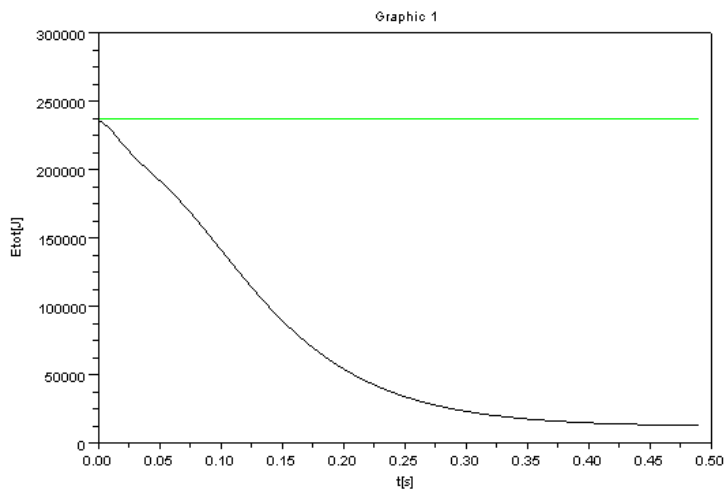
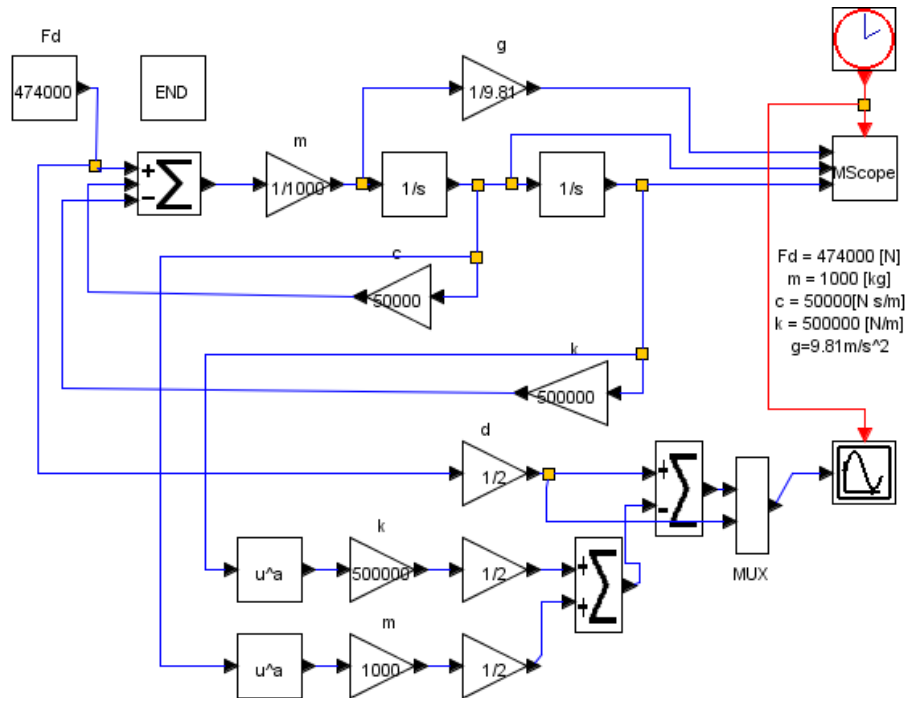


Figura 109 – Model scilab [S.2] pentru simularea energiei cinetice, potențiale și pierderi

7. Model de coliziune de sisteme masă – element elastic cuplate

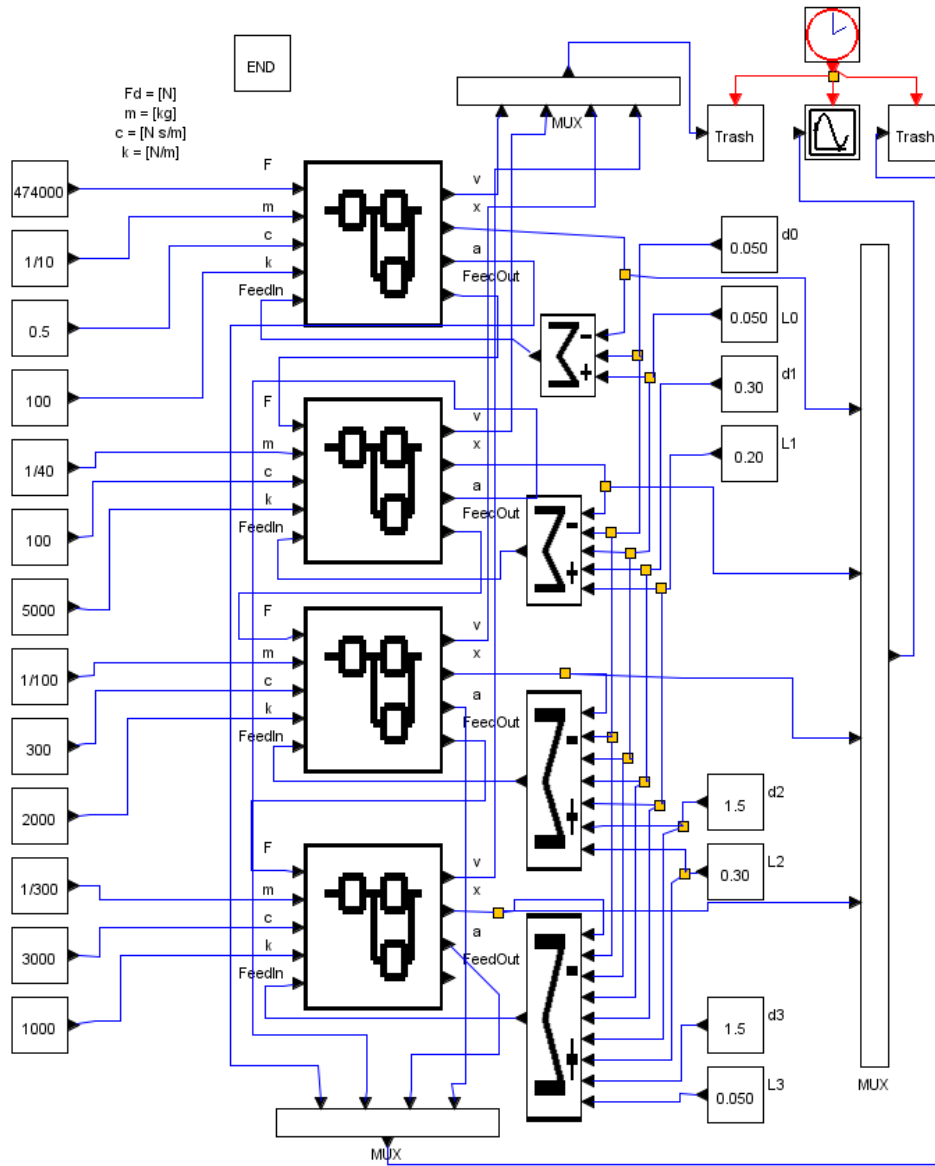


Figura 110 – Model de coliziune de sisteme masă – element elastic cuplate

Acest model simulează deformările diferitelor elemente ale caroseriei pe parcursul coliziunii. Cele 4 subsisteme (de sus în jos) corespund:

- Bara de protecție „1”;
- Cutia de coliziune „2”;
- Caroseria automobilului „3”;
- Motor „4”.

Valorile de intrare sunt:

- m – masa componentei modelate (ex. bară de protecție);
- F – forța de coliziune;
- c – coeficient de amortizare ales pentru componenta modelată;
- k – constanta arcului ales pentru componenta modelată;
- $d_{0,1,2,3}$ – lungimea aleasă pentru componenta modelată;
- $L_{0,1,2,3}$ – lungimea inițială a arcului ales pentru componenta modelată.

Rezultatul simulării este:

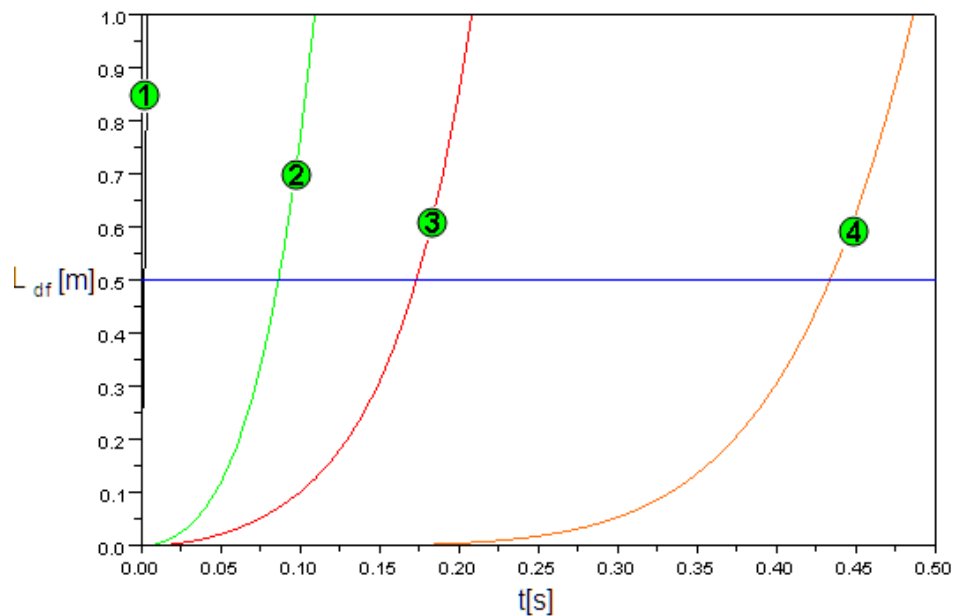


Figura 111 – Modelă masă – element elastic cuplate, rezultatul simulării

Anexa C

1. Modelare filtru IIR, pentru filtrarea datelor achiziționate de la senzorii de accelerație

Pentru filtrarea datelor citite din fișierele standard ISO 6478, a fost implementat în scilab [S.2] un filtru SW IIR (Infinite Impulse Response) trece – jos (Butterworth). A fost setat să „taie” toate frecvențele mai mari de 100 Hz. Gradul filtrului este de ordinul 3, funcția de transfer fiind:

$$H(z) = \frac{0.0000038 + 0.0000113z + 0.0000113z^2 + 0.0000038z^3}{-0.9390989 + 2.8762997z - 2.9371707z^2 + z^3}$$

