

CONTRIBUȚII PRIVIND STRUCTURILE DE TESTARE AUTOMATĂ CU APLICAȚII ÎN AUTOMOTIVE

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

Ing. Florin PRUTIANU

Conducător științific: prof.univ.dr.ing. Viorel POPESCU
Referenți științifici: prof.univ.dr.ing. Adrian GRAUR
prof.univ.dr.ing. Dorin PETREUȘ
prof.univ.dr.ing. Dan LASCU

Ziua susținerii tezei: 20.12.2012

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- | | |
|---|--|
| 1. Automatică | 9. Inginerie Mecanică |
| 2. Chimie | 10. Știința Calculatoarelor |
| 3. Energetică | 11. Știința și Ingineria Materialelor |
| 4. Ingineria Chimică | 12. Ingineria sistemelor |
| 5. Inginerie Civilă | 13. Inginerie energetică |
| 6. Inginerie Electrică | 14. Calculatoare și tehnologia informației |
| 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații | 15. Ingineria materialelor |
| 8. Inginerie Industrială | |

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, 2012

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

Aspectele științifice abordate în cadrul tezei de doctorat „Contribuții privind structurile de testare automate cu aplicabilitate în automotive” se înscriu în tendința actuală a cercetărilor privind implementarea sistemelor de testare automată în cadrul laboratoarelor de cercetare dezvoltare a producătorilor internaționali vest europeni de componente electronice.

Studiul de față, prin aspectele de cercetare fundamentală abordate, contribuie la îmbunătățirea procesului de testare validare al laboratoarelor R&D, prin introducerea unui sistem de testare automată controlat de la distanță de calculator. Caracteristicile acestui sistem de testare automat sunt conforme cu cerințele modelului V, proces care ghidează dezvoltarea unei unități de control electronic de la stadiul de proiect până la integrarea acestuia în autoturism și respectă standardele automotive în vigoare.

Contribuțiile aduse de autor, în cadrul acestei teze de doctorat, au stat la baza îmbunătățirii performanțelor acestor sisteme. În cadrul proiectelor unde a fost folosit acest sistem, cu structura prezentată în acest studiu, rezultatele au fost satisfăcătoare fiind acceptate de un mare producător vest european de autoturisme.

Desfășurarea cercetărilor și elaborarea lucrărilor s-a făcut sub îndrumarea domnului prof. Univ. Dr. Ing. Viorel POPESCU, membru al catedrei de Electronică Aplicată, al Universității Politehnica din Timișoara. Cercetările experimentale au fost realizate în laboratorul de cercetare dezvoltare al unui producător de componente electronice, atât în țară cât și în străinătate în cadrul unui producător de autoturisme german.

Teza de doctorat s-a materializat prin crearea unui sistem de testare automotive implementat într-un laborator de cercetare dezvoltare cu rezultate acceptate de inginerii proiectanți ai concernului.

Teza de doctorat a fost realizată cu sprijin parțial din grantul strategic POSDRU/88/1.5/S/50783, Proiect ID50783 (2009), cofinanțat din Fondul Social European "Investeste în oameni", în cadrul Programului Operational Sectorial Dezvoltare Resurse Umane 2007-2013.

Destinatarii dedicației.

Alese mulțumiri și profundă recunoștință se cuvin adresate conducătorului de doctorat **prof.dr.ing. Viorel POPESCU** pentru consilierea permanentă și îndrumarea atentă pe tot parcursul realizării lucrării.

Mulțumesc ,de asemenea, membrilor comisiei pentru observațiile și sugestiile date privind elaborarea acestei teze. Aduc mulțumiri Facultății de Electronică și Telecomunicații din Timișoara și cadrelor didactice și colegilor de departament care au contribuit la formarea mea profesională.

Nu în ultimul rând mulțumesc familiei, soției pentru răbdarea și susținerea morală în momente dificile și părinților mei cărora le dedic această lucrare.

Florin, PRUTIANU

Contribuții privind sistemele de testare automată cu aplicații în automotive

Teze de doctorat ale UPT, Seria 7, Nr. 59, Editura Politehnica, 2012, 179 pagini, 113 figuri, 10 tabele.

ISSN: 1842-7014

ISBN: 978-606-554-592-2

Cuvinte cheie: sisteme de testare automată, structura ATS hardware, algoritmi software

Rezumat,

Prin subiectul abordat, teza de doctorat răspunde unor probleme de maximă actualitate privind sistemele de testare automate din industria automotive. Acest domeniu tinde spre perfecționare, în această lucrare fiind aduse contribuțiile originale ale autorului privind structurile de testare automate destinate industriei automotive. Tema vine în ajutorul validării din punct de vedere electric al unităților de control electronice integrate în autovehicule.

Cuprins:

Abrevieri:	8
Lista de figuri:	9
Lista de tabele:	14
INTRODUCERE	15
Capitolul I. Stadiul actual al testării în industria automotive	18
1.1 Automotive. Tipuri de dispozitive electronice	19
1.2 Modelul de testare adoptat în industria automotive	21
1.3 Nivele de testare ale sistemelor de control electronic in industria automotive	24
1.3.1 Nivel de componentă hardware	24
1.3.2 Nivel de componentă software	24
1.3.3 Nivel de componentă integrată.....	24
1.3.4 Nivel de subsistem	25
1.3.5 Nivel de sistem	25
1.4 Tipuri de testare	25
1.4.1 Testarea manuală	26
1.4.2 Testarea automată	27
1.5 Metode, tehnici și strategii de testare	28
1.5.1 Testare Automata în circuit ICT.....	28
1.5.2 Testare funcțională.....	29
1.5.3 Testare non-funcțională	30
1.5.4 Testare de tip răspuns la stimuli	30
1.5.5 Testare de tip regresie	31
1.5.6 Strategii de testare	32
1.6 Concluzii și contribuții personale.....	34

Capitolul II. Conceptul sistemului de testare automată pentru industria automotive	36
2.1 Motivația apariției ATS-urilor în procesul de validare/testare/integrare automotive	36
2.2 Prezentarea sistemelor de testare automate din perspectiva tehnicilor folosite	37
2.2.1 Sisteme de testare HiL – Hardware in the loop	40
2.2.2 Sisteme de testare SiL – Software in the loop.....	42
2.2.3 Sisteme de testare MiL – Model in the loop	43
2.2.4 Sisteme de testare ICT – In circuit test.....	43
2.3 Caracteristicile și proprietățile ATS-urilor în industria automotive.....	45
2.4 Părțile componente ale ATS-urilor	47
2.5 Concluzii și contribuții personale.....	49
Capitolul III. Structura hardware pentru sistemele de testare automată din industria automotive	52
3.1 Arhitectura hardware.....	53
3.2 Prezentarea/specificații ale părților componente.....	56
3.2.1 Standul de testare	56
3.2.2 Patul de cuie	60
3.2.3 Sursa de alimentare	70
3.2.4 Echipamente de interfațare/routare	72
3.2.5 Echipamente de măsură.....	77
3.2.6 Echipamente de comunicație	83
3.2.7 Echipamente de calcul.....	86
3.2.8 Echipamente de injectare a semnalelor	87
3.3 Particularități hardware ale ATS-ului.....	89
3.4 Concluzii și contribuții personale.....	92
Capitolul IV. Structura software: algoritmi, cazuri de testare, particularități	96
4.1 Medii de programare folosite	96

4.2 Interfața grafică	103
4.3 Algoritmii programului operațional	106
4.4 Drive pentru echipamentele HW	114
4.5 Cazuri de testare implementate	130
4.6 Rezultate obținute	143
4.7 Concluzii și contribuții personale.....	157
Capitolul V. Concluzii.....	161
Capitolul VI. Contribuții personale	165
Bibliografie	170

Abrevieri:

ATS = Sistem de testare automată (automated testing system)
CAN = Controller Area Network
CAN_H = CAN High
CAN_L = CAN Low
CI = condiții inițiale
DMM = multimetru digital (digital multimeter)
DUT = dispozitiv supus testării (device under test)
ECU = sistem de control electronic (electronic control unit)
EPROM = Memorie cu posibilitate de scriere citire (erasable programable read only memory)
FG = generator de semnale (function generator)
FRT = teste de reacție la stimuli
FT = teste funcționale
HW = hardware
ICT = testare în circuit (in circuit testing)
ID = nume propriu atribuit pentru un semnal
MEP = Message exchange protocol
MP = memorie primară
MS = memorie secundară
OEM = producător original de echipament (original equipment manufacturer)
OSC = osciloscop (oscilloscope)
OVC = protecție la supracurent (over current protection)
OVP = protecție la supratensiune (over voltage protection)
PCB = circuit imprimat (printed circuit board)
PS = sursă de alimentare (power supply)
REQ = cerințe (requirements)
RF = frecvențe înalte - radio frequency
SW = software
SCPI = Comenzi standard pentru Instrumente Programabile (Standard Commands for Programmable Instruments)
TA = testare automată (autoamted testing)
TC = caz de testare (test case)
TS = specificații de testare (test specifications)
uC = microcontroler

Lista de figuri:

Figura 1.1 Dispozitive electronice componente ale unui autovehicul.....	19
Figura1.2 Funcțiile îndeplinite de sistemele de control electronic	19
Figura1.3.a. Vedere habitacul autoturism.....	20
Figura1.3.b. Vizualizare tahometru.....	20
Fig.1.4 ECU din industria automotivă.....	21
Figura1.5 Modelul V (V-Cycle) dezvoltat de Hughes Aircraft.....	22
Figura 2.1 Sistem de testare automată de tip HiL.....	41
Figura2.2 Structură de testare de tip SiL.....	43
Figura2.3 Structură de testare de tip ICT	44
Figura2.4 Sistem de testare automată control de calculator.....	48
Figura3.1 Schema bloc a ATS-ului	54
Figura3.2 Schema bloc pentru măsurarea eficienței surselor de tensiune în comutație	55
Figura3.3 Structură rack and stack.	57
Figura 3.4 Sistem de testare de tip stack and rack	59
Figura3.5a Pat de cuie cu placa de multiplexoare integrată	60
Figura3.5b Pat de cuie cu placa de repetoare pe emitor integrată	60
Figura 3.6 Exemplu de harta a punctelor de testare, de sprijin și de testare	62
Figura 3.6a Schema electrică a repetorului pe emitor din cadrul patului de cuie....	63
Figura 3.6b Schema electrică a conectorului de scriere a softwareului JTAG.....	64
Figura 3.6c Configurația conectării semnalelor la conectorul patului de cuie.....	64
Figura 3.6d Schema electrică a unui multiplexor din modulul de multiplexoare integrat în patul de cuie	65
Figura 3.7 Părți componente ale probelor / sondelor de testare	65
Figura3.8 Compresia unei sonde de testare.....	67
Figura 3.9 Vârf ascuțit.....	67
Figura 3.10 Vârf plat.....	68
Figura3.11 Vârf conic invers	68
Figura3.12 Vârf coroană.....	69

Figura 3.13 Vârf bullet	69
Figura 3.14 Vârf stea	70
Figura 3.15 Vârf pentru paduri de trecere (via points)	70
Figura 3.16 Sursa de alimentare Agilent 3645A / Caracteristica tensiune-curent ...	71
Figura 3.17a Echipamente de interfațare folosite în dezvoltarea ATS-ului	73
Figura 3.17b Echipamente de interfațare folosite în dezvoltarea ATS-ului	73
Figura 3.18a Agilent 34970A – partea frontală	74
Figura 3.18b Agilent 34970A – partea dorsală	74
Figura 3.19a Agilent 34903A – schema electrică	75
Figura 3.19b Agilent 34903A – unitatea fizică de multiplexare cu 20 de relee	76
Figura 3.20a Implementarea CAD a unității de multiplexare	76
Figura 3.20b Mărirea interiorului unității de rutare a semnalelor	77
Figura 3.21 Schema bloc a multimetrului digital Agilent 34410A	80
Figura 3.22 Multimetrul Digital 34410A.....	81
Figura 3.23 Transmisia datelor prin GPIB	85
Figura 3.24 Principiu de funcționare CAN	86
Figura 3.25 Instrumente generatoare/amplificatoare de semnal	88
Figura 3.26 Plan de masă de tip stea.....	91
Figura 4.1 Integrarea programului ECU-Test în industria automotive	97
Figura 4.2 Crearea cazurilor de testare în ECU-Test.....	98
Figura 4.3 Mod de execuție a cazurilor de testare cu ECU Test	99
Figura 4.4 Mediu de programare LABView	100
Figura 4.5 Structuri logice folosite în LABView	101
Figura 4.6 Interfața grafică dezvoltată în LABView (GUI).....	104
Figura 4.7 Fereastra Pop-up: Selecția cazurilor de testare	105
Figura 4.8 Algoritm programului operațional	107
Figura 4.9 Algoritm pentru execuția unui caz de testare.....	110
Figura 4.10 Structură pentru cazurile FT	111
Figura 4.11 Algoritm / Structură pentru cazurile de reacție la stimuli FRT.....	112
Figura 4.12 Conexiune ECU Test cu fișierele de mapare	114
Figura 4.13 Driver pentru DMM-ul Agilent 34410A.....	115
Figura 4.14 Driverul pentru unitatea de rutare	116

Figura 4.15a Comanda trimisă de dezvoltator pentru configurarea FG-ului	116
Figura 4.15b Driverul care demultiplexează linia de comandă a FG-ului	117
Figura 4.16 Atribuirea de ID pentru formele de undă posibile a fi generate cu FG-ul	117
Figura 4.17a Comanda din panoul frontal pentru generarea semnalelor modulate cu generatorul de funcții	118
Figura 4.17b Implementarea în diagrama bloc a comenzilor SCPI pentru generarea semnalelor modulate cu generatorul de funcții.....	118
Figura 4.18a Linia de comandă trimisă pentru configurarea osciloscopului LeCroy .	119
Figura 4.18b Interpretarea liniei de comandă în diagrama bloc pentru setarea osciloscopului Lecroy	119
Figura 4.19a Linia de comandă trimisă pentru configurarea bazei de timp a osciloscopului LeCroy	120
Figura 4.19b Interpretarea liniei de comandă pentru configurarea bazei de timp a osiloscopului LeCroy.....	120
Figura 4.20 a Linia de comandă trimisă pentru configurarea condițiilor de declanșare în cazul osciloscopului LeCroy	121
Figura 4.20b Interpretarea linie de comandă pentru configurarea condițiilor de declanșare în cazul osciloscopului LeCroy	121
Figura 4.21a Linia de comandă trimisă pentru apelarea panoului frontal al osciloscopului LeCroy	122
Figura 4.21b Interpretarea liniei de comandă pentru apelarea panoului frontal al osciloscopului LeCroy	122
Figura 4.22 a Linia de comandă pentru măsurarea unui parametru electric al semnalelor prezente pe unul din cele 4 canale ale osciloscopului LeCroy	123
Figura 4.22 b Interpretarea liniei de comandă pentru măsurarea unui parametru electric al semnalelor prezente pe unul din cele 4 canale ale osciloscopului LeCroy	124
Figura 4.23 Linii de comandă ce trebuie trimise către osciloscop pentru citirea mai multor parametri, pentru fiecare canal al osciloscopului	124
Figura 4.24 a Linie de comandă trimisă pentru afișarea unui parametru cu ajutorul osciloscopului Tektronix DPO2000	125
Figura 4.24 b Interpretarea liniei de comandă trimisă pentru afișarea unui parametru cu ajutorul osciloscopului Tektronix DPO2000	125
Figura 4.25a Linia de comandă ce trebuie trimisă pentru efectuarea unei măsurători de întârziere – delay cu osciloscopul Tektronix.....	125

12 Lista de figuri

Figura 4.25b Interpretarea liniei de comandă ce trebuie trimisă pentru efectuarea unei măsurători de întârziere – delay cu osciloscopul Tektronix	126
Figura 4.26 – Construirea unei comenzi SCPI cu mediul de programare LABView pentru osciloscopul Tektronix DPO2000	127
Figura 4.27a Linie de comandă pentru salvarea pozelor pe hard disk-ul local cu aplicația de testare	128
Figura 4.27b Interpretarea liniei de comandă pentru salvarea pozelor pe hard disk-ul local cu aplicația de testare	128
Figura 4.28a Linie de comandă necesară pentru etichetarea canalelor osciloscopului Tektronix	128
Figura 4.28b Interpretarea liniei de comandă necesară pentru etichetarea canalelor osciloscopului Tektronix	129
Figura 4.29 Structura Buck, prezentare forme de undă	132
Figura 4.30 Algoritm pentru testarea eficienței unui convertor BUCK	134
Figura 4.31 – Forma de undă generată la intrarea ECU-ului pentru întreruperi de scurtă durată ale tensiunii de alimentare	136
Figura 4.32 Formă de undă generată pentru testul profilului de start.....	137
Figura 4.33 Conectarea echipamentelor la magistrala CAN	138
Figura 4.34 Stările dominante și recesive pentru magistrala CAN	139
Figura 4.35 Topologia circuitelor CAN	142
Figura 4.36 – Măsurarea ieșirii sursei principale de 5V la tensiunea minimă și maximă a tensiunii de alimentare	144
Figura 4.37 – Măsurarea parametrilor semnalelor în cazul testului de încărcare și descărcare treptată a bateriei.....	144
Figura 4.38 – Măsurarea imunității ECU-ului la tensiuni înalte.....	145
Figura 4.39 – Validarea unității de control electronice pentru tensiune de alimentare sub tensiunea minimă admisă	145
Figura 4.40 – Validarea unității de control electronice în cazul apariției unei întreruperi scurte pe tensiunea de alimentare a ECU-ului	146
Figura 4.41 – Detecția pragurilor de protecție pentru tensiune sub limita admisă .	146
Figura 4.42 – Funcționarea unității de control electronice în cazul aplicării unei tensiuni de alimentare peste limita admisă – overvoltage.....	147
Figura 4.43 – Verificarea funcționalității ECU-ului atunci când avem o tensiune de intrare perturbată	147
Figura 4.44 – Funcționarea ECU-ului în cazul aplicării unei tensiuni de alimentare inverse – reversed voltage	148

Figura 4.45 – Testarea sursei BUCK de 5V pentru tensiune de intrare de 18V.....	148
Figura 4.46 – Testarea sursei BUCK de 5V pentru tensiune de intrare de 24V.....	149
Figura 4.47 – Testarea sursei BUCK de 5V pentru tensiune de intrare de 32V	149
Figura 4.48 – Răspunsul ECU-ului la impulsuri de tipul profilului de start	150
Figura 4.49 – Testarea sursei BUCK de 5V pentru tensiune de intrare de 24V.....	150
Figura 4.50 – Măsurarea nivelelor de tensiune pentru comunicația CAN	151
Figura 4.51 Măsurarea duratei unui bit pe magistrala CAN	151
Figura 4.52 Măsurarea tensiunii de mod comun pentru starea dominantă a comunicației CAN	152
Figura 4.53 – Măsurarea nivelelor de tensiune pentru starea recesivă a comunicației CAN	152
Figura 4.54 – Măsurarea nivelului de tensiune Vdiff a comunicației CAN în starea dominantă	153
Figura 4.55 – Măsurarea nivelului de tensiune Vdiff pentru comunicației CAN în stare recesivă.....	153
Figura 4.56 – Testarea automată cu ECU Test utilizând structura veche de testare	156
Figura 4.57 – Testarea automată cu ECU Test utilizând structura nouă de testare	156

Lista de tabele:

Tabelul 3.1 – Liniile interfeței GPIB	84
Tabelul 3.2 – Nivelurile logice ale protocolului GPIB.....	84
Tabelul 4.1 – Tensiuni de alimentare pentru sisteme automotivă $V_i=12V$	135
Tabelul 4.2 – Tensiuni de alimentare pentru sisteme automotivă $V_i = 24V$	135
Tabelul 4.3 – Tensiunile V_{drop} care trebuie atinse pentru discontinuități ale V_{in} ..	136
Tabelul 4.4 – Tensiuni ale formei de undă pentru profilul de start	136
Tabelul 4.5 – Parametrii de tensiune ai magistralei în stare recisivă	140
Tabelul 4.6 – Parametrii de tensiune ai magistralei în stare dominantă	140
Tabelul 4.7 – Parametrii minimi și maximi pentru tensiunile liniilor CAN_H&CAN_L140	
Tabelul 4.8 – Parametrii DC pentru starea recisivă pentru un nod al magistralei..	141
Tabelul 4.9 – Parametrii DC pentru starea dominantă a unui nod CAN	141
Tabelul 4.10 Măsurători efectuate cu DMM-ul	154

INTRODUCERE

Automotive reprezintă domeniul tehnologic al dispozitivelor electronice utilizate în industria producătoare de mașini. Sistemele de control electronic (ECU) din industria automotive fac parte din categoria dispozitivelor cu fiabilitate ridicată deoarece pe primul loc este siguranța pasagerilor și a mașinii pe durata de funcționare. Astfel, fiecare ECU din industria automotive se supune unui proces riguros de testare standardizat după legislația americană, respectiv europeană. Fiecare companie producătoare de dispozitive electronice destinate acestei industrii trebuie să îndeplinească standardele la zi impuse industriei automotive. Totodată, timpul procesului de testare din industria automotive, se scurtează. Numai în ultimii ani asistăm la o înjumătățire a timpului de dezvoltare alocat pentru o componentă electronică, rezultând o nevoie de îmbunătățire a sistemelor de testare.

Această teză are ca obiect domeniul testării la diferite nivele ale industriei automotive. Domeniul poate părea îngust la început, dar este deosebit de interesant și provocator pentru implementarea de noi soluții.

Industria automotive este structurată pe mai multe nivele, descrise în paginile următoare. Astfel, fiecare nivel este reprezentat de o mulțime de particularități unde pot fi aduse îmbunătățiri. Autorul dorește ca această lucrare să prezinte îmbunătățirile aduse în acest domeniu pentru testarea ECU-urilor.

Etapele dezvoltării unei unități de control electronice presupune următoarele etape: dezvoltarea (development phase), testare și verificare (test un validation) și integrare la diferite nivele (integration). Datorită globalizării și adaptării autovehiculelor la noile concepte de piață, etapele dezvoltării unui ECU au un ciclu de dezvoltare cuprins între 2 și 3 ani, comparativ cu anul 1990 când ciclul de dezvoltare ajungea la 5 ani. Totodată pentru noile ECU-uri există standarde și norme care trebuie îndeplinite. Abaterea de la aceste standarde și norme impuse de consiliile europene pot face un produs neutilizabil în industria automotive. Practic atingerea unor norme din punct de vedere calitativ atrage siguranța în utilizare a autovehiculului. Dar pentru a putea pune în evidență comportamentul unui produs, din punct de vedere calitativ, procesul de testare și validare din cadrul producătorilor de componente și autovehicule trebuie să fie structurat pe mai multe nivele, eficient și suficient de fiabil.

Autorul dorește să pună în evidență importanța testării automate, caracteristicile procesului de testare / validare în domeniile electrice și electronice din industria automotive, cât și din domeniile conexe.

O definiție a testării ne exemplifică faptul că un produs trebuie să îndeplinească un minimum de cerințe, cerințe care constituie punctul de plecare pentru dezvoltarea produsului. La aceste cerințe, denumite în engleză requirements, se aplică normele și standardele în vigoare eliberate de consiliile europene sau

americane. Autorul dorește să arate că pentru realizarea unui sistem de testare automată nu mai sunt suficiente numai cunoștințele de electronică, acum sunt însoțite și de cunoștințe ale mediilor de programare.

Practic în ultimele decenii electronica pură a dispărut, apariția microcontrollerelor și a microprocesoarelor (uP) rezultând în interconectarea celor două domenii majore hardware și software. În esență, la începutul anilor '70, majoritatea circuitelor electrice erau doar cu componente electronice pasive. Apariția primelor circuite CMOS, dezvoltarea microcontroller-elor (uC), apariția memoriei RAM și a uP-lor a făcut posibilă comandarea dispozitivelor electronice cu ajutorul software-ului. Posibilitatea de comandare a circuitelor electrice și electronice a oferit o mobilitate mai mare și o ușurință în proiectarea de circuite. Treptat s-au dezvoltat și limbaje de programare, în care se scriu linii de cod pentru comandarea acestor circuite. Acestea au reprezentat principalele invenții care au contribuit la progresul tehnologic la care asistăm în zilele noastre.

Dar odată cu acest progres tehnologic apare nevoia tot mai mare de testare. O problema majoră a dezvoltării echipamentelor electronice o constituie timpul. Trăim în secolul vitezei, ca în orice industrie, timpul alocat dezvoltării de echipamente și componente electronice este tot mai comprimat. Produsele care conțin circuite electronice devin tot mai complexe iar funcționalitatea lor se testează tot mai dificil. Acest progres tehnologic asimiliează noi tehnologii: de realizare, de construire și de verificare a echipamentelor electronice. Testarea echipamentelor și componentelor electronice trebuie să țină pasul cu progresul tehnologic, astfel noi tehnici de testare/verificare trebuie dezvoltate, trebuie adaptate cerințelor actuale și adoptate în timpul mersului. Pentru dezvoltarea unui produs este nevoie de faza testare atât în etapa de dezvoltare cât și în etapa de producție.

Aceste caracteristici prezentate, tendințele de optimizare din acest domeniu precum și opinia autorului referitoare la varietatea de tehnici și soluții în procesul de înglobare a noilor tehnologii în procesul de testare / validare reprezintă principala linie de ghidare pentru această teză.

Autorul a participat la elaborarea documentației de testare pentru mai multe proiecte din domeniul automotive fiind implicat în toate fazele procesului de testare, precum și în fazele de dezvoltare a produsului. De asemenea s-a participat la realizarea sistemului de testare automată, la analiza sistemelor, la proiectarea interfețelor, la implementarea algoritmilor software fiind conectat în permanență cu comunitatea științifică din domeniu. Sistemul creat se dorește a fi reutilizabil pentru o gama cât mai largă de ECU-uri cu eforturi minime de adaptare pentru diferite proiecte.

Teza a fost alcătuită pe scheletul a cinci capitole care evidențiază punctele forte ale sistemelor de testare din automotive:

- Capitolul I. „Stadiul actual în testarea automată în industria automotive” trece în revistă domeniul și componentele sale importante, metode de testare, nivelele de testare din domeniul automotive precum și punctul de vedere al autorului cu privire la aceste sisteme;

- Capitolul II. „Conceptul sistemului de testare automată pentru industria automotive” definește procesul de testare din faza de descriere a cazurilor de testare până la execuția propriu-zisă. Autorul prezintă elementele care asigură reutilizarea sistemului în cadrul altor proiecte;
- Capitolul III. „Structura hardware pentru sistemele de testare automată din industria automotive”. Se prezintă tipurile de echipamente folosite pentru realizarea sistemului, arhitectura acestora, instrumentele frecvent utilizate și punctul de vedere al autorului în privința echipamentelor;
- Capitolul IV. „Structura software: algoritmi, cazuri de testare, particularități” se prezintă arhitectura programului operațional de comandă a sistemului de testare automată, algoritmul de selecție și executare a cazurilor de testare, contribuțiile autorului referitor la particularitățile programului pentru a-i conferi portabilitatea necesară unui sistem de testare din această industrie. Tot în cadrul acestui capitol sunt prezentate mediul de programare, driverele construite de autor precum și cazuri de testare realizate în cadrul proiectului având ca urmare rezultatele obținute de autor cu acest sistem de testare automat și prezentate în cadrul capitolului;
- Capitolul V „Concluzii” se prezintă principalele concluzii ale autorului cu privire la sistemul de testare automată, posibilități de îmbunătățire a sistemului din perspectiva autorului;

Capitolul I. Stadiul actual al testării în industria automotive

În acest capitol autorul prezintă în formă succintă câteva elemente definitorii pentru activitatea de testare/validare a unor dispozitive electronice complexe. Asistarea șoferului în diferite situații ajutând la evitarea unor accidente în momentul conducerii autovehiculului reprezintă o încununare a electronicii aplicate în domeniul automotive. În decursul a doua decenii electronica a preluat execuția mecanică și a transformat-o în execuție comandată de sisteme electronice. Funcții simple precum deschiderea ferestrei, semnalizare la schimbarea benzii de mers, funcții de confort pentru pasageri și șoferi dar mai ales funcțiile de siguranță sunt preluate de sisteme de comandă electronice. Ca urmare a complexității acestor sisteme electronice precum și a funcțiilor îndeplinite, rezultă ca fiind necesară asigurarea fiabilității maxime pentru aceste dispozitive (ECU = electronic control unit).

Automotive este sectorul care cuprinde dezvoltarea dispozitivelor electronice construite pentru diferite autovehicule: autoturisme, autoutilitare, microbuze, autobuze precum și mașini dedicate unor operațiuni speciale, precum serviciul de ambulanță. În funcție de particularitățile diferitelor autovehicule se vor crea noi ECU-uri de complexitate diferită adaptate acestor cerințe.

Testarea funcțională a acestor dispozitive decide utilizarea lor în autoturism, fiind validate după standardele în vigoare. Parte dintre dispozitive îndeplinesc funcții de siguranță în cadrul autovehiculului rezultând necesară testare funcțională pe mai multe nivele care vor fi prezentate în acest capitol.

Testarea se realizează cu ajutorul unor standuri de testare care vor forma un sistem de testare automată. Pentru realizarea unui stand de testare automată este necesar un program, rulat pe un calculator destinat operațiilor zilnice, cu ajutorul caruia va fi comandat standul de testare. Standul de testare va conține aparatura necesară pentru generarea de semnale electrice, aparatura de simulare și măsură.

În mod uzual programele de testare sunt construite pe baza unor algoritmi implementați în medii de programare specializate. Necesare pentru aceste programe este să permită comanda de la distanță a standului de testare iar implementarea cazurilor de testare să fie realizată într-un mod cât mai simplu. Execuția acestor cazuri de testare se face realizează printr-o aplicație de tip „test executive”.

Concluziile la acest capitol subliniază, după opinia autorului, dezvoltarea accelerată din acest domeniu precum și nevoia îmunătățirii procesului de testare din cadrul industriei automotive, pentru realizarea testării/validării automate a ECU-urilor.

1.1 Automotive. Tipuri de dispozitive electronice

Dispozitivele electronice folosite în construcția autovehiculelor realizează funcții de siguranță pasivă și activă, funcții de confort precum și funcții de control. La începuturile industriei auto comunicația între două dispozitive electronice se realiza pe protocolul de comunicație LIN (Local Interconect Network). Dezvoltarea ulterioară din domeniul a făcut ca să fie adoptate rând pe rând și următoarele standarde: în proporție ridicată protocolul de comunicație CAN (Controlled Area Network), Ethernet, MOST (Media Oriented System Transport) folosit doar pentru aplicații de infotainment, FlexRay – reprezentând viitorul datorită vitezei de comunicare ridicate.

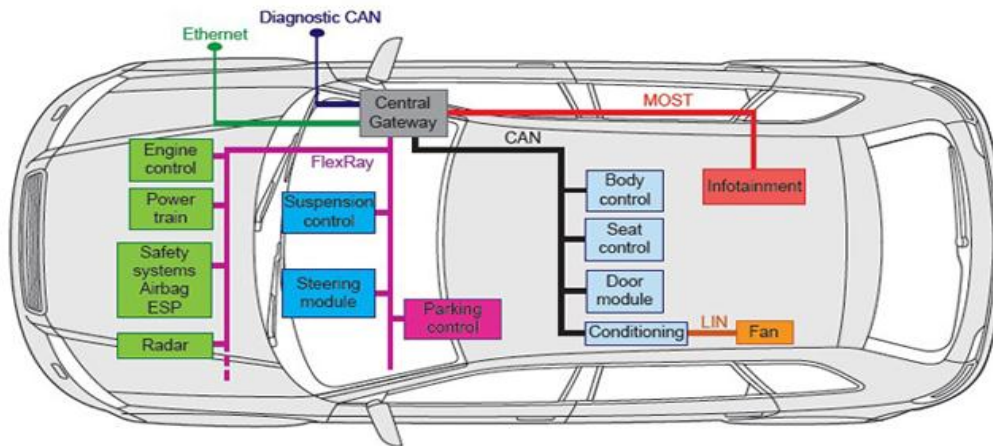


Figura1.1 Dispozitive electronice componente ale unui autovehicul[193]

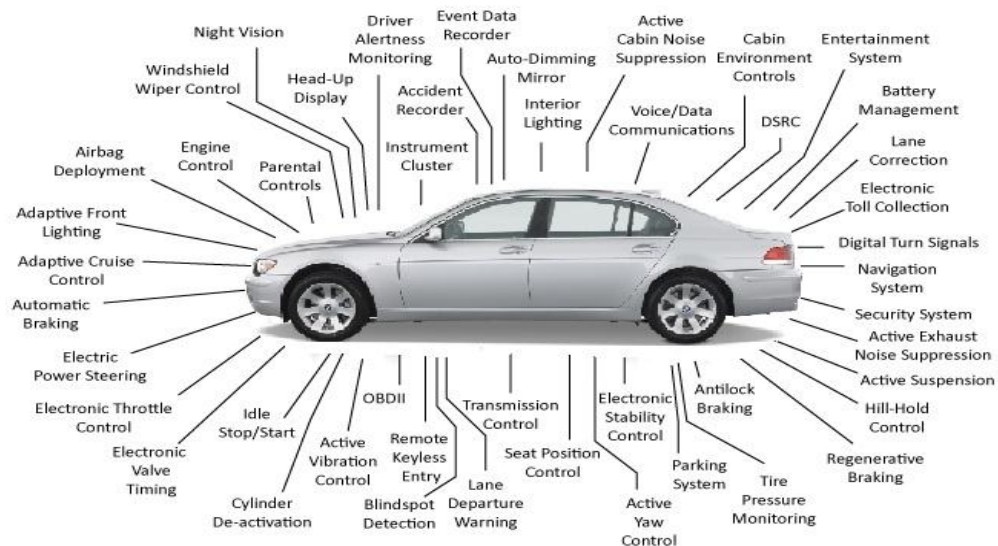


Figura1.2 Funcțiile îndeplinite de sistemele de control electronic[17]

În figura 1.2 se pot observa varietatea de funcții îndeplinite de sistemele electronice de control componente ale unui autovehicul de generație actuală. Autorul a reprezentat doar funcțiile principale, existând posibilitatea ca anumite funcții să fie omise.