Răspunsul filtrului, fiind reprezentat pe figura de mai jos:

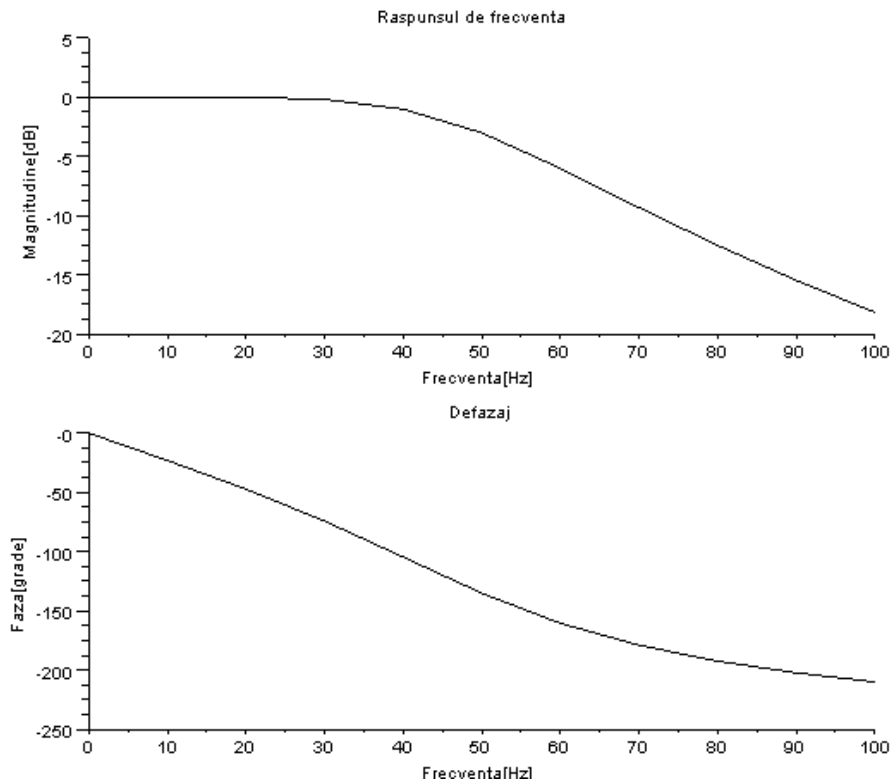


Figura 112 – Filtru IIR trece jos

Program scilab:

```
//=====
// Implementare filtru trece - jos
// Butterworth pentru filtrare date de coliziune (pentru
// senzorii de presiune)
//=====

//selectare consola
mode(-1);
clc;
clf;

//-----
// Parametri de intrare
//-----
Order = 3; // Gradul filtrului
Fs = 10000; // Frecvența de achiziție date
Fcutoff = 100; // Frecvența de tăiere
//-----

// Funcția de transfer
hz = iir(Order,'lp','butt',[Fcutoff/Fs/2 0],[0.1 0.1]);

//Afișare funcție de transfer
disp(hz);

//Răspunsul de frecvența al filtrului
[frq,repf]=repfreq(hz,0:0.001:0.01);
[dbRepf, phiRepf] = dbphi(rep);

//-----
//Creare grafice
//-----

//Reprezentare date
subplot(2,1,1);
plot2d(Fs*frq,dbRepf);
xtitle('Raspunsul de frecvența', 'Frecvența[Hz]', 'Magnitudine[dB]');

subplot(2,1,2);
plot2d(Fs*frq,phiRepf);
xtitle('Defazaj', 'Frecvența[Hz]', 'Faza[grade]');
```

2. Modelare filtru IIR, pentru filtrarea datelor achiziționate de la senzorii de presiune

Pentru filtrarea datelor provenite de la senzori de presiune a fost dezvoltat un filtru trece – jos (Butterworth), de gradul 1. Funcția de transfer este:

$$H(z) = \frac{0.0154663 + 0.0154663z}{-0.9690674 + z}$$

Răspunsul filtrului este:

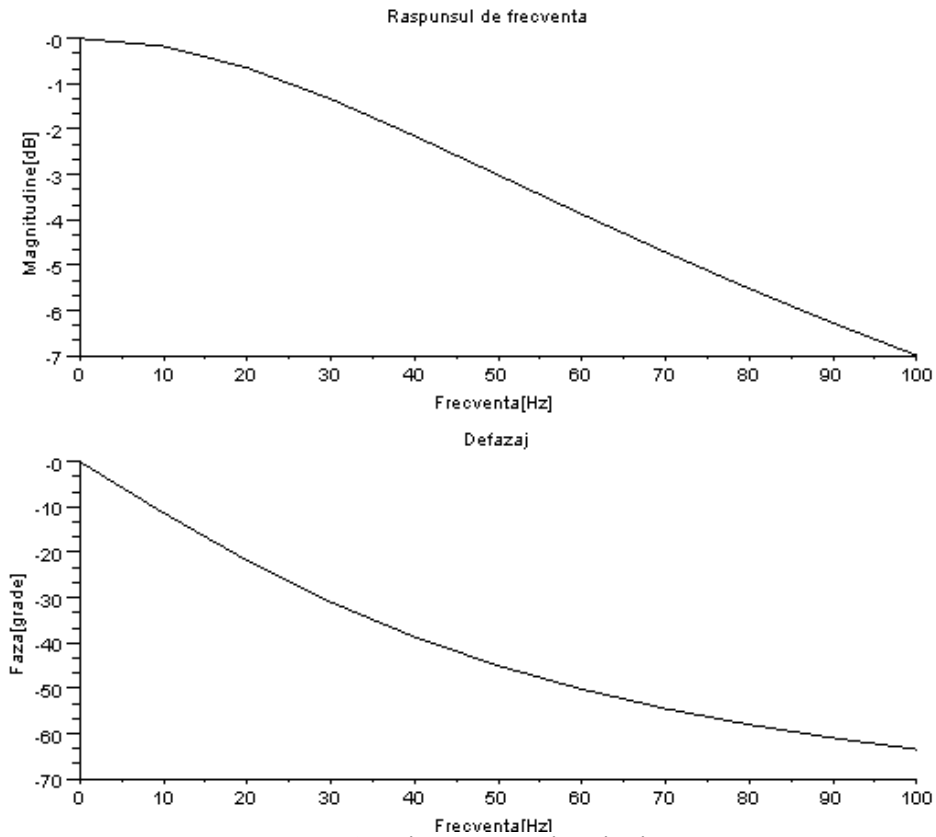


Figura 113 – Filtru trece jos de ordinul unu

Programul scilab este similar cu cel prezent la senzorii de accelerație.

3. Sensori de accelerație și presiune folosiți în domeniul siguranței pasive



Senzor accelerație micro-mecanic $\pm 120g$ [4]



Senzor accelerație $\pm 8g$ [5]



Senzor accelerație piezoelectric, $\pm 35g$ [1]



Senzor accelerație micro-mecanic, $\pm 50g$ [1]



Senzor presiune -100 kPa până +5kPa [1]



Senzor presiune absolută 250 kPa [1]



Senzor presiune absolută 0.5 până 1.35 bar [2]



Senzor presiune 60-115 kPa [3]

Figura 114 – Sensori pentru măsurarea accelerației și a presiunii
 [1, 2, 3] – sursa: Bosch™ Sensortec [B.3]; [4] – sursa: Analog Devices™ [A.3]; [5] – sursa: Freescale™ [F.4]

Anexa D

1. Comportamentul membranei în funcție de grosimea acesteia

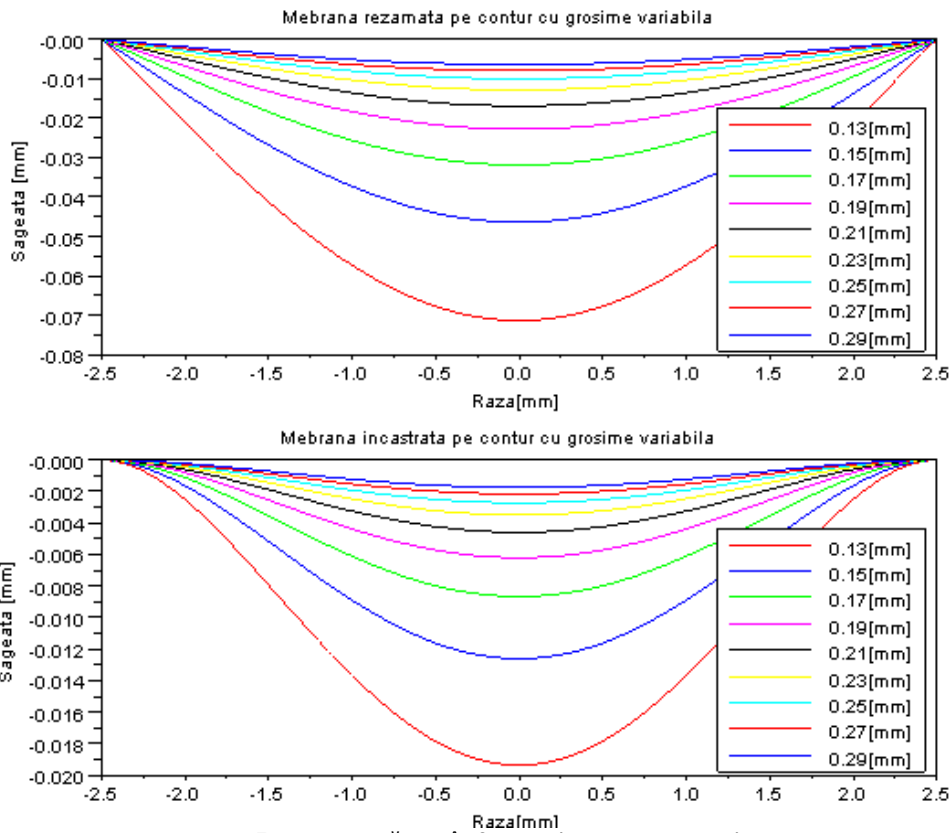


Figura 115 - Variația săgeții în funcție de grosimea membranei

Parametrii de intrare pentru modelul matematic:

- $E = 100000000$ - modul de elasticitate longitudinal [Pa], corespunzător unui material elastic (ex. cauciuc)
- $e = 130 - 300$ [μm];
- $\mu = 0.49$ - coeficientul lui Poisson [-], corespunzător unui material elastic;
- $R = 0.0025$ - Raza membranei [m];
- $p = 19.63 \cdot 10^{-6}$ presiune uniform distribuită pe suprafață.

După cum se poate observa de pe figura anterioară, grosimea optimă a membranei este situată între 100 – 200 [μm], caz în care membrana are proprietățile mecanice menționate de mai sus.

2. Comportamentul membranei în funcție de E (Modul elasticitate longitudinal)

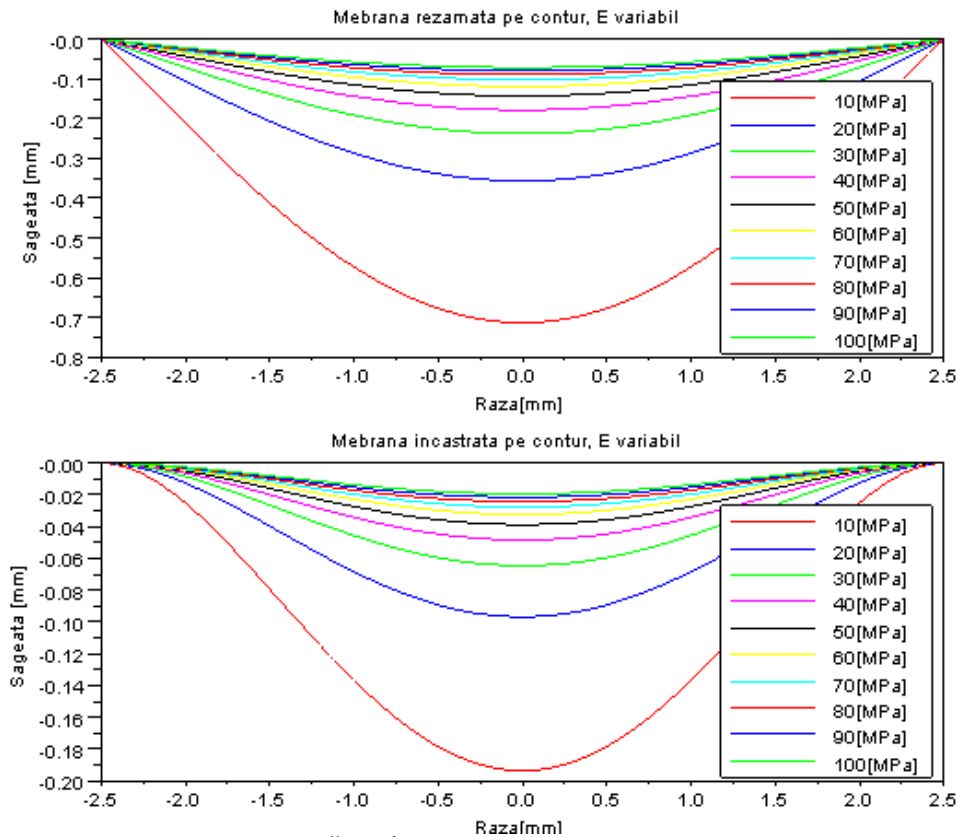


Figura 116 – Variația săgeții în funcție de Modulul de elasticitate longitudinal

În cazul prezentat pe figura anterioară, E preia valori printre 10 – 100 [MPa], corespunzător unui material elastic (ex. cauciuc). De menționat că membrana simulată este mai sensibilă la variația lui E decât la variația grosimii membranei. Acest comportament poate influența și timpul de răspuns în funcție de presiunea aplicată pe membrană. Această informație este utilă pentru partea de procesare a semnalului în UCE, iar la algoritmi pentru determinarea condițiilor de coliziune.

3. Comportamentul membranei în funcție de μ (coeficientul lui Poisson)

În cazul prezentat în figura de mai jos au fost alese valori pentru μ între 0.34 (corespunzător proprietăților polistirenului) și 0.5 (limita materialelor izotropice). Ce se poate observa este că influența cauzată de diferenții parametri ai coeficientului Poisson au influență scăzută asupra deformării membranei.

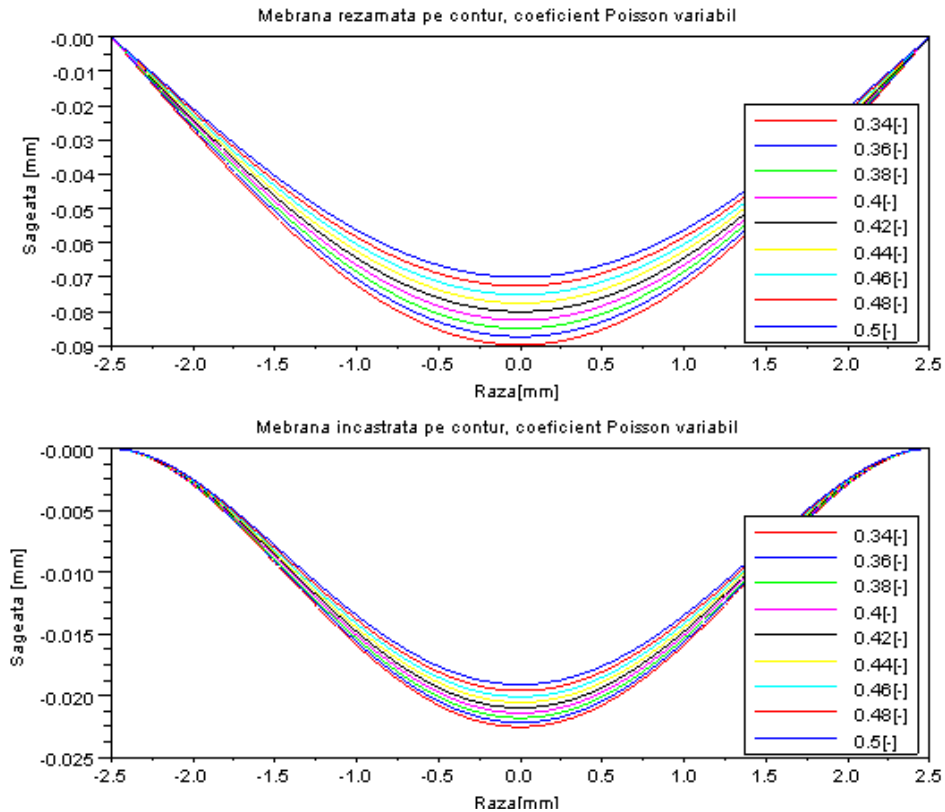


Figura 117 - Variația săgeții în funcție de coeficientul lui Poisson

4. Modelul 3D al membranei cu o greutate amplasată în centrul membranei

Parametrii de intrare folosiți pentru crearea modelului 3D:

- $E = 100000000$ - modul de elasticitate longitudinal [Pa], corespunzător unui material elastic (ex. cauciuc);
- $e = 130 - 300$ [μm];
- $\mu = 0.49$ - coeficientul lui Poisson [-], corespunzător unui material elastic;
- $R = 0.0025$ - Raza membranei [m];
- $m = 0.0005$ - Greutate plasată pe membrană [kg];
- $g = 9.81$ - accelerația gravitațională [m/s^2];
- $F_m = m \cdot g$ - Forța concentrată care acționează asupra greutății amplasate pe membrană [N].
- rg - este raza greutății [m].

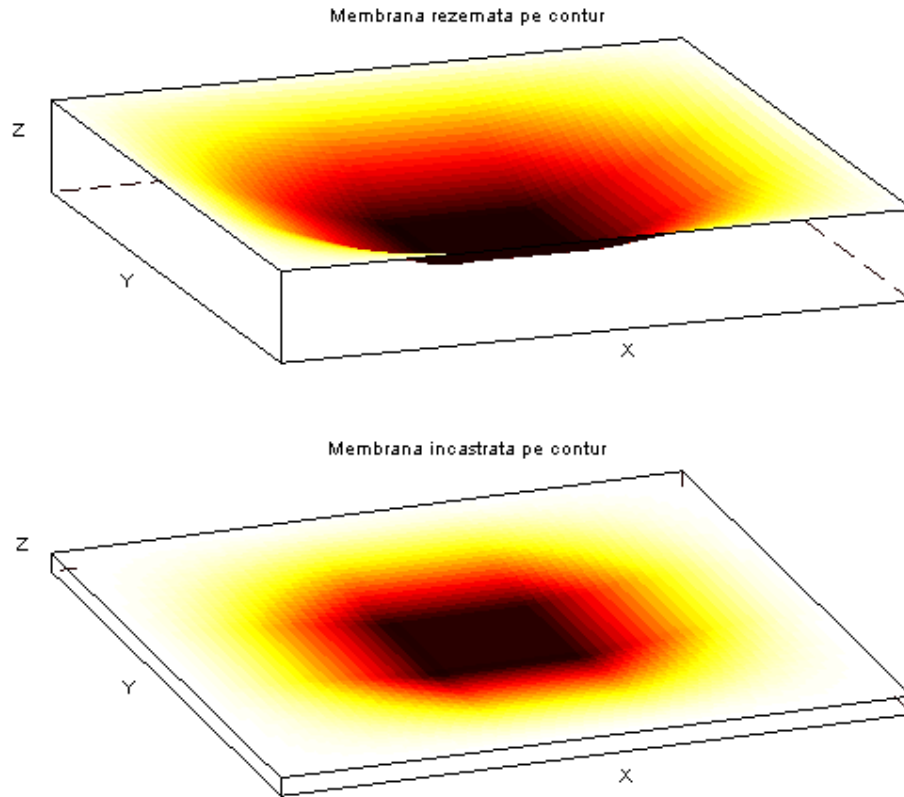


Figura 118 – Modelul 3D al membranei sub acțiunea unei forțe concentrate

5. Determinarea componentelor de frecvență ale semnalului util

Autorul a folosit date provenite de la senzori reali de la o coliziune reală. Pentru a afla componentele de frecvență ale semnalului util, a fost aplicată pe datele citite de la senzori o transformare FFT (Fast Fourier Transform). Rata de eșantionare era de 10 kHz la fiecare dintre semnalele prezentate mai de jos. Primele două semnale provin de la accelerometre (accelerometru montat în fața mașinii, respectiv în centrul de greutate), iar ultimul de la un senzor de presiune montat în ușa automobilului. După cum se poate identifica, componentele de frecvență utile ajung la aproximativ 4 kHz, iar informația utilă la aproximativ 2 kHz.