În figura 1.3 a. și b. autorul dorește să pună în evidență dispozitivele din habitacul componente ale autovehiculului.



Figura1.3.a. Vedere habitacul autoturism [17]



Figura1.3.b. Vizualizare tahometru [17]

După cum se poate observa în figurile anterioare componența dispozitivelor electronice din componența unui autoturism depășesc astăzi 80%. Afișajele sunt realizate cu ajutorul unor ecrane de tip LCD precum și funcția de navigare. Autorul dorește să sublinieze faptul că majoritatea funcțiilor din mașină au în componență un dispozitiv electronic care trebuie testat/validat.



Figura1.4 ECU din industria automotive [205]

În figura 1.4 este prezentat un dispozitiv electronic de control (ECU) din cadrul industriei automotive. După cum se poate observa acest dispozitiv este constituit din carcasa metalică (dur aluminiu), conectori și placa electronică (printed circuit board). Incapsularea ECU-urilor este importantă deoarece acestea sunt supuse unor teste de umiditate și șocuri mecanice. Principalii producători de echipamente electronice din cadrul industriei automotive sunt: BOSCH, Continental AG, Autolive, Yazaki, Hella, Magnetti Marelli, Delphi.

1.2 Modelul de testare adoptat în industria automotive

În anii '80 complexitatea mare a echipamentelor electronice în industria avionică, și care este într-o continuă creștere aduce în prim plan pentru prima dată necesitatea unui model de testare. Până în acel moment majoritatea

testărilor/verificărilor din domeniul electronicii se efectuau manual fără o strategie prestabilită. În anul 1982 pentru prima dată apare strategia de testare numită modelul V (V-cycle) ,figura 1.5, adoptat de compania Hughes Aircraft. Practic acest model de testare a fost creat pentru a pune în evidența lacunele software din dezvoltarea unui produs, din perspectiva testării și integrării[23][44][64].

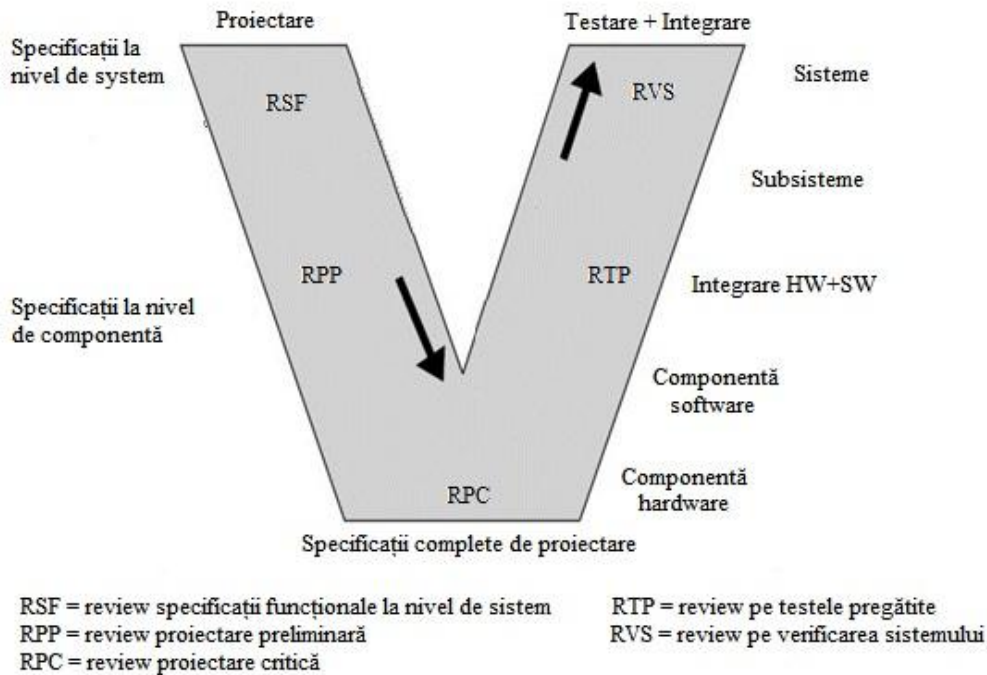


Figura1.5 Modelul V (V-Cycle) dezvoltat de Hughes Aircraft [23]

În acest V-cycle se poate observa că sunt cuprinse atât faze din dezvoltarea produsului, cât și nivelele la care se face testarea produsului. Practic, punctele de referință a acestui model sunt abordarea din punct de vedere al proiectului, încercarea de delimitare a fiecărei etape precum și nivelul de interpretare pentru diferite etape din viața proiectului.

Acest model este folosit în continuare până în anul 1991 doar în proiecte ce cuprind dezvoltarea de sisteme de sateliți. După anul 1991, majoritatea companiilor cu profil de testare adoptă o astfel de tehnologie de testare , după modelul V-cycle. În paralel cu modelul american este dezvoltat un model asemănător în Germania, pentru Ministerul Federal de Apărare. În anul 1992, un astfel de model devine public și este folosit la scală largă de companiile de profil.

Majoritatea punctelor sunt comune pentru cele două V-cycle-uri, în zilele de astăzi modelul fiind implementat în cadrul companiilor cu profil electronic care au în cadrul lor și departamente de testare și verificare.

O sumarizare a punctelor importante din strategia V este prezentată de către autor în cele ce urmează:

- Cerințe la nivel de sistem;
- Cerințe la nivel de componenta;
- Cerințe de proiectare;
- Verificare/Testare hardware – nivel de baza;
- Verificare/Testare software – nivel de baza;
- Integrare la nivel de componentă – nivel de componentă;
- Verificare/Testare la nivel de componentă – nivel de componentă;
- Verificare/Testare la nivel de subsistem – nivel de subsistem;
- Verificare/Testare la nivel de sistem – nivel de sistem.

Practic după acest model, procesul de verificare/testare dorește să confirme că ceea ce a rezultat ca produs finit, cu proprietăți fizice și măsurabile, satisface cerințele de sistem pentru respectivul produs. Practic verificarea bazată pe modelul V dorește să confirme o îndeplinire a cerințelor de la fiecare nivel, pornind de la nivelul de baza până la nivelul de sistem. Dezvoltarea produselor se face pe etape, astfel ca pentru a realiza un produs finit sunt etape intermediare de integrare a diferitelor componente în ansamble mai mari. Practic în industria automotive activitatea de testare este complexă și implică mai multe tipuri de activități:

- Analiza – folosirea modelelor matematice și analitice pentru a prezice comportamentul produsului bazat pe modele matematice sau pe date primite de la nivelul de componentă aparținând sistemului. Analiza presupune atât activități de modelare cât și activități de simulare;
- Inspecția – cel mai întâlnit tip de inspecții în industria electronică este inspecția vizuală de la cel mai mic nivel la cel mai înalt. E.g. în producție este importantă inspecția vizuală pentru verificarea amplasării componentelor, la nivel de hardware inspecția este doar pentru a fi observată integritatea dispozitivului, la nivel de subsistem se dorește inspecție pentru integritatea subsistemului iar la nivel de sistem de cele mai multe ori este pentru a vedea forma finită a produsului.
- Demonstrația – pentru a vizualiza dacă sistemul respectă toate cerințele care au stat la baza dezvoltării proiectului. În timpul demonstrațiilor se crează o primă impresie despre maturitatea produsului.
- Testarea efectivă – aici se adună date care să ateste funcționarea în parametrii impuși de cerințe. Dacă în timpul demonstrațiilor nu au putut fi catalogate rezultatele sistemului, în această etapă se poate determina starea de maturitate a proiectului.

Pentru a ajunge la un produs finit fiecare produs cunoaște mai multe cicluri de viață, în termenii din industrie numite bucle de cercetare și dezvoltare. Natural, aceste bucle există și în cadrul testării. Modelul de testare a cunoscut o dezvoltare exponențială, cerințele fiind de cele mai multe ori împărțite până la nivelul de baza, astfel strategia de testare de tip V este folosită acum pentru fiecare nivel. Testarea la fiecare nivel, se supune modelului V prezentat anterior, existând pentru fiecare bucla de testare un nou ciclu V.

În rândurile următoare se dorește exemplificarea metodelor de testare la nivel hardware, la nivel software, nivel de componenta, la nivel de subsistem și la nivel de sistem.

1.3 Nivele de testare ale sistemelor de control electronic in industria automotive

În cele ce urmează autorul acestei teze dorește să prezinte principalele caracteristici ale nivelelor de testare existente în industria automotive.

1.3.1 Nivel de componentă hardware

Acest nivel de testare presupune testarea componentei electronice din punct de vedere al parametrilor electrici. La acest nivel sunt testate: amplasarea corectă a componentelor pe poziția corespunzătoare, modulele principale în funcționarea ECU-ului existente pe PCB. Pentru testare este nevoie de o sursă de tensiune (PS), osciloscop (OSC) sau multimetru digital (DMM). La acest nivel rezultatele testării se compară cu valorile nominale ale parametrilor electrici. În cadrul acestui nivel pentru primele sample-uri (A0 – prima bucla de testare) se adopta tipul de testare manuală deoarece încă nu sunt cunoscute toate detaliile proiectului. În paralel se poate începe dezvoltarea ATS-ului. În cadrul acestui nivel sunt descoperite primele greșeli majore din cadrul proiectului cum ar fi: nefuncționarea în paramaterii a surselor de tensiune, routarea greșita a unor trasee, poziționarea incorectă a unor componente.

1.3.2 Nivel de componentă software

În mod tradițional dezvoltarea software se efectuează cu o intarziere mică față de nivelul componentei hardware sau chiar în paralel cu aceasta. Partea de testare la nivel de componentă software se efectuează atunci cand partea hardware este suficient de matură pentru ca partea software sa fie scrisă în ECU. Se folosesc metode de testare prezentate de autor în randurile următoare. Se identifică principalele greșeli la nivel de algoritmi, daca există probleme de configurare a ECU-ului.

1.3.3 Nivel de componentă integrată

Pentru prima dată la acest nivel mai multe părți componente sunt integrate și pregatite pentru o testare funcțională. În această etapă ECU-ul se află în stare matură atât din punct de vedere hardware cât și din punct de vedere software. Acum se verifică pentru prima dată ECU-ul din punct de vedere funcțional dar

1.3 Nivele de testare ale sistemelor de control electronic în industria automotive 25

împotriva specificațiilor de proiectare oferite de producătorul original (ex: BMW). Trebuie să îndeplinească cerințe legate de timp, consum de putere, tensiuni de alimentare, posibilități de diagnoză, management al erorilor, compatibilitate electromagnetică, comportamentul ECU-ului la condiții de mediu, la vibrații respectiv la șocuri mecanice.

1.3.4 Nivel de subsistem

În această etapă producătorul ECU-ului livrează producătorului original un produs complet testat după primele nivele adoptate de industria automotive. Acum este rândul producătorului automotive (ex: BMW) să observe comportamentul ECU-ului în subsistemul din care face parte (ex: infotainment). Sistemul de infotainment este reprezentat de unitățile de control electronice ce vin în ajutorul ghidării conducătorului auto, e.g. sistemul de navigație împreună cu sistemul de sonorizare al autoturismului. În cadrul acestui nivel se poate vedea maturitatea produsului, deoarece funcționarea ECU-ului se efectuează într-un mediu de testare în care ceilalți senzori sunt prezenți sau simulați. Nivelul de dezvoltare al tuturor componentelor este aproape de cel în care vor fi montate în autovehicul. Din cadrul testelor efectuate în această etapă autorul dorește să evidențieze testele funcționale FT și testele de reacție la diferiți stimuli FRT. Remedierea unei defecțiuni în această etapă va crește costurile de dezvoltare într-un mod exponențial dacă greșeala descoperită este hardware. Pentru greșelile de tip software există posibilități de remediere cu costuri scăzute.

1.3.5 Nivel de sistem

În cadrul acestei etape, ECU-ul va fi testat în mediul real de funcționare alături de celelalte componente constitutive ale sistemului. Acum se realizează integrarea autoturismului și se dorește testarea din punct de vedere funcțional. În această etapă greșelile de proiectare din cadrul celorlalte nivele va conduce la creșterea costurilor de producție cât și a celor de dezvoltare. Testarea sistemului se efectuează în condiții de mediu reale, autoturismul fiind la nivel de prototip având posibilitatea de a circula pe strada.

1.4 Tipuri de testare

Autorul acestei teze dorește să pună în evidență cele două tipuri de testare prezente în industria automotive: automată și manuală. În urmă cu două decenii testarea manuală era predominantă în industria automotive, raportul inversându-se în ultimii ani datorită dezvoltării tehnologice dar și datorită reducerii timpilor de dezvoltare a unui produs din această industrie. În următoarele paragrafe autorul dorește să prezinte principalele caracteristici ale acestor două tipuri de testare[153][192][194].

1.4.1 Testarea manuală

În industria automotive un produs trebuie să parcurgă anumite stadii de dezvoltare în funcție de complexitatea produsului. Astfel în cazul testării unui produs în fazele incipiente – prototip este preferată testarea manuală. În această fază cerințele produsului mai pot fi modificate iar testarea întregului produs nu este posibilă, datorită posibilelor greșeli aparute în proiectare. În concluzie pentru evaluarea rapidă a stadiului în care se află produsul este aleasă metoda de testare manuală. În următoarele rânduri autorul dorește să pună în evidență principalele avantaje ale testării manuale.

Avantaje:

- Validare rapidă a unor circuite, posibilitatea ca toate circuitele să fie complet funcționale este redusă;
- Posibilitatea de manipulare ridicată, operatorul poate efectua măsurarea parametrilor electrici ale ECU-urilor în diferite condiții și medii;
- Posibilitatea de intervenire în circuit, operatorul poate modifica cu ușurință componente ale circuitului electric, de exemplu acesta poate taia trasee între circuite iar modificarea traseelor se poate efectua cu fire de cupru;
- Posibilitatea de a efectua mai multe teste ad-hoc;
- Costuri pe termen scurt reduse, costurile fiind reprezentate doar din orele petrecute de inginerul de testare pentru testarea produsului și utilizarea unor echipamente minimale
- Operatorul uman poate găsi mai multe defecte, paleta de teste posibile de efectuat fiind mai ridicată în faza incipientă a produsului;
- Inspectie vizuală la costuri reduse pentru o singura buclă de testare – prototip;

Dezavantaje:

- Consumatoare de timp, prin adoptarea ca fiind principala metodă de testare din cadrul proiectului;
- Pentru fiecare buclă de testare rularea aceluiași test, pe un număr mare de sample-uri (mostre) poate deveni monoton iar ca durata de testare, în mod sigur va fi mai lungă în comparație cu testarea automată;
- Posibilitatea apariției unor erori în procesul de măsurare datorită operatorului uman, erori de tip: grosolan sau erori de manipulare;

1.4.2 Testarea automată

Testarea automată – datorită faptului că în procesele moderne de testare timpul alocat testării este în cele mai multe instanțe limitat, a apărut nevoia de dezvoltare a unor produse de testare automate. Astfel crescând interesul, din partea producătorilor și a dezvoltatorilor de echipamente, pentru diverse sisteme de testare automate au apărut și primele produse pentru testare automată dedicate. Firmele producătoare de echipamente electronice și de sisteme de testare pun la dispoziția clienților o gamă largă de variante. Problema majoră este reprezentată de faptul că aceste variante trebuie adaptate cerințelor clientului, iar clientul are posibilitatea să dezvolte pe această platformă un unic produs supus testării. Din firmele producătoare a sistemelor de testare automată putem aminti: ETAS, dSpace, National Instruments – cu produsul LABView precum și alte produse, Agilent, Terradyne.

Avantaje:

- În cazul proceselor cu mai multe bucle de testare – bazat pe modelul V este rentabilă investiția într-un sistem de testare automat;
- Eliminarea posibilității de introducere a unor erori de tip grosolan, aleatoare sau de manipulare;
- Posibilitatea de atașare a unei camere video pentru inspecție vizuală – pentru producția de serie;
- Efectuează teste de compatibilitate pentru mai multe configurații cu modificări minore efectuate asupra sistemului;
- Timpii de testare pentru mai multe sample-uri sunt optimizați la maxim;
- Permite efectuarea unor teste de regresie într-un timp relativ scurt;
- Costuri pe termen lung reduse, costurile fiind foarte ridicate în faza incipientă;
- Repetabilitate crescută pentru același caz de testare, în aceleași condiții;
- Posibilitatea de generare automată a raporturilor de testare;
- Posibilitatea de reutilizare a unor părți componente din sistem, echipamente de măsură, surse de tensiuni, amplificate, generatoare de semnal, sisteme de comunicație;
- Posibilitate de folosire a metodei de testare *boundary scan* cu vizualizare imediată;
- Adaptabilitate rapidă pentru mai multe produse cu adaptări mici ale sistemului;
- Timp de lucru eficientizat 24/7, în cadrul sistemelor de testare automată cazurile de testare pot fi efectuate fără supervizarea operatorului uman;

Dezavantaje:

- Apariția de erori sistematice;
- Limitări legate de performanțele echipamentelor și a tool-urilor folosite;
- Nu are gândire proprie, interpretarea rezultatelor se face pe baza unor algoritmi implementați în soft-ul operațional;
- Costuri ridicate pe termen scurt, investiție mare în faza incipientă a sistemului de testare automată pentru prima buclă de testare a produsului;
- Dezvoltarea lentă, experiența operatorului/inginerului aducând un aport important în dezvoltarea ATS-ului;
- Flexibilitate scăzută la transport, manipulare, prindere;
- Nu se pot automatiza toate cazurile de testare;

Pentru o testare completă a unui produs electronic în industria automotive este necesară o interploare a celor două metode de testare. În contextul cerințelor actuale și a timpilor dedicați testării/validării produsului este preferată metoda de testare automată în proporție de 70%.

1.5 Metode, tehnici și strategii de testare

După nivelul dorit pentru testarea unui ECU există mai multe moduri de testare. Decizia de a adopta un mod de testare sau altul depinde de managementul proiectului iar aceasta va fi comunicată inginerului de test. Bineînțeles inginerul de test este implicat în adoptarea acestei decizii deoarece va putea aduce argumente pro și contra în funcție de necesitățile produsului [25][26][27][176][190][191].

1.5.1 Testare Automată în circuit ICT

Testarea în circuit este metoda de testare standard pentru producătorii de echipamente electronice. Prin această metodă de testare producătorul de echipamente electronice poate stabili calitatea unui produs. Pentru o serie mare de plăci electronice PCB-uri testarea în circuit se poate efectua pe eșantioane, analiza unui lot făcându-se pe baza statisticii. Metoda aceasta de testare permite testarea fiecărei componente electronice montată deja pe placă. Informația de defect se poate realiza la nivel de pin de componentă pentru o remediere ușoară a defectului.

Recomandat pentru majoritatea producătorilor, de obicei se implementează, este ca produsul să fie testat ICT. Pe lângă posibilitatea de testare în cazul acestei metode de testare se poate introduce posibilitatea de scriere a software-ului necesar funcționării echipamentului electronic. Această modalitate de testare a fost adoptată și de către centrele de dezvoltare unde numărul produselor de testare este sensibil mai scăzut. Principalul avantaj este reprezentat de gradul ridicat de reutilizare, pentru fiecare produs fiind necesar doar un singur pat de cuie.

Avantaje:

- Posibilitate de testare a unui mare de PCB-uri, numărul depinde de fiecare producător în parte;
- Testarea foarte rapidă, având acces la nodurile circuitului electronic;
- Indicarea defectului într-un timp rapid, pe baza algoritmului;
- Timp de funcționare 24/7;
- Elimină erorile datorate operatorului uman: grosolane și aleatoare;
- Costuri reduse pentru perioade lungi de testare;
- Posibilitate de reutilizare în cadrul mai multor proiecte.

Dezavantaje:

- Datorită faptului că accesul la nodurile electronice se face cu ajutorul sondelor de testare, patul de cuie trebuie schimbat atunci când accesul la un nod de testare (pad) este modificat, un nou sampel/model/produs;
- Limitarea performanțelor la nivelul echipamentelor componente;
- Cost inițial ridicat;
- Experiența operatorului / dezvoltatorului un criteriu important.

1.5.2 Testare funcțională

Prin această metodă se dorește testarea funcțională a produsului pentru a fi observat gradul de dezvoltare a acestuia, dacă cerințele OEM-ului sunt îndeplinite. În funcție de nivelul la care se efectuează testarea funcțională cerințele de la produs sunt diferite. Acest tip de testare se efectuează într-o anumită ordine a funcțiilor. Teoretic acest tip de testare funcțională reprezintă procesul de verificare a unui ECU pentru a fi observată capacitatea de execuție a funcțiilor pentru care dispozitivul a fost creat. Testarea funcțională se efectuează printr-o înlănțuire de experimente succesive în care funcțiile unității sunt verificate. Pentru testarea funcțională sunt folosite strategiile de testare expuse de autor la punctul 1.5.6.

Avantaje:

- Defectele identificate pot fi izolate ușor;
- În cadrul testelor de regresie aceste defecte pot fi retestate ușor;
- Oferă o trasabilitate ridicată, deoarece cerințele vor fi întotdeauna legate de funcționalitate.

Dezavantaje:

- Testarea funcțională depinde foarte mult de claritatea cerințelor;
- În cadrul unor funcții complexe testarea se cere a fi amănunțită existând posibilitatea ca testarea automată să nu fie posibilă.

1.5.3 Testare non-funcțională

Acest tip de testare nu va testa din funcționalitățile ECU-ului dar va testa că produsul îndeplinește cerințele non-funcționale ale OEM-ului. Aceste cerințe non-funcționale ale ECU-ului vor reprezenta constrângerile pentru dezvoltarea produsului. În cele mai multe cazuri dacă aceste cerințe nu sunt îndeplinite produsul este neutilizabil. Dintre aceste cerințe autorul dorește să ofere câteva exemple pentru o mai bună înțelegere: parametrii de intrare, parametrii de ieșire, timpii de raspuns, fiabilitate, portabilitate, etc.

Avantaje:

- Împreună cu testarea funcțională pot fi oferite date foarte precise despre produs;
- OEM-ul poate impune cerințele dorite pentru integrarea ECU-ului;

Dezavantaje :

- Nerespectarea cerințelor face ca produsul să fie neutilizabil;

1.5.4 Testare de tip răspuns la stimuli

Această metodă de testare se folosește în industria automotive pentru observarea comportamentului ECU-ului în anumite condiții de stres pentru acesta. În felul acesta sunt evitate producerea unor evenimente nedorite în funcționarea autoturismului. Această metodă este folosită cu precădere în toate nivelele modelului V, având un rol important în integrarea ECU-ului în arhitectura autovehiculului.

Autorul dorește să pună în evidență cele mai folosite metode de testare de tip răspuns la stimuli:

- Răspunsul ECU-ului la scurt-circuit cu planul de masă. Această situație se poate întâlni cu precădere din cauza unor fire dezizolate, a unor contacte imperfecte sau a unor factori externi ce au produs scurt circuitul;
- Răspunsul ECU-ului la scurt-circuit cu planul de alimentare. Această situație poate fi întâlnită la conectarea greșită a unui conector sau a unei alte surse de tensiune suplimentare;
- Răspunsul ECU-ului la scurt-circuitarea comunicației, în special a liniei de CAN;
- Răspunsul ECU-ului la tensiuni de alimentare mai mare (overvoltage);
- Răspunsul ECU-ului la tensiuni de alimentare mai mici (undervoltage);
- Răspunsul ECU-ului la semnale perturbatoare pe liniile de alimentare;

Autorul dorește să sublinieze faptul că această testare de tip răspuns la stimulii nu face parte din testarea compatibilității electromagnetice. Testarea compatibilității electromagnetice se efectuează în laboratoare acreditate, special

construite pentru executarea unor asemenea teste după niște standarde internaționale definite de consiliile europene/americane.

Acest tip de testare servește pentru dezvoltarea diagnozei, urmând ca la final autovehiculul să ofere posibilitatea atelierelor specializate să constate defectele într-un mod rapid și cat mai exact posibil. Componenta defectă va fi evidențiată, iar standardele automotive nu oferă altă posibilitate decât schimbarea cu o componentă nouă.

Avantaje:

- Efectuată la toate nivelele ajută la constituirea diagnozei;
- Evită posibilitatea apariției unor situații neplacute în comportamentul ECU-ului sau a autovehiculului;
- Cerințe concrete legate de comportamentul ECU-ului.

Dezavantaje :

- Mărește perioada alocată pentru testare;
- Există posibilitatea ca unele teste să nu poată fi automatizate.

1.5.5 Testare de tip regresie

Acest tip de testare este unul dintre cele mai folosite în industria automotive. Autorul dorește să sublinieze faptul ca una dintre cele mai eficiente metode de testare din industria automotive este cea de tip regresie deoarece permite o urmărire a istoriei unei componente automotive. Astfel, fiecare ECU atunci când va trece într-o nouă buclă de testare va avea parte de o primă testare, numită testare de regresie. În această teză autorul va prezenta un caz de testare de tip regresie implementat cu succes la nivel de componentă hardware. La nivelele superioare majoritatea testelor fac parte din această categorie, deoarece funcțiile noi sunt dezvoltate în timp și integrate într-un ciclu de viață de 3 ani. Autorul oferă următoarele exemple pentru o mai bună înțelegere: cutia automată integrată în autovehicule de OEM acționează poziția parcare în momentul în care se îndeplinesc condițiile: este apăsat butonul P (parcare), viteza este mai mică decât 2 km/h. Datorită introducerii noilor tipuri de cheie de tip „key-less” (fără cheie) o condiție suplimentară devine atunci când cheia se află la o distanță mai mică de 1.5 m de antena receptoare. În cazul în care cheia nu este prezentă la mai puțin de 1.5 m, autovehiculul nu poate porni.

În cazul nivelului de componente hardware la modificarea unui condensator de ieșire din cadrul unei surse de alimentare de tip SMPS sau a altei componente se efectuează teste de regresie care să evidențieze: tensiunea de ieșire, forma tensiunii de ieșire, eficiența sursei, frecvența de operare, pulse width.

În cadrul nivelelor de componente software o importanță majoră o constituie testele de regresie asupra funcțiilor îndeplinite. Schimbarea unei componente hardware, de tip EPROM sau uC pot avea un impact important asupra funcției SW.

Avantaje:

- Crează o istorie a comportamentului unui modul, ECU sau autovehicul;
- Poate identifica unele defecte în fază incipientă fiind ușor de identificat ca modul sau componentă;
- Costuri reduse privind testarea, nu implică dezvoltarea de noi cazuri de testare;
- Eficiență ridicată după prima buclă de testare a prototipului atât în găsirea defectelor cât și în execuția testelor.

Dezavantaje :

- Trebuie efectuată atunci cand situația o impune, de exemplu schimbare oricât de minoră;
- În cazul descoperirii unor defecte modul se retestează în întregime fiind nevoie de investigații suplimentare.

1.5.6 Strategii de testare

Aceste strategii de testare sunt folosite cu precădere la nivel de componentă software dar pot fi extinse și la celelalte nivele precum subsistem sau sistem.

Testare de tip cutie neagră(Black-box testing)

Strategia de testare de tip black-box testing este asemănătoare metodei de testare funcționale cu precizarea că specificațiile de testare trebuie să fie realizate în stransă legătură cu cele non-funcționale. Prin această strategie nu se ține cont de componența unei componente/sistem. Black-box testing presupune observarea unui rezultat la ieșire prin aplicarea unor anumiți stimuli la intrare. Autorul subliniază importanța acestei strategii de testare deoarece este foarte des folosită în industria automotive. La început a fost folosită doar de nivelul de componentă software mai târziu fiind adoptată și la celelalte nivele cu succes. Cazuri de testare ce pot fi construite pe baza acestei strategii sunt numeroase în funcție de nivelul de testare la care se aplică strategia.

Testare de tip cutie alba (White box testing)

Strategia de testare este folosită în industria automotive în special la nivelul de componentă SW. Această strategie dorește să evidențieze structura/logica programului examinat exprimând gradul de acoperire a funcțiilor/instrucțiunilor componente. Un criteriu de folosire a funcției/instrucțiunii în cadrul programului este

numarul minim de executări per funcție/instrucțiune. Fiecare funcție/instrucțiune trebuie executată minim o dată. Alt criteriu de testare se alege un set de date astfel încat să se apeleze fiecare rutină/subrutină a programului. Testarea automată a facut posibilă ca această strategie să fie aplicată pe întreaga plajă de valori a unei declarații de intrare sau a unei ieșiri.

Testare de tip Bottom-Up (Bottom-Up testing)

Strategia de testare este răspândită în cadrul componentelor automotivе foarte complexe. Originea strategiei de testare este nivelul componentei SW dar a fost aplicată cu succes și în cadrul celorlalte nivele de testare/validare automotivе. Strategia presupune testarea începând cu nivelul inferior (de bază) avansând spre nivelul superior. Astfel este important de vizualizat comportamentul fiecărui nivel de importanță. Evident această strategie are un mare avantaj care constă în: un defect identificat la nivelul de bază duce automat la oprirea dezvoltării și conduce la aplicarea de soluții corective localizate la nivel de modul. Totodată acesta reprezintă și dezavantajul principal deoarece ultimul nivel al unui produs nu poate fi testat decât după rezolvarea problemelor din cele anterioare.

Testare de tip thread

Thread testing – urmărește cerințele SW pe blocuri. Este folosită atunci când se dorește vizualizarea răspunsului unei componente în timp real. De obicei această strategie de testare este folosită în cadrul funcțiilor critice care se doresc a fi în timp real. Cazurile de testare sunt create în stransa legatură cu specificațiile de sistem.

Testarea de tip încredere (Reliability testing)

Un obiectiv al acestei strategii de testare este măsurarea statistică în timp a maturității produsului în comparație cu nivelul de încredere dorit. În general teste pentru măsurarea încrederii în gradul de dezvoltare se pot efectua prin teste repetitive, alese la întâmplare prin sondaj sau teste alese în funcție de un model statistic cu probleme comune întâlnite.

Testarea eficienței (Efficiency testing)

Testele de eficiență sunt cele care se bazează pe evaluarea produsului din punct de vedere al timpului și al folosirii resurselor. Este evident trendul actual al industriei automotivе de a îngloba cât mai multe funcții electronice în arhitectura autovehiculului, dar teste de eficiență vor demonstra eficiența implementării acestor funcții. Dintre teste efectuate pentru stabilirea eficienței autorul dorește să le prezinte succint:

- Teste de performanță în conformitate cu cerințele non-funcționale. Exemplu: sistemul trebuie să răspundă la stimulii de intrare într-o perioadă de timp bine stabilită;
- Teste de încărcare – sunt testele care anticipează nivelul de încărcare al unei componente automotive;
- Stress testing – teste de capacitate a componentei automotive de a accepta vârfuri de sarcină;
- Teste de reutilizare a resurselor – capacitatea unei componente de a reutiliza din resursele devenite libere pe parcurs. Exemplu: memorie, spațiu, conexiuni.

Testarea portabilității (Portability testing)

Astfel de teste se efectuează pentru a fi observat comportamentul componentei automotive din punct de vedere al reutilizării în alt sistem. De obicei componentele sunt create pentru a fi compatibile pentru mai multe sisteme aparținând unui OEM. Testele de portabilitate vor include întotdeauna teste referitoare la: instabilitate, compatibilitate, adaptabilitate și înlocuire.

Recenzia (Review)

Deși nu este o metodă efectivă de testare în industria automotive la nivelul fiecărui nivel sunt implementate mai multe tipuri de review. Practic întâlnirile pentru review efectuate asupra cerințelor se efectuează între OEM, producătorul de componentă și inginerii de testare în funcție de nivelul la care se efectuează. Autorul dorește să sublinieze importanța existenței acestei strategii deoarece poate conduce la reducerea costurilor de dezvoltare încă din faza incipientă atunci când testarea efectivă nu este posibilă. În cadrul acestor tipuri de review pot fi descoperite defecte la nivel de cerințe, REQ incomplete, defecte la nivel de specificații precum și lipsa unor rezultate relevante pentru documentarea produsului. Partea de review este integrată și ancorată atât în modelul V cât și în alte modele și procese de testare.

1.6 Concluzii și contribuții personale

În acest capitol s-a realizat un studiu sintetic al tehnicilor de testare, al metodelor și strategiilor de testare utilizate în industria automotive. Datorită faptului că perioada de dezvoltare a unui produs electronic din cadrul industriei automotive a scăzut, apare iminenta nevoie de îmbunătățire a procesului de validare/testare/integrare prin adoptarea de noi sisteme de testare, automate sau semiautomate la diferitele nivele de testare. Autorul prezintă în acest capitol principalele caracteristici ale procesului de validare/testare/integrare adoptat în industria automotive de marii producători ai industriei automotive: BMW, Mercedes, VW, Audi, Porsche, Volvo, Dacia, Seat, Skoda, Opel, Mazda, Toyota, Ford.