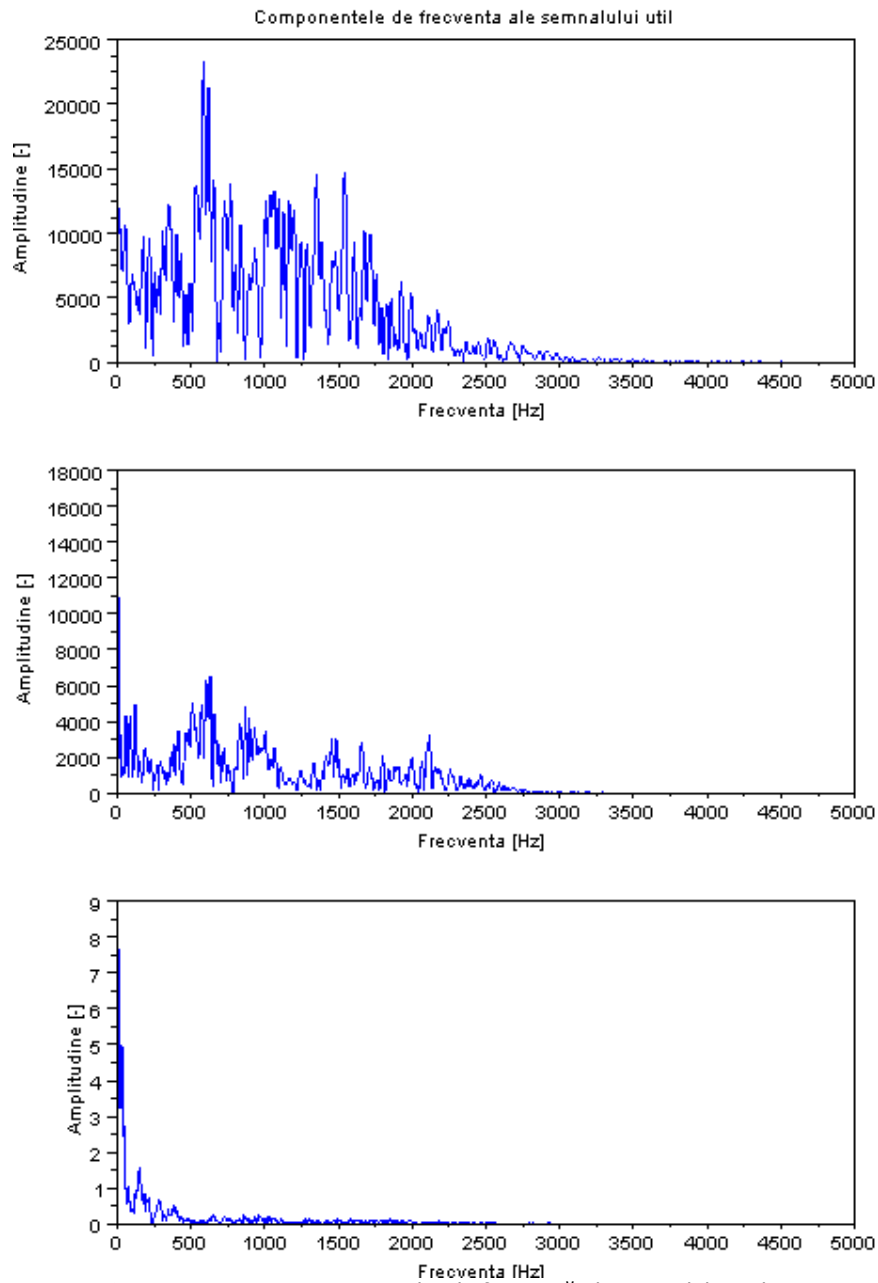


Figura 119 – Determinarea componentelor de frecvență ale semnalului util provenite de la senzorii folosiți pentru detectarea coliziunii

Anexa E

1. Schema electronică a standului experimental

Schema electronică a fost creată folosind programul TiniCAD [T.1].

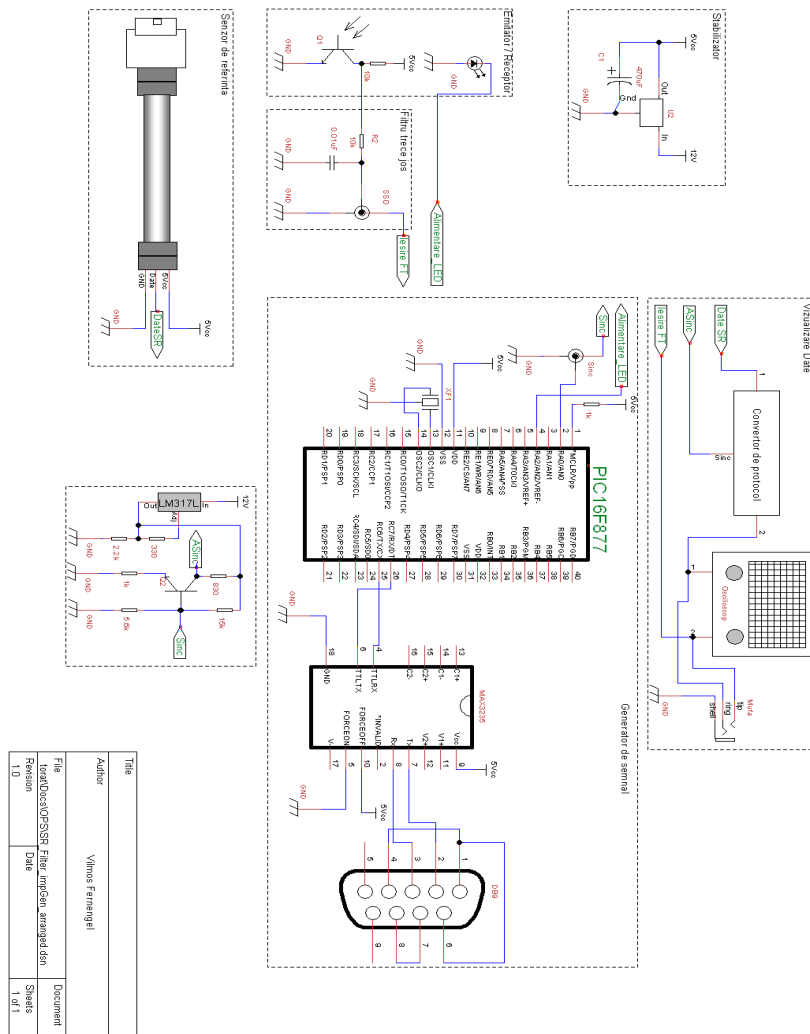


Figura 120 – Schema electronică a standului experimental

2. Caracteristicile diodei LED (emițător) [I.3]

Plastic Fiber Optic Red LED

IF-E96

52/08



DESCRIPTION

The IF-E96 is a low-cost, high-speed, visible red LED housed in a "connector-less" style plastic fiber optic package. The output spectrum is produced by a GaAlAs die which peaks at 660 nm, one of the optimal transmission windows of PMMA plastic optical fiber. The device package features an internal micro-lens and a precision-molded PBT housing to maximize optical coupling into standard 1000 μm core plastic fiber cable.

APPLICATION HIGHLIGHTS

The performance/price ratio of the IF-E96 is particularly attractive for high volume design applications. The visible red output has low attenuation in PMMA plastic fiber and aids in troubleshooting installations. When used with an IF-D96 photologic detector the IF-E96 can achieve data rates of 5 Mbps. Fast transition times and low attenuation make the IF-E96 an excellent device selection for low cost analog and digital data links up to 75 meters.

APPLICATIONS

- ▶ Low Cost Analog and Digital Data Links
- ▶ Automotive Electronics
- ▶ Digitized Audio
- ▶ Medical Instruments
- ▶ PC-to-Peripheral Data Links
- ▶ Robotics Communications
- ▶ Motor Controller Triggering
- ▶ EMC/EMI Signal Isolation
- ▶ Local Area Networks
- ▶ Intra-System Links: Board-to-Board, Rack-to-Rack

FEATURES

- ◆ High Performance at Low Cost
- ◆ Visible Red Output Aids Troubleshooting
- ◆ Low Transmission Loss with PMMA Plastic Fiber
- ◆ Fast Transition Times
- ◆ Mates with standard 1000 μm core jacketed plastic fiber cable
- ◆ No Optical Design required
- ◆ Internal Micro-Lens for Efficient Optical Coupling
- ◆ Inexpensive Plastic Connector Housing
- ◆ Connector-Less Fiber Termination
- ◆ Light-Tight Housing Provides Interference-Free Transmission
- ◆ RoHS Compliant

MAXIMUM RATINGS

 $(T_A = 25^\circ\text{C})$

| | |
|---|--------------|
| Operating and Storage Temperature Range (T_{OP}, T_{STG})..... | -40° to 85°C |
| Junction Temperature (T_J)..... | 85°C |
| Soldering Temperature (2 mm from case bottom) (T_S) $t_S \leq 5s$ | 240°C |
| Reverse Voltage (V_R)..... | 5 V |
| Power Dissipation (P_{TOT}) $T_A = 25^\circ\text{C}$ | 60 mW |
| De-rate Above 25°C..... | 1.1 mW/°C |
| Forward Current, DC (I_F)..... | 35 mA |
| Surge Current (I_{FSM}) $t \leq 10 \mu s$ | 150 mA |

CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$)

| Parameter | Symbol | Mn. | Typ. | Max. | Unit |
|--|------------------|-----|------|------|----------------------|
| Peak Wavelength | λ_{PEAK} | 650 | 660 | 670 | nm |
| Spectral Bandwidth (50% of I_{MAX}) | $\Delta\lambda$ | - | 20 | - | nm |
| Output Power Coupled into Plastic Fiber (1 mm core diameter). Distance Lens to Fiber ≈ 0.1 mm, 1 m SH4001 fiber, $I_F = 20$ mA | Φ_{min} | 125 | 200 | 300 | μW dBm |
| Switching Times (10% to 90% and 90% to 10%) ($I_F = 20$ mA) | t_r, t_f | - | .1 | - | μs |
| Capacitance ($F = 1$ MHz) | C_0 | - | 30 | - | pF |
| Forward Voltage ($I_F = 20$ mA) | V_F | - | - | 1.8 | V |
| Temperature Coefficient, λ_{PEAK} | TC_{λ} | - | 0.2 | - | nm/K |

Figura 121 – Emițătorul (diada LED)

3. Caracteristicile fototranzistorului (receptor) [I.3]

Plastic Fiber Optic Phototransistor

IF-D92

1/22/08



DESCRIPTION

The IF-D92 is a high-sensitivity NPN phototransistor detector housed in a "connector-less" style plastic fiber optic package. Optical response of the IF-D92 extends from 400 to 1100 nm, making it compatible with a wide range of visible and near-infrared LEDs and laser diode sources. This includes 650 nm visible red LEDs used for optimum transmission in PMMA plastic optic fiber. The detector package features an internal micro-lens and a precision-molded PBT housing to ensure efficient optical coupling with standard 1000 μm core plastic fiber cable.