Procesul de validare/ testare/integrare este aplicat doar componentelor electronice, ECU-uri, atât în cadrul producătorilor de echipamente originale (OEM), cei amintiți mai sus, cât și a furnizorilor de componente electronice (ECU-uri). Dintre furnizorii de componente electronice în care este aplicat procesul de validare/testare/integrare se menționează: Bosch, Continental, Hella, Autolive, Delphi, Magnetti Marelli, Brusa, Valeo, iar lista poate continua. Autorul a realizat un studiu asupra modelului V cycle, adoptat și aplicat în industria automotive de către producătorii de autovehicule precum și de producătorii de componente electronice. Au fost prezentate principalele caracteristici ale acestui model V, au fost evidențiate cerințele și specificațiile ce trebuie îndeplinite în cadrul procesului de validare testare al unei componente electronice din cadrul industriei automotive. De subliniat, că nerespectarea etapelor de testare prezentate în teză poate conduce la o validare eronată a unei componente electronice, respectiv a imposibilității de integrare a componentei în autovehicul.

Totodată trebuie evidențiat că procesul de testare este unul complex și este structurat pe mai multe nivele. Rezultatele obținute după testarea în funcție de nivel, poate determina starea de maturitate a unei produs/componente electronic/e.

În urma experienței dobândite de autor în activitatea de testare a industriei automotive, la rand de axiomă este valabilă concluzia: corectarea erorilor descoperite în timpul testării din nivelele de bază , până la nivelul de subsistem, se realizează cu costuri mult mai mici comparativ cu descoperirea și corectarea unei erori într-un nivel superior.

Contributii personale:

- Studiu sintetic asupra modelului V cycle adoptat în industria automotive;
- Evidențierea de către autor a nivelelor de testare prezente în industria automotive;
- Studiu sintetic asupra tipurilor de testare cu prezentarea principalelor avantaje și dezavantaje;
- Studiu sintetic asupra metodelor/tehnichilor și strategiilor de testare utilizate în industria automotive, cu fiind prezentarea principalelor caracteristici sub forma de avantaje și dezavantaje în utilizarea acestora.

Capitolul II. Conceptul sistemului de testare automată pentru industria automotive

În acest capitol, autorul prezintă principalele caracteristici ale sistemelor de testare automate, prezente pe piață la ora actuală, precum și cele patru tipuri de sisteme de testare automată: testarea „Hardware in the loop” (testarea unei componente hardware in buclă), „Software in the loop”- (testarea unei componente software în buclă), „Modell in the loop”- (testarea unui model în buclă) și ICT – testare în circuit (in circuit test).

În acest capitol se evidențiază proprietățile și echipamentele ce stau la baza construcției unui sistem de testare automată, în strânsă legătură cu modelul V prezentat anterior. Sistemele de testare automată au la bază documente oficiale și cerințe provenite din industria automotive, utilizate la marii producători de autovehicole.

În cele ce urmează se prezintă necesitatea folosirii sistemelor de testare automată precum și tipurile de testare folosite de acestea. Se vor descrie procesele, aplicațiile și documentele care participă la identificarea proprietăților componente ale sistemelor de testare automată.

Se vor prezenta sistemele de testare automate folosite în industria automotive la diferitele nivele, fiind identificate în urma studiului caracteristicile principale ale acestora, acestea fiind parte integrată a sistemului de testare propus de autor pentru laboratorul de cercetare dezvoltare.

2.1 Motivația apariției ATS-urilor în procesul de validare/testare/integrare automotive

Un ECU (electronic control unit), prinde contur în momentul în care poate fi satisfăcută o nevoie, ce acoperă o mare parte din potențialul cumpărătorilor, cei pentru care este destinat autovehicolul. Spre exemplu, se prezintă: *recunoașterea semnelor de circulație cu limitare de viteză*. De cele mai multe ori conducătorul autovehicolului trece prin zone cu restricții de viteză, primește penalizarea iar ca scuză este folosit veșnicul „Nu am văzut semnul”. Astfel datorită dorinței conducătorilor de a avea în echiparea mașinii un astfel de sistem care să recunoască astfel de semne de circulație, producătorii OEM încep dezvoltarea produsului. Astfel, cerințele de acest tip ajung pe masa de lucru și începe construcția specificațiilor de proiectare. În acest moment putem spune ca suntem în primul pas al modelului V, cerințele de sistem și subsistem. Aici sunt incluse nivelele de sistem și subsistem. Următorul pas: întâlnirea dintre producătorii de componente și producătorii de autovehicule. După primirea acestor specificații de sistem, producătorii de

2.2 Prezentarea sistemelor de testare automate din perspectiva tehnicilor folosite 37

componente compun specificațiile atribuite diferitelor nivele existente în industria automotive. Producătorii de componente vor construi specificațiile pentru nivelul de componentă integrată, produsul livrat de aceștia, nivelul de componentă software și nivelul de componentă hardware. După construirea acestor specificații numite *Design specification*, se trece efectiv la procesul de proiectare hardware, software, algoritmi. Bineînțeles intercalate între aceste etape sunt folosite tehnicile de testare de tip review pentru siguranța înțelegerii detaliilor de proiectare. Despre proiectarea ECU-ului autorul menționează că se efectuează pe durata a mai multor cicluri de viață, numite bucle. Astfel apar mai multe bucle de viață care se succed, toate având la baza modelul V. Astfel având specificațiile de proiectare de la diferite nivele se vor construi diferite cazuri de testare pentru a valida gradul de maturitate al produsului. Putem să observăm că în modelul V avem două părți, prima de construire a specificațiilor și una de testare împotriva specificațiilor de testare. Un prototip al unui ECU va conține în mod obligatoriu o parte de testare, numită în industria automotive proces de testare și validare. Mai mult, în industria automotive la toate nivelele s-a trecut la adoptarea acestui model V dar pe o scară mai mică. Pentru fiecare nivel din industria automotive se poate identifica o parte stângă a modelului, partea de specificații și o parte dreaptă, partea de testare.

Până la mijlocul anilor '90 testarea manuală era preferată în locul celei automate, deoarece era mai eficientă din punct de vedere al costurilor și al timpului investit. Autorul ține să menționeze că durata de proiectare a unui produs a scăzut treptat de la începutul anilor '90 când era de 5 ani la 4 respectiv 3 ani. După anul 2000 rar se poate întâlni un produs dezvoltat pentru industria automotive pe parcursul a mai mult de trei ani [119]. Astfel apare nevoia de mai mult timp alocat proiectării, soluția găsită fiind reducerea timpului de testare. Prin reducerea timpilor de testare industria începe să adopte sistemele de testare automată construite pe baza modelului V în ritm accelerat. Eforturile autorului au fost îndreptate spre dezvoltarea unui nou sistem de testare automată, acesta fiind destinat laboratoarelor de cercetare dezvoltare. Reducerea acestor timpi de testare până la un nivel aproape de minim reprezintă principalul țel al acestui sistem. Astfel, după 2010 se pot identifica sisteme de testare automată la fiecare nivel din industria automotive. ATS-urile sunt parte reprezentativă a procesului de testare/validare/integrare a industriei automotive începând cu producția și până la nivelul de autoturism prototip.

2.2 Prezentarea sistemelor de testare automate din perspectiva tehnicilor folosite

Datorită apariției diferitelor sisteme de testare automată, datorate reducerii timpului de dezvoltare a unui produs al industriei automotive, sistemele de testare automată pot fi clasificate în funcție de scopul testării. O clasificare a acestor sisteme de testare automată este prezentată de autor în rândurile următoare [60]:

- Sisteme de testare automată hardware în buclă (*Hardware in the Loop - HiL*);
- Sisteme de testare automată software în buclă (*Software in the Loop - SiL*);
- Sisteme de testare automată model în buclă (*Model in the Loop - MiL*);
- Sisteme de testare automată de tip ICT (*In circuit testing - ICT*);

Aceste sisteme de testare automată se folosesc pentru a valida gradul de dezvoltare a unui produs al industriei automotive, concomitent fiind îndeplinite standardele și cerințele legislative aflate în vigoare. Se evidențiază tipurile de testare folosite de aceste ATS-uri în cadrul nivelelor constitutive ale industriei producătoare de autovehicule. Pentru fiecare nivel al industriei automotive, aceste tehnici sunt folosite pentru a testa diferite cerințe legate de produsul final al etapei de proiectare. Pentru o mai bună exemplificare, voi prezenta folosirea tehnicilor de tip regresie, răspuns la stimuli pentru diferite validări, funcțională și non-funcțională pentru următoarele nivele:

- Componentă hardware;
- Componentă software;
- Componentă electronică (partea hardware are integrată partea software);
- Subsistem;
- Sistem.

Pentru primul nivel al industriei automotive, de testare a componentei la *nivel de componentă hardware*, cele mai răspândite sisteme de testare automată sunt cele de tip ICT. În urma analizei făcute, a unor proiecte dezvoltate la acest nivel, am constatat că principalele tehnici de testare automată folosite pentru dezvoltarea sistemelor sunt:

- Tehnici de testare de tip regresie – valori ale semnalelor electrice, pentru nivelul hardware, trebuie testate pentru fiecare ECU în cadrul fiecărei noi bucle de testare. Avantajul principal al acestei tehnici este vederea de ansamblu a comportamentului ECU-ului, după ce s-a efectuat primul ciclu complet de testare/validare asupra ECU-ului;
- Tehnici de testare de tip răspuns la stimuli – pentru a valida comportamentul anumitor module, din cadrul unui ECU, trebuie injectate semnale electrice cu parametrii de tip amplitudine, frecvența, durată, forma în sistem. Avantajul acestei tehnici de testare este validarea ECU-ului, din punct de vedere hardware, la diferiți stimuli proveniți din mediul exterior;
- Tehnici de testare de tip funcțională – acest tip de testare este folosit pentru a valida comportamentul a doua sau a mai multor module hardware, din cadrul unui ECU. Avantajul acestei tehnici de testare este validarea ECU-ului împotriva cerințelor funcționale existente. Practic se poate observa gradul de respectare a cerințelor avute de producător, cerințe transpuse evident în cadrul nivelului respectiv.

2.2 Prezentarea sistemelor de testare automate din perspectiva tehnicilor folosite 39

La *nivelul de componentă software*, al industriei automotivă, sunt întâlnite sistemele de testare automată de tip SiL și MiL. Dezvoltarea acestor sisteme având la bază următoarele tehnici de testare:

- Testare de tip regresie – anumite funcționalități ale aplicației software sunt testate în cadrul fiecărei bucle de testare pe fiecare produs. Avantajul principal al acestui tip de testare, la acest nivel, este validarea funcționalității software pe funcții, deoarece pe durata de dezvoltare a unei aplicații software au loc multe modificări (*bug fixing*);
- Testare de tip funcțională – această metodă este utilă pentru a fi observat gradul de acoperire al cerințelor de produs. Avantajul major al acestei tehnici este că prin folosirea unor indicatori de proces se poate observa gradul de implementare al funcțiilor.

La *nivelul de componentă electrică*, al industriei automotivă - nivel la care are loc integrarea aplicației software pe hardware-ul existent, se pot observa următoarele tipuri de sisteme de testare automată: ICT și HiL. Trebuie precizat că în cadrul acestui nivel, structura hardware a HiL-urilor este minimală, dar asemănătoare cu cea de la nivelele superioare. În funcție de obiectivele testării, acestea fiind alese de fiecare dezvoltator, voi evidenția următoarele tehnici de testare folosite pentru dezvoltarea sistemelor de testare automată, de tip HiL și ICT în funcție de nivelul pentru care este dedicat sistemul:

- Testare de tip regresie – această metodă se folosește pentru testarea anumitor parametri electrici și funcționali ai ECU-urilor, ECU-uri care urmează a fi livrate spre dezvoltatorii de software, hardware, algoritmi și câteodată către OEM. Avantajul acestei metode este identificarea rapidă a ECU-urilor cu probleme.
- Testare de tip răspuns la stimuli – această metodă este folosită la acest nivel pentru identificarea unor probleme ale funcțiilor de diagnostic ale ECU-ului. Avantajul acestei metode este identificarea imediată a problemelor de diagnostic existente. Identificarea defectelor într-o fază relativ prematură a produsului;
- Testare de tip funcțională – această metodă este folosită pentru a verifica gradul de implementare a cerințelor produsului la nivel de componentă electrică, practic software-ul fiind integrat și funcțional împreună cu hardware-ul. Avantajul acestei metode este vederea de ansamblu oferită, aceasta ajutând la planificarea următoarelor bucle de proiectare și testare;
- Testare de tip non-funcțională – metodă folosită pentru identificarea anumitor cerințe care nu aparțin domeniului electric. Aceste cerințe vor contribui la integrarea produsului electric de tip ECU în produsul finit, pentru industria automotivă produsul finit este reprezentat de autovehicul.

La *nivelul de subsistem*, al industriei automotivă, nivel în care componenta electronică este parte a unui subsansamblu în care anumiți senzori și actuatori sunt prezenți sau simulați, autorul evidențiază următoarele sisteme de testare automată:

sisteme de tip HiL. Pentru dezvoltarea acestor sisteme de testare automată la bază se află următoarele tehnici de testare:

- Testare de tip regresie – folosită pentru a identifica problemele apărute în urma procesului de integrare a unor ECU-uri noi, urmare a livrării unei noi variante de hardware sau de software. Avantajul principal este identificarea problemelor apărute la integrarea ECU-ului într-un cadru restrâns. Coroborat cu schimbările apărute în software-ul sau hardware-ul ECU-ului cauza defectului poate fi depanată rapid.
- Testare de tip răspuns la stimuli – folosită pentru a observa comportamentul ECU-ului în cadrul subsistemului în cazul unor defecțiuni apărute la o altă componentă, parte integrată a sistemului. Prin simularea unor defecțiuni ce pot apărea în timpul funcționării la o altă componentă împreună cu observarea răspunsului la acești stimuli asupra ECU-ului pot valida sau invalida integrarea ECU-ului în autovehicul. Dacă răspunsul sistemului poate influența din punct de vedere al siguranței comportamentul autovehiculului sau al subsistemului ECU-ul nu va fi integrat. Acesta este marele avantaj al acestei tehnici de testare folosite la nivel de subsistem.
- Testare de tip funcțională – folosită pentru a verifica funcțiile principale ale subsistemului. Acest tip de testare oferă un grad de acoperire al specificațiilor de subsistem. Avantajul major al acestei tehnici de testare este că testarea efectivă a produsului nu este consumatoare de timp. Timpul pentru pregătirea testelor este timpul alocat unei noi bucle de testare, timp în care se depanează problemele găsite.
- Testare de tip non-funcțională – folosită pentru a verifica anumiți parametri ai subsistemului.

La *nivel de sistem*, în cadrul industriei automotive la nivel de autovehicul, sistemele de testare automată sunt constituite din software-uri care verifică anumite proprietăți. Pentru fiecare autovehicul în parte, sistemul de testare este adaptat individual, o structură ATS de un anumit tip neputând fi identificată. La acest nivel pot fi întâlnite doar următoarele tipuri de tehnici de testare: regresie, funcțională și non-funcțională.

În cele ce urmează voi prezenta sistemele de testare automate folosite în industria automotive scoțând în evidență într-o manieră succintă principalele caracteristici, precum și avantaje/ dezavantaje ale sistemelor de testare automată amintite.

2.2.1 Sisteme de testare HiL – Hardware in the loop

Sistemele de testare de tip HiL se folosesc în situațiile în care este nevoie de simularea unei rețele de senzori sau simularea întregului autoturism. Autorul prezintă aceste sisteme pentru a identifica principalele componente ale acestor sisteme, componentele folosite în dezvoltarea ulterioară a sistemului de testare propus și integrat în industria automotive. La aceste tipuri de sisteme, autorul aduce

2.2 Prezentarea sistemelor de testare automate din perspectiva tehnicilor folosite 41

contribuții la nivelul softului de comandă al HiL-ului prin impunerea unor algoritmi ai cazurilor de testare și propunând modificări ale modelelor respectând cerințele autorului. Astfel folosind mediul de programare, numit ECU Test, precum și la modelele dezvoltate împreună cu colaboratorii unui mare producător automotive, modele ce stau în spatele arhitecturii hardware, se implementează cazurile de testare funcționale și de răspuns la stimuli folosind o nouă arhitectură. Situațiile în care se folosesc aceste sisteme sunt cele de tipul în care se dorește testarea unor componente complexe în timp real. Pentru domeniul automotive testarea HiL înseamnă evaluarea performanțelor și diagnosticarea funcționalităților dinamice din cadrul sistemelor, oferind posibilitatea dezvoltatorilor să valideze noi soluții hardware și software, respectând cerințele de calitate precum și cerințele legate de timpul alocat dezvoltării [29][47][63][105][117][160][168][187][195][203].

Aceste sisteme de tip HiL sunt dezvoltate în principal de firme ca dSPACE (cea mai mare firmă producătoare de sisteme de acest tip) și microNOVA. Dezvoltarea se efectuează de aceste firme pe baza cerințelor de sistem oferite. Aceste cerințe sunt dezvoltate de inginerul de test împreună cu inginerii răspunzători de componente și de funcții. În procesul de dezvoltare al sistemelor HiL, proprietățile dinamice ale motorului cu combustie sau hibrid (combustie împreună cu cel electric) sunt dezvoltate în cadrul unui model matematic complex, executat de un procesor în timp real. Pe lângă acest model sistemul oferă și posibilități de conectare de tip intrare/ieșire (*I/O*) la care se conectează/simulează anumiți senzori și actuatori, care de obicei prezintă un caracter neliniar. În final prin conectarea ECU-ului supus testării se poate valida comportamentul acestuia, iar pe baza rezultatelor se poate lua o decizie cu privire la integrarea acestuia.

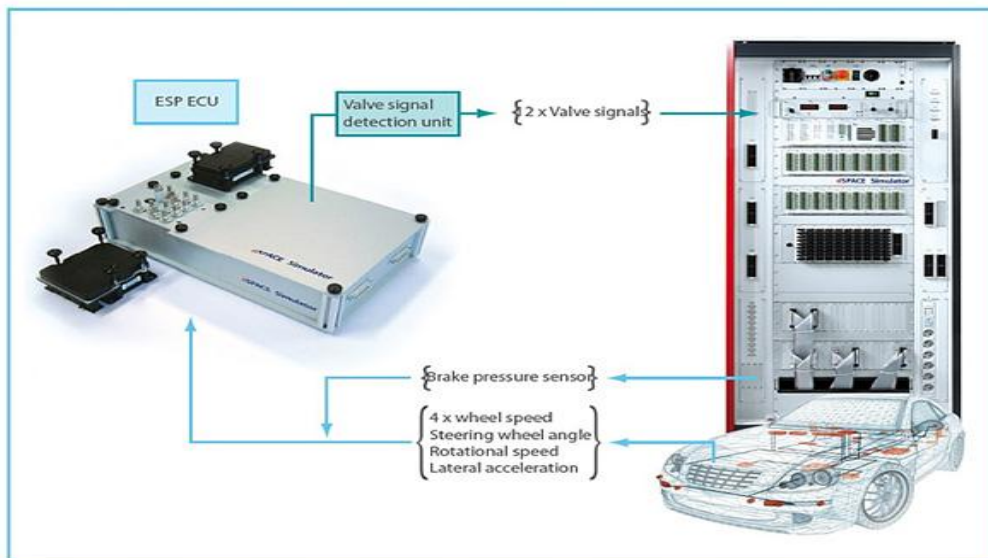


Figura 2.1 Sistem de testare automată de tip HiL [46]

În figura 2.1 se poate observa structura unui sistem de testare automată de tip HiL. Aceste sisteme pot fi folosite pentru a testa următoarele:

- Teste funcționale – strategie de control și validare;
- Teste de diagnoză;
- Teste de integrare software;
- Teste de acceptare și livrare;
- Teste de comunicare și distribuire a funcțiilor, testarea unui ECU într-o rețea de senzori.

În rândurile următoare voi evidenția zonele industriei automotive unde pot fi întâlnite astfel de sisteme, sisteme de testare automată:

- În zona senzorilor pentru siguranța în timpul conducerii autovehicolului: ESP (electronic stability program), ABS (anti-lock braking system), ASR (assisted system regulator), TCS (traction control system);
- În zona senzorilor pentru siguranța în staționare a autovehicolului: frână de mână electronică;
- În zona senzorilor de asistare la conducerea autovehicolului: virare asistată electronic – EPAS (electronic power assisted steering);
- În zona senzorilor de comandă a motorului: EEM (electric engine management);
- În zona siguranței pasive și active : airbag-uri și sisteme de radar, lidar (sistem de detecție al obstacolelor cu laser), ACC (automatic cruise control);
- În zona de comandă a autovehicolului: sisteme hibrid, ECU-ul cutiei de viteze automate.

2.2.2 Sisteme de testare SiL – Software in the loop

Sistemele de testare de tip SiL evaluează funcțiile codului scris manual sau generat de compilatoare dedicate, simulate cu un model de testare sau cu echipamentul original. Sistemele de tip SiL folosesc de obicei MiL-urile dezvoltate în faza de prototip a proiectului. Platforma de bază pentru testarea software este constituită din MiL-urile existente. Acest tip de verificare este foarte util atunci când codul pentru o anumită aplicație este constituit din structuri mixte de cod generat de compilatoare și cod generat manual. Totodată testarea de tip SiL se folosește la retestarea unor algoritmi deja existenți pe o platformă nouă. În figura 2.2 este prezentată o structură de testare de tip SiL.

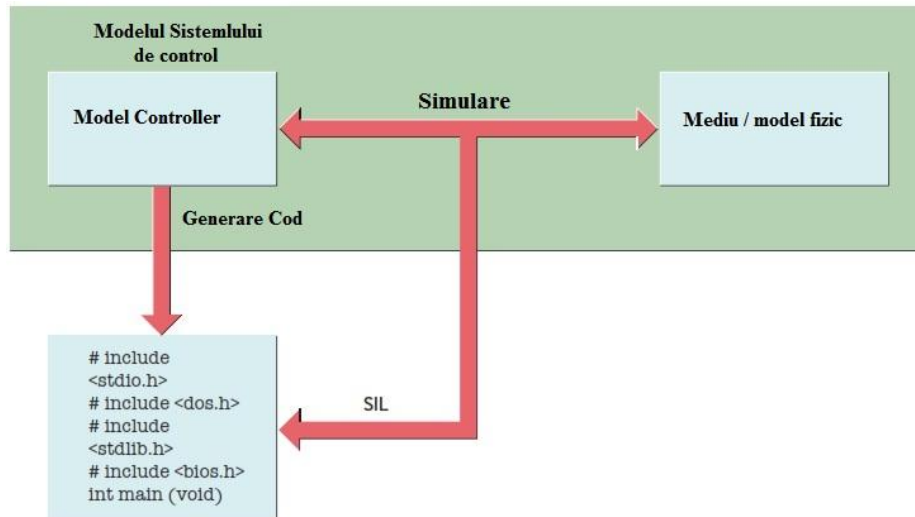


Figura 2.2 Structură de testare de tip SiL [16]

2.2.3 Sisteme de testare MiL – Model in the loop

Aceste sisteme testează acuratețea sau acceptabilitatea unui model sau a unui algoritm de control. Practic prin dezvoltarea de modele este posibilă testarea de software sau funcții înaintea de a fi accesibil hardware-ul. Principalele firme producătoare sunt Mathworks și ACERA. Practic după dezvoltarea unui MiL se poate trece la testarea în buclă software. MiL-ul poate simula comportamentul autovehiculului, sau comportamentul neliniar al unor sisteme împreună cu senzorii și actuatorii aferenți. Dezvoltarea unui Model pentru testarea SiL este complexă presupunând integrarea unor funcții matematice de complexitate ridicată [121][148][165][196].

2.2.4 Sisteme de testare ICT – In circuit test

Sistemele de testare de tip ICT sunt predominante în producția produselor electronice dar sunt întâlnite și în laboratoarele de dezvoltare a produselor electronice [13][14][59][71][108] [109][120][124][177]. Aceste structuri de testare prezentate în figura 2.3 sunt preluate și de industria automotive ajutând la validarea produselor hardware. Astfel aria de răspândire a acestor sisteme de testare automată în industria automotive este zona producției ECU-urilor și a nivelului de testare componentă hardware.



Figura 2.3 Structură de testare de tip ICT [172]

Sistemele de testare ale companiei Teradyne sunt de obicei dedicate unui produs anume, adaptarea presupunând modificarea componentelor. Această modificare se efectuează cu unele costuri ridicate, necesare a fi efectuate pentru ca sistemul să testeze noile produse. De obicei aceste tipuri de sisteme se preferă a fi folosite în producție unde se testează mii sau zeci de mii de produse, amortizarea sistemului fiind posibilă testând unitățile de control electronice pe durata mai multor bucle de testare. Din configurația acestor sisteme pot fi identificate următoarele componente: pat de cuie, sursă de tensiune, calculator, unitate de multiplexare, aparat de măsură digital. Acest sistem poate fi folosit pentru măsurarea rezistențelor pe placă, a unor tensiuni DC sau testarea unor întreruperi de circuit.

2.3 Caracteristicile și proprietățile ATS-urilor în industria automotive

Datorită faptului că există mai multe firme producătoare de sisteme de testare automată, voi prezenta proprietățile și caracteristicile unui ATS adaptat industriei automotive.

Astfel, ATS-urile din cadrul industriei automotive trebuie să îndeplinească următoarele[42]:

- Eroare de măsură cât mai mică;
- Trasabilitate;
- Repetabilitate
- Portabilitate;
- Utilizare ușoară;
- Grad de ocupare ridicat;
- Actualizare rapidă;
- Posibilitate de relocare;
- Costuri de dezvoltare și întreținere cât mai reduse.

Aceste caracteristici pot diferenția un sistem de testare automată cu calități excepționale de media ATS-urilor prezente în industria automotive. Principala caracteristică a ATS-urilor din industria automotive este o rată mică a erorilor. Indiferent de nivelul la care este implementat ATS-ul acesta trebuie să ofere o calitate a rezultatelor obținute. Astfel după studiul efectuat asupra sistemelor de testare automată din industria automotive, în cadrul laboratoarelor unor producători internaționali de componente automotive, autorul a ajuns la concluzia că în obținerea unor rezultate finale calitative trebuie urmărite sursele de erori ce pot apărea. Pentru ATS-uri sursele de erori ce pot apărea în cadrul procesului de validare/testare sunt:

- Dispozitiv supus testării;
- Echipamentele de măsurat;
- Interacțiunea dintre echipament supus testării și aparatul de măsură;
- Influențe exterioare;
- Operatori.

Erorile de tip influențe exterioare sunt datorate perturbațiilor care intervin în funcționarea dispozitivului supus testării din exterior. Acești factori sunt de obicei prezenți în mediul înconjurător în care se efectuează testarea. Perturbațiile electromagnetice sunt cel mai bun exemplu al acestor tipuri de erori, iar măsurile de corecție aplicate în acest caz sunt reprezentate de tehnicile de ecranare.

Erori ale operatorilor umani, numite și erori subiective, sunt erorile datorate manipulării greșite a dispozitivului supus testării, introducerea unor parametri eronați sau prelucrarea greșită a rezultatelor.

Sursele de erori prezentate de autor în rândurile de mai sus sunt caracterizate de următoarele tipuri de erori ce pot apărea în interpretarea rezultatelor finale.

Tipurile de erori ce pot apărea sunt:

- eroarea absolută este reprezentată de diferența dintre valoarea măsurată și valoarea adevărată a măsurandului. Unitatea de măsură a rezultatului este chiar unitatea de măsură a măsurandului.

$$\Delta \stackrel{\text{def}}{=} x_{m\ddot{a}s} - x_{adev} \quad (2.1)$$

- eroarea relativă este raportul dintre eroarea absolută și valoarea măsurandului. Această eroare este adimensională. În domeniul automotive este preferată exprimarea în procente a acestei erori.

$$\delta \stackrel{\text{def}}{=} \frac{x_{m\ddot{a}s} - x_{adev}}{x_{adev}} * 100 [\%] \quad (2.2)$$

- eroarea raportată reprezintă raportul dintre eroarea absolută și o valoare convențională a măsurandului. Acest tip de eroare este mai puțin folosită în industria automotive, în procesul de testare/măsurare/validare.

$$\delta_r \stackrel{\text{def}}{=} \frac{x_{m\ddot{a}s} - x_{adev}}{x_{conv}} * 100 [\%] \quad (2.3)$$

O importantă caracteristică a sistemelor de testare automată este *trasabilitatea*. Aceasta stabilește legătura între specificațiile de produs și cazurile de testare create pentru validarea cerințelor. *Produs* este termenul general folosit pentru a descrie finalitatea materială a proiectului de dezvoltare. Produsul, pentru un nivel din cadrul industriei automotive, înseamnă componenta (hardware și software) împreună cu rapoartele de testare. Raportul de testare reprezintă validarea unei cerințe legate de produsul final, prin rezultate sub forma unor măsurători manuale sau automate. Sistemul reprezintă o însumare a componentelor, de aceea *trasabilitatea* rapoartelor de testare și a cerințelor este foarte importantă pentru fiecare produs în parte.

Repetabilitatea reprezintă posibilitatea ca execuția unui caz de testare implementat pentru un ATS să genereze aceleași rezultate, cu deviații minore, respectând condițiile de mediu anterioare. Această caracteristică face posibilă utilizarea testării regresive folosită la toate nivelele industriei automotive.

Portabilitatea reprezintă caracteristica ATS-urilor de a trece ușor de la o platforma la alta. Acest lucru permite îmbunătățirea caracteristicilor ATS din punct de vedere al performanțelor acestora. Un alt avantaj al portabilității este legat de utilizarea unor părți sau chiar în totalitate a programului software. Această caracteristică reprezintă punctul de plecare în dezvoltarea noilor sisteme de testare automată, din industria automotive, din punct de vedere al reducerii costurilor de dezvoltare.

Pentru a avea un grad de ocupare cât mai ridicat, ATS-urile trebuie să fie caracterizate de o utilizare cât mai ușoară. Prin utilizarea unei interfețe umane cât mai prietenoase, intuitive din punct de vedere al operațiunilor posibile și posibilitatea de vizualizare rapidă a rezultatelor sistemele de testare automată pot deveni atractive în utilizarea zilnică. O interfață realizată doar din linii de cod, efectuarea sau începerea cazurilor de testare și căutarea rezultatelor în multe fișiere este de evitat, deoarece utilizarea devine greoaie iar uneori inaccesibilă pentru utilizatorii neinițiați. Teoretic, posibilitatea unui sistem de testare automată de a efectua/executa teste este de 24 de ore pe zi, 7 zile pe săptămână. Un procent mai

aproape de realitate este aproximativ de 70%. Gradul de ocupare al sistemelor de testare automată reprezintă raportul dintre unitatea de timp în care sistemul este utilizat și unitatea de timp maxim posibilă pentru utilizare. Un grad de ocupare al unui sistem de testare automată sub 40% reprezintă o investiție inutilă din punct de vedere al domeniului testării automotiv.

$$G_{ocup} = \frac{h_{utilizare}}{24} * 100 [\%] \quad (2.4)$$

Totodată pentru ca un sistem de testare automată să reprezinte o investiție viabilă, cu un grad de ocupare ridicat acesta trebuie să includă și posibilitatea de relocare a acestui sistem într-o alta locație. În acest mod investiția, reprezentând costurile de dezvoltare și forța de muncă depusă, poate fi acoperită prin adoptarea sistemului ca metodă de testare în cadrul altor proiecte.

Sistemele de testare automată care îndeplinesc cerințele de mai sus, asigurând și posibilitatea de actualizare a software-ului precum și o mentenanță facilă reprezintă un sistem de testare complet, potrivit industriei automotiv.

2.4 Părțile componente ale ATS-urilor

În general un sistem de testare automată, destinat industriei automotiv, este alcătuit din două părți componente: partea hardware (HW) și partea software (SW). Cele două părți nu pot funcționa independent una de cealaltă, imixtiunea dintre cele două fiind întâlnită la produsele electronice actuale.

Principiul de bază al acestor sisteme este controlul de la distanță a părții hardware cu ajutorul unei componente software. Componenta software presupune realizarea unei interfețe grafice cu operatorul uman și implementarea unor algoritmi software pentru programul operațional și rularea cazurilor de testare. Interfața grafică cu operatorul uman, termenul în engleză *graphical user interface* (GUI), va permite accesul la modificarea sau setarea unor parametri premergători testării, alegerea cazurilor de testare precum și vizualizarea unor rezultate preliminare. Toate acestea contribuie la utilizarea, manipularea ușoară a sistemului, crescând în acest mod gradul de ocupare al sistemului de testare automată. Totodată, parte a componentei SW este protocolul de comunicare cu componenta HW. Pentru comanda la distanță, în engleză *remote control*, există următoarele protocole de comunicație: Local Area Network (LAN/Ethernet), GPIB, RS232. O prezentare mai amplă a acestor părți va fi făcută în capitolele următoare ale acestei lucrări.

Partea hardware comandată de partea software este compusă din echipamente care să ajute la fixarea dispozitivului supus testării (DUT), alimentarea DUT-ului, injectarea de semnale în DUT, măsurarea anumitor parametrii electrici ai DUT-ului și stocarea rezultatelor testării. Totodată pentru instalarea componentei software și pentru rularea cazurilor de testare automatizate este nevoie de un calculator de ultimă generație. O putere de calcul ridicată atrage după sine îmbunătățirea performanțelor ATS-ului. În figura 2.4 este prezentată o structură de tip ATS controlată de la distanță de un calculator.

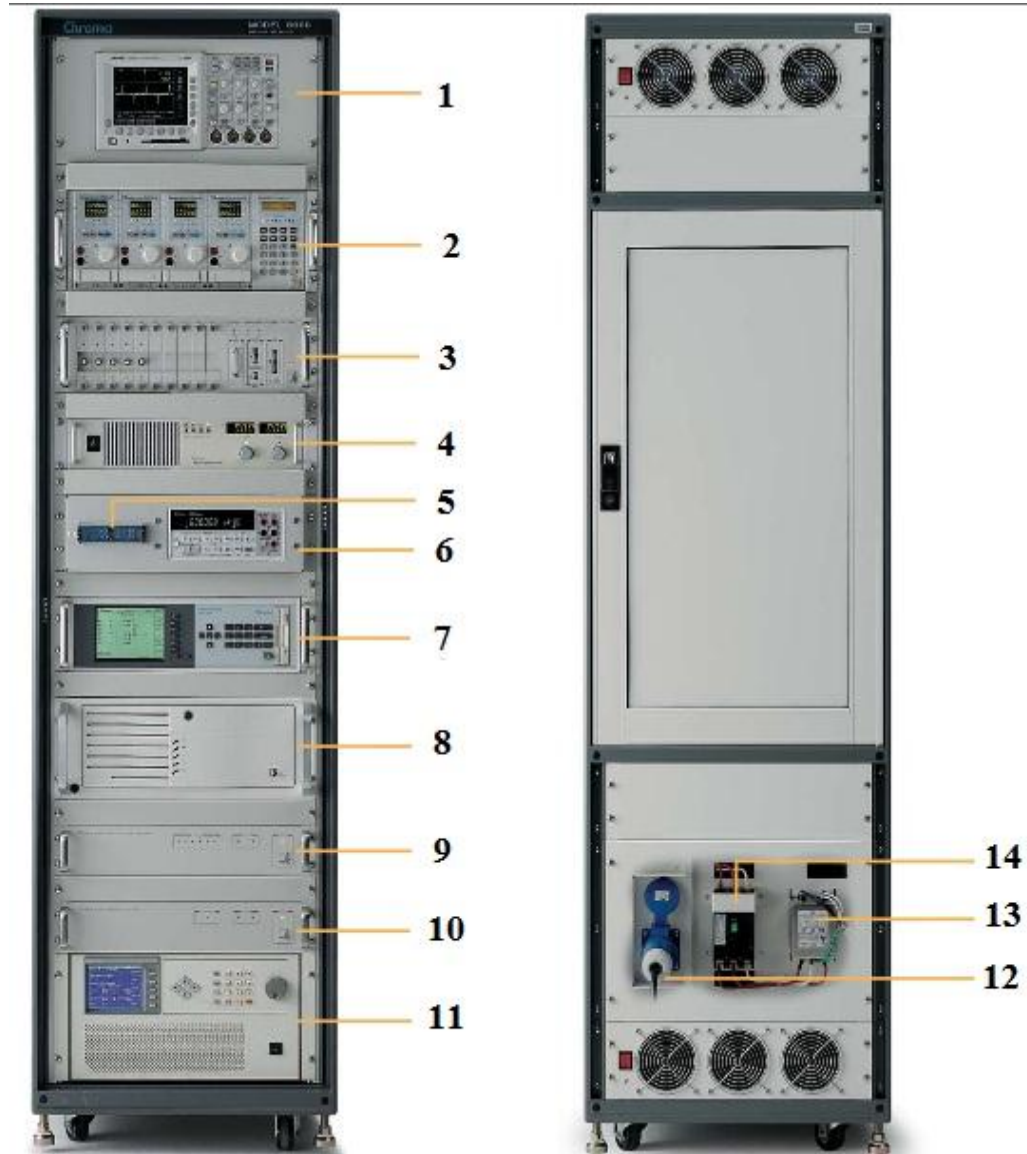


Figura 2.4 Sistem de testare automată controlat de calculator [40]

Părțile componente ale sistemului de testare prezentat în figura 2.4 sunt:

1. Osciloscop digital din seria Tektronix;
2. Sarcina electronică;
3. Analizor de timp/zgomot;
4. Sursă Curent Continuu (CC);

5. Panoul de conexiune;
6. Aparat de măsură digital
7. Analizor de putere;
8. Calculator;
9. Circuit de protecție la scurtcircuit/ la supratensiune;
10. Comutator ON/OFF;
11. Sursă de tensiune alternativă;
12. Priză de alimentare;
13. Siguranță;
14. Filtru Electromagnetic.

O structură precum cea de mai sus este utilizabilă doar în cadrul unui proiect, iar costurile de dezvoltare sunt foarte ridicate. Structuri similare există în laboratoarele de testare a subsistemelor sau a sistemelor. Autorul a lucrat cu o structură similară în cadrul unui producător de autovehicule din Vestul Europei. Există producători specializați care dezvoltă astfel de sisteme pe baza specificațiilor primite de la client. Această lucrare dorește să ofere o alternativă la sistemele existente, soluție care să permită utilizarea unei structuri pentru mai multe proiecte în cadrul aceleași companii.

2.5 Concluzii și contribuții personale

Concluzii

Testarea în industria automotive este prezentă atât în unități de producție cât și în laboratoarele de cercetare și dezvoltare. La începutul dezvoltării sistemelor de testare automată, acestea erau dedicate doar unităților de producție a componentelor electronice. În laboratoarele de cercetare dezvoltare sistemele de testare automată erau prezente doar într-un grad foarte scăzut la nivelul de sistem. Odată cu reducerea timpilor dedicați dezvoltării proiectelor de noi senzori destinați autoturismelor, se dorește implementarea sistemelor de testare automată într-un grad cât mai ridicat în laboratoarele de cercetare dezvoltare.

Pentru dezvoltarea acestor sisteme de testare automate dedicate laboratoarelor de cercetare dezvoltare, s-au identificat tehnicile de testare manuale folosite la diferite nivele pe care ATS-urile propuse pentru această ramură să le îndeplinească ca nivel de funcționalitate. Astfel dacă în primul capitol s-au prezentat principalele avantaje și dezavantaje ale acestor tehnici, în acest capitol s-a prezentat cum se folosesc aceste tehnici de testare la nivelurile industriei automotive, urmărind ciclul V. Aceste tehnici de testare sunt integrate în sistemele de testare automate dedicate laboratoarelor de cercetare dezvoltare [201].

Astfel în acest capitol pot fi identificate principalele sisteme de testare automate destinate laboratoarelor:

- SiL – software in the loop;
- MiL – model in the loop;
- HiL – hardware in the loop;

- ICT – in circuite test;

Pentru fiecare din cele 4 sisteme, amintite mai sus, se folosesc tehnicile de testare prezentate în acest capitol. Sistemele dezvoltate în acest mod fiind dedicate unui singur nivel de testare al ciclului V. Marele dezavantaj al acestor sisteme este reprezentat de faptul că nu pot fi folosite pentru testarea unui produs la fiecare nivel al ciclului V, de aceea paleta de sisteme de testare fiind atât de diversificată. Scopul fiecărui ATS este de a testa cerințele unui produs prin tehnicile de testare amintite mai sus doar la un anumit nivel, cu mențiunea ca sistemul este limitat din cauza caracteristicilor fizice.

După studiul efectuat, am identificat elementele comune ale acestor sisteme de testare automate, elemente care vor constitui baza de plecare pentru sistemul de testare propus și implementat. Astfel principalele componente / elemente identificate sunt:

- Sursă de alimentare;
- Generatoare de funcții;
- Aparată de măsură: multimetru digital și osciloscop;
- Aparată de injectare a semnalelor;
- Elemente de rutare a semnalelor;
- Elemente de filtrare;
- Elemente de software pentru implementarea aplicației sau pentru testarea de algoritmi;
- Elemente de siguranță activă;

Prezentarea acestor ATS-uri, destinate producției sau nivelurilor superioare de testare automotive, conduce la identificarea cerințelor pentru un ATS destinat nivelurilor de bază ale industriei automotive.

Echipamentele și elementele identificate mai sus sunt folosite pentru implementarea ATS-ului destinat laboratorului de cercetare-dezvoltare.

Contribuții personale:

Autorul a realizat în acest capitol, un studiu sintetic al echipamentelor de testare destinate industriei automotive, identificând:

- necesitatea introducerii unui nou sistem de testare automată care să integreze mai multe tehnici de testare, de tip regresiv, de tip funcțional, de tip non-funcțional, de tip exploratory testing;
- tehnicile și metodele de testare folosite la diferitele nivele prin specificarea fiecărui rol la acel nivel;
- prezentarea sistemelor de testare automată prezente și destinate industriei automotive, fiecare fiind destinat unui anumit nivel, având ca obiectiv testarea unui produs dintr-un singur punct de vedere:
 - SiL – va testa doar software-ul;
 - MiL – va testa doar modelul;
 - HiL – va testa nivelul de componentă la nivel de funcționalitate;

- ICT – va testa doar nivele de tensiuni DC, măsurări de rezistențe și întreruperi de circuit.
- Consider ca obligatorie existența în componența unui ATS a următoarelor blocuri funcționale, care vor constitui arhitectura unui nou ATS comandat de la distanță: sursă de alimentare, aparate de măsură, echipamente de injectare a semnalelor, echipamente de rutare a semnalelor, echipamente de legătură între PCB și ATS, echipamente de calcul, echipamente de comunicație.

Capitolul III. Structura hardware pentru sistemele de testare automată din industria automotive

În acest capitol, autorul prezintă structura acestui sistem de testare automată destinat industriei automotive. Pe baza schemei bloc a acestui sistem, se pot dezvolta diferite sisteme de testare automată destinate unor aplicații speciale sau cu caracter general pentru diferite industrii. Sistemul de testare automată este compus dintr-o parte hardware și o parte software. Structura hardware a sistemului de testare automată este compusă din: sursa de alimentare a ECU-urilor, interfața sistemului, echipamente destinate măsurării parametrilor electrici a semnalelor, pat de cuie destinat conectării sistemului la semnalele electrice ale ECU-urilor, echipamente de injectare a semnalelor electrice. Totodată, în capitolul următor se prezintă caracteristicile și proprietățile echipamentelor electronice destinate ATS-ului.

Sistemul prezentat în acest capitol a fost creat și dezvoltat de autor și folosit cu succes pentru testarea ECU-urilor, în cadrul unui producător internațional de componente automotive, din punct de vedere al parametrilor electrici și al caracteristicilor funcționale la nivel de bază hardware și nivel de componentă. Sistemul de testare a fost folosit la testarea tensiunilor de alimentare, la testarea parametrilor electrici a surselor de tip comutație, la testarea protocolului de comunicație CAN, măsurarea eficienței surselor de tip comutație, precum și a altor module din cadrul ECU-urilor automotive.

În capitolele anterioare s-au amintit principalele erori ce pot afecta rezultate finale, astfel în acest capitol doresc să imi exprim punctul de vedere legat de propagarea erorilor în sistemul de testare automată. Prin prezentarea particularităților întâlnite pe durata dezvoltării ATS-ului și respectarea regulilor rezultate, la dezvoltarea unui nou ATS se vor reduce sursele de erori ce pot afecta rezultate finale. În încheierea capitolului, se prezintă particularitățile de natură electrică cât și din punct de vedere al construcției întâlnite pe durata de dezvoltare a ATS-ului.

Sistemul propus de autor, destinat laboratoarelor de cercetare-dezvoltare ale industriei automotive, a fost integrat cu succes pentru validarea produselor de development. Firma producătoare de sisteme electronice a folosit sistemul propus și creat de autor, pentru validarea produsului în mai multe bucle de testare, rezultatele fiind acceptate de către inginerii proiectanți.

3.1 Arhitectura hardware

Practic un sistem de testare automată, din industria automotive, înseamnă un ansamblu de subsisteme care lucrează împreună, coordonate de un operator uman, pentru a testa un produs sau o gamă de produse electronice, în cazul de față, componentele electronice din industria automobilistică. Înainte de selectarea echipamentelor electronice trebuie studiate cu atenție specificațiile dispozitivelor electronice (requirement-uri) dar și caracteristicile echipamentelor electronice. După felul în care se realizează comunicarea și reacționează ca întreg sistem pot fi afectate costurile, performanțele, întreținerea dar și utilizarea sistemului. De obicei timpul alocat dezvoltării sistemului de testare automată, de la arhitectura sistemului până la realizarea fizică, este timpul care poate fi salvat din cadrul viitoarelor proiecte. Analiza minuțioasă a cerințelor dispozitivului de testat, înglobarea lor în capacitatea de testare a sistemului precum și posibilitatea ATS-ului de a include alte cazuri de testare, generate ulterior, poate conduce la reduceri de costuri, reducerea timpului alocat dezvoltării ATS-ului dar și reducerea timpului destinat *debugging-ului software*. În final trebuie avută în vedere posibilitatea de testare cu acuratețe ridicată a dispozitivului supus testării.

În funcție de structura hardware a ATS-ului acesta va fi folosit în laboratoare de cercetare dezvoltare (*R&D Lab*) pentru validarea proiectării (*design validation*) sau în unitățile de producție (*manufacturing test*)[41][61]. Structura sau arhitectura ATS-ului reprezintă suma echipamentelor constructive ale sistemului de testare automat. Pentru adoptarea ATS-ului în unitățile de producție structura software va fi adaptată corespunzător. Arhitectura folosită de autor în această lucrare poate fi integrată cu ușurință în toate locațiile amintite mai sus. Față de celelalte sisteme de testare automată, această *arhitectură folosește protocolul de comunicație Ethernet pentru conectarea aparatelor de măsură de tip osciloscop LeCroy* [19][107].

Pentru testarea ECU-urilor, în laboratoarele de cercetare-dezvoltare, este nevoie de construirea unor cazuri de testare singulare, pentru validarea proiectării sau a produsului. De asemenea, uneori, este necesară repetarea a sute de teste parametrice iar utilizarea unui sistem de acest tip aduce îmbunătățiri notabile din punct de vedere al timpului economisit pentru livrarea rezultatelor. În producție, se dorește testarea a sute de ECU-uri într-un mod cât mai rapid și eficient. Acest sistem de testare poate fi folosit cu succes și pentru producție, deoarece are la bază patul de cuie care poate fi adaptat la cerințele proiectelor aflate în producție. Dacă la nivel de arhitectură hardware împreună cu cea software, prezentate în teza de doctorat pot fi folosite fără probleme în laboratoarele de cercetare dezvoltare, pentru unitățile de producție arhitectura hardware poate fi păstrată cu mențiunea că arhitectura software trebuie modificată. Modificarea constă în implementarea unor algoritmi pentru rularea în buclă a aceluși caz de testare după îndeplinirea condițiilor de declanșare a testului [28].

Sistemele de testare automată, destinate testării produselor automotive, trebuie să cuprindă în arhitectura hardware următoarele tipuri de echipamente electronice [8][10][31-33] [69]:

- Surse de alimentare pentru ECU-uri;
- Echipamente destinate măsurării parametrilor semnalelor electrice;
- Echipamente destinate achiziției semnalelor electrice;
- Echipamentate destinate injectării de semnale de o anumită formă, parametrii semnalelor electrice stabiliți de către OEM (producător original de echipamente);
- Echipamente destinate protocoalelor de comunicație;
- Echipamente destinate routării semnalelor electrice;
- Calculator.

În figura 3.1 este prezentată schema bloc a sistemului de testare automată, dezvoltat de autor pentru industria automotive.

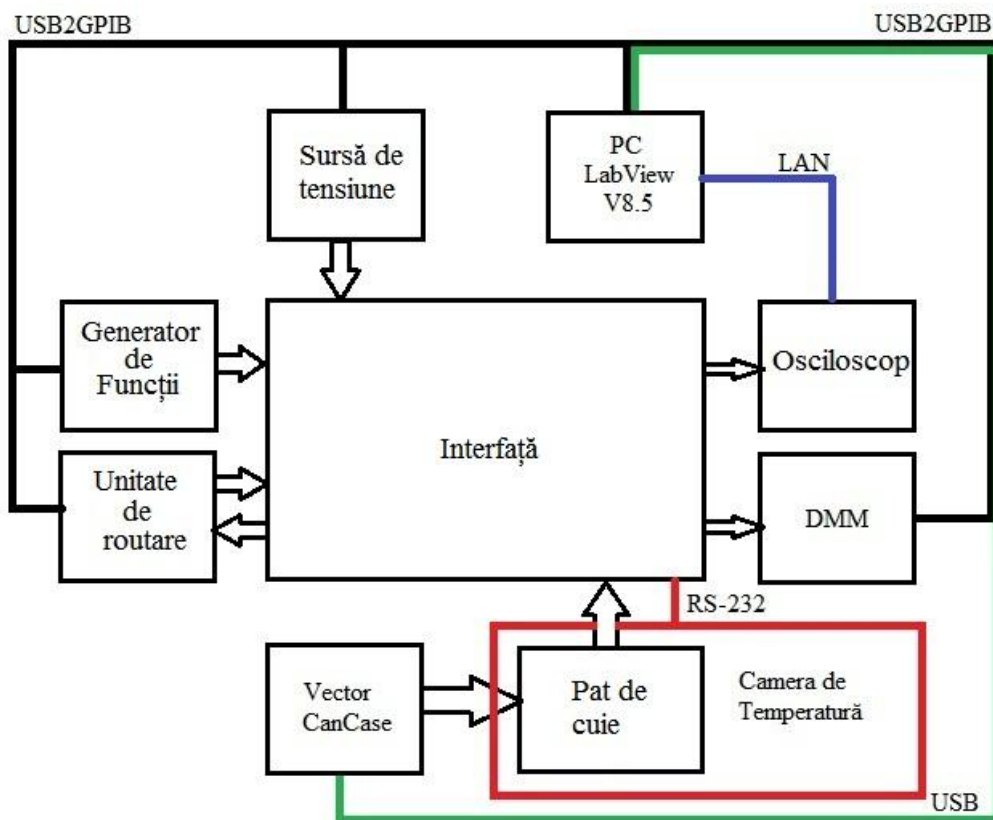


Figura3.1 Schema bloc a ATS-ului

Pornind de la figura 3.1, autorul a contribuit la dezvoltarea mai multor structuri de testare automată având ca obiectiv principal validarea/măsurarea sau testarea unor module ale ECU-urilor. În funcție de obiectivul testării, numărul de echipamentele care sunt părți componente ale ATS-ului poate crește sau se poate diminua. Schema bloc, prezentând arhitectura ATS-ului, prezentată în figura 3.1 poate integra până la 16 echipamente electronice: dintre care 14 echipamente prin

intermediul protocolului de comunicare GPIB, 1 echipament prin intermediul protocolului de comunicare Ethernet și 1 echipament prin intermediul protocolului de comunicare RS-232. Din considerente de viteză ale protocoalelor de comunicație sunt preferate echipamentele cu posibilitate de comunicare pe GPIB sau Ethernet. Protocolul de comunicație RS-232 este folosit doar în cazul integrării în sistem a unei camere de temperatură. Majoritatea cazurilor de testare automate, din industria automotive, trebuie executate într-o plajă de temperaturi de la -40°C la $+105^{\circ}\text{C}$. Pentru testarea ECU-ului în toată plaja de temperaturi, necesare domeniului automotive, este suficientă introducerea ECU-ului în camera de temperatură împreună cu patul de cuie.

Dacă pentru majoritatea cazurilor de testare schema bloc prezentată în figura 3.1 este suficientă, există anumite cazuri de testare unde această schemă trebuie modificată prin numărul echipamentelor folosite. Pentru exemplificare, autorul prezintă figura 3.2, *schema bloc folosită pentru măsurarea/testarea eficienței surselor de alimentare*.

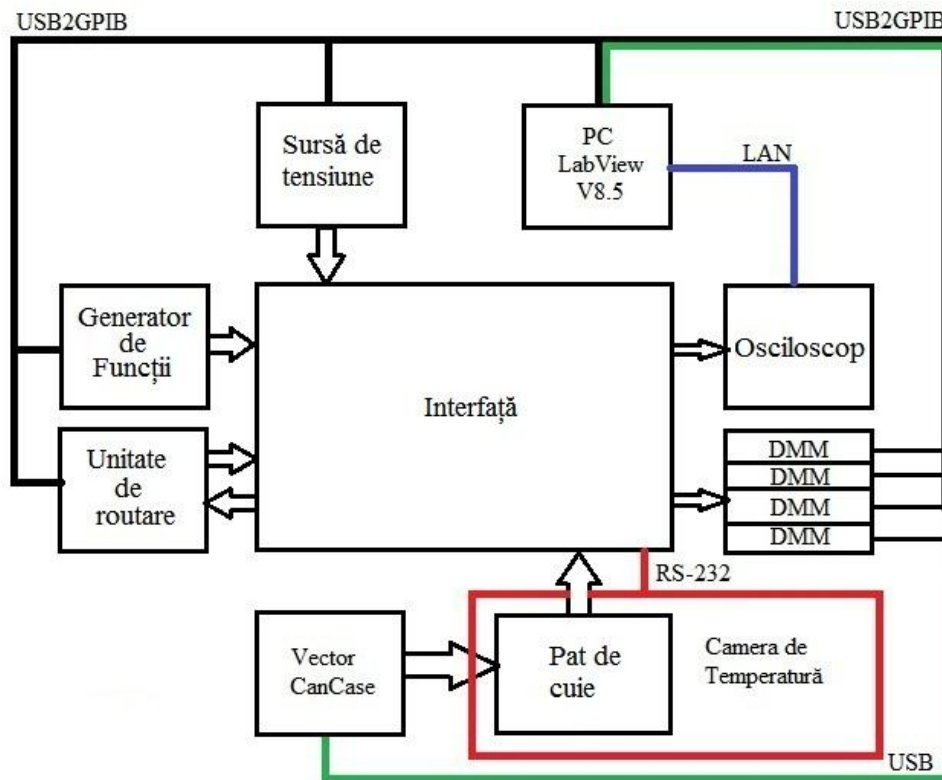


Figura3.2 Schema bloc pentru măsurarea eficienței surselor de tensiune în comutație

Cea mai mare provocare în dezvoltarea unei arhitecturi de testare automate, pentru industria automotive este reprezentată de alegerea echipamentelor electronice

pentru o funcționare optimă ca sistem de testare, dar care să respecte cerințele industriei automotive de testare generând totodată un cost redus de testare [66][103][116][118][142][151].

3.2 Prezentarea/specificații ale părților componente

3.2.1 Standul de testare

După *alegerea arhitecturii hardware*, următoarea decizie este legată de tipul structurii folosite pentru ATS. Pentru realizarea unui sistem de testare automată, folosit în industria automotive, sunt posibile următoarele tipuri de structuri [8]:

- Structuri de tip liber – *rack and stack*;
- Structuri de tip încapsulate – *cardcage*.

Autorul *prezintă principalele argumente pentru a decide ce tip de structură va fi folosită în cadrul acestui ATS*. Următoarele aspecte trebuie luate în considerare la alegerea echipamentelor și a tipului de structură folosite pentru ATS [38][141][180]:

- Ce tipuri de echipamente se potrivesc profilului companiei și numărul lor;
- Sursa de alimentare a echipamentelor;
- Greutatea echipamentelor;
- Posibilitatea de ventilare, disiparea puterii;
- Accesul la instrumente;
- Perturbații electromagnetice;
- Protecții electrice și mecanice.

Din punctul de vedere al autorului, o structură de tip liber este mai avantajoasă decât o structură de tip încapsulată pentru dezvoltarea ATS-ului. În aceste structuri de tip *rack and stack*, echipamentele pot fi folosite ca echipamente de sine stătătoare. Când proiectul nu cere o testare amănunțită, echipamentele pot fi folosite în cadrul departamentului în cadrul altor teste de tip manual. Ventilația sistemelor se realizează în mod natural prin curenți de aer, disiparea căldurii realizându-se prin carcasa echipamentului. Această carcasă pentru echipamentele electronice are rol și de ecranaj electromagnetic, nefiind necesară o protecție suplimentară împotriva perturbațiilor electromagnetice. Echipamentele încorporate în carcasă sunt mai rezistente la șocuri mecanice și sunt construite cu protecții electrice. Totodată, comportamentul echipamentelor este mai ușor observabil în timpul executării cazurilor de testare.

Dacă se dorește încapsularea într-o carcasă atunci trebuie avut grijă la aspectele de alimentare, ventilație, putere disipată și distribuție a greutății echipamentelor în cutie.

Autorul, dorește să prezinte avantajele și dezavantajele unei structuri de tip *cardcage*. Echipamentele sunt de obicei de forma unei plăci care se conectează prin PXI/LXI la celelalte echipamente cu ajutorul unui calculator special dedicat [49][50][53][102].

Principalele avantaje ale acestui tip de structură sunt reprezentate de:

- gabaritul redus datorită încapsulării într-o singură capsulă;
- viteză de comunicație superioară datorită interfațării echipamentelor;
- putere disipată mică;
- consum de energie redus.

Dezavantajele acestei structuri sunt constituite din :

- imposibilitatea utilizării echipamentelor în mod de sine stătător;
- greutate în înțelegerea defectelor apărute în funcționare. Echipamentele sunt interfațate cu operatorul doar prin intermediul unui monitor fiind foarte greu observabilă funcționarea necorespunzătoare a unui dispozitiv.
- sursă de alimentare adaptată pentru o anumită configurație, deoarece toate echipamentele sunt alimentate dintr-o singură sursă de alimentare;
- configurația nu poate fi modificată cu ușurință ulterior, fiind necesară schimbarea carcasei în mod obișnuit și o redimensionare a sursei de alimentare;
- trebuie avute suplimentar în vedere tehnici de ecranare electromagnetică speciale;
- risc de scurt circuit mai ridicat;
- risc de distrugere mecanică mai ridicat.

În cazul alegerii unui stand de testare de tip *rack and stack* (echipamente încarcasate sau nu sub formă de stiva), așezarea echipamentelor electronice se efectuează într-un mod asemănător celui prezentat în figura 3.3.

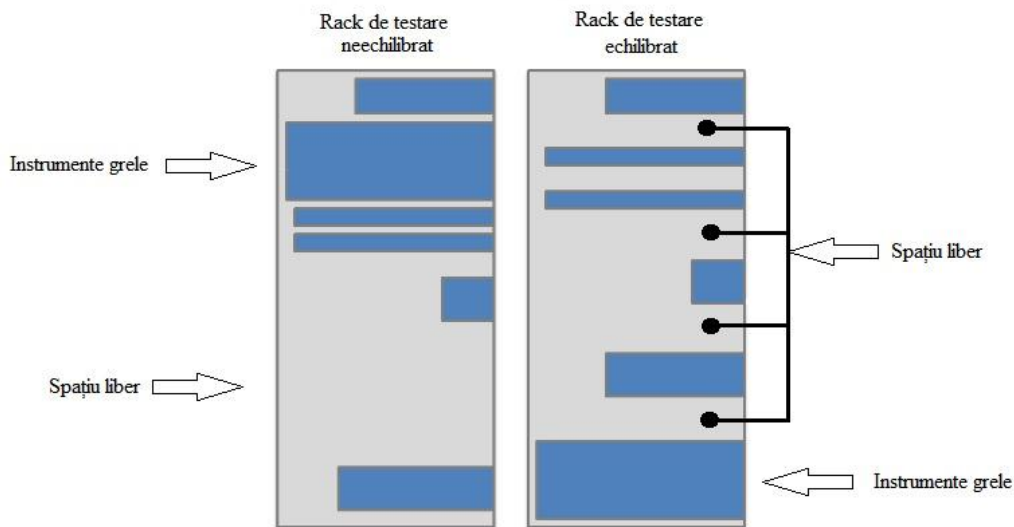


Figura 3.3 Structură rack and stack

În figura 3.3 se poate observa în partea stângă a imaginii structura unei carcase neechilibrate, iar în partea dreaptă se poate observa structura unei carcase echilibrate. În cazul construcției unei structuri de tip *rack and stack*, fără o echilibrare a standului de testare în timp aceasta va conduce la o funcționare defectuoasă datorată puterii disipate în cazul unei folosiri îndelungate. Un alt

dezavantaj al utilizării unei structuri neechilibrate este reprezentat de posibilitatea de răsturnare a carcasei datorită greutății, cazul în care greutatea este poziționată în partea superioară. În figura 3.3, în cazul rack-ului de testare neechilibrat se pot observa următoarele greșeli de poziționare: amplasarea echipamentelor / instrumentelor grele în partea superioară a standului, spațiu liber care permite ventilarea nu este distribuit uniform. În cazul rack-ului de testare echilibrat se pot observa următoarele: echipamentele / instrumentele grele sunt așezate la baza standului de testare, spațiul liber este distribuit în mod egal, contribuind astfel la o ventilare superioară a echipamentelor. O situație periculoasă, de evitat în mod normal, este integrarea multor echipamente într-un stand de testare. Datorită funcționării echipamentele electronice degajă căldură. Prin degajarea de căldură în interiorul rack-ului de testare, condițiile inițiale de testare nu mai sunt valabile, temperatura din interiorul rack-ului poate depăși temperatura mediului ambiant. În această situație testele pot fi influențate, temperaturile ridicate pot conduce la o funcționare necorespunzătoare a echipamentelor electronice. Cea mai bună metodă pentru a elimina căldura din interiorul unui rack este echilibrarea din punct de vedere al spațiului liber, sau construirea sistemului în afara unui rack. O altă metodă de reducere a căldurii este instalarea unui ventilator care să ventileze interiorul rack-ului.

Pe baza acestor considerente *autorul a ales dezvoltarea unui sistem de testare automat de tip stack and rack de la zero, diferența constând în neîncapsularea acestuia într-un rack, iar pentru celălalt tip de sistem de tip cardcage (echipamente încapsulate sub forma unor plăci de achiziție) aducând contribuții doar la partea de arhitectură software. Sistemele de tip cardcage sunt de forma unei carcase iar fiecare modul din carcasă reprezintă un echipament al sistemului, interacțiunea cu echipamentele fiind efectuată prin intermediul monitorului. De asemenea la aceste sisteme rezultatele sunt vizibile doar pe monitor, mediul de programare făcând stocarea acestora și interpretarea lor. La aceste tipuri de sisteme nu există posibilitatea de verificare a parametrilor echipamentelor, pentru fiecare parametru fiind necesară o validare suplimentară prin software. Sistemul de tip stack and rack este prezentat în figura 3.4.*



Figura 3.4 Sistem de testare de tip stack and rack

În figura 3.4 se pot observa principalele echipamente constructive ale ATS-ului, pe structură de tip stack and rack:

1. Calculator;
2. Sursă de alimentare exterioară;
3. Monitor;
4. Vector CAN-caseXL;
5. Pat de cuie;
6. Interfață semnale;
7. Multimetru digital;
8. Unitate de rele;
9. Generator de semnale electrice;
10. Sursă de alimentare ECU;
11. Osciloscop;
12. Amplificator de semnal.

În rândurile următoare, se prezintă principalele caracteristici și proprietăți ale echipamentelor electronice ce compun sistemul de testare automat din figura 3.4.

3.2.2 Patul de cuie

În sistemele de testare automată de acest tip, structura patului de cuie este asemănătoare cu cea a unui sistem de testare de tip ICT. Aceste paturi de cuie au rolul de fixare a cablajului imprimat (PCB) oferind accesul la punctele de testare de pe partea de jos a ECU-ului (*bottom side*). Prin atingerea punctelor de testare cu probele de testare se realizează achiziția semnalelor electrice și routarea lor în interfața sistemului. În figura 3.5 se pot observa *paturile de cuie, realizate de autor pentru senzori din industria automotive*. În funcție de tipul de senzor testat și în funcție de testele ce urmează a fi efectuate aceste paturi de cuie pot avea forme și structuri diferite.

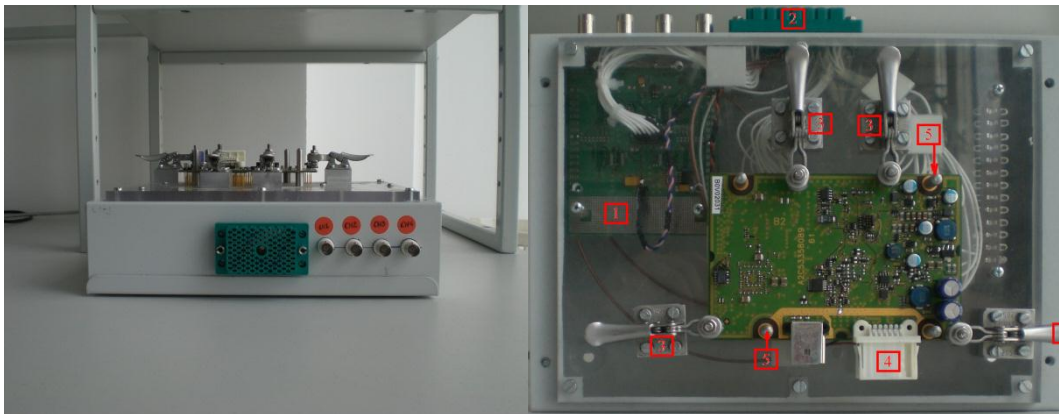


Figura 3.5a. Pat de cuie cu placa de multiplexoare integrată

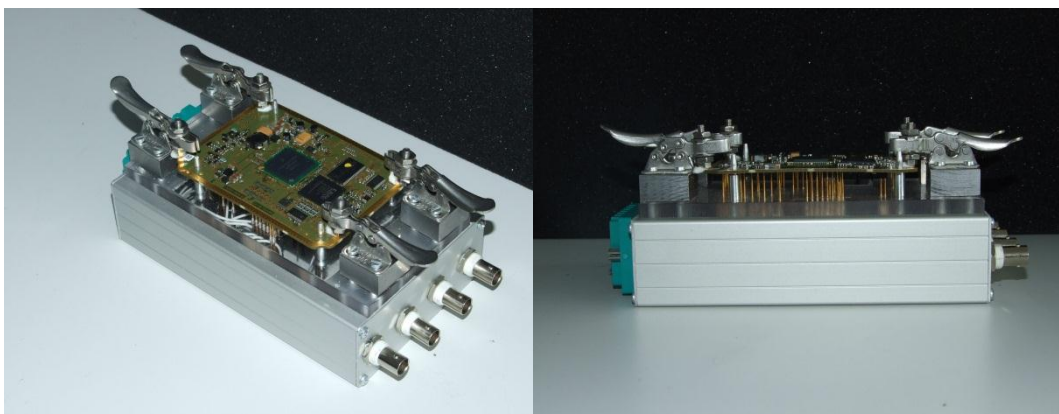


Figura 3.5b Pat de cuie cu placa de repetoare pe emitor integrată

La realizarea unui pat de cuie trebuie avut în vedere tipul de alimentare al ECU-ului. Alimentarea ECU-ului supus testării se poate realiza prin patul de cuite sau

printr-un cablu exterior. De preferat este alimentarea ECU-ului doar cu o singură modalitate, alimentarea prin ambele modalități poate avea efecte nedorite în testare. Din experiențele anterioare avute de autor, în dezvoltarea acestor paturi de cuie, alimentarea printr-un cablu exterior este metoda cel mai des folosită pentru punerea în funcțiune.