APPLICATION HIGHLIGHTS

The IF-D92 is suitable for digital data links at rates up to 25 kbps. Analog bandwidths greater than 15 kHz are possible making the IF-D92 usable for high frequency audio transmission. Phototransistor operation provides high internal gain—reducing the amount of post-amplification required in many circuits. The integrated design of the IF-D92 makes it a simple, cost-effective solution in a variety of analog and digital applications.

FEATURES

- ◆ High Optical Sensitivity
- ◆ Mates with Standard 1000 μm Core Jacketed Plastic Fiber Optic Cable
- ◆ No Optical Design Required
- ◆ Inexpensive but Rugged Plastic Connector Housing
- ◆ Internal Micro-Lens for Efficient Optical Coupling
- ◆ Connector-Less Fiber Termination
- ◆ Light-Tight Housing provides Interference Free Transmission
- ◆ RoHS Compliant

APPLICATIONS

- ▶ Low-Speed Digital Data Links
- ▶ Motor Controller Triggering
- ▶ Audio Links
- ▶ Medical Instruments
- ▶ Automotive Electronics
- ▶ Robotics Communications
- ▶ EMC/EMI Signal Isolation
- ▶ Electronic Games
- ▶ Process Control

MAXIMUM RATINGS

($T_A = 25^\circ\text{C}$)

| | | |
|--|---|---|
| Operating and Storage Temperature Range | (T_{OP}, T_{STG}) | -40° to 85°C |
| Junction Temperature (T_J) | 85°C | |
| Soldering Temperature (2 mm from case bottom) | (T_S) $t \leq 5s$ 240°C | |
| Collector Emitter Voltage (V_{CEO}) | 30 V | |
| Emitter Collector Voltage (V_{ECO}) | 5 V | |
| Collector Current (I_C) | 50 mA | |
| Collector Peak Current (I_{CM}) $t = 1\text{ ms}$ | 100 mA | |
| Power Dissipation (P_{TOT}) $T_A = 25^\circ\text{C}$ | 100 mW | |
| De-rate Above 25°C | $1.33\text{ mW}/^\circ\text{C}$ | |

CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$)

| Parameter | Symbol | Min | Typ | Max | Unit |
|---|---------------------|-----|------|------|--|
| Wavelength for Maximum Photosensitivity | λ_{PEAK} | - | 870 | - | nm |
| Spectral Bandwidth ($S = 10\%$ of S_{MAX}) | $\Delta\lambda$ | 400 | - | 1100 | nm |
| Switching Times (10% to 90% and 90% to 10%) ($R_f = 1\text{ k}\Omega, I_C = 1.0\text{ mA}, V_{CE} = 5\text{ V}, \lambda = 950\text{ nm}$) | t_{PL}, t_{PH} | - | 20 | - | μs |
| Responsivity min. @ 880 nm @ 632 nm | R | - | 100 | - | $\mu\text{A}/\mu\text{W}$ $\mu\text{A}/\mu\text{W}$ |
| Collector Dark Current ($V_{CE} = 5\text{ volts}$) | I_{CEO} | - | - | 100 | nA |
| Breakdown Voltage ($I_C = 100\mu\text{A}$) | BV_{CEO} | 30 | - | - | V |
| Breakdown Voltage ($I_{CE} = 100\mu\text{A}$) | BV_{ECO} | 5 | - | - | V |
| Saturation Voltage ($I_C = 250\mu\text{A}, H = 100\mu\text{W}$) | $V_{CE\text{ sat}}$ | - | 0.15 | - | V |

Figura 122 – Receptorul (Fototranzistorul)

4. Microcontrolerul PIC16F877A[M.4]



PIC16F87XA

28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers

Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873A
- PIC16F874A
- PIC16F876A
- PIC16F877A

High-Performance RISC CPU:

- Only 35 single-word instructions to learn
- All single-cycle instructions except for program branches, which are two-cycle
- Operating speed: DC – 20 MHz clock input
DC – 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of Flash Program Memory,
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM),
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to other 28-pin or 40/44-pin
PIC16CXXX and PIC16FXXX microcontrollers

Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler,
can be incremented during Sleep via external
crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period
register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™
(Master mode) and I²C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver
Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address
detection
- Parallel Slave Port (PSP) – 8 bits wide with
external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for
Brown-out Reset (BOR)

Analog Features:

- 10-bit, up to 8-channel Analog-to-Digital
Converter (A/D)
- Brown-out Reset (BOR)
- Analog Comparator module with:
 - Two analog comparators
 - Programmable on-chip voltage reference
(VREF) module
 - Programmable input multiplexing from device
inputs and internal voltage reference
 - Comparator outputs are externally accessible

Special Microcontroller Features:

- 100,000 erase/write cycle Enhanced Flash
program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM
memory typical
- Data EEPROM Retention > 40 years
- Self-reprogrammable under software control
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™)
via two pins
- Single-supply 5V In-Circuit Serial Programming
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC
oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving Sleep mode
- Selectable oscillator options
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins

CMOS Technology:

- Low-power, high-speed Flash/EEPROM
technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)
- Commercial and Industrial temperature ranges
- Low-power consumption

| Device | Program Memory | | Data SRAM (Bytes) | EEPROM (Bytes) | I/O | 10-bit A/D (ch) | CCP (PWM) | MSSP | | USART | Timers 8/16-bit | Comparators |
|------------|----------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------|-----|--------------------|--------------|------|----------------------------|-------|--------------------|-------------|
| | Bytes | # Single Word Instructions | | | | | | SPI | Master I ² C | | | |
| PIC16F873A | 7.2K | 4096 | 192 | 128 | 22 | 5 | 2 | Yes | Yes | Yes | 2/1 | 2 |
| PIC16F874A | 7.2K | 4096 | 192 | 128 | 33 | 8 | 2 | Yes | Yes | Yes | 2/1 | 2 |
| PIC16F876A | 14.3K | 8192 | 368 | 256 | 22 | 5 | 2 | Yes | Yes | Yes | 2/1 | 2 |
| PIC16F877A | 14.3K | 8192 | 368 | 256 | 33 | 8 | 2 | Yes | Yes | Yes | 2/1 | 2 |

Figura 123 – Microcontrolerul folosit la realizarea standului
*) Sursa: Microchip™ Technology Inc., catalog PIC16F877A [M.4]

Pentru generarea diferitelor tensiuni pentru dioda LED, autorul a folosit modulul de „tensiune de referință” Vref, din PIC 16F877A. Diagrama de bloc este prezentată pe figura mai de jos:

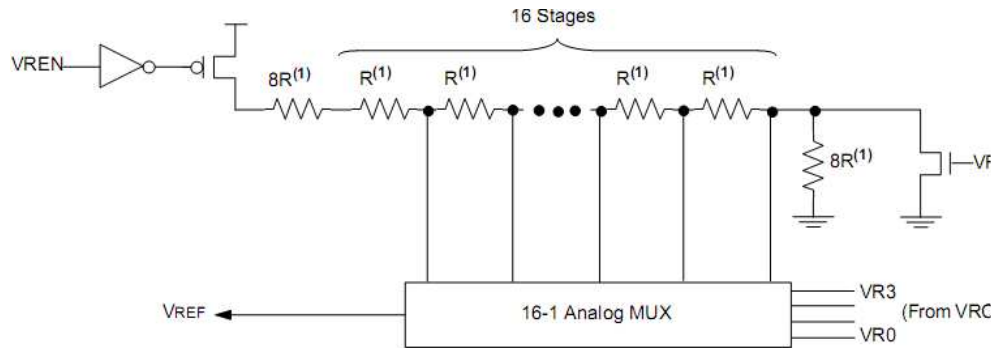


Figura 124 – Modulul Referință de tensiune (Vref)
 *) Sursa: Microchip™ Technology Inc., catalog PIC16F877A [M.4]

După cum se poate identifica de pe diagrama de bloc, sunt posibile 16 valori de tensiune diferite. Folosind însă setările din registrul VRCON, pot fi selectate două domenii de tensiune, vezi figura mai de jos:

| VR3:VR0 | VREF | |
|---------|---------|---------|
| | VRR = 1 | VRR = 0 |
| 0000 | 0.00 V | 1.25 V |
| 0001 | 0.21 V | 1.41 V |
| 0010 | 0.42 V | 1.56 V |
| 0011 | 0.63 V | 1.72 V |
| 0100 | 0.83 V | 1.88 V |
| 0101 | 1.04 V | 2.03 V |
| 0110 | 1.25 V | 2.19 V |
| 0111 | 1.46 V | 2.34 V |
| 1000 | 1.67 V | 2.50 V |
| 1001 | 1.88 V | 2.66 V |
| 1010 | 2.08 V | 2.81 V |
| 1011 | 2.29 V | 2.97 V |
| 1100 | 2.50 V | 3.13 V |
| 1101 | 2.71 V | 3.28 V |
| 1110 | 2.92 V | 3.44 V |
| 1111 | 3.13 V | 3.59 V |