Din figura 3.5 se pot distinge și principalele părți componente ale paturilor de cuie folosite la realizarea acestora:

1. Placa de multiplexoare;
2. Conectorul dintre patul de cuie și interfața sistemului;
3. Sisteme de prindere a PCB-urilor;
4. Conector de alimentare ECU;
5. Sisteme de ghidare a PCB-urilor.

Autorul prezintă principalii pași pentru realizarea patului de cuie al acestui sistem de testare automat:

- Alegerea unei carcase în care va fi poziționat patul de cuie;
- Crearea unei hărți cu poziția punctelor de testare de pe partea de jos a ECU-ului într-un program de tip CAD care poate genera fișiere *gerbber*;
- Poziționarea găurilor pentru suportii de ghidare;
- Poziționarea găurilor pentru sprijinul PCB-ului. Nu este indicat ca placa sa fie sprijinită doar pe probele de testare;
- Se alege poziția conectorului pentru semnalele electrice pe carcasa patului de cuie și a plăcii de multiplexoare, dacă este integrată această placă. Integrarea plăcii de multiplexoare este în funcție de complexitatea proiectului;
- Generarea fișierelor *gerbber*;
- Verificarea pentru validarea poziționării găurilor patului de cuie referitor la poziția punctelor de testare prin suprapunerea fișierelor *gerbber* cu schema cablajului imprimat;
- Generarea unui fișier de tip *date* la purtător cu coordonatele (x,y) ale poziției găurilor cu originea într-un colț al plăcii de macrolon care va fi trimis pentru găurire unei firme specializate. Macrolonul reprezintă un material plastic rezistent la șocuri de temperatură în gama -50 – +150 °C;
- După primirea plăcii de macrolon se începe construcția efectivă a patului de cuie prin adăugarea componentelor selectate anterior.

Pentru a realiza un pat de cuie sunt necesare între 2 și 8 săptămâni în funcție de disponibilitatea echipamentelor și a furnizorilor.

Pentru a realiza un nou pat de cuie pentru un proiect automotive sau pentru o nouă buclă de testare voi crea o structură de tip proiect Orcad cu structură ierarhică. În acest proiect vor putea fi urmărite traseele semnalelor prin sistemul de măsură, precum și celelalte informații legate de componentele folosite în ATS. Astfel pentru realizarea patului de cuie sunt necesare cunoașterea layout-ului sau a fișierelor de tip Gerbber ale dispozitivului supus testării. Din aceste fișiere se extrag coordonatele de tip (x,y) ale punctelor de testare. Doar cu ajutorul acestor puncte de testare se poate realiza achiziția sau conexiunea la semnalele electrice ale

dispozitivului. Aceste coordonate se introduc apoi într-un proiect de tip CAD, *autorul a preferat ORCAD Layout Plus*, proiect unde se construiește harta punctelor de test. Exemple cu aceste hărți ale punctelor de test pot fi observate în figura 3.6.

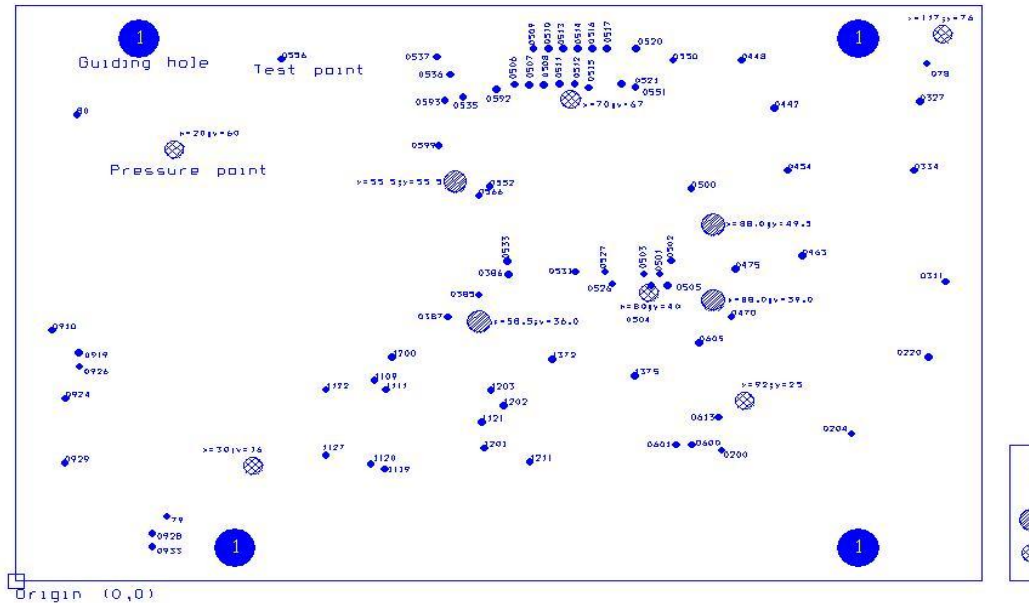


Figura 3.6 Exemplu de hartă a punctelor de testare, de sprijin și de ghidare

După cum se poate observa în figura 3.6, harta punctelor de test reprezintă o copie a punctelor de testare față de o origine selectată de cel care construiește patul de cuie. Astfel pot fi gândite concepte de rutare a firelor fizice în patul de cuie sau integrarea altor tipuri de circuite electrice necesare diferitelor cazuri de testare. Dacă placa de macrolon nu poate fi găurită cu o precizie foarte ridicată în cadrul unității unde este realizat ATS-ul, atunci aceste fișiere se trimit unor ateliere specializate care vor executa această placă de material plastic sau macrolon. Datorită probabilității ridicate ca acest pat de cuie să fie introdus în camera de temperatură, principală proprietate a materialului din care este construit patul de cuie este aceea de a nu fi deformabil la schimbări de temperatură. Menționez că intervalul de temperatură la care se efectuează testele pentru industria automotive este de la -40°C la $+105^{\circ}\text{C}$.

Realizarea acestui proiect CAD, în care se reintroduc coordonatele punctelor de testare are rol de verificare. Astfel suprapunerea unor fișiere gerbber generate din programul CAD cu fișierele originale pot conduce la identificarea unor puncte de testare deplasate sau a altor nereguli. Totodată se poate identifica poziționarea corectă a punctelor de sprijin – amplasare în locuri libere, fără componente și fără trasee. După verificare fișierul cu punctele de testare, respectiv punctele de găurire – la diferite dimensiuni, se trimit producătorilor de plăci de macrolon sau material plastic specializați.

Datorită faptului că în anumite proiecte se testează semnale de înaltă frecvență, semnale care pot perturba alte semnale de natură electrică, deseori în interiorul patului de cuie se integrează cablaje imprimate care rezolvă aceste probleme. Pentru proiectul de față, autorul a realizat un cablaj imprimat care conține 4 multiplexoare, împreună cu buffere digitale care realizează o adaptare pe 50 de ohmi. Cablajul imprimat cu sistemul de multiplexoare oferă posibilitatea user-ului de a ruta orice semnal către osciloscop.

Pentru anumite semnale, este important tipul de cablu folosit: pentru semnale de DC, se folosesc cabluri simple, iar pentru semnale de AC sau de înaltă frecvență se folosesc cabluri ecranate. Pentru semnalele de înaltă frecvență trebuie luată în considerare și lungimea cablului.

O soluție originală propusă de autor pt patul de cuie, este scrierea softului de aplicație și a bootloader-ului microcontrollerelor a ECU-ului printr-un sistem de tip JTAG anexat acestui dispozitiv. Având acces nelimitat la punctele de testare de pe "Bottom", se pot extrage în exteriorul patului de cuie semnalele JTAG folosite la construcția unei panglici de scriere (flash), iar prin intermediul acesteia, la începutul testării automate se poate realiza scrierea memoriei flash a microcontrolerului.

Este important de știut că se pot prelua, de pe bottom-ul ECU-ului supus testării, maxim 120 de semnale, deoarece aceasta este capacitatea conectorului pentru patul de cuie, folosit la dezvoltarea acestui sistem de testare automată. Pt o mai bună culegere a informațiilor furnizate de patul de cuie am proiectat o interfață ce face legătura între dispozitivul supus testării și echipamentele de măsură. În figura 3.6 este redată componența acestei interfețe.

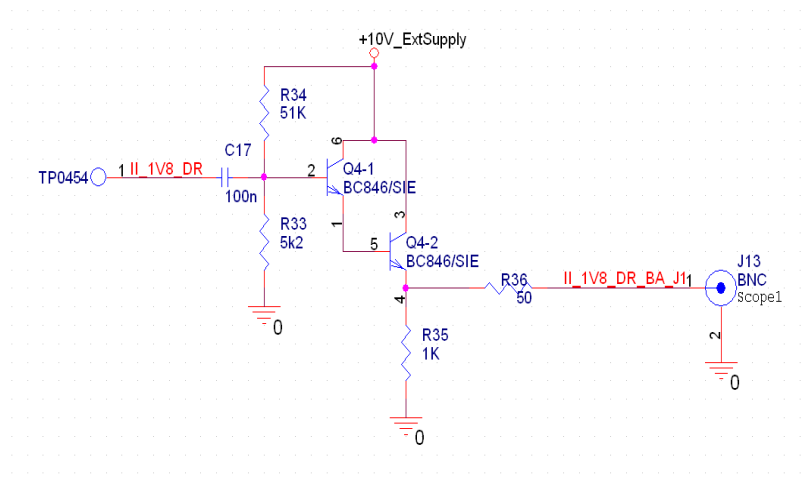


Figura 3.6a – Schema electrică a repetorului pe emitor din cadrul patului de cuie

64 CapIII. Structura HW pt. sistemele de testare automată din ind. automotive

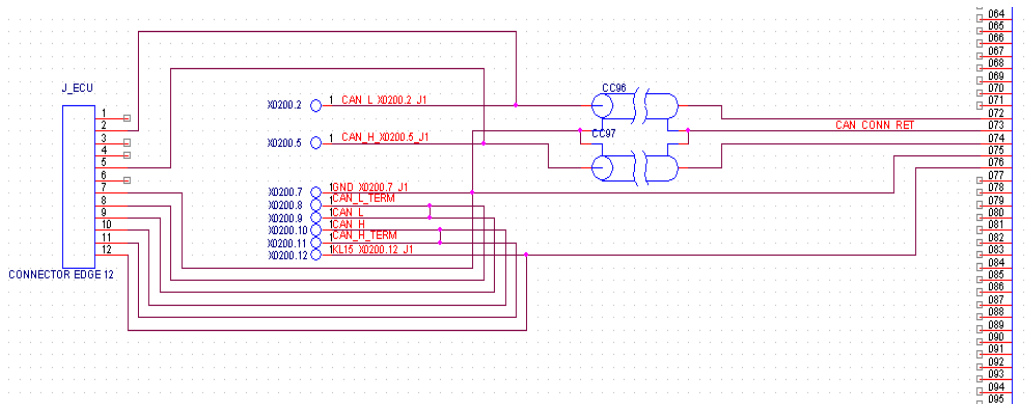


Figura 3.6b – Schema electrică a conectorului de scriere a softwareului JTAG

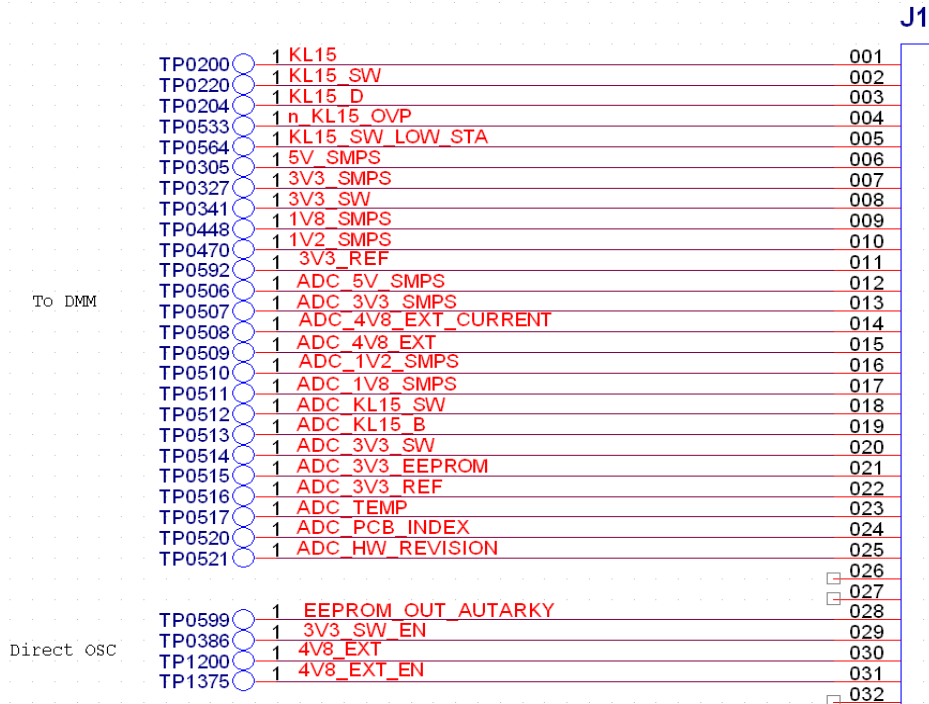


Figura 3.6c – Configurația conectării semnalelor la conectorul patului de cuie

3.2 Prezentarea / specificații ale părților componente 65

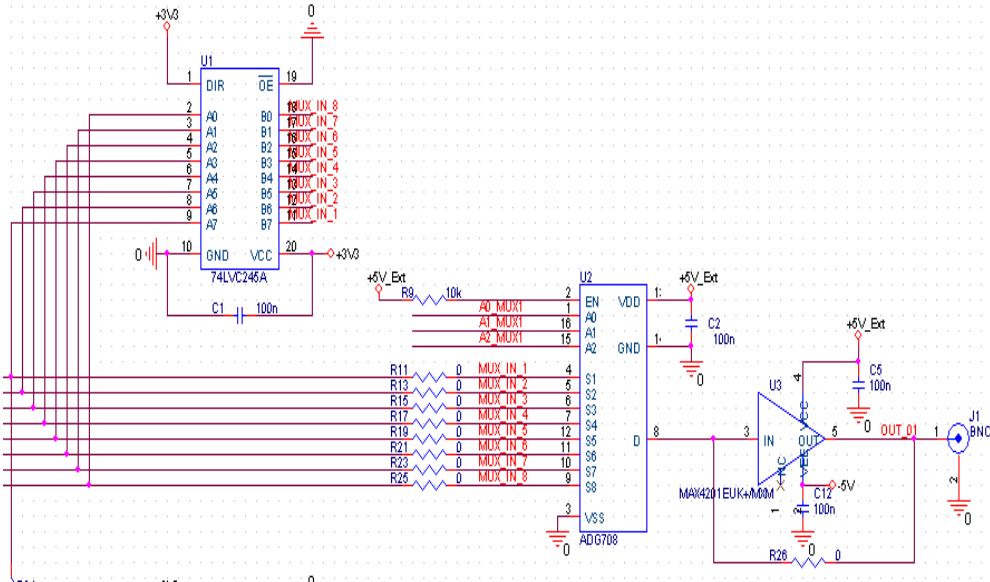


Figura 3.6d Schema electrică a unui multiplexor din modulul de multiplexoare integrat în patul de cuie

Semnalele electrice sunt preluate cu ajutorul unor sonde, dezvoltate de firma germană Ingun. Sondele de testare sunt alcătuite din mai multe părți, fiecare parte având un rol foarte important în alcătuirea patului de cuie. În figura 3.7 se pot observa principalele părți componente ale unei probe / sonde de testare, pentru industria automotive:

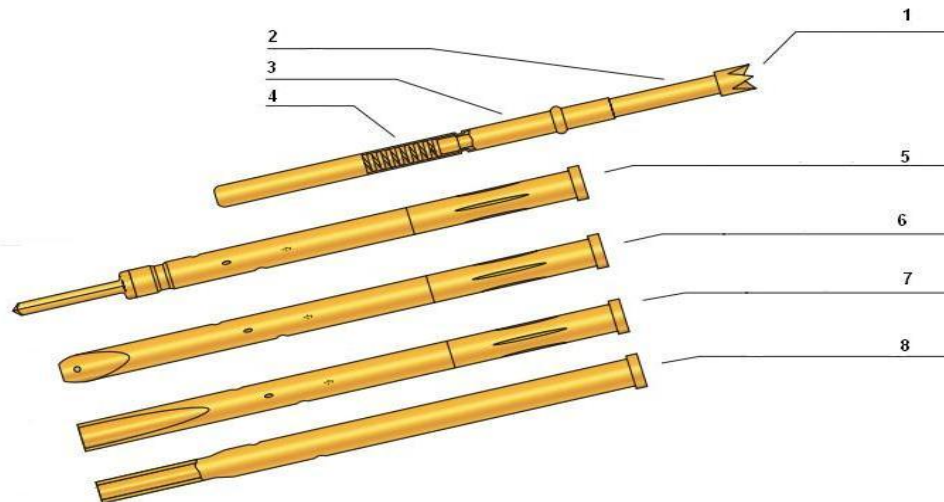


Figura 3.7 Părți componente ale probelor / sondelor de testare

1. Tipul probei de testare;
2. Acul de testare – vârf;
3. Acul de testare – cămașă exterioară;
4. Acul de testare – arc interior;
5. Cămașă pentru fire care se mulează;
6. Cămașă pentru fire care se lipesc cu cositor;
7. Cămașă pentru fire care se lipesc prin presare;
8. Cămașă pentru fire de tip "Plug in";

În funcție de obiectivul testării, se consultă catalogul actualizat al firmei *Ingun*, din acesta alegându-se variații ale tipurilor de sonde, folosite ulterior la alcătuirea patului de cuie. Pentru a putea fi integrate în aplicațiile de testare automotive, trebuie alese acele sonde care pot conduce curenți mai mari de minim 2A iar temperatura la care pot fi folosite să fie mai mare de 105°C. Astfel la alegerea unei sonde de testare, se au în vedere următoarele aspecte:

- Cum se conectează cablajul la sondă (pentru acest sistem de testare automată a fost folosită metoda de lipire cu cositor);
- Presiunea exercitată prin apăsare asupra sondei;
- Parametrii semnalelor electrice ce se doresc a fi mășurați;
- Temperatura de operare;
- Curenți maximi;
- Aliajul din care este construită sonda;
- Vârful sondei trebuie să fie construit din același aliaj.

În urma unor numeroase experimente, subliniez importanța alegerii unor puncte de sprijin exterioare PCB-ului, sprijinirea PCB-ului doar în sondele de testare fiind o practică de evitat. Totodată este importantă forța de apăsare în partea superioară a ECU-ului. Sunt de evitat situațiile în care apar tensionări ale PCB-ului, PCB-ul se curbează datorită unor forțe de apăsare superioare. Curbarea PCB-ului poate conduce la apariția fisurilor în placă sau la dezlipirea unor componente, deci o funcționare defectuoasă a ECU-ului. Acest tip de manipulare a PCB-ului se încadrează la erori grosolane, dar pot fi evitate printr-o proiectare corespunzătoare a patului de cuie.

Pentru a înțelege compresia unei sonde din patul de cuie, se prezintă figura 3.8.

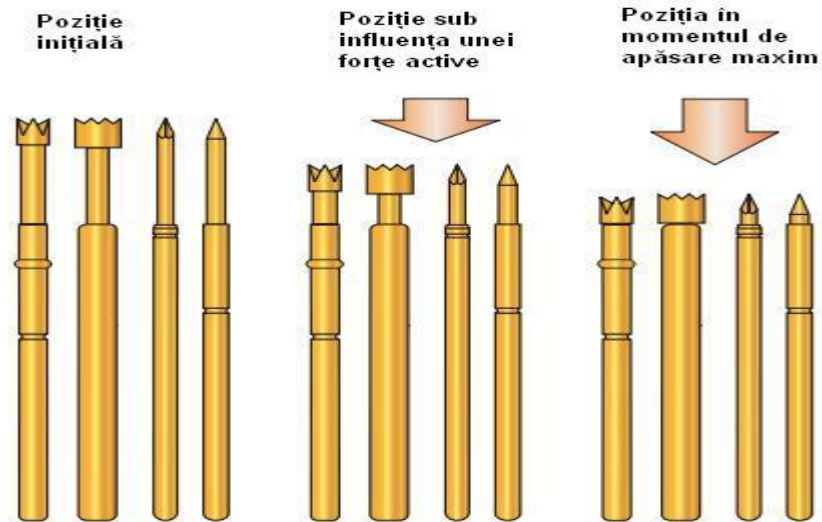


Figura 3.8 Compresia unei sonde de testare [96]

În cele ce urmează sunt prezentate cele mai folosite vârfuri de sondă, folosite în industria automotive, pentru construirea paturilor de cuie [96]:

- Proba ascuțită – este folosită cel mai des, pentru a atinge punctele de testare de pe partea inferioară a ECU-ului. Este preferată deoarece suprafața de contact este foarte mică.

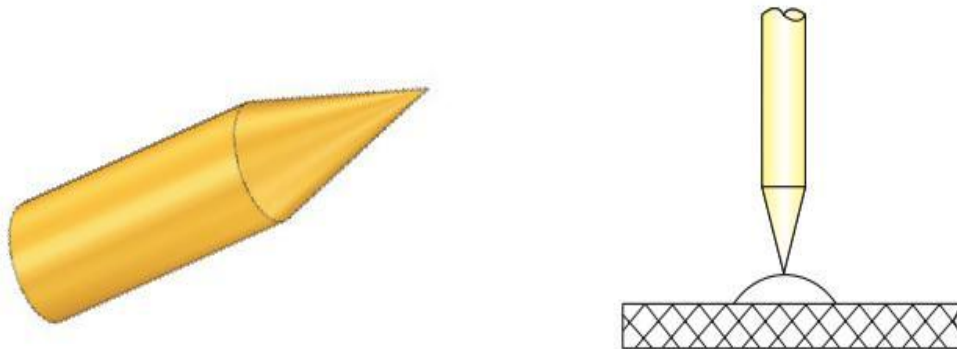


Figura 3.9 Vârf ascuțit [96]

- Proba plată – este folosită ca alternativă la proba ascuțită, pentru situații în care se dorește o suprafață de contact mare și în cazul unor puncte de testare pe materiale care prezintă riscul de străpungere prin folosirea unor probe cu vârf ascuțit.

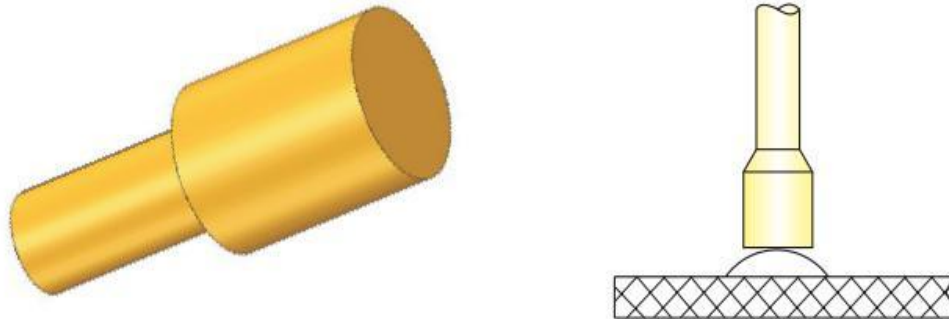


Figura 3.10 Vârf plat [96]

- Probă conică inversă – o probă folosită atunci când se doresc a fi preluate semnale electrice direct de pe pinii unor componente electronice. Situațiile în care sunt folosite aceste vârfuri ale probei sunt de evitat, deoarece poziționarea exactă a probei în pinul componentei este foarte dificilă. Punctele de testare de pe cablajele imprimate pot măsura până la 2 mm iar probele de testare nu trebuie să fie perfect centrate, dar în cazul utilizării unor probe cu vârf conic invers această trebuie să fie centrată cu precizie de micrometri în pinul componentei electrice. Utilizarea acestor probe cu vârf conic invers introduc un grad de risc ridicat, existând pericolul iminent de a produce un scurt circuit. Rezultatul în acest caz fiind distrugerea iremediabilă a ECU-ului. Datorită faptului că sistemul de testare automat este destinat laboratoarelor de cercetare dezvoltare, este dorită evitarea distrugerilor iremediabile a unităților de control electronice din cauza numărului mic al ECU-urilor în faza aceasta.



Figura 3.11 Vârf conic invers [96]

- Proba coroană – se folosește atunci când dorim să verificăm prezența unor componente pe circuitul integrat. Acest tip de probă este mai pretențios,

3.2 Prezentarea / specificații ale părților componente 69

deoarece placa trebuie să fie foarte bine curățată. Pentru cazul când există diferite impurități pe placă, semnalul de pe placă nu poate fi preluat, iar depunerea impurităților în coroană va genera eroare după eroare în procesul de testare.

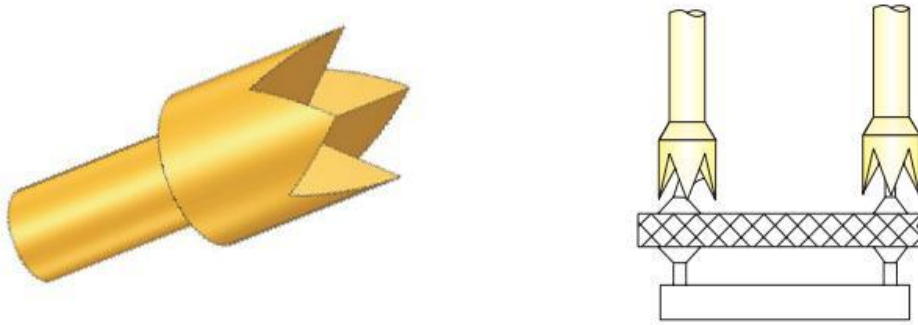


Figura 3.12 Vârf coroană [96]

- Proba bullet – folosită la detectarea traseelor



Figura 3.13 Vârf bullet [96]

- Proba stea – este folosită pentru detecția anumitor componente dar și a preluări de semnale electrice

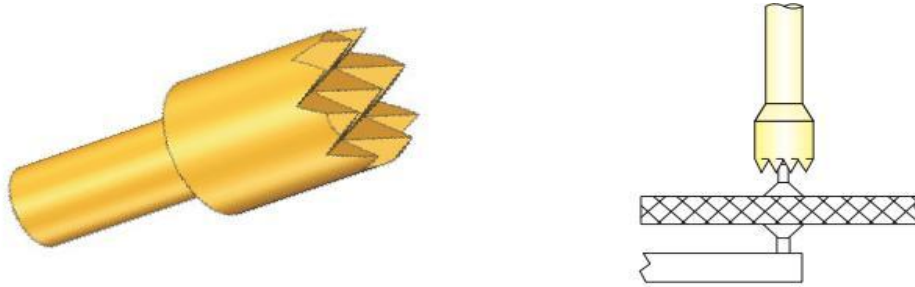


Figura 3.14 Vârf stea [96]

- Probă pentru puncte de trecere (*via points*) – sunt anumite situații în care se cere folosirea unor probe de acest tip pentru preluarea unor semnale care trec de pe o parte a plăcii pe cealaltă parte. De cele mai multe ori această probă este folosită pentru preluarea semnalului de masă.

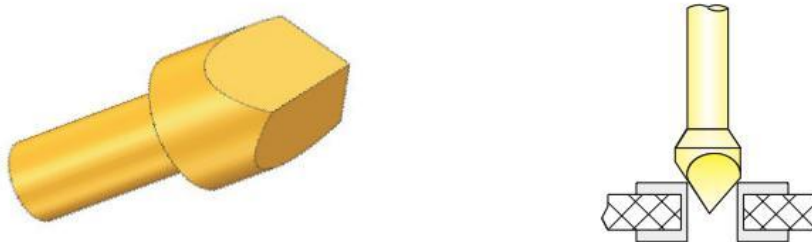


Figura 3.15 Vârf pentru paduri de trecere (*via points*) [96]

Evident pe parcursul dezvoltării unor paturi de cuie mai avansate se pot folosi mai multe tipuri de probe. Pentru cazul prezentat în această teză, au fost folosite doar tipurile de probă prezentate mai sus.

3.2.3 Sursa de alimentare

Sursele de alimentare pentru sistemele de testare automată pot fi de curent alternativ (AC) sau de curent continuu (DC). Deoarece în autovehicul sursa de tensiune este de tip DC, autorul alege pentru sistemul de testare automată implementat în industria automotive, o sursă de tip DC, produsă de Agilent. În figura 3.16 este prezentat panoul frontal al sursei de alimentare Agilent 3645A [2].

Pentru acoperirea unor plaje de tensiuni de alimentare mai largă se pot alege alte surse de alimentare al producătorului Agilent, driverule software implementate de către autor făcând posibilă schimbarea sursei de alimentare cu una similară a producătorului, cu observația următoare: sursa trebuie să aibă un singur

3.2 Prezentarea / specificații ale părților componente 71

canal de ieșire [6]. Aceste surse de alimentare pot fi comandate prin GPIB și prezintă următoarele caracteristici:

- Programarea tensiunii la ieșire;
- Programarea curentului la ieșire;
- Posibilitate de declanșare în urma unui eveniment;
- Controlul prezenței la ieșire;
- Limitarea curentului și a tensiunii;
- Funții de salvare și rechemare;
- Livrare la ieșire a unei puteri de 80W;

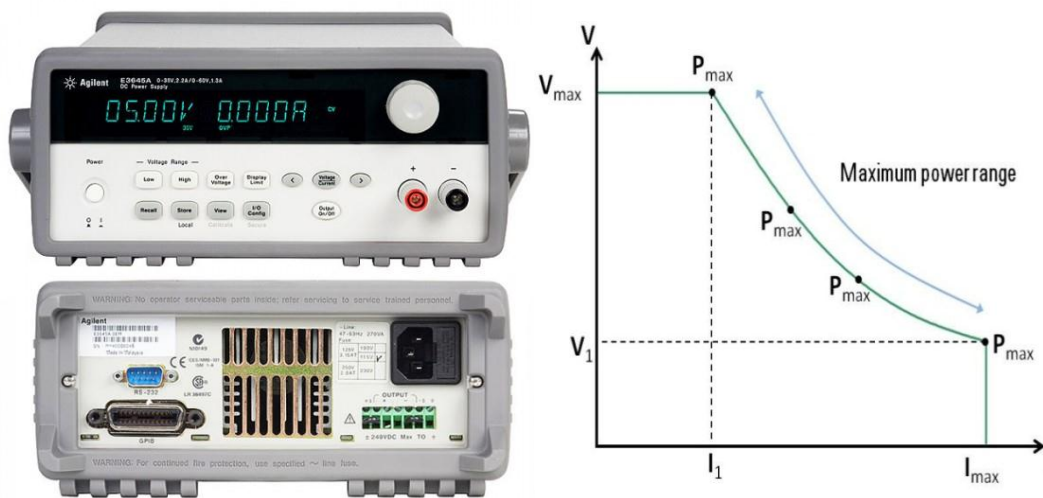


Figura 3.16 Sursa de alimentare Agilent 3645A / Caracteristica tensiune-curent

Am ales să folosesc această sursă de tensiune deoarece caracteristica curent tensiune, prezentată în figura 3.16 este potrivită aplicațiilor automotive. Plaja de tensiune acoperită de această sursă este: 0-35V la 2.2 A sau 0-60V la 1.3 A. Pentru proiectele unde a fost implementat acest sistem de testare automată, această sursă de alimentare îndeplinea cerințele proiectului. În continuare voi prezenta termenii uzuali folositori în descrierea surselor de alimentare:

- **Nivel de tensiune:** tensiunea pe care o generează această sursă la ieșirea ei;
- **Protecție la supratensiune (OVP):** protecție la tensiuni mari. În cazul aclașării OVP-ului sursa nu mai generează tensiune la ieșirea acesteia.
- **Protecție la supracurent (OVC):** protecție la curent. Intensitatea curentului electric nu poate depăși o anumită valoare la ieșirea sursei de alimentare. În momentul generării acestei protecții sursa intră în regim de sursă de curent.
- **Mod de tensiune constantă:** la ieșirea sursei de alimentare se menține o valoare constantă a sursei de alimentare dar variază curentul de ieșire.

- **Mode de curent constant:** sursa se folosește în acest mod atunci când se dorește o anumită intensitate a curentului la ieșire. Această operațiune se efectuează prin reglarea valorii tensiunii de la ieșirea sursei.

În caracteristica tensiune curent prezentată în figura 3.16 se pot observa atât modul de tensiune constantă, protecția la supratensiune, protecția la supracurent precum și modul de curent constant.

3.2.4 Echipamente de interfațare/routare

Echipamentele pentru routare sunt echipamente care comută semnale DC de la zeci de Herți (Hz) la 25 de GHz, de la milivolți la sute de volți sau de la curenți de miliamperi la zeci de amperi. De cele mai multe ori un sistem de testare automată nu poate exista fără posibilitatea de routare a unor semnale înspre și dinspre dispozitivul supus testării. Deoarece există atât de multe cerințe, există și numeroase topologii de routare. Principalele cerințe pe baza cărora se alege topologia de routare a ATS-ului sunt:

- Ce trebuie testat?
- Cum este executat testul?
- Cât de des trebuiesc schimbate anumite părți ale circuitului?

Pe baza acestor considerații se alege o topologie de routare adecvată care este implementată în proiectarea sistemului de testare automată. În figura 3.2 se poate observa că partea principală a sistemului de testare automată este reprezentată de interfață împreună cu sistemul de routare. Evidențiez importanța routării semnalelor între numeroasele puncte de testare și aparatele de măsură, activarea unor sarcini, conectarea unor anumite semnale la dispozitivul supus testării sau chiar conectarea tensiunii de alimentare necesare ECU-ului.

Dispozitivul de interfațare și elementul de routare, au următoarele funcții:

- Menținerea conectivității dintre punctele de testare și aparatele de măsură;
- Posibilitatea conectării unor semnale la dispozitivul supus testării.

Prima cerință este să asigure pentru sistemul de testare automat calea semnalelor electrice de la punctul de testare la aparatul de măsură dorit, în cazul de față, osciloscopul sau DMM-ul. A doua cerință legată de posibilitatea de conectare a unor stimuli la DUT (dispozitiv supus testării), constă în îndeplinirea unor condiții pentru efectuarea unor cazuri de testare.

Autorul evidențiază importanța introducerii elementelor de routare în sistemul de testare automat, înseamnănd practic o reducere a timpilor de lucru și o reducere a costurilor de dezvoltare pentru ATS. Pentru o situație ideală, într-un sistem de testare automat, ar trebui să existe un aparat de măsură pentru fiecare punct de testare, dar o asemenea abordare ar conduce la o creștere exagerată a costurilor de dezvoltare. Prin folosirea elementelor de routare se reduce practic numărul aparatelor de măsură necesare pentru dezvoltarea ATS-ului [18][65][73].

În figura 3.17 autorul prezintă două interfețe realizate pentru diferite proiecte din cadrul industriei automotive, cu mențiunea că interfața prezentată în figura 3.17 b poate fi folosită ca înlocuitor pentru prima interfață din figura 3.17 a.

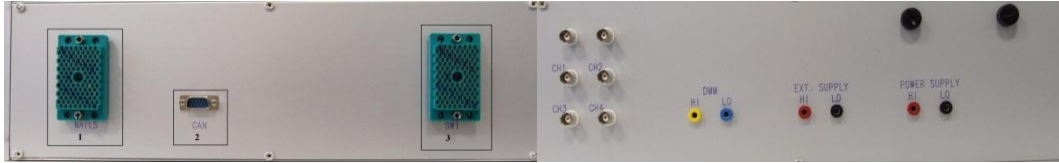


Figura 3.17 a Echipamente de interfațare folosite în dezvoltarea ATS-ului



Figura 3.17 b Echipamente de interfațare folosite în dezvoltarea ATS-ului

Din figura 3.17 b se pot observa doi conectori, care fac legătura între patul de cuie și unitatea de rutare. Între patul de cuie și interfață există un cablu care este construit de autor. Autorul menționează că interfața din figura 3.17b a fost folosită cu paturile de cuie prezentate în figura 3.5 b.

Pentru unitatea de rutare autorul a ales să folosească echipamentul Agilent 34970A, la care pot fi adăugate unitățile de multiplexare Agilent 34901A [11]. În figura 3.18 este prezentat aparatul Agilent 34970A.

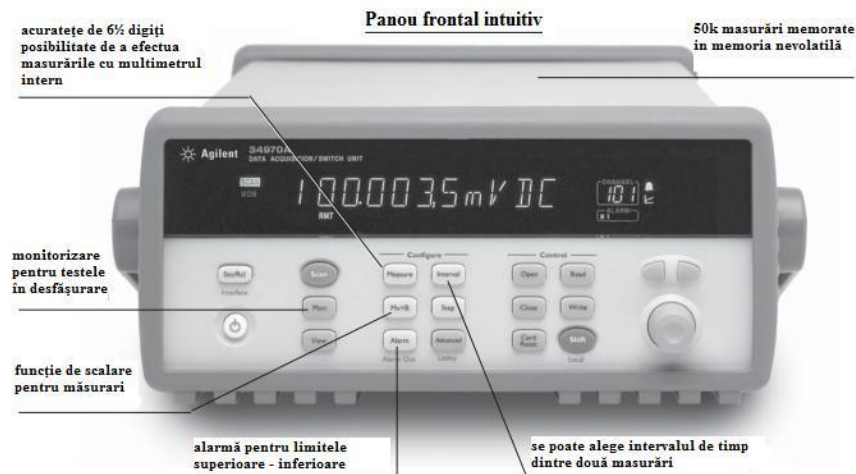


Figura 3.18a Agilent 34970A – partea frontală

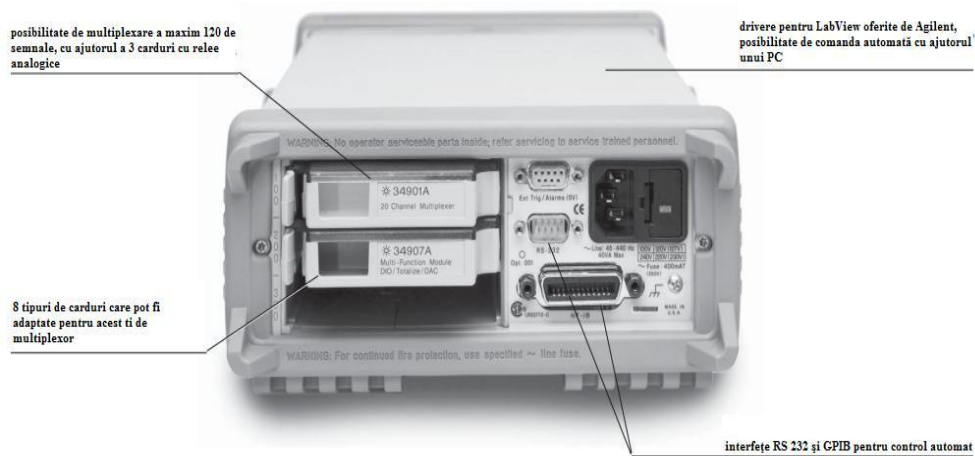


Figura 3.18b Agilent 34970A – partea dorsală

În figura 3.18 a este prezentată partea frontală a echipamentului de rutare. Pe acest panou frontal se pot observa principalele caracteristici ale aparatului:

- Posibilitate de a efectua măsurători de tensiune cu multimetrul intern al aparatului;
- Monitorizare pentru testele în desfășurare;
- Funcție de scalare pentru măsurători;

- Alarmă pentru limitele superioare, respectiv inferioare ale modulelor;
- Alegerea intervalului de timp dintre două măsurători;
- 50 K poate salva în memoria nevolatilă;
- De asemenea orice releu poate fi acționat de pe panoul frontal.

În figura 3.8 b este prezentată partea dorsală a aparatului. În această figură se pot observa porturile de comunicare disponibile pentru acest echipament: RS232 sau GPIB precum și posibilitatea de conectare a 3 module în interiorul aparatului. Prin alegerea unor module corespunzătoare se va construi un cablu special cu care vor fi efectuate cazurile de testare.

În figura 3.19 este prezentată unitatea de releu Agilent 34903A, cu topologia de rutare folosită în sistemul de testare propus. În momentul activării unui releu, acesta trece de pe starea normal închis în starea normal deschis, conectând semnalul la aparatul de măsură dorit sau realizând conectarea unui stimul extern la dispozitivul supus testării. Echipamentul Agilent 34970A poate integra trei asemenea unități de rutare, însumând o capacitate de rutare de 60 de semnale. Prin alegerea altor module de multiplexare, echipamentul Agilent 34970A poate avea o capacitate de multiplexare de maximum 120 de semnale. Avantajul major al modulului Agilent 34903A îl constituie faptul că toate releele pot fi comandate în poziția închis simultan, celelalte module având o singură ieșire multiplexată, aceasta însemnând că o singură intrare poate fi prezentă la ieșire. Puterea însumată a semnalelor rutate de acest modul poate fi de maxim 50W.

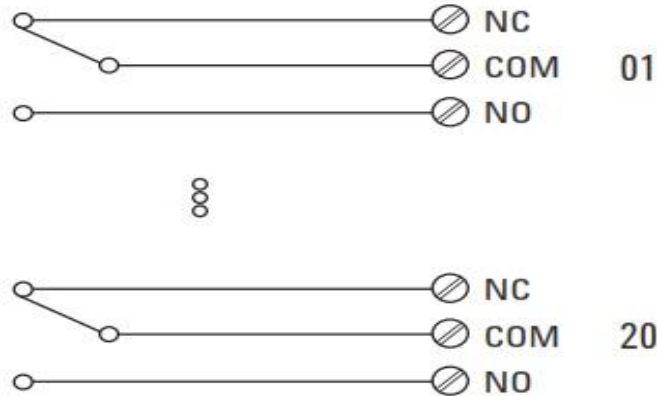


Figura 3.19 a Agilent 34903A – schema electrică

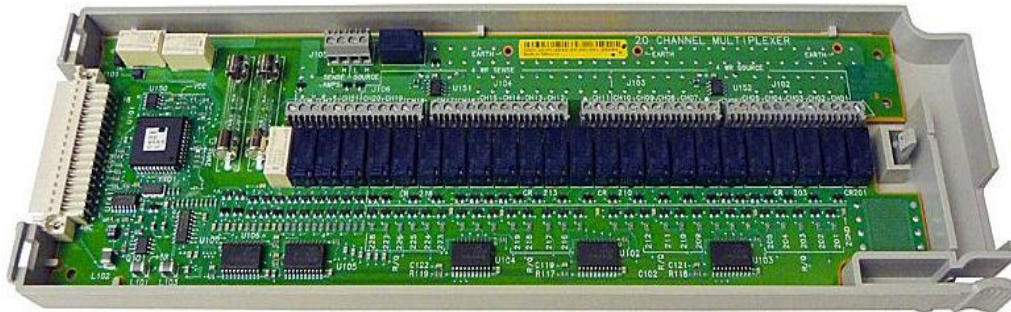


Figura 3.19 b Agilent 34903A – unitatea fizică de multiplexare cu 20 de relee

În figura 3.20 autorul prezintă implementarea unității de multiplexare / routare în cadrul proiectului CAD. Acest proiect oferă partea de documentare a implementării ATS-ului, ajutând totodată la urmărirea ușoară a semnalelor prin intermediul sistemului de testare.

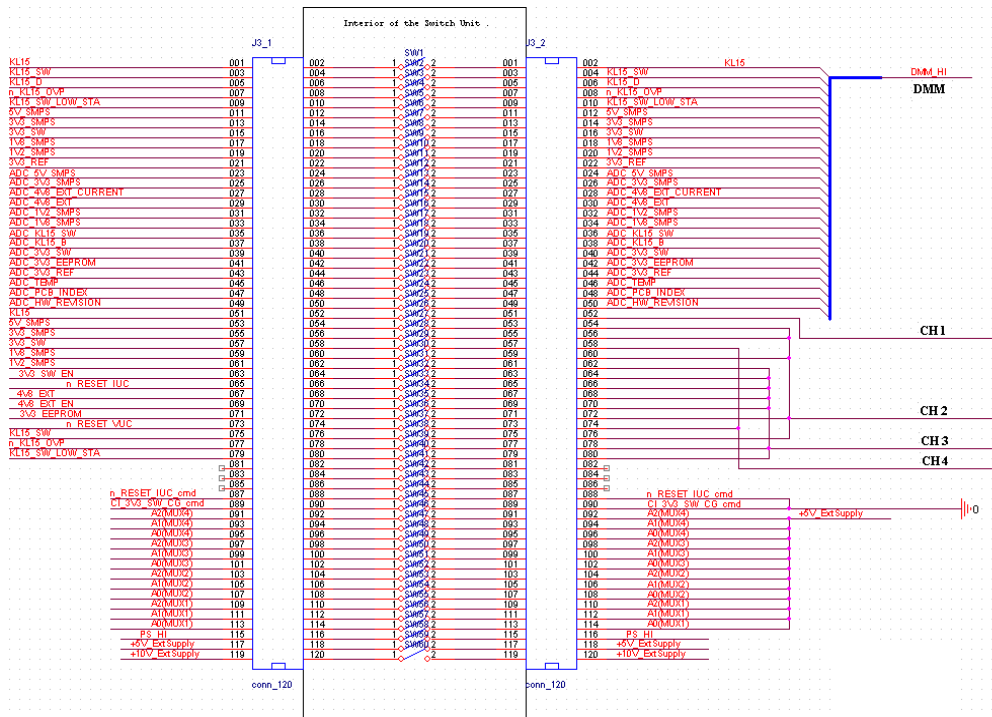


Figura 3.20 a Implementarea ORCAD a unității de multiplexare - vedere de ansamblu

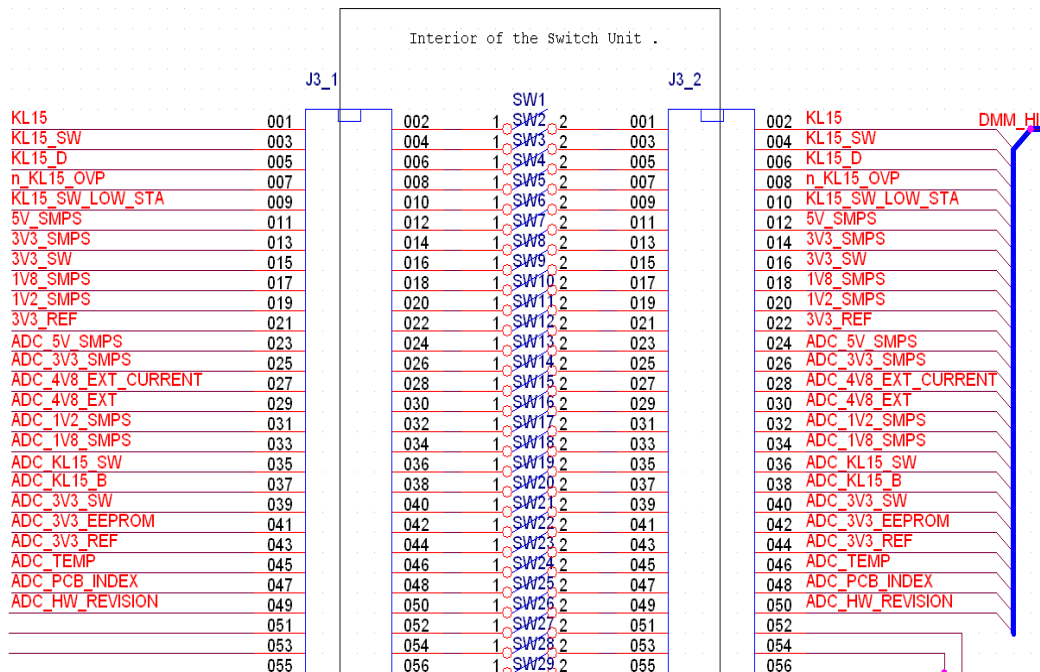


Figura 3.20 b Mărirea interiorului unității de rutare a semnalelor

3.2.5 Echipamente de măsură

Pentru alegerea corectă a echipamentelor de măsurat, parte integrantă a ATS-ului, trebuie avute în vedere caracteristicile statice și dinamice ale aparatelor de măsurat. În fapt, caracteristicile metrologice ale aparatelor de măsurat vor reprezenta capacitatea aceluia aparat de a furniza o valoare corectă a unui măsurand fără influențe electromagnetice.

Din nenumăratele teste efectuate de autor a reieșit că la alegerea unui aparat de măsurat, potrivit aplicației de testare, trebuie avute în vedere următoarele considerente [15][79][104]:

- Caracteristica de transfer statică – definește relația dintre semnalul de ieșire și măsurand;
- Intervalul de măsurare – reprezintă intervalul dintre limita inferioară de măsurare și limita superioară de măsurare;
- Rezoluția – reprezintă cea mai mică valoare a unui măsurand care poate fi apreciată la ieșirea acestuia;
- Sensibilitatea – reprezintă raportul dintre variația mărimii de ieșire și variația corespunzătoare mărimii de intrare;
- Eroarea absolută tolerată – reprezintă sensibilitatea unui aparat de măsurat la erorile sistematice;

$$\Delta_t = \pm(n \% * x + m \text{ LSD}), n > 0, m > 0 \quad (3.1)$$

$$\delta_t = \frac{\Delta_t}{x} * 100 = \pm(n + 100 * \frac{mLSD}{x})[\%] \quad (3.2)$$

Δ_t – eroarea absolută tolerată

δ_t – eroarea relativă tolerată

x – valoarea măsurată a semnalului de intrare

n – numărul de procente din valoarea măsurată

m – valoarea ultimului digit $3^{1/2}$

- Eroarea de decalaj – reprezintă o eroare absolută constantă în domeniul de măsurare folosit la aparat pentru măsurarea unui măsurand;
- Eroarea de sensibilitate – reprezintă o eroare de instrumentală proporțională cu valoarea măsurată, fiind constantă în intervalul de măsurare folosit;
- Eroarea de linearitate – eroare instrumentală care depinde nelinier de valoarea măsurată;
- Eroarea de histeresis – reprezintă deviațiile aparatului pentru aceeași valoare a măsurandului dar depinzând de sensul în care se efectuează măsurătoarea.

Caracteristicile dinamice ale unui aparat de măsurat definesc dependența dintre mărimea sa la ieșire (y) și mărimea de la intrare (x). Ecuația diferențială cu coeficienți constanți 3.3, caracterizează funcționarea aparatelor de măsurat:

$$\sum_{k=1}^n a_k \frac{d^k y}{dt^k} + a_0 y = \sum_{k=1}^m b_k \frac{d^k x}{dt^k} + b_0 x, \quad n \geq m \quad (3.3)$$

Soluția acestei ecuații este:

$$y(t) = y_{tr}(t) + y_p(t) \quad (3.4)$$

în care $y_{tr}(t)$ reprezintă soluția ecuației omogene iar $y_p(t)$ reprezintă o soluție particulară a ecuației diferențiale. Pentru rezolvarea ecuației diferențiale 3.3 este nevoie de cunoașterea condițiilor inițiale. De aceea, studiul comportamentului dinamic al unui aparat de măsură se va efectua atât în domeniul frecvență cât și timp. Pentru domeniul timp la intrarea aparatului se aplică un semnal de tip treaptă:

$$x(t) = \begin{cases} X_0, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases} \quad (3.5)$$

Astfel în regim static, atunci când X_0 are valoarea constantă soluția se obține când toate derivatele mărimilor x și y în raport cu timpul sunt nule.

$$y_p(t) = \frac{b_0}{a_0} X_0 = S_0 X_0, \quad t \geq 0 \quad (3.6)$$

S_0 – reprezintă sensibilitatea aparatului.

Pentru a afla răspunsul în frecvență a unui aparat se folosește ecuația 3.7 :

$$H(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} \quad (3.7)$$

$$H(j\omega) = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)} \quad (3.8)$$

$A(\omega)$ – reprezintă caracteristica amplitudine frecvență;

$\varphi(\omega)$ – reprezintă caracteristica fază frecvență.

Din cele prezentate mai sus se pot concluziona următoarele:

- Răspunsul unui aparat de măsură nu este unul de tip treaptă sau indicial deoarece regimul tranzitoriu este întotdeauna prezent într-o operație de măsurare;
- Datorită răspunsului aparatului de măsură în frecvență rezultă că dacă frecvența semnalului de intrare depășește o anumită valoare variația la ieșire nu poate reda variația de la intrare, rezultând o formă distorsionată.

Datorită erorilor cât mai reduse care trebuie introduse de aparatul de măsură, având în vedere cele prezentate mai sus, acuratețea sistemului de testare automată dorindu-se a fi cât mai ridicată în acest caz, autorul a ales pentru dezvoltarea sistemului de testare automată următoarele instrumente: Agilent DMM (multimetru digital) 34410A și osciloscoapele LeCroy WaveSurfer 64Xs și Textronix DPO7200.

În figura 3.21 se prezintă schema bloc a multimetrului digital produs de Agilent 34410A, folosit în sistemul de testare conceput de autor.

Din schema bloc se poate observa că aparatul este construit din circuite cu legare la pământ și circuite cu masă flotantă. Faptul că o parte a circuitelor sunt conectate la o masă flotantă față de punctele de măsură îl face extrem de util în cadrul sistemelor de testare automată din cadrul industriei automotivă. Datorită echipamentului de interfațare prezentat mai sus, la acest multimetru pot fi conectate majoritatea semnelor preluate de pe partea inferioară a ECU-ului. Multimetrul are posibilitatea de a măsura continuități, tensiuni continue, tensiuni alternative, rezistențe, frecvențe, impedanțe sau alți parametri electrici ai semnalului.

Producătorul Agilent, oferă toate informațiile referitoare la acest produs astfel erorile aparatului sunt cunoscute: termice, de încărcare, scurgeri de curent, erori datorate rejecției de mod normal (DMM-ul măsoară și integrează valoarea medie într-un interval de timp), erori datorate rejecției de mod comun imperfecte, datorate buclilor de câmp magnetic, datorită buclilor de masă. Astfel de erori pot fi diminuate prin circuite de măsură corecte care reduc mărimea acestora comparativ cu valoarea utilă. O altă măsură pentru a reduce erorile de măsurare este folosirea aparatului pe domeniul de măsură potrivit.

În cadrul ATS-ului dezvoltat în lucrare sunt folosite următoarele funcții ale DMM-ului:

- Tensiuni de intrare în domenii de la 100mV la 1000V;
- Rezistența măsurată la 2 fire în domenii : 100Ω – 1000MΩ;
- Rezistența măsurată la 4 fire în domenii : 100Ω – 1000MΩ;
- Curent continuu în domenii de la 10mA la 3A;
- Tensiuni AC în domenii : 100mV – 750V (frecvențe de la 3Hz – 300KHz);
- Curenți AC True RMS în domenii : 100mA – 3A (frecvențe de la 3Hz – 5KHz).

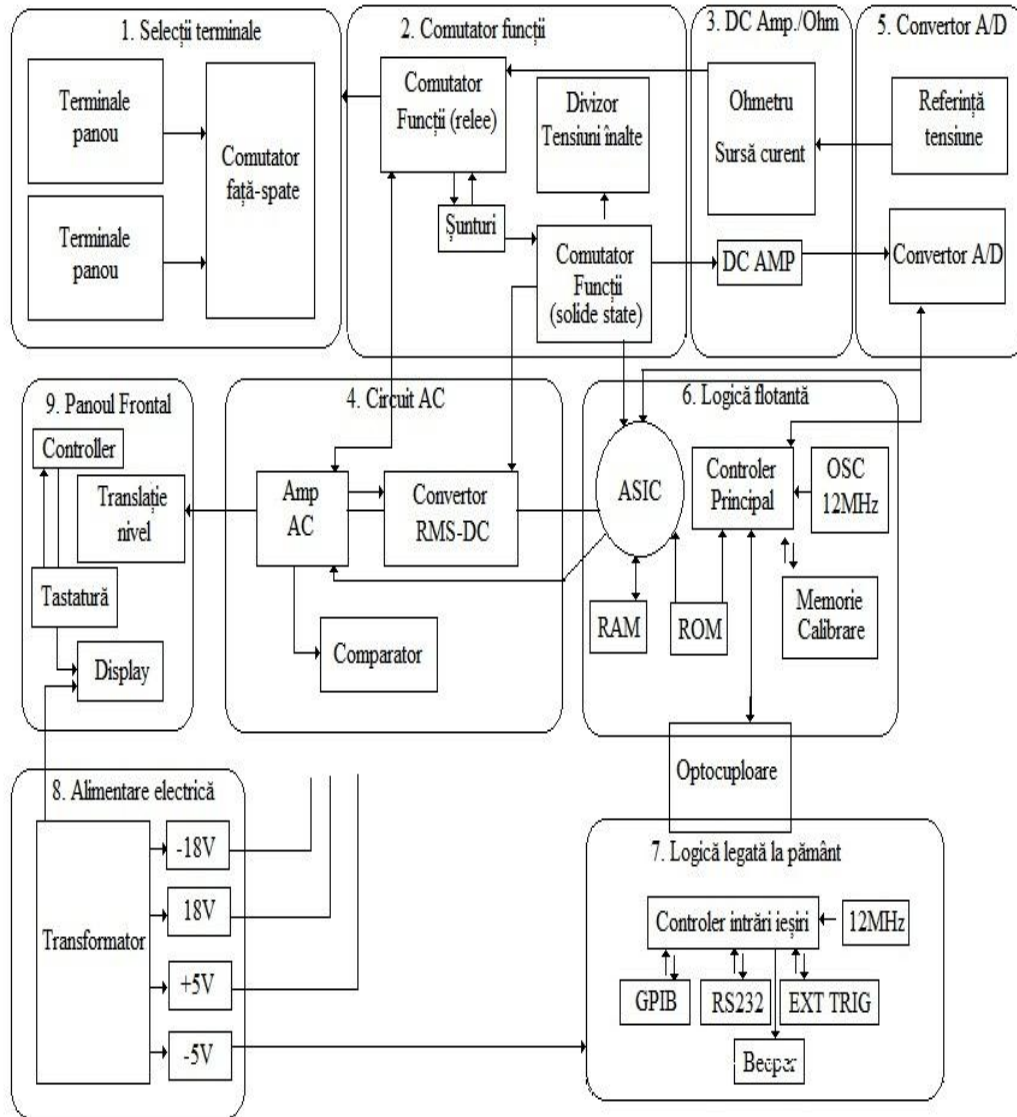


Figura 3.21 Schema bloc a multimetrului digital Agilent 34410A[176]



Figura 3.22 Multimetrul Digital 34410A

Multimetrul oferă posibilitatea ca acest aparat să fie setat atât în mod manual, cât și în mod control de la distanță (*remote control*) prin intermediul interfețelor RS-232 sau GPIB [5]. Pentru programarea aparatului, în modul control de la distanță aparatul poate fi comandat cu ajutorul unor drivere create în mediul de programare LABView sau folosind comenzi SCPI în format C (Standard Commands for Programmable Instruments). Pentru ca multimetrul digital să fie comandat de la distanță în condiții de siguranță se execută următoarea secvență:

1. Se aduce DMM-ul într-o stare cunoscută (inițializare);
2. Trecerea în control de la distanță;
3. Se alege domeniul de măsură, ce tip de mărime electrică se așteaptă la intrare;
4. Se setează condițiile de declanșare a măsurării, dacă există;
5. Se inițializează măsurătoarea;
6. Se execută măsurarea;
7. Se extrage valoarea măsurată din buffer-ul instrumentului;
8. Se salvează datele pe calculator.

Măsurătoarea propriu-zisă se execută de la pasul 3 la pasul 5.

În cadrul standului de testare creat este nevoie de un osciloscop care să poată măsura următorii parametri de semnal:

- *Rise time 10-90;*
- *Fall time 90-10;*
- *Delay;*
- *Duty cycle;*
- *Period;*

- *Frequency;*
- *Overshoot positive;*
- *Overshoot negative;*
- *Amplitude;*
- *Mean;*
- *Base;*
- *Top;*
- *Average;*
- *Peak-to-peak;*
- *Minimum;*
- *Maximum;*
- *Width positive;*
- *Width negative;*
- *Area;*
- *Duration.*

Pe lângă posibilitatea de măsurare a parametrilor semnalelor electrice aplicate la intrare, aceste osciloscopuri mai oferă și următoarele posibilități utile ATS-ului:

- Efectuare de *trigger* după diferite funcții;
- Posibilitatea efectuării unor transformate Fourier;
- Posibilitate de operații matematice între două semnale: adunări, scăderi, înmulțiri, împărțiri;
- Posibilitatea comandării aparatelor prin GPIB sau ethernet;
- Posibilitatea salvării de poze pe hard disc-ul local al calculatorului;
- Posibilitatea salvării unor setări a panoului frontal și rechemarea setărilor;
- Posibilitatea etichetării canalelor;
- Posibilitatea de citire a parametrilor mășurați;
- Posibilitatea selectării impedanței de intrare.

ATS-ul cel mai folosit, și cu cele mai reduse costuri este cel construit cu osciloscopul LeCroy WaveSurfer 64Xs. Osciloscopul Tektronix poate fi folosit pentru aplicații speciale unde sunt necesare măsuri de precizie ridicată, spre exemplu *rise time* de ordinul nanosecundelor. Dintre parametrii osciloscopului LeCroy WaveSurfer 64Xs autorul îi menționează pe cei mai importanți:

- Bandwidth-ul de la 200MHz – 1GHz;
- 2.5GS/s (până la 5GS/s la 1GHz);
- Ecran de 10.4" cu senzor tactil;
- Funcții matematice de tip $G(f(x))$;
- Posibilitate de analiză a semnalelor pe SPI și I2C;
- Impedanța de intrare $1M\Omega/50\Omega$;
- Intrare AC sau DC;
- Comanda automată prin interfață LAN.

3.2.6 Echipamente de comunicație

Pentru realizarea acestui sistem de testare automat, autorul alege folosirea unui convertor USB la interfața *General Purpose Interface Bus* – GPIB [3][37][62][99][100][166]. Acest convertor este produs de firma Agilent, numit Agilent 82357A, și poate comanda 14 dispozitive pe magistrala GPIB [7][74]. Pe lângă acest convertor GPIB, folosit la comanda de la distanță a echipamentelor electronice, autorul mai integrează și un sistem de comunicație pe *Control Area Network* – CAN iar osciloscopul poate fi comandat pe magistrala Ethernet [9][75].

Firma Hewlett-Packard, devenită ulterior Agilent Company, a implementat pentru prima dată, în anul 1975, protocolul de comunicație între un calculator și diverse instrumente de măsură definind standardul IEEE 488.1 – denumit interfață digitală standard pentru instrumente programabile. În acest standard pot fi regăsite specificații pentru elemente electrice, mecanice și funcționale pentru sistemul de interfațare. Deoarece acest prim document standard nu impunea standardizări privind protocolul de comunicație, în anul 1990, apare IEEE 488.2 – denumit “Comenzi standard pentru Instrumente Programabile” sau SCPI care reglementează standardul privind comenzile specifice pentru fiecare clasă de instrumente. Acest standard trebuie respectat de către producătorii de echipamente, pentru ca echipamentele să devină portabile și interschimbabile. Astfel în momentul actual standardul IEEE 488 este specificat complet, IEEE 488.1 și IEEE 488.2, definind toate părțile protocolului de comunicație GPIB. Datorită faptului că protocolul a devenit foarte răspândit, în momentul actual majoritatea sistemelor de testare automată au în componența lor diferite instrumente comandate pe GPIB, producătorii integrând în toate instrumentele acest protocol de comunicație. Marele avantaj ale acestui convertor este faptul că orice instrument poate fi conectat sau deconectat în orice moment, este de tip *hot-PlugIn/PlugOut*.

Pentru o mai bună înțelegere a protocolului de comunicație GPIB, se prezintă principalele caracteristici ale celor două specificații pentru standardele: IEEE 488.1 și IEEE 488.2 [89][90].

Standardul IEEE 488.1

Standardul IEEE 488.1 definește părțile fizice ale GPIB-ului, astfel interfața GPIB trebuie înțeleasă ca o interfață digitală paralelă pe 8 biți, cu o viteză de transfer de până la 1MB/s. Această magistrală poate comanda maxim 14 instrumente cu un controler de sistem, legătura fizică fiind constituită dintr-un cablu compus din 24 de fire ecranate, având ca terminație un conector standard.

Din cele 24 de fire ecranate, fiecare fir reprezentând practic o linie de semnal, se pot distinge:

- 16 linii de semnal, dintre care 8 linii de date, 5 linii de comandă și 3 linii de handshake;
- 8 linii de masă.

Tabel 3.1 – Liniile interfeței GPIB

Categoria	Linia	Nume
8 linii de date	DIO 1-8	Data Input Output
5 linii de comanda	REN	Remote Enable
	ATN	Attention
	IFC	Interface Clear
	SRQ	Service Clear
	EOI	End or Identify
3 linii de handshake	DAV	Data Valid
	NRFD	Not Ready for Data
	NDAC	Not data accepted
8 linii de masă	GND	Ground

Linia ATN, în cazul acestui protocol de comunicație joacă un rol important, deoarece aceasta ajută la distingerea datelor destinate instrumentelor și mesajele de interfață. Astfel pentru a transmite date înspre și dinspre instrumente este necesar ca linia ATN = 0, iar mesajele de interfață să fie transmise cu ATN = 1.