Figura 125 – Tensiunile generate de modulul Vref
 *) Sursa: Microchip™ Technology Inc., catalog PIC16F877A [M.4]

5. Generatorul de semnal

Pentru proiectarea amplificatorului de semnal, autorul a folosit mediul de dezvoltare Scilab [S.2]. Programul a fost folosit pentru calcularea rezistenței de colector; rezultatele sunt prezentate mai jos:

```
//*****  
// Calculul amplificatorului de semnal  
//*****  
mode(0);clc;  
Ual = 10; // Tensiune de alimentare [V]  
RBUal = 15000; //Rezistența dintre B-Ual [Ohm]  
RBM = 5600; //Rezistența dintre B-Masa [Ohm]  
Beta = 100;  
RC = 1000; //Rezistența Colector [Ohm]  
RE = 1000; //Rezistența Emite [Ohm]  
  
VB = (RBM/(RBUal+RBM))*Ual //tensiunea la Baza tranzistorului  
VRE = VB-0.7 //Tensiunea la rezistență legată la Emite  
IE = VRE/RE //Curentul de Emite (IE ≈ IC)  
VRC = IE*RC //Tensiunea la rezistență legată la Colector  
VC = Ual - VRC // tensiunea la Colector  
VCE = VC-VRE // tensiunea Colector Emite  
IB = IE/Beta //Curentul la Baza tranzistorului  
  
//Determinarea valorilor pentru VCE = 6.3V (RC=?)  
VCE=6.3;  
RC = (Ual-VCE-VRE)/IE  
  
Rezultate:  
VB = 2.7184466  
VRE = 2.0184466  
IE = 0.0020184  
VRC = 2.0184466  
VC = 7.9815534  
VCE = 5.9631068  
IB = 0.0000202  
RC = 833.09283
```

Pentru crearea circuitului electronic, autorul a folosit mediul de dezvoltare Qucs [Q.1], urmat de o simulare SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) a circuitului implementat.

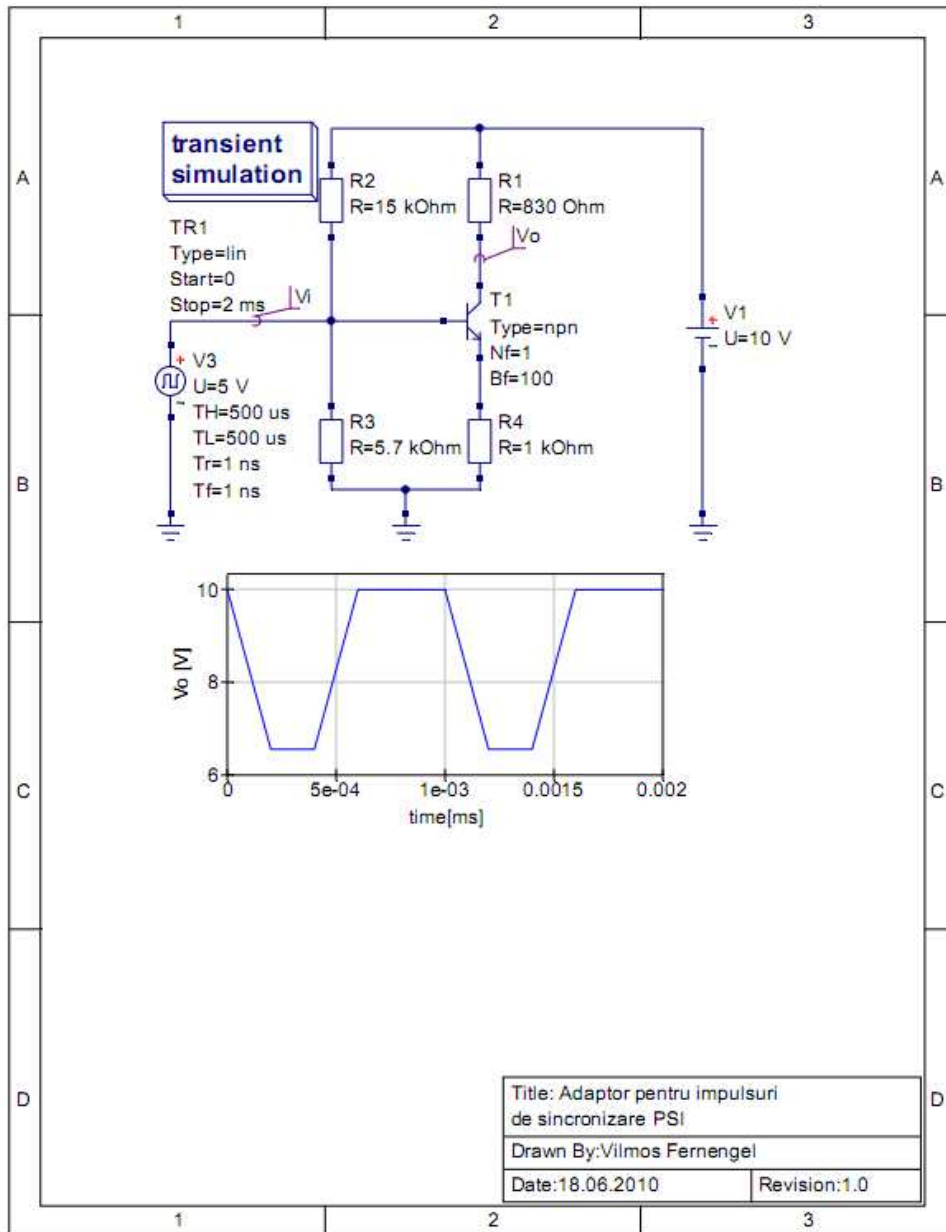


Figura 126 - Adaptor impulsuri PSI

Anexa F

1. Calculul vitezei de impact a pendulului

Modelul de calcul, pentru cazul ciocnirii elastice.

```
mode(0);
clc;
//Calculul vitezei de impact
//Cazul ciocniri elastice
h = 0.8; // [m] distanța maximă dintre masa m2 si cupla de rotație a braț pendul
d = 0.8; // [m] lungime braț pendul
m1 = 1.3; // [kg] masa pendulului
m2 = 0.3; // [kg] masa modelului barei de protecție
theta = 90; // [grade]unghiul determinat de axa de simetrie verticală a coloanei de
sprijin și brațul pendulului
thetarad = %pi*theta/180;
g=9.81; //m/s^2
v1 = sqrt(2*g*h*(1 - cos (thetarad))); //[ms]
v2f=(2*m1*v1)/(m1+m2); // [m/s] viteza de impact
format('v',5);
disp(v2f,'Viteza de impact [m/s]');
disp(v2f*3.6,'Viteza de impact [km/h]');
Viteza de impact 6.44 [m/s], 23.2 [km/h]
```

2. Tektronix™ MSO4034

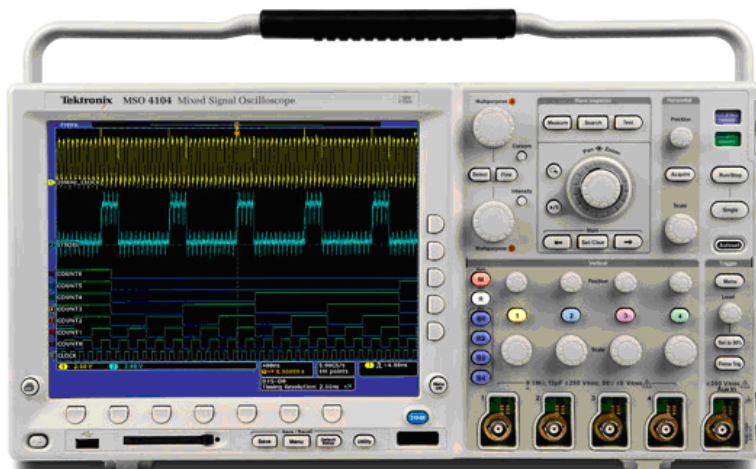


Figura 127 – Osciloscop folosit la experimente

3. Montaj electronic pentru transformarea intensității reflectate în mărimi electrice

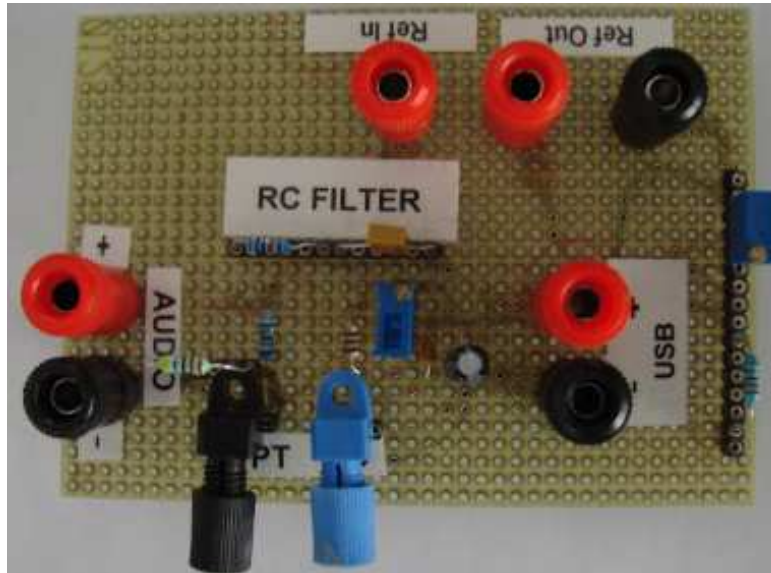


Figura 128 – Montaj electronic pentru transformarea intensității de lumină reflectată în mărimi electrice