Pentru a putea construi un sistem de testare automată pe baza acestui standard, se prezintă contrângerile fizice ale protocolului de comunicație. Protocolul GPIB asigură transmisia și recepția fără erori, pe cele 8 linii de date, folosind o interblocare pe 3 linii. Dar protocolul de comunicație poate deveni ineficient, în cazul în care se depășesc următoarele limite:

- Distanța maximă dintre două instrumente conectate printr-un cablu GPIB să fie de maxim 4m;
- Lungimea maximă a cablului folosit pentru interfața digitală GPIB să fie de maxim 20m;
- Conectarea la interfața digitală a maxim 14 instrumente;
- Semnalele sunt transmise cu logica TTL negativă;
- Capacitatea de intrare a instrumentelor să nu fie mai mare de 50pF.

În următorul tabel 3.2, se prezintă nivelele logice ale semnalelor GPIB:

Tabel 3.2 – Nivelurile logice ale protocolului GPIB

Nivel de tensiune		Mesaj		Exemplu
High	> 2V	Fals	0	DAV Low
Low	< 0.8V	Adevarat	1	DAV True

Procedura GPIB pentru realizarea handshake-ului folosește conceptul de "SAU-Cablat" pentru liniile NRFD și NDAC însemnând că NRFD trece pe valoare High când nici un instrument nu trage această linie pe valoare Low. NRFD este negatul liniei RFD (Ready for data), aceasta înseamnă că atunci când un instrument dorește să comunice cu alte instrumente, pe linie se va transmite RFD pe True care înseamnă că dispozitivul este gata să primească date. Pentru o mai bună percepție a modului cum se transmit datele, autorul prezintă figura 3.25:

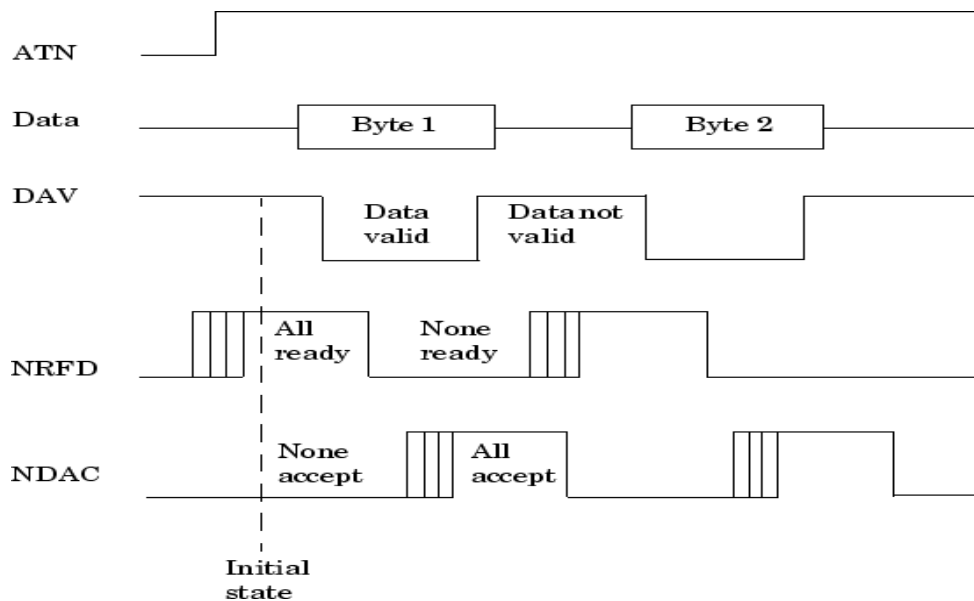


Figura 3.23 – Transmisia datelor prin GPIB

Când sursa ocupă cele 8 linii de date cu un nou octet, aceasta va trimite DAV = True pentru a semnala că există date pe bus. După un anumit timp de stabilizare, destinatarul transmite un mesaj RFD = False (NRFD = Low), iar atunci când un destinatar a recepționat datele se transmite DAC = Passive true, iar când toate datele au acceptat datele se pune linia NDAC = High iar sursa primește mesajul că datele au fost acceptate. În acest mod datele pot fi transmise pe magistrala GPIB.

Standardul IEEE 488.2

Prin acest standard se stabilește sintaxa mesajelor asigurând practic o comunicare între instrumente fără întreruperi. Pentru aceasta a fost implementat protocolul MEP, protocol care prevede că un instrument nu trebuie să transmită date dacă nu i se solicită acest lucru. În standardul IEEE 488.2 se găsesc de asemenea reglementări legate de raportarea erorilor, raportarea statusului, cum se realizează sincronizarea între instrumente, sincronizarea între controller și instrument. Practic semantica mesajelor transmise pe magistrala GPIB nu este standardizată în cadrul IEEE 488.2, dar producătorii folosind recomandarea Agilent de a folosi programarea dispozitivelor folosind SCPI se poate considera ca fiind parte a standardului. SCPI reprezintă un nivel înalt de programare prin care practic s-au standardizat principalele comenzi acceptate de instrumentele care au în componență magistrala GPIB atât din punct de vedere al sintaxei cât și al semanticii [4][76][77].

Comunicația Controller Area Network

Aceasta este foarte răspândită în autovehiculele secolului XXI, fiind principala magistrală de comunicare între senzori. Pentru acest sistem de testare, implementat în industria automotive, autorul dorește să evidențieze nevoia folosirii unui dispozitiv de tipul CAN Case sau CAN card, care permite trezirea ECU-ului. Fără un dispozitiv de acest tip, practic software-ul ECU-ului nu este disponibil, fiind în stare de *sleep* (în stare de *sleep* sau adormită SW-ul nu este activ). Acest dispozitiv va comunica pe portul USB al calculatorului numai în urma instalării unui software, numit CANoe communication, disponibil pe CD la cumpărarea produsului. Mai jos se va prezenta principiul de funcționare al dispozitivului:

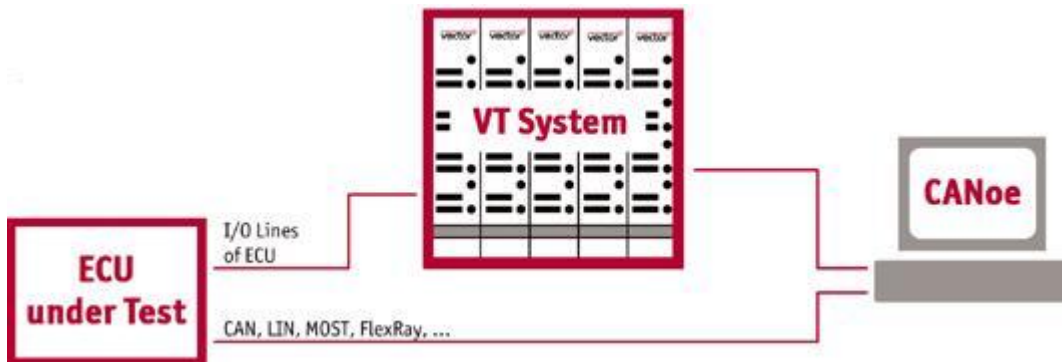


Figura 3.24 Principiu de funcționare CAN

Pentru o mai bună înțelegere a cazurilor de testare implementate pentru a fi supuse testării, caracteristicile fizice și standardul referitor la magistrala CAN vor fi prezentate de către autor în capitolul 4.

3.2.7 Echipamente de calcul

Deoarece sistemele de testare automată, au o parte hardware și o parte software, se impune integrarea unui sistem de calcul [97]. Sistemul de calcul este compus din unitatea centrală și periferice: monitor, tastatură, mouse. Din componența plăcii de bază a calculatorului portul RS232 este necesar pentru posibilitatea de conectare a unei camere climatice [98].

Astfel, comanda instrumentelor, componente ale ATS-ului, se realizează la distanță cu ajutorul unor programe instalate pe acest calculator. Totodată interpretarea rezultatelor, prelucrarea și stocarea lor se va realiza pe hard disc-ul local al calculatorului. Prin intermediul monitorului se realizează interfațarea cu utilizatorul prin intermediul GUI-ului (*graphical user interface*). Începerea, status-ul testului în derulare, precum și terminarea unei secvențe de test se pot realiza de pe acest calculator prin intermediul software-ului instalat. Capabilitățile programului de

testare, performanțele și deciziile implementate în software-ul operațional sunt în strânsă legătură cu performanțele calculatorului. Viteza de calcul a unor parametrii este influențată de puterea de calcul a procesorului, numărul de poze salvate depinde de capacitatea hard disc-ului local al calculatorului, numărul de dispozitive comandate depind de porturile de ieșire a unității centrale.

Se recomandă folosirea unui calculator de generație cât mai nouă pentru a crește performanțele sistemului de testare automată. Totodată o recomandare a autorului este folosirea unui sistem de calcul de tip desktop, datorită vitezei de calcul ridicate și a porturilor accesibile comparativ cu un sistem de calcul de tip notebook unde viteza de calcul e mai redusă și a numărului de porturi mai redus. De remarcat este faptul că un sistem de calcul de tip notebook conferă o mobilitate mai ridicată utilizatorului, sistemul fiind mai ușor de relocalat. În cazul sistemelor de testare de tip HiL, datorită faptului că dispăre convertorul de tip USB2GPIB autorul recomandă folosirea unui sistem de calcul de tip notebook, deoarece oferă mobilitate ridicată – posibilitate de interfațare cu HiL-ul de tip remote din orice încăpere cu condiția să existe o legătură permanentă la internet.

Cerințele minime impuse sistemelor de calcul pentru ATS-uri sunt:

- Procesor: minim 2,3 Ghz (Intel , AMD);
- Memorie: 4Gb DDRAM 3;
- HDD: minim 500 Gb, pentru salvarea cât mai multor date;
- Placa video: minim 64Mb;
- Unitate Optică, pentru posibilitatea de instalare a diverselor programe necesare dezvoltării sistemului de testare automată;
- 3 porturi USB 2.0 necesare pentru conectarea diferitelor echipamente de comunicație de tip: USB2GPIB, Vector CAN Case sau a diferitelor licențe hardware pentru programe;
- Port Serial, posibilitate conectare camera climatică în cadrul ATS-ului de la nivele de component sau conectarea interfeței de realizare a erorilor în cazul HiL-urilor;
- Sistem de operare: Windows XP.

3.2.8 Echipamente de injectare a semnalelor

Dezvoltarea unui sistem de testare automat, pentru industria automotive înseamnă și integrarea unor instrumente de injectare a semnalelor. Din experiența autorului, generatorul de funcții și amplificatorul nu au cum să lipsească din componența unui ATS destinat industriei automotive.

Producătorii de autovehicule, doresc odată cu livrarea produsului să primească și rapoartele de testare care atestă conformitatea produsului. Dezvoltatorii de autovehicule doresc a vizualiza sub forma unor oscilograme, răspunsul ECU-ului la diferite forme de undă aplicate la intrarea acestuia. Bineînțeles aceste forme de undă sunt construite din funcțiile de bază ale unui generator de funcții de tip [1]:

- Formă de undă sinusoidală;

- Formă de undă dreptunghiulară;
- Formă de undă rampă;
- Formă de undă zgomot;
- Formă de undă aleatoare.

Pentru domeniul industriei automotive au fost alese următoarele instrumente generatoare de semnal, prezentate în figura 3.27:

- Generator de funcții/ forme de undă Agilent 33250A;
- Amplificator HSA 4014.



a. Generator de funcții

b. Amplificator de semnal

Figura 3.25 Instrumente generatoare/amplificatoare de semnal

Generatorul de funcții Agilent 33250A are următoarele caracteristici, care îl fac adecvat utilizării în industria automotive:

- Posibilitate de comandare remote: GPIB sau RS-232;
- Poate genera semnale de până la 80 MHz : sinus sau dreptunghi;
- Poate construi diferite forme de undă cu ajutorul mai multor puncte;
- Se pot încărca diferite forme de undă din fișiere de tip CSV (*comma separate values*);
- Capabilitate de declanșare în urma unui impuls de start - *trigger*;
- Posibilitate de manipulare a fronturilor formelor de undă;
- Display color pentru posibilitatea de verificare a parametrilor formelor de undă generată;
- Posibilitate de activare/oprire a semnalului generat la ieșire;
- Posibilitate de schimbare a impedanței de ieșire a aparatului, de la 50Ω la înaltă impedanță HI-Z;
- Poate genera o amplitudine de maxim 20V pe o sarcină HI-Z;
- Poate efectua modulații în amplitudine sau frecvență cu modulator intern sau extern, în cazul celei de-a doua opțiuni este necesar un al doilea generator de funcții.

Amplificatorul HSA 4014 este folosit atunci când cerințele OEM-ului referitor la semnalele de la intrarea ECU-ului nu pot fi îndeplinite cu ajutorul sursei de

alimentare uzuale sau a generatorului de funcții. Amplificatorul prezentat în figura 3.27 are următoarele caracteristici:

- Tensiune maximă la ieșire: 150 V vârf-la-vârf în funcție de impedanța de la ieșire;
- Curent maxim: 1Arms, 2.82Ap-p;
- *Slew-rate* 600V/us;
- Impedanța: $0.5\Omega \pm 1.5\mu\text{H}$ max;
- Semnale inversat față de intrare;
- DC bias: $\pm 50\text{V}$;
- 2 intrări;
- Câștiguri de x10, x20, x50, x100;
- Impedanța de ieșire selectabilă: $50\Omega / 600\Omega$;
- Răspuns în frecvență: 1MHz;
- Tensiune de intrare: AC 100V/200V/240V, 48Hz-62Hz.

Pentru îndeplinirea standardelor ISO 19750, acest amplificator se încadrează în parametrii ceruți de OEM. Merită evidențiat faptul că folosirea acestui amplificator scade gradul de automatizare a testelor, cazurile de testare unde este nevoie de acest amplificator devin semiautomate deoarece au nevoie de intervenția operatorului uman. Din cercetările efectuate până în 2011 nu au fost găsite amplificatoare de semnale comandabile pe GPIB sau RS-232, dar faptul că nu sunt comandabile nu reprezintă singurul impediment. Conectarea generatorului de funcții la amplificator reprezintă un alt impediment pentru automatizarea completă.

3.3 Particularități hardware ale ATS-ului

În acest paragraf, *autorul prezintă principalele particularități întâlnite pe parcursul dezvoltării acestui sistem de testare automată, particularități care pot influența calitatea rezultatelor oferite de sistemul de testare automată.*

Pentru a avea o privire de ansamblu la dezvoltarea unor proiecte ulterioare asupra materialelor, a fost creată o listă cu toate echipamentele și materialele necesare pentru crearea acestui proiect. Astfel se pot evidenția și corela viitoarele diferențe dintre proiecte. Am intitulat această listă de materiale BOM – *bill of materials*. În aceasta se trec de la echipamentele electronice necesare furnizorii de echipamente sau alte materiale necesare testării, echipamentele propriu-zise, conectori folosiți, componente electronice, cabluri, PCB-uri integrate, carcase, timpi estimați. Pentru crearea acestei liste s-a folosit programul Microsoft Excel.

Primul aspect avut în vedere a fost acela legat de alegerea cablurilor care vor realiza legăturile fizice dintre probele de testare / ace și conectorul patului de cuie, dintre patul de cuie și interfață, cabluri care vor realiza și legăturile din interiorul interfeței și a unității de rutare. Se recomandă, în funcție de aplicațiile la care este folosit ATS-ul, folosirea unor cabluri ecranate cu tresa metalică având impedanța de 50Ω pe care pot fi transferate semnale de diferite frecvențe, în funcție de necesități, sau a unor cabluri ecranate simple [12]. Pentru liniile de alimentare sau de putere mare trebuie avută grijă la intensitatea maximă a curentului ce poate fi

suportată de aceste cabluri. În momentul în care se realizează legătura dintre aceste fire, indiferent de partea ATS-ului în care se află, se recomandă formarea următoarelor legături: o legătură formată din cablurile de alimentare, formată din cabluri de semnale cu frecvențe mici, o legătură formată din cabluri de semnale cu frecvențe medii și o legătură de cabluri de semnale cu frecvențe mari. În cazul legăturilor amestecate, având cabluri din toate grupele, trebuie folosite cabluri speciale ecranate în cazul semnalelor care pot influența sistemul de testare. Dimensiunea cablurilor care se folosesc la construcția ATS-ului trebuie să fie cât mai mică, dar să permită totodată mișcarea unor echipamente în cadrul standului de testare. Prin dimensiunea redusă a cablurilor se limitează căderea de tensiune pe aceste cabluri. La folosirea sistemului în cadrul unor aplicații de tip RF se recomandă folosirea unor cabluri coaxiale pentru a realiza adaptarea de impedanță și a minimiza zgomotul radiat iar ca terminație se folosesc conectori pentru cabluri coaxiale pentru menținerea integrității semnalului. Având o cale de semnal adaptată ca impedanță înseamnă automat o reducere a reflexiilor semnalelor pe acea cale de semnal.

Deoarece pe parcursul întregului sistem lungimea cablului va crește considerabil, pentru o mai bună trasabilitate a semnalelor se alege o metodă de etichetare a acestora. Pentru trasabilitate autorul a folosit proiectul creat în OrCAD Pspice, numărul pinului fiind suficient pentru a identifica un semnal, fiecare pin în acest proiect având atașat un identificator propriu. Totodată, fiecare conector este denumit/marcat corespunzător, iar fiecare conector are un semn distinct pentru pinul cu numărul 1. Pini folosiți se recomandă a fi pini auriți, care să corespundă nevoilor de curent ale dispozitivelor de testare supuse testării. Firul împreună cu pinul trebuie să poată transfera curentul/puterea maxim/ă necesare DUT-ului.

Al doilea aspect este legat de reducerea zgomotului din cadrul ATS-ului. În sisteme de testare automate pot apărea următoarele tipuri de zgomote: zgomote apărute la cuplări capacitive, zgomote de impedanțe comune, perturbații ale câmpului magnetic și ale câmpului electric. Pentru o cale de semnal care trece printr-un mediu zgomotos există toate șansele ca acest semnal să fie perturbat și să conducă perturbația și în sistem. Zgomotul datorat cuplajelor de impedanță comună este datorat unor curenți de intensități diferite care trec printr-o impedanță comună. Prin acest cuplaj este influențată tensiunea de masă a celor două semnale. În ceea ce privește fiecare circuit în parte înseamnă că potențialul de masă a unui circuit este modulată de curentul celuilalt circuit care se scurge spre masa comună, aceasta conducând la conducerea zgomotului prin cuplaj. De asemenea câmpurile magnetice și electrice radiante perturbă atunci când există transfer de sarcină sau există diferență de potențial iar perturbațiile de înaltă frecvență pot fi transformate în offset-uri DC [78].

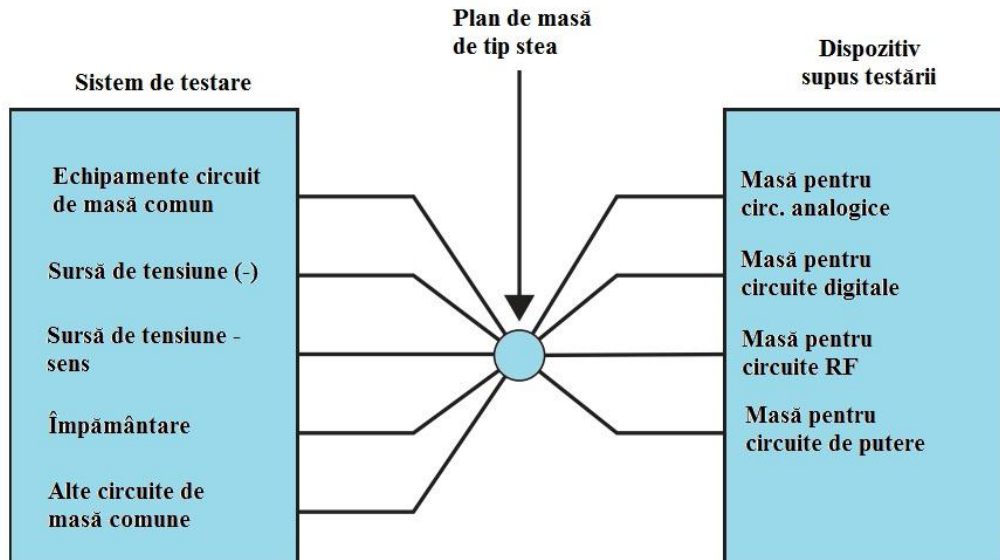


Figura 3.26 Plan de masă de tip stea

Pentru a putea fi efectuate măsurători cu acuratețe, cerute de industria automotive, într-un sistem de testare automată trebuie alese strategii privind distribuția planului de masă și strategii de ecranare. Planul de masă și ecranarea reprezintă cele mai uzuale soluții pentru rejecția zgomotului din sistem. Atunci când se proiectează planul de masă trebuie avută în vedere reducerea tensiunii perturbatoare datorate diferențelor curenți, a diferitelor circuite existente, care trec printr-o impedanță comună. Totodată la crearea unui plan de masă autorul recomandă evitarea creării unor bucle de masă foarte mari care pot introduce radiații ale câmpului magnetic. Pentru îndeplinirea acestor cerințe autorul a folosit un plan de masă de tip stea, prezentat în figura 3.26.

Al treilea aspect este cel reprezentat de protecții, atât mecanice cât și electrice. Dacă sistemul este încapsulat într-un stand de testare în care există ventilatoare, acestea trebuie poziționate într-un mod în care operatorul uman nu are acces la acesta, evitând astfel rănirea proprie. Din punct de vedere electric trebuie integrate sisteme de siguranță privind depășirea unor tensiuni mari sau a unor curenți limită evitând astfel distrugerea echipamentelor.

Experiența dobândită de autor la realizarea acestui testor arată că în cazul folosirii camerei de temperatură, în cadrul unor cazuri de testare care necesită testarea în plaja $-40^{\circ}\text{C} \rightarrow 105^{\circ}\text{C}$, după atingerea temperaturii dorite să existe un timp de stabilizare a temperaturii de minimum 30 de min. Datorită faptului că temperatura în camera climatică poate urca cu 1°C pe minut, în jurul temperaturii dorite stabilizarea acesteia are forma unei oscilații amortizate. Totodată, prin

respectarea acestui timp, autorul a observat că și ECU-ul atinge temperatura dorită, acest aspect fiind relevant în cazul testelor desfășurate pentru industria automotive.

3.4 Concluzii și contribuții personale

Concluzii

În acest capitol autorul prezintă principalele aspecte privind construcția arhitecturii hardware a sistemelor de testare automată realizate pentru industria automotive. Principalele considerații avute în vedere de autor la realizarea acestui sistem de testare automată au fost prezentate în formă detaliată în paragrafele de mai sus.

În figura 3.1 se poate observa schema bloc a sistemului de testare automată implementat în cadrul unui producător de componente automotive, pentru testarea hardware și funcțională a unor ECU-uri. În figura 3.4, autorul evidențiază principalele echipamente care construiesc ATS-ul, grupându-le după următoarele categorii:

- Patul de cuie;
- Sursă de alimentare;
- Echipamente de măsură;
- Echipamente de interfațare și routare;
- Echipamente de injectare stimuli;
- Echipamente de comunicație;
- Echipamente de calcul.

În figura 3.5, a și b, autorul prezintă paturile de cuie realizate pentru fixarea diferitelor tipuri de ECU-uri testate în cadrul producătorului de componente automotive. În funcție de cerințele proiectului au fost construite paturi de cuie de diferite dimensiuni, unele având integrate suplimentar o placă de multiplexoare. Această placă de multiplexoare ajută la routarea semnalelor de înaltă frecvență, în acest mod autorul evitând perturbarea altor linii de semnal.

În cadrul ATS-urilor de tip HIL, patul de cuie nu există, conectarea ECU-ului la sistem realizându-se ca în autovehicul cu ajutorul conectorului de intrare.

În figura 3.16 autorul prezintă sursa de alimentare integrată pentru alimentarea ECU-ului. Autorul a identificat, din punct de vedere al proiectelor pentru care a fost dezvoltat ATS-ul, următoarele caracteristici ale sursei de alimentare care trebuie îndeplinite pentru a putea fi integrată în sistem:

- Capabilitate de curent de minim 500mA;
- Tensiune minimă de alimentare 6V;
- Tensiune maximă de alimentare 40V;
- Posibilitate să fie comandată GPIB;
- Ieșirea sursei de tensiune să fie comandabilă;

Sursa de tensiune aleasă pentru acest sistem de testare automată respectă caracteristica de funcționare tensiune-curent prezentată de autor în figura 3.16.

Pentru ca ATS-ul să îndeplinească sarcini de testare, măsurare și validare, am ales să integrez două aparate de măsură de următorul tip:

- Multimetru digital: Agilent 34410 A;
- Osciloscop.

Aparatele de măsură sunt prezentate în figurile 3.22. ATS-ul poate suporta două tipuri de osciloscop, deoarece în partea de software au fost implementate driverele pentru ambele aparate. Se menționează și se subliniază faptul că driverele create pentru LeCroy sunt compatibile cu mai multe echipamente de acest tip, ale acestui producător. Printre funcțiile cele mai importante la selectarea aparatelor sunt:

- Pentru DMM: măsurarea continuității, măsurarea tensiunilor, măsurarea curenților, măsurarea rezistențelor, măsurarea frecvențelor, alegerea domeniilor de măsurare este importantă – aparatul ales de autor pentru acest ATS poate realiza în modul AUTO această funcție.
- Pentru osciloscop sunt importante: posibilități multiple de *trigger*, patru canale analogice, adaptarea impedanței de intrare, posibilitatea de efectuare a operațiilor matematice, posibilitatea de etichetare a canalelor, opțiuni de ajustare a canalelor și a bazei de timp pe mai multe domenii.

În continuarea capitolului, după prezentarea aparatelor de măsură, autorul prezintă soluția aleasă pentru routarea semnalelor electrice prin intermediul standului de testare. Routarea este punctul critic al aparatului, în funcție de cum este realizată această routare fiind afectate performanțele sistemului de testare. Ca principale caracteristici care trebuie respectate atunci când se efectuează routarea semnalelor, se subliniază: routarea separată a semnalelor de diferite frecvențe, planul de masă de tip *star ground*, utilizarea unor căi cât mai scurte de la proba de preluare a semnalului la aparatul ales pentru a măsura diferiți parametri, routarea alimentării, tipurile de rele alese pentru routare dar și capacitatea de routare a sistemului. În figura 3.19a este prezentată unitatea de routare aleasă pentru testarea ECU-urilor din domeniul automotive. Până în prezent această unitate de routare împreună cu diferitele interfețe, prezentate în figura 3.19b, au satisfăcut în totalitate cerințele proiectelor. Interfața a fost construită de la zero, aceasta putând fi reprodusă în orice moment datorită documentării realizate de autor în cadrul proiectului CAD/Pspice Layout.

Pentru ca întreaga arhitectură gândită să funcționeze corect, a fost nevoie de implementarea unor echipamente de comunicație. Aceste echipamentele destinate construcției sistemelor de testare automate pentru industria automotive, sunt:

- Convertor GPIB2USB, realizează conversia datelor de la portul USB al calculatorului în formatul GPIB, cunoscut limbajului de programare LABView;
- Vector CANcase XL, necesar trezirii ECU-ului, pentru ca software-ul operațional să fie activ;
- Ethernet Card – în cazul calculatoarelor fără placă de rețea, se poate integra o placă de acest tip. Rareori este nevoie de aceasta, deoarece majoritatea calculatoarelor au în componență cel puțin o placă de rețea.

Sistemul este comandat prin intermediul convertorului GPIB, care trece echipamentele sistemului în modul controlat – *remote controlled*, care este conectat la un calculator – mediu de calcul. Acest calculator are instalată o versiune a programului LABView, produs de National Instruments – prezentat mai amplu în capitolul ce urmează. În acest program sunt implementate driverele de comandă ale echipamentelor electronice. Acest calculator mai îndeplinește și rolul de stocare a datelor în diferite tipuri de format, are rolul de a fi contactul cu sistemul - prin intermediul interfeței grafice a utilizatorului, *graphical user interface GUI*.

În încheierea capitolului sunt evidențiate particularitățile legate de construcția fizică a ATS-ului. Totodată acestea sunt și norme de siguranță și protecție a aparatului în cadrul interacțiunii cu operatorul uman.

Contribuții personale

Privind sistemul de testare automată, propus și implementat , într-un laborator de cercetare-dezvoltare al unui producător automotive, autorul studiază documentele tehnice legate de aparatura necesară construcției ATS-ului. După cercetarea documentației tehnice, comparând posibilitățile echipamentelor cu cerințele proiectelor automotive, se aleg echipamentele necesare implementării cazurilor de testare. În consecință, pentru implementarea ATS-ului în laboratorul de cercetare dezvoltare, autorul a contribuit cu:

- Propunerea unei arhitecturi electrice pentru structura de testare automată de tip stack and rack, fără integrare a aparatelor & echipamentelor electrice într-o carcasă de tip stack. O astfel de implementare oferă libertate privind relocare sistemului în alte locații;
- Cercetează documentația tehnică privind aparatura electronică, făcând o selecție adecvată a echipamentelor pentru îndeplinirea standardelor automotive: plaje de tensiuni, plaje de curenți, plaje de temperaturi;
- Contribuie la testarea și integrarea unor noi tipuri de probe, pentru implementarea cazurilor de testare;
- Crearea documentației sistemului de testare automată prin crearea unui structuri de tip proiect ORCAD, în Pspice, unde pot fi urmărite semnalele de la proba de testare până la echipamentul de măsură;
- Crearea unor noi module pentru sistemul de testare automată, de exemplu: placa de multiplexoare necesară routării semnalelor de frecvență înaltă;
- Crearea a mai multor tipuri de paturi de cuie, cu diferite mecanisme de prindere a PCB-ului și noi tipuri de mișcare a probelor de testare. Pentru proiecte, autorul a folosit, paturi de cuie cu probe fixe, pe care placa va fi fixată cu ajutorul ghidajelor pe aceste probe, paturi de cuie cu probe mobile unde placa este fixă iar probele vor avea o mișcare de elevație de jos în sus;
- Routarea traseelor prin sistemul de măsură respectând reguli de routare astfel încât perturbațiile de tip electromagnetic să fie cât mai reduse;

- Reducerea dimensiunii interfeței ATS-ului, prin introducerea unor module de tip PCB în interiorul acesteia. Ceea ce se realiza înainte cu fire, acum se va realiza cu un cablaj imprimat;
- Realizează un plan de masă de tip stea, astfel fiind create bucle de masă cât mai mici, prin reducerea buclilor de masă fiind îmbunătățite măsurătorile efectuate cu sistemul;
- Construcția fizică a sistemului de testare automată, din stadiul de echipamente independente până la forma finală folosind documentația realizată în ORCAD;
- Integrează un amplificator de tensiune, dezavantajul principal fiind că aparatul nu poate fi comandat în totalitate cu o interfață GPIB, astfel testele cu amplificatorul devenind semi-automate;
- Introduce 2 tipuri de comunicație în cadrul unui sistem de testare automată: Ethernet și GPIB;
- Integrează un nou dispozitiv de măsură, de tip osciloscop, prin folosirea a două osciloscopae: LeCroy – pe o magistrală de tip LAN și Tektronix – pe o magistrală de tip GPIB;

Testarea unor dispozitive electronice cu sistemul creat, în cadrul unui producător internațional de componente electrice. Aceste dispozitive sunt de tip: radar, cameră video integrată în suportul oglinzii retrovizoare, detecție a obstacolelor cu laser.

Capitolul IV. Structura software: algoritmi, cazuri de testare, particularități

În acest capitol autorul prezintă două limbaje de programare folosite pentru controlul sistemelor de testare automată: unul din programe comandând sistemul construit de autor, al doilea program comandând un sistem de tip-ul HiL. Autorul începe prin prezentarea aspectelor specifice mediilor de programare: tipuri de variabile folosite, tipuri de structuri, posibilitățile și constrângerile legate de mediile de programare.

În continuarea capitolului, se prezintă interfața grafică cu operatorul uman, construită de acesta în LABView, destinată ATS-ului conceput de autor. Cel de-al doilea mediu de programare are interfața grafică definită de firma producătoare.

În mediile de programare, firmele producătoare oferă libertate totală dezvoltatorului pentru a integra algoritmi specifici unei aplicații. În acest capitol al tezei de doctorat se prezintă contribuțiile aduse privind implementarea și dezvoltarea unor algoritmi, destinați selectării și executării cazurilor de testare, precum și structuri ale programului operațional. Toți acești algoritmi au fost gândiți de autor pentru sisteme de testare automate, având rolul de a îmbunătăți și optimiza performanțele acestora. Acești algoritmi îndeplinesc următoarele caracteristici esențiale: sunt simpli, portabili – pot fi folosiți cu ușurință și în cadrul altor programe, ușor de implementat.

Pentru comanda echipamentelor electronice, autorul dezvoltă pe lângă acești algoritmi și drivere specifice fiecărui aparat. Pentru realizarea acestor drivere se au în vedere regulile SCPI ("Comenzi standard pentru Instrumente Programabile") pentru comanda echipamentelor destinate aplicațiilor de măsură. Driverele sunt implementate în LABView, versiunea 8.5, și realizate pentru aplicația specifică de testare – destinată ATS-ului dezvoltat de autor.

Pentru validarea algoritmilor și pentru a vedea îmbunătățirile aduse în acest capitol, se vor prezenta cazurile de testare implementate și rezultatele obținute, în cadrul unor proiecte dezvoltate de un producător de componente automotive.

4.1 Medii de programare folosite

Pentru comanda de la distanță a sistemelor de testare automate se întâlnesc mai multe tipuri de programe din care unele sunt înșiruire de linii de cod, programare grafică sau o combinație dintre cele două. Datorită faptului ca mediile de programare de tip grafic sunt mai ușor de utilizat și de urmărit în timpul funcționării, voi aminti două dintre acestea folosite: ECU Test și LABView. Cele două comandă două sisteme de tip diferit: de tip HiL, respectiv de tip ICT.