4. Generator de semnal

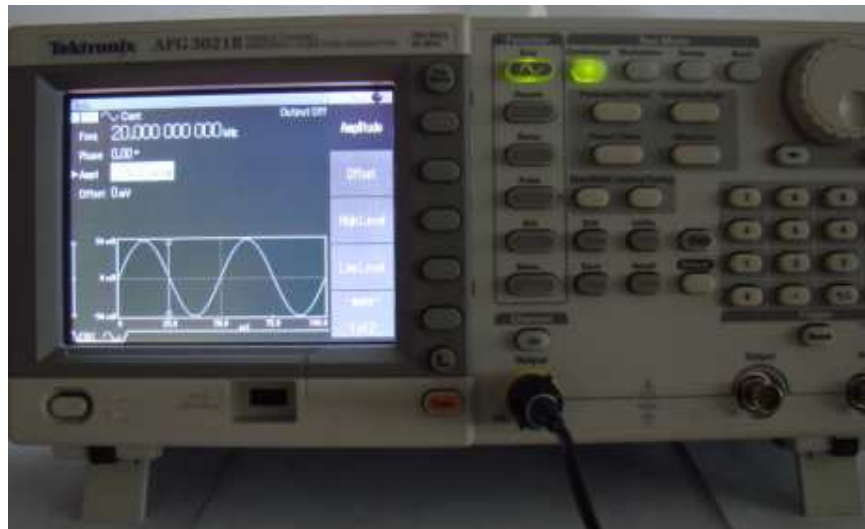


Figura 129 – Generator de funcții

5. Placă de achiziție semnale



Figura 130 – Placa de achiziție semnale

6. Placă de coliziune a standului experimental

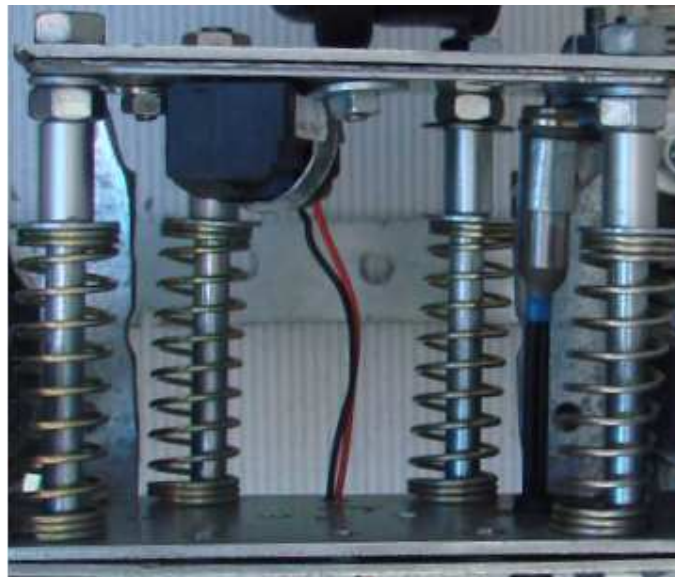


Figura 131 – Placa de coliziune a standului experimental

7. Stand experimental



Figura 132 – Stand experimental

8. Parametrii senzorului de accelerație folosit ca referință

| Parametru | Valoare | Unități |
|----------------------|--------------|---------|
| Tip | SMB 482 | - |
| Domeniu de detectare | ± 120 | g |
| Tip interfață | PSI5, 10 bit | - |
| Sensibilitate | 4 | LSB/g |
| Toleranța | 7 | % |

Tabela 29 – Caracteristicile senzorului de referință (accelerație)

9. Parametrii senzorului de presiune folosit ca referință

| Parametru | Valoare | | | Unitate de măsură |
|-------------------------|---------|-------|--------|-------------------|
| | Min. | Tipic | Max. | |
| Gama de presiune | 20.00 | - | 250.00 | kPa |
| Temperatura de operare | -40.00 | - | 125.00 | °C |
| Tensiunea de alimentare | 4.75 | 5.00 | 5.25 | V |
| Consum curent (la 5V) | 6.00 | 9.00 | 12.50 | mA |

Tabela 30 – Caracteristicile senzorului de referință (presiune)

10. Senzori optici de presiune, accelerație



Figura 133 – Senzori optici de presiune / accelerație

Bibliografie

- [A.1] AUTOSAR
Explanation of Application Interfaces of Occupant and Pedestrian Safety Systems Domain
<http://www.autosar.org/>
- [A.2] Autoliv
Integrated Automotive Safety
Autoliv 2006
- [A.3] ***
Analog Devices
<http://www.analog.com/en/sensors/inertial-sensors/adxl78/products/product.html>
- [A.4] August et all
Fiber Optic Accelerometer
U.S. patent Documents 4329963, 1980, Dec. 16
- [A.5] Ansaf I. et all
Development of a decision making algorithm for AirBag control
Instrumentation and Measurement Technology Conference, 1993, IEEE
- [B.1] Balekics M.
Tribologie, Freccarea
Editura Todesco Cluj-Napoca 2000
- [B.2] ***
Bosch Sensortec
<http://www.bosch-sensortec.com/content/language1/html/4377.htm>
- [B.3] ***
Bosch Sensortec
<http://www.bosch-sensortec.com/content/language1/html/index.htm>
- [B.4] ***
Basics of Plastic Optical Fiber (POF)
<http://www.i-fiberoptics.com/basics.php>
- [B.5] Butler L.
Intermodulation Performance and Measurement of Intermodulation Components
<http://users.tpg.com.au/lbutler/Intermodulation.htm>
- [C.1] ***
CAN in Automation (CiA)

- <http://www.can-cia.org>
- [C.2] *** **Copper**
<http://www.metalprices.com/FreeSite/metals/cu/cu.asp#>
- [C.3] Culshaw Brian **Fiber Optics in Sensing and Measurement**
IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS, VOL.6, NO.6, NOVEMBER/DECEMBER 2000
- [C.4] *** **Fiber optic technology**
<http://cableorganizer.com/corning-cables/>
- [C.5] Carome E. **Fiber Optic Accelerometer**
U.S. Patents 5276322, 1994, Jan. 4
- [C.6] Canning J. et al **Extreme Silica Optical Fibre Gratings**
Sensors, 2008, ISSN 1424-8220
- [C.7] Cho K. et al **A Pre-crash Discrimination System for an Airbag Deployment Algorithm**
American Control Conference
Marriott Waterfront, Baltimore, MD, USA, 2010
- [C.8] Czichos H. **Tribologie Handbuch, Reibung und Verschleiss**
Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden 1992
- [C.9] Cioca L. et al **Experimental Researches Upon the Radar Sensor – Technological and Managerial Considerations,**
VIII MTM Symposium, Timișoara 2000, Vol. III Theme 11, pg. 49 – 54, ISBN: 973-585-182-2
- [D.1] David Tock et al. **Blink Rate Monitoring for a Driver Awareness System**
<http://www.bmva.org/bmvc/1992/bmvc-92-054.pdf> ,
University of Aberdeen, Scotland, 1992
- [D.2] DSI Consortium **DSI Bus Standard**
<http://www.dsiconsortium.org/>
- [D.3] Davidescu A. **Metrologie Generală**
Ed. Politehnica, 2001, ISBN 973-8247-25-X

- [D.4] Desrosiers D., et all **A pre – crash simulator to evaluate vehicle collision prediction algorithms**
5th IFAC Symposium on Advances in Automatic Control: Monterey, CA (2007).
- [D.5] Dehelean L.M **Diaphragm Pressure Transducer for Medical Applications**
VIII MTM Symposium, Timișoara 2000, Vol. III, Theme 16, pg. 75-80, ISBN: 973-585-182-2
- [E.1] Enciclopedia Britannica **Science & Technology, automobile**
<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/44957/automobile/259060/The-age-of-steam#ref=ref529048>
- [E.2] ECE **European Regulations related to Crash Testing**
http://www.crash-network.com/Regulations/ECE_Regulations/ece_regulations.html
- [E.3] Euro NCAP **Euro NCAP**
<http://www.euroncap.com/history.aspx>
- [F.1] Folksam Fond **Folksam**
<http://www.safecarguide.com/exp/folksam/index.htm>
- [F.2] Fernengel V. **Metode și mijloace de investigații și încercări în Tribologie – Referat -**
Facultatea „Politehnica” din Timișoara, 2002
- [F.3] Fernengel V. **Increasing productivity in Software Development**
Ed. Universității „Petru Maior”, Târgu Mureș, 2007, ISSN:1843-780
- [F.4] *** **Freescale**
<http://hu.farnell.com/freescale-semiconductor/mma7455lt/acceleration-sensor-ic/dp/1659491>
- [F.5] *** **Fiber Optic Cables**
<http://cable5.ca/Portals/0/articles/FiberOptic%20Cables.pdf>
- [F.6] Fidanboyulu K. et all **FIBER OPTIC SENSORS AND THEIR APPLICATIONS**

- 5 International Advanced Technologies Symposium (IATS'09), May 13-15, 2009, Karabuk, Turkey
- [F.7] Fink L. **Optical Accelerometer**
U.S. Patent 4592235, 1986, Jun.3
- [F.8] Fernengel V. et al **Remote Control of the LPT Port**
Mechatronic Systems, Theme: 23
The VII-TH International Conference on Mechatronics and Precision Mechanics (2004, Bucuresti)
- [F.9] Fernengel V. et al **Movement study using digital images**
Romanian Journal Of Optoelectronics, Vol. 12 Issue 4, Oct.- Dec. 2004, pg. 53-60, Ed. Optoelectronics-2001 Bucuresti
- [F.10] Fernengel et al **Master - Slave solution on an I2C Network using PIC microcontrollers**
The 2nd International Conference on Robotics, pg. 73-74, Timisoara - Resita 14-16 Oct. 2004, ISBN 973-97258-3-x, Ed. InterGraf Resita
- [F.11] Fernengel et al **Multifunctional data acquisition system using the LPT port**
The 11th International Conference on Vibration Engineering, Timisoara, 27-30 Sept. 2005, Scientific Bulletin of the "Politehnica" University of Timisoara, pp. Tom 50 (64) – ISSN 1224-6077, pp.33-36.
- [F.12] Fernengel et al **Aplicații PIC pentru începători(I)**
Revista de informatica si informatica industrială, 2007, Ed.Maiăstra Targu-Jiu ISSN:XXX
- [F.13] Fernengel et al **Aplicații PIC pentru începători(II)**
Revista de informatica si informatica industrială, 2007, Ed.Maiăstra Targu-Jiu ISSN 1843-6978, p. 23-25
- [G.1] Giovanni di Mario **Flat and corrugated diaphragm design handbook**
Ed. CRC, 1982, ISBN-10: 0824712811
- [G.2] Gaddy L. et al **Dinamic performance testing of digital audio D/A converters**
<http://focus.ti.com/lit/an/sbaa055/sbaa055.pdf>

- [G.3] Gligor O. **Structuri mecatronice**
Ed. Politehnica Timișoara 2003, ISBN 973-625-108-X
- [H.1] *** **Haddon Matrix**
http://en.wikipedia.org/wiki/Haddon_Matrix
- [H.2] Hernandez W. **Improving the Responses of Several Accelerometers Used in a Car Under Performance Tests by Using Kalman Filtering**
Sensors, pg. 38 - 52, MDPI, 2001, ISSN:1424-8220
- [I.1] Irish Universities **Promoting science, Mary Ward**
http://www.universityscience.ie/pages/scientists/sci_mary_ward.php
- [I.2] Ignea A. **Măsurarea electrică a mărimilor ne-electrice**
Ed. De Vest, 1996, ISBN 973-36-0270-1
- [I.3] *** **Industrial Fibre Optics**
http://i-fiberoptics.com/Fiber_optic_led_photodetectors.php
- [J.1] Juncheng Xu **High Temperature High Bandwidth Fiber Optic Pressure Sensors**
http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-01122006-142538/unrestricted/Xu_Dissertation.pdf
- [K.1] Kristie L. Cooper et al **Optical Fiber Sensor Technologies for Efficient and Economical Oil Recovery**
Center for Photonics Technology, Bradley Department of Electrical and Computer Engineering Virginia Polytechnic Institute & State University Blacksburg, June 2003
- [K.2] *** **KEC, Semiconductor datasheet, 7805**
<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/69437/KEC/7805.html>
- [K.3] Kim Y-G. et al **A Real Time Collision Avoidance System, VIII MTM Symposium, Timișoara 2000, Vol. I, Theme 24, pg. 147 – 152, ISBN: 973-585-180-6**
- [K.4] Kovács Cs. **Elektronikus Áramkörök,**

- Ed. General Press, ISBN: 963-9076-32-5
- [L.1] Lagakos N. **Fiber Optic acceleration and displacement sensors**
International publication Number: WO 2009/099823 A1
- [L.2] Lin C-H. et all **Development of Simulation Based Side Airbag Algorithm**
LS-DYNA Anwendungsforum, Bamberg 2008
- [M.1] Miao Yu **Fiber Optic Sensor Technology**
University of Maryland, USA, 2008,
http://www.sem.org/PDF/fiber_optic_sensor_technology.pdf
- [M.2] Mocanu D. **Rezistența materialelor**
Ed. Tehnică București, 1980
- [M.3] Mita A. **Fiber Bragg Grating-Based Acceleration Sensors for Civil and Building Structures**
International Workshop on Present and Future in Health Monitoring, Bauhaus-University Weimar, Germany, Sept. 3-6, 2000
- [M.4]*** **PIC16F877A**
<http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en010242>
- [M.5] Majumder I. et all **Collision detection algorithm for an automated guided vehicle,**
VIII MTM Symposium, Timișoara 2000, Vol. I, Theme 26, pg. 161 – 166, ISBN: 973-585-180-6
- [M.6] Mătieș V. et all **Peculiarities Concerning Synthesis the basic functions of Intelligent Machines,**
VIII MTM Symposium, Timișoara 2000, Vol. III, Theme 38, pg. 191 – 196, ISBN: 973-585-182-2
- [M.7] Mahmud S. **A New Decision Making Algorithm for Airbag Control**
Transaction on Vehicular Technology, IEEE, Vol.44, nr. 3, 1995
- [N.1]*** **Natural Frequency,**
<http://personal.cityu.edu.hk/~bsapplec/natural.htm>

- [N.2]*** **Collection of NASS CDS Data Relating to Rollover**
http://www.google.com/url?sa=t&source=web&cd=1&ved=0CBIQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.nhtsa.org%2Fcars%2Fproblems%2Fstudies%2FNASRoll%2FTRB_NASS-CDSrollover.ppt&ei=Hc9CTMvmO8LfOJXe0KMN&usq=AFOjCNHCCV_6yyRqO4nG0bPdb5AUURpoHA
- [N.3]*** **High-Temperature Optical Fiber Skin Friction Sensors for Aeropropulsion Flight Tests**
NASA 1998 SBIR Phase I,
<http://sbir.nasa.gov/SBIR/abstracts/98/sbir/phase1/SBIR-98-1-07.02-4274.html>
- [O.1] Origo **Az ISOFIX legyen veled! - gyermekeink biztonsága az autóban**
<http://www.origo.hu/auto/uton/20061203azisofix.html>
- [P.1] *** **Peripheral Sensor interface**
<http://www.psi5.org/en/en/psi5/home/index.aspx>
- [P.2] Pavelescu Dan et all **Tribologie**
Editura didactică Bucureși, 1977
- [P.3] *** **Plastic Optical Fiber RED LED**
<http://datasheet.octopart.com/IF-E96R-Industrial-Fiberoptics-datasheet-66647.pdf>
- [Q.1] *** **Qucs project**
<http://qucs.sourceforge.net/>
- [R.1] Raymond A. et all **Principles of physics: a calculus-based text, Volume 2**
Brooks/Cole – Thomson Learning, 2006 ISBN 0534496059
- [R.2] *** **RightMark Audio Analyzer test report**
<http://www.ixbt.com/multimedia/creative/surround51/2444.shtml>
- [R.3] Rabinowicz E. **Friction and wear of materials,**
John Wiley & Sons publication,1955
- [S.1] Sticlaru C. et all **Organe de mașini,**
Editura Politehnica, 2001, ISBN 973-8247-55-1

- [S.2] *** **Scilab**
<http://www.scilab.org/>
- [S.3] Smith S. W. **The Scientist & Engineer's Guide to Digital Signal Processing**
California Technical Pub., Ediția 1, 1997,
ISBN-10: 0966017633
- [S.4] Savii G., Milenco L. **Modelare și Simulare**
Ed. EUROSTAMPA, Timișoara 2000,
ISBN: 973-8027-59-4
- [T.1] *** **TinyCAD**
<http://tinycad.sourceforge.net/>
- [T.2] Teodorescu A. **Elemente de teoria sistemelor**
Ed. Politehnica 2003, ISBN: 973-625-067-9
- [V.1] Vâsc A. et all **Concepts Regarding the Development of the intelligent optical systems,**
VIII MTM Symposium, Timișoara 2000,
Vol. III, Theme 58, pg. 297 – 300, ISBN:
973-585-182-2
- [V.2] Vâsc A. et all **Architecture for Optical Processing of incoherent information,**
VIII MTM Symposium, Timișoara 2000,
Vol. III, Theme 59, pg. 301–304, ISBN:
973-585-182-2
- [W.1] WHO **European status report on road safety: towards safer roads and healthier transport choices**
World Health Organization (WHO) Regional Office for Europe, 2009, ISBN 978 92 890 4176 8
- [W.2] WHO **Global status report on road safety - Summary**
World Health Organization (WHO) Regional Office for Europe, 2009
- [W.3] WHO **World report on road traffic injury prevention – Summary**
World Health Organization (WHO) Regional Office for Europe, 2009, ISBN 92 4 156260 9
- [W.4] World Bank **Confronting "Death on Wheels" Making Roads Safe in Europe and Central Asia**
Report No. 51667-ECA, 2009

-
- [W.5] Wikipedia **Autó**
<http://hu.wikipedia.org/wiki/Aut%C3%B3>
- [W.6] Wikipedia **Disc brake**
http://en.wikipedia.org/wiki/Disc_brake#History
- [W.7] Wikipedia **Drum Brake**
http://en.wikipedia.org/wiki/Drum_brake
- [W.8] Wikipedia **Seat Belts**
http://en.wikipedia.org/wiki/Edward_J._Clag_horn
- [W.9] Wapedia **Seat Belt**
<http://wapedia.mobi/en/Seatbelt>
- [W.10] Wikipedia **Airbag**
<http://en.wikipedia.org/wiki/Airbag#History>
- [W.11] Wikipedia **Telematics**
<http://en.wikipedia.org/wiki/Telematics>
- [W.12] Wikipedia **National Highway Traffic Safety Administration**
http://en.wikipedia.org/wiki/National_Highway_Traffic_Safety_Administration
- [W.13] Wikipedia **ISOFIX**
<http://en.wikipedia.org/wiki/Isifix>
- [W.14] Wipedia **Electronic Stability Control**
http://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_stability_control
- [W.15] Wikipedia **ISO 26262**
http://de.wikipedia.org/wiki/ISO_26262
- [W.16] Wikipedia **Serial Peripheral Interface**
http://en.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface_Bus
- [W.17] Wikipedia **Damping**
<http://en.wikipedia.org/wiki/Damping>
- [W.18] Wikipedia **Restriction of Hazardous Substances Directive**
http://en.wikipedia.org/wiki/Restriction_of_Hazardous_Substances_Directive

- [W.19] Woodward R. W. **The Advantages of fiber optics over copper cable**
<http://www.wrsystems.com/whitepapers/Fiber%20Optics%20vs%20Copper%20Cable.pdf>
- [W.20] Wade Pulliam **High-Temperature, High Bandwidth, Fiber-Optic, MEMS Pressure Sensor Technology for Turbine Engine Component Testing**
<http://www.isa.org/Content/ContentGroups/InTech2/Features/20023/January4/memsfeature.pdf>
- [W.21] Wikipedia **Nyquist–Shannon sampling theorem**
http://en.wikipedia.org/wiki/Nyquist%E2%80%93Shannon_sampling_theorem
- [W.22] Wikipedia **Total Harmonic Distortion**
http://en.wikipedia.org/wiki/Total_harmonic_distortion
- [W.23] Wikipedia **Frequency Response**
http://en.wikipedia.org/wiki/Frequency_response
- [W.24] Wallner D. et all **A Novel Control Algorithm for Integration of Active and Passive Vehicle Safety Systems in Frontal Collisions**
Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics, IIIC, Vol. 8, Nr. 5, pg. 6-11, 2010
- [Z.1] Ziemann O. et all **POF handbook: optical short range transmission systems**
Springer – Verlag, 2008, ISBN 978-3-540-76629-2