Ambele programe au fost folosite pentru dezvoltarea și implementarea de algoritmi, precum și la implementarea cazurilor de testare și generarea rapoartelor de testare.

Primul mediu de programare prezentat este **ECU-Test**, dezvoltat de firma Tracetronic, funcționează după modelul V – important pentru strategia de testare automotive, și poate fi folosit pentru mai multe tipuri de sisteme de testare automate MiL, SiL și HiL, acestea fiind prezentate în figura 4.1 [188]:

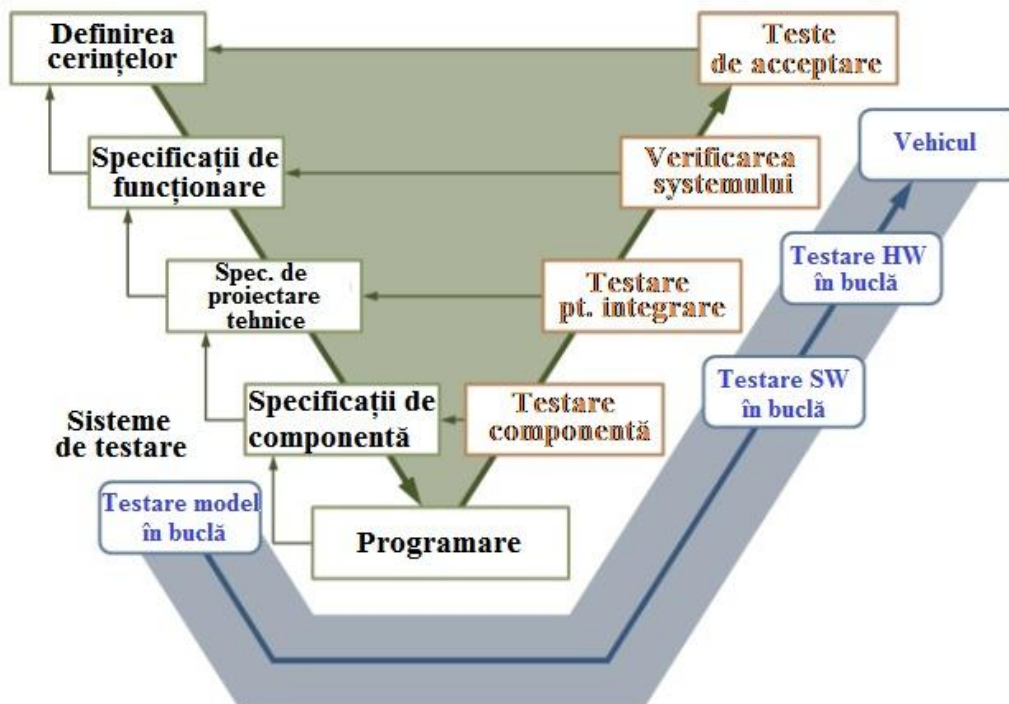


Figura 4.1 Integrarea programului ECU-Test în industria automotive [189]

ECU-Test oferă posibilitatea utilizatorului să își creeze propriile configurații de testare, datorită faptului că un sistem de tip HiL poate cuprinde mai multe modele, această opțiune ajută la alegerea configurației optime pentru testare și la managementul versiunilor [72]. În cadrul acestei configurații se aleg principalele programe cu care interfațează ECU-Testul și de care are nevoie utilizatorul pentru crearea și execuția cazurilor de testare. Dintre programele cu care poate interfața ECU-Testul, cele care au o importanță ridicată în cadrul sistemelor de tip HiL sunt:

- *dSpace ControlDesk* – utilizat pentru comanda sistemului de tip HiL;
- *dSpace ControlDesk Failure Simulation* – utilizat pentru controlul anumitor plăci dezvoltate pentru provocarea unor diferite tipuri de erori electrice: scurt circuit la masă, la alimentare, linie întreruptă;
- Vector products – *CANoe*, *CANalyzer*, *CANape* – utilizate pentru interfațarea cu ECU-ul;

- Quality Management – program pentru stocarea și versionarea cazurilor de testare, a secvențelor de testare și a rezultatelor obținute;
- EDIABAS – program de diagnoză în cadrul BMW AG;
- Python – mediu de programare în care pot fi scrise linii de program sub formă de cod.

În figura 4.2 autorul prezintă crearea unui caz în cadrul ECU-Test:

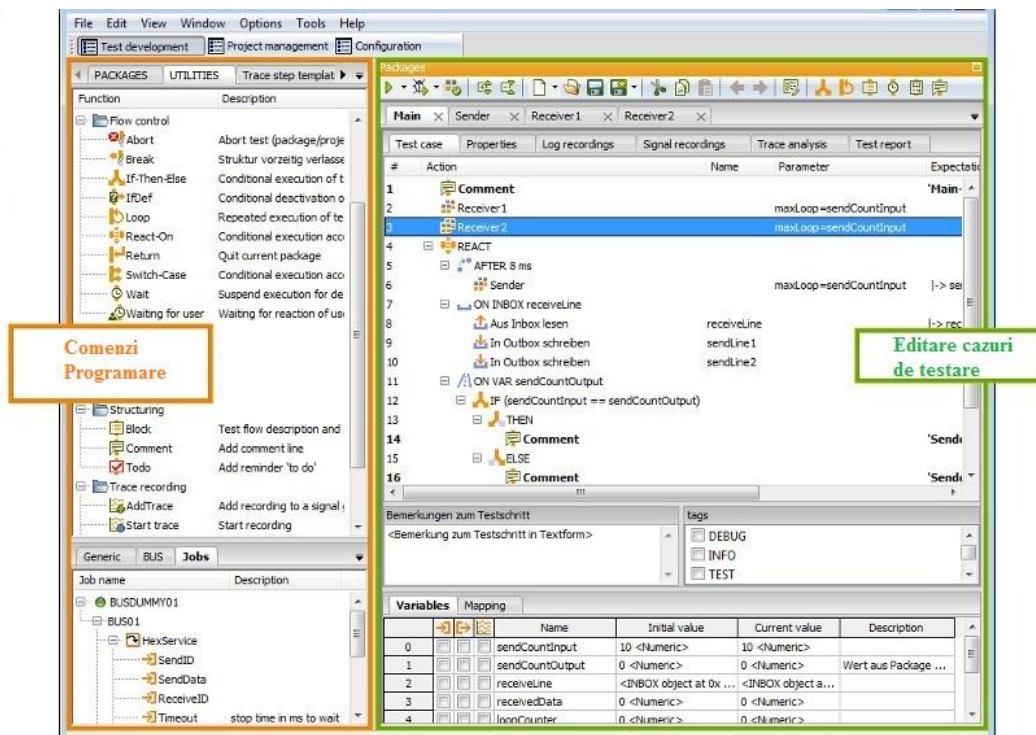


Figura 4.2 Crearea cazurilor de testare în ECU-Test

Din figura 4.2 se poate evidenția că ECU-Test este un mediu de programare grafic în care avem două ferestre importante din punct de vedere al utilizatorului. În fereastra *Data Viewer* – se vor regăsi principalele instrumente care vor fi folosite la implementarea cazului de testare. În fereastra *2 Package Editor* se crează cazul de testare efectiv care va fi salvat sub forma unui pachet. În această fereastră se pot implementa manipulări ale semnalelor CAN, se pot efectua operații matematice, pot fi construiți algoritmi care returnează anumite valori, se pot crea algoritmi de declanșare. Metoda de lucru este de tip *drag and drop* (*prinde și eliberează*) din fereastra 1 în fereastra 2 și crearea unor programe în Python. Metoda *drag and drop* presupune prinderea unui bloc grafic în *cursorul mouse-ului* și eliberarea acestui bloc în locul dorit în aceeași fereastră sau într-o fereastră diferită. Aceste programe în Python sunt ușor de construit, fiind salvate într-o bibliotecă a ECU Test și putând

fi apelate în orice moment. Autorul recomandă ca la implementarea cazurilor de testare să se realizeze într-un mod structurat pe mai multe blocuri funcționale. Cazurile de testare construite în acest mod, dar care vor prezenta un defect la execuție, vor fi depanate mai ușor deoarece sursa erorii va fi mai ușor de identificat. Pentru construcția cazului de testare se pot folosi ca în orice limbaj de programare structuri de tip *if*, *case*, *for*, *while*, *do* se pot crea bucle condiționate de variabile. Variabilele folosite de acest program pot fi locale sau globale, în funcție de necesități dar și de diferite tipuri: *integer*, *double*, *float*, *text*, ș.a.

Timpul de execuție al unui caz de testare va depinde în foarte mare măsură de cerințele cazului de testare și de abilitatea programatorului de a crea cazul de testare. La crearea unor cazuri de testare noi, care nu respectă un algoritm predefinit, se introduc timpi de testare suplimentari care contribuie la creșterea timpului total de execuție. Acest lucru nu este de dorit deoarece unele secvențe de testare pot dura până la 48 de ore. În figura 4.3 se prezintă modul de execuție a unui set de teste cu ajutorul ECU Test.

Se poate observa în figura 4.3 că evaluarea cazurilor de testare se face imediat, cazurile de testare căzute fiind colorate în roșu și evaluate cu *Failed*. Cazurile de testare cu gri reprezintă cazuri de testare care nu sunt relevante pentru configurația de testare aleasă. Cele cu verde sunt cazurile de testare care reprezintă validarea cerințelor. Rularea unui set de teste poate dura până la 24 de ore în funcție de numărul de teste integrate în această secvență.

Rezultatele obținute cu acest program pot fi folosite pentru validarea cerințelor de sistem, recomandarea fiind ca pentru fiecare cerință să fie creat un caz de testare. Raportarea rezultatelor se poate executa într-un fișier de tip *.HTML* sau *.XML* în funcție de preferințele utilizatorului.

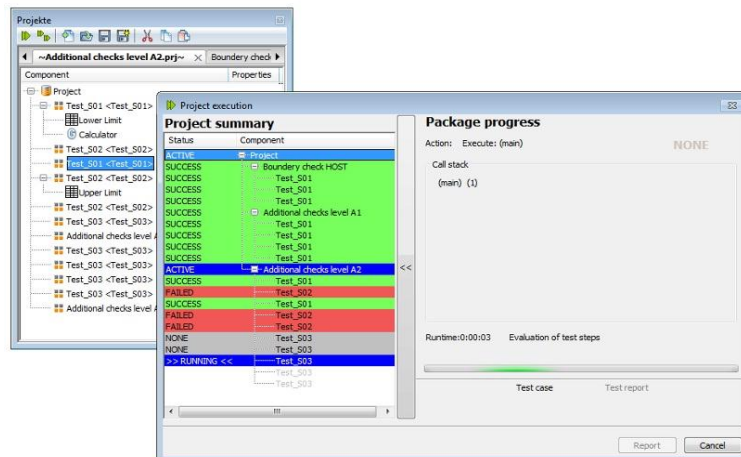


Figura 4.3 Mod de execuție a cazurilor de testare cu ECU Test

Al doilea mediu de programare folosit este *LABView*, produs de National Instruments, este un mediu de programare grafic, asemănător cu ECU Test al firmei Tracetronic, dar orientat mai mult pe comanda echipamentelor electronice. LabView

ca mediu de programare, dispune de o gamă largă de posibilități de analiză, utile într-o gamă largă de aplicații potrivite pentru industria automotive. Programul poate fi folosit pentru comanda unor sisteme de testare automată de tip ICT fiind orientat mai mult înspre partea de testare automată la nivel de componentă (hardware + software)[66][103][110][116][118][142].

Motivele care stau la baza utilizării mediului de programare LabView, în aplicațiile de testare, sunt:

- Modalitatea simplistă de construcție a unei interfețe cu utilizatorul, ergonomică și cu aspect profesional;
- Un număr foarte mare de funcții cu ajutorul cărora se pot prelucra șiruri de caractere, șiruri de numere, operații cu matrici din algebra liniară și până la proceduri avansate din matematică de calcul probabilistic, sau de analize Fourier;
- Simplitatea realizării unor rapoarte și prezentarea în formă profesională a rezultatelor, realizează principalul candidat pentru înlocuirea mediilor de programare tradiționale.

În figura 4.4 autorul prezintă cele două ferestre componente ale programului LABView: *Front Panel* și *Bloc Diagram*. Întraga aplicație se va comanda din panoul frontal, aici existând instrumente de control și monitorizare identice cu cele din laborator, înfățișând intrările și ieșirile sistemului pentru operații interactive. În fereastra *Diagram Bloc* se va construi programul executabil, aici realizându-se toate prelucrările de date din program. Practic aceste două ferestre vor ajuta la realizarea și implementarea cazurilor de testare cu ajutorul programului LABView.

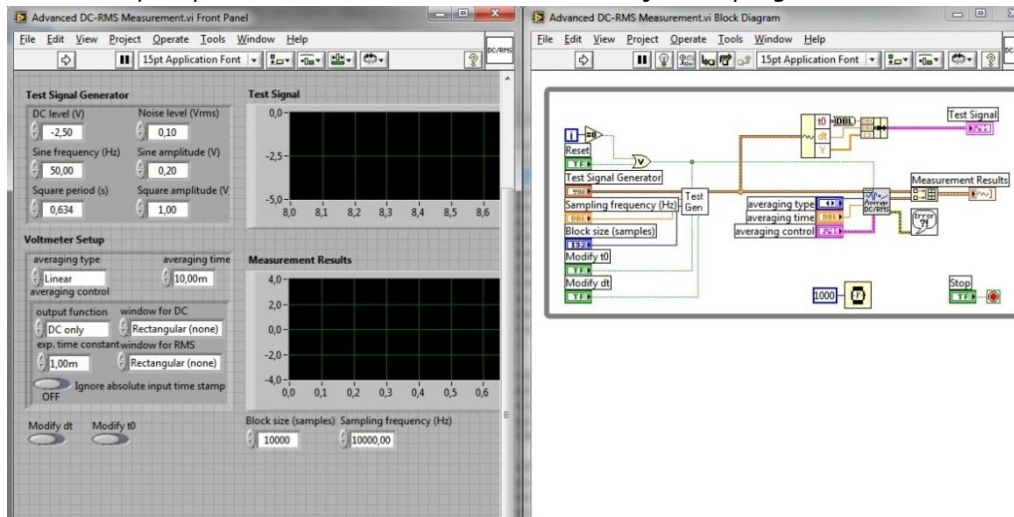


Figura 4.4 Mediu de programare LABView

Programul LABView lucrează cu instrumente virtuale, fiecare comandă sau acțiune fiind salvată în aplicații de tip instrumente virtuale. Într-un instrument virtual pot fi integrate mai multe VI-uri, iar la momentul rulării se va intra în

instrumentul virtual, se vor executa operațiunile din acesta iar la ieșire vor fi livrate rezultatele prelucrărilor. LABView lucrează cu structuri ierarhizate. În practică orice instrument virtual poate fi apelat în funcție de poziționarea acestuia în cadrul ferestrei *Bloc Diagram* a instrumentului imediat superior. Fiecare instrument virtual va dispune de cele două ferestre. Modul de execuție în LABView este de la stânga la dreapta și de sus în jos, dar pentru ca programul să fie cât mai lizibil autorul recomandă utilizarea căsuțelor de comentariu. Cu ajutorul acestora depanarea instrumentului virtual poate fi efectuată mai ușor.

Instrumentele virtuale se construiesc pe baza structurilor logice ce există în LABView, prezentate în figura 4.5:

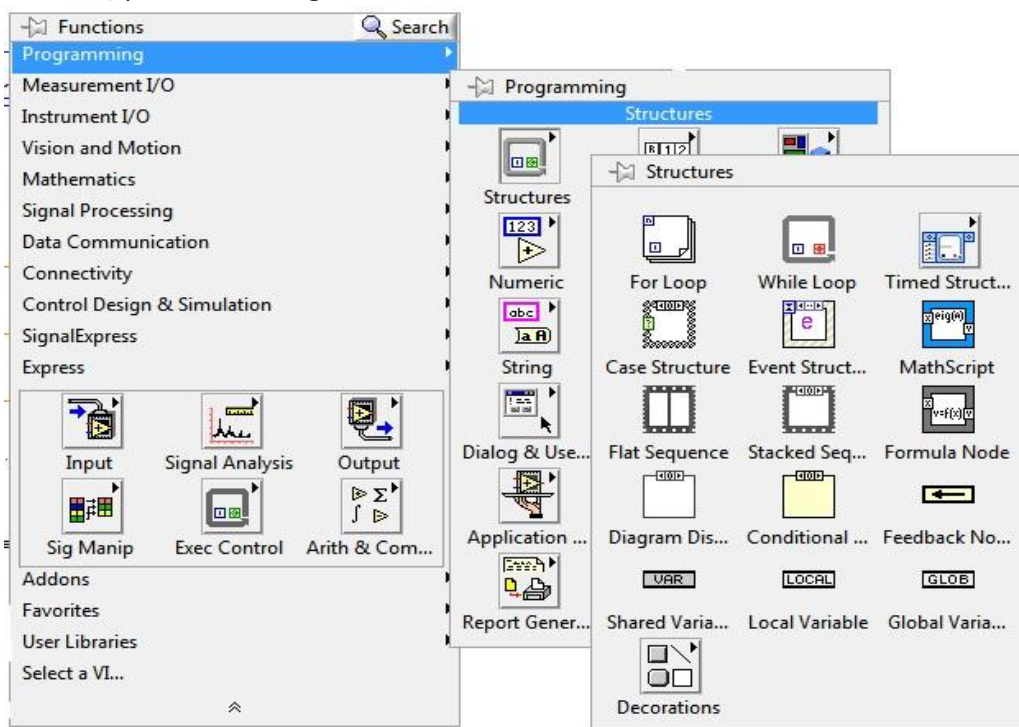


Figura 4.5 Structuri logice folosite în LABView

În figura 4.5 pot fi observate structurile predefinite de cei de la National Instruments, care sunt folosite la construcția instrumentelor virtuale. Aceste structuri sunt împărțite pe mai multe categorii, fiecare categorie fiind denumită sugestiv:

- *Programming*: include structuri de tip: buclă, for, while loop, structură temporală, case, event, structuri unde se pot scrie scripturi matematice. Aceasta este cea mai utilizată paletă a programului LABView deoarece aici se regăsesc și variabilele de intrare de tip: integer, numerice, șiruri de caractere, vectori uni dimnesionali sau multi dimensionali, ferestre de

- interogare a utilizatorului, operatori matematici, precum și alte funcții necesare dezvoltării algoritmilor. Acestea vin în ajutorul utilizatorului pentru crearea algoritmilor destinați diferitelor aplicații dar într-o formă grafică;
- *Measurement I/O*: cuprinde posibilitatea de preluare a unor semnale cu ajutorul unor plăci de achiziție. În anumite situații aceste instrumente pot fi folosite pentru monitorizarea anumitor senzori sau parametrii exteriori;
 - *Instrument I/O*: în această structură se regasesc driverele necesare comandării de la distanță a unor echipamente electronice. În cazul în care driverele oferite de cei de la National Instruments nu îndeplinesc cerințele utilizatorului acestea pot fi dezvoltate și salvate sub forma instrumentelor virtuale pe baza a ceea ce există sau pe baza manualului utilizatorului unde se regăsesc comenzile SCPI;
 - *Mathematics*: cu ajutorul acestei structuri se pot găsi toate operațiile matematice suportate de mediul de dezvoltare LABView. În structura programming pot fi regăsiți operatorii matematici simpli iar aici pot fi regăsiți operatorii matematici mai complexi. LABView oferă posibilitatea de efectuare a unor operații de interpolare, de integrare, de derivare, ș.a.;
 - *Signal Processing*: utilă în momentul în care se dorește procesarea unor semnale. Pot fi executate operații de tipul unor transformate Fourier, generare de semnale sinusoidale, triunghiulare, dreptunghiulare sau cu formă aleatoare, pot fi executate operații între anumite semnale;
 - *Data Communication*: funcții cu ajutorul cărora se realizează conectarea la distanță cu diferite dispozitive;
 - *Connectivity*: se poate realiza conexiunea cu diferite aplicații sau chiar cu alte programe de pe calculator.

Crearea unor aplicații în LABView este accesibilă și eficace din punct de vedere al timpului investit deoarece LABView oferă și posibilitatea de depanare pas cu pas. Aceasta poate conduce la înțelegerea unei greșeli de programare existente în structura actuală. Posibilitatea de interfațare cu alte medii de programare: MATLAB, C, SIMULINK, ECU Test dar și altele, face din LABView un mediu de dezvoltare competitiv, ideal unor aplicații din domeniul automotive. Raportarea rezultatelor este lăsată de cei de la National Instruments la latitudinea utilizatorului, acesta având posibilitatea să prezinte rezultate sub formă grafică 2D sau 3D, sub formă tabelară, sau sub forma unei ferestre, care confirmă încheierea testului cu succes. O altă opțiune interesantă pentru sistemul de testare automată, dezvoltat de autor, este posibilitatea de salvare a rezultatelor sub forma mai multor tipuri de fișiere de tip: .dat, .doc, .xls, .xlm. Astfel rezultatele obținute în urma testării pot fi integrate cu ușurință în rapoartele oficiale sau pot fi integrate direct din LABView într-un raport oficial.

Ambele medii de programare utilizate pentru comanda diferitelor sisteme de testare automată, din punct de vedere al autorului, sunt puternice datorită faptului că pot interacționa atât de bine cu diferite programe create de alți producători, deservind în final interesele autorului sau utilizatorului pentru numeroase aplicații

din cadrul automotive. Datorită faptului că ambele medii de programare sunt de tip grafic implementarea cazurilor de testare se realizează ușor, eficient din punct de vedere a timpului și nu în ultimul rând ușor de depanat în cazul unor greșeli de logică. Execuția cazurilor de testare este oarecum asemănătoare în cazul acestor două programe, deoarece în ambele medii se pot rula cazuri de testare izolate sau seturi de teste. Selecția cazurilor de testare diferă, în mediul LABView autorul fiind nevoit să implementeze un algoritm utilizat pentru selecția cazurilor de testare, în timp ce mediul ECU Test oferă posibilitatea construirii unor secvențe de testare de tip *drag and drop*, mod simplist și eficient. Raportarea rezultatelor în urma execuției cazurilor de testare este mai variată în cazul mediului de dezvoltare LABView oferind un plus din acest punct de vedere.

4.2 Interfața grafică

În toate sistemele de testare automată din industria automotive există interfața grafică necesară interacționării dintre operatorul uman și sistemul. Interfața grafică, în engleză sub denumirea de GUI – *graphical user interface*, oferă utilizatorului posibilitatea de comandare a unor echipamente electronice de tipul aparate de măsură, sisteme de achiziții, camere climatice, surse de tensiune dar și a altor operații de tipul: căi pentru salvarea rezultatelor, informații legate de utilizator, informații legate de temperatură, etc.

Interfața grafică poate conține atât date de intrare cât și date de ieșire, dar pe lângă acestea mai poate conține informații suplimentare organizate sub forma unor meniuri, sau a unor liste cu posibilitate de ascundere. Totodată din interfața grafică, dacă este nevoie, trebuie să existe posibilitatea de încărcare a unor fișiere necesare pentru buna funcționare a sistemului de testare automată. Cu ajutorul interfeței grafice se pot observa conexiunile sau starea unor echipamente electronice, componente ale sistemului de testare automată, dar tot de aici pot fi și selectate.

Proprietățile ce trebuie să îndeplinite de GUI sunt:

- Interfața trebuie să fie cât mai prietenoasă cu utilizatorul sistemului de testare automată;
- Trebuie să fie construită într-un mod simplist, variabilele de intrare fiind ușor de intuit;
- Aduna informațiile necesare despre operatorul care va efectua testarea, pentru domeniul automotive acestea fiind: nume, prenume, departament, numele proiectului, numele mostrei sau a ECU-ului testat, versiunea de soft de pe ECU, temperatura mediului ambiant, numele proiectului, aparate utilizate;
- Oferă posibilitatea de selecție a cazurilor de testare ce vor urma executate;
- Posibilitatea de selecție a aparturii necesare testării;
- Ofere posibilitatea salvării unui raport de testare;
- Să existe posibilitatea de oprire imediată a cazurilor de testare în cazuri de urgență;

- Să poată prezenta rezultatele unui test imediat pe un panou de ieșire în formă numerică sau grafică.

Pentru echipamentul de testare conceput în această teză am construit o interfață grafică care să respecte cerințele de mai sus. Interfața grafică dezvoltată de autor este prezentată în figura 4.6. Această interfața datorită faptului că se dorește a fi folosită și în cadrul altor proiecte, va purta un nume generic, datele necesare proiectului fiind colectate în interiorul interfeței. Din figura 4.6 se poate observa simplitatea interfeței grafice, majoritatea comenzilor fiind intuitive și denumite sugestiv.

Oprirea tensiunii de alimentare se poate realiza prin apăsarea butonului Power OFF, selecția aparatului necesare testării fiind realizată cu butoanele din stânga imaginii. În mijlocul imaginii se oferă informații legate de proiect, tester și aparatura necesară, iar în dreapta imaginii sunt adunate informațiile necesare pentru documentarea cazurilor de testare.

Butonul de Select Test prin apăsare va deschide o fereastră de tip *pop-up*, în care sunt denumite testele posibile de implementat în structura ATS-ului prezentat în această lucrare. Fereastra de tip *pop-up* este prezentată în figura 4.7.

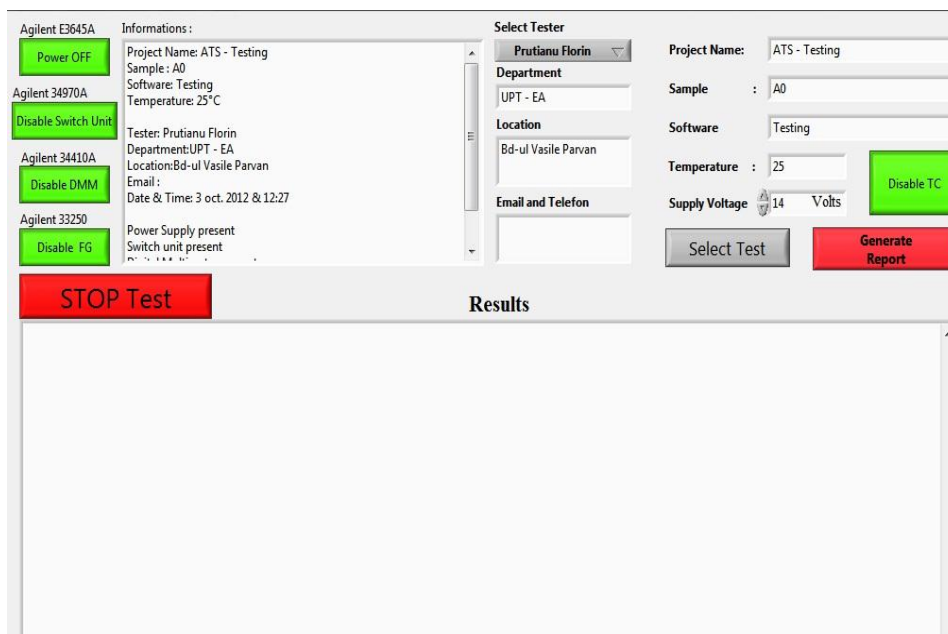


Figura 4.6 Interfața grafică dezvoltată în LABView (GUI)

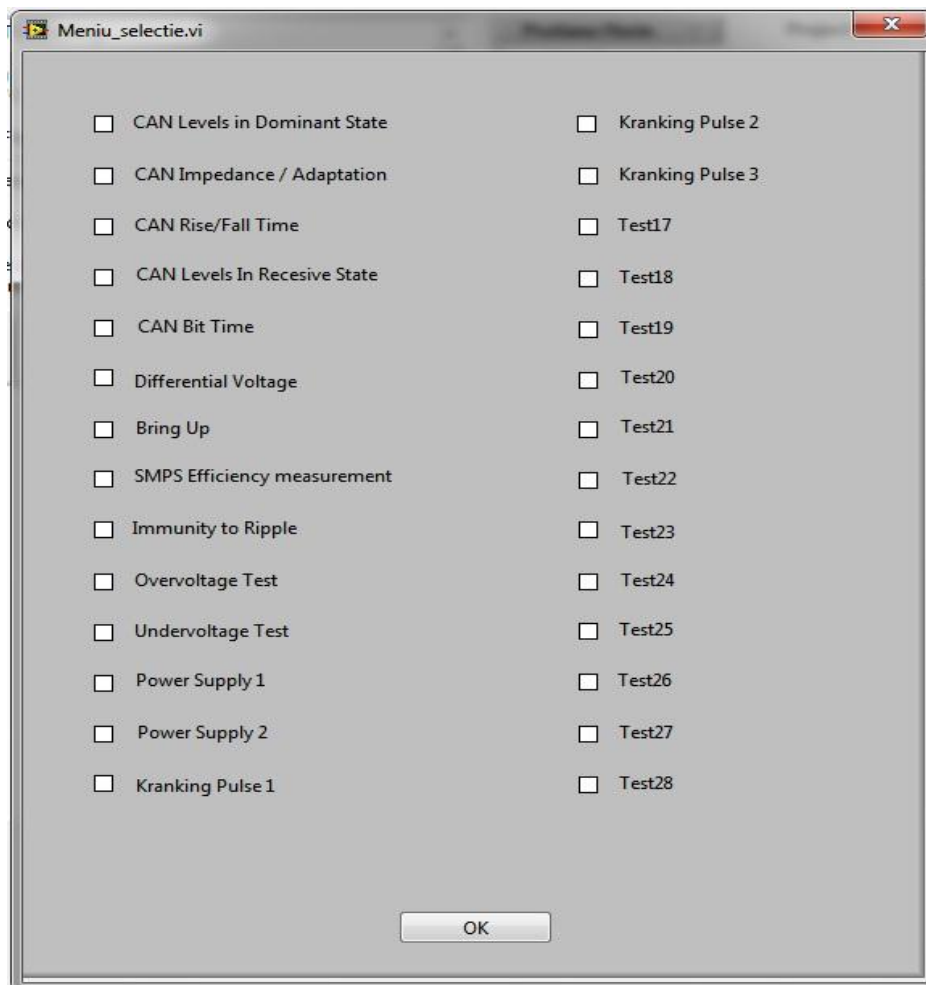


Figura 4.7 Fereastra Pop-up: Selecția cazurilor de testare

Aceste două figuri, 4.6 și 4.7, reprezintă GUI-ul implementat în cadrul unui proiect de testare automată, sistem folosit pentru testarea unui ECU dezvoltat în unitatea de cercetare dezvoltare a unui producător de componente automotive. *Am creat fereastra pop-up* deoarece nu există altă modalitate în cadrul programului LABView de selectare a cazurilor de testare ce urmează a fi executate. Prin *implementarea acestei ferestre* autorul poate selecta unul sau mai multe cazuri de testare ce urmează a fi executate.

Pentru programul ECU Test nu a fost necesară dezvoltarea unei interfețe grafice deoarece dispune de o interfață predefinită. Practic figura 4.2 reprezintă interfața grafică a programului ECU Test care va fi folosită și la selecția cazurilor de testare, la dezvoltarea acestora și la vizualizarea rezultatelor.

În mediul de programare LABView aceste operațiuni trebuie dezvoltate de cel care dezvoltă aplicația.

4.3 Algoritmii programului operațional

Sistemul de testare automată este compus în general din două părți, una hardware și una software, cele două fiind în strânsă legătură și contribuind la performanțele și eficiența ATS-ului. Trecerea echipamentului de măsură în modul de control de la distanță, setarea anumitor parametri precum și anumite decizii privind comportamentul software-ului sunt legate de algoritmi implementați în programul operațional [21]. *Autorul a elaborat pentru acest sistem de testare automată algoritmi care să aducă o îmbunătățire a execuției cazurilor de testare, mărind eficiența acestuia. Algoritmii sunt implementați în cele două medii de programare grafice, LABView și ECU Test.* În primul mediu de programare grafică, libertatea de implementare a unor algoritmi specifici acestor aplicații de testare automată este mai ridicată, putând fi implementați algoritmi de la zero. În cel de-al doilea mediu de programare grafică, există anumite constrângeri referitoare la modul de execuție a cazurilor de testare precum și de selecția acestora.

În urma unei analize aprofundate [30][45][125][167][169][171][173][175][178][179][197][202] autorul a dezvoltat:

- Pentru sistemele de tip ICT, cu mediul de programare LABView au fost dezvoltați următorii algoritmi: algoritmul programului funcțional, algoritmul de protecție împotriva unor erori electrice nedorite (*overvoltage sau undervoltage*), algoritm de selecție a cazurilor de testare, algoritm de citire a unor parametri din fișiere externe, algoritm de executare a cazurilor de testare, algoritmi de scriere a rezultatelor în fișiere externe.
- Pentru sistemele de tip HIL, autorul a dezvoltat algoritmul de executare a cazurilor de testare funcționale precum și a cazurilor de testare de tip răspuns la impuls sau a unor efecte perturbatoare.

În figura 4.8 este prezentată schema logică a software-ului operațional al sistemului de testare automată, implementat de autor în cadrul unui producător automotive și folosit cu succes pentru validarea ECU-urilor a diferitelor proiecte ale producătorului. Algoritmii sunt compusi din mai mulți pași esențiali pentru o funcționare corespunzătoare.

Pentru a porni aplicația de testare automată, utilizatorul este nevoit să apese în GUI butonul de selectare a testelor. Acest buton va deschide fereastra pop-up descrisă mai sus, și va permite utilizatorului selectarea testelor ce urmează a fi executate.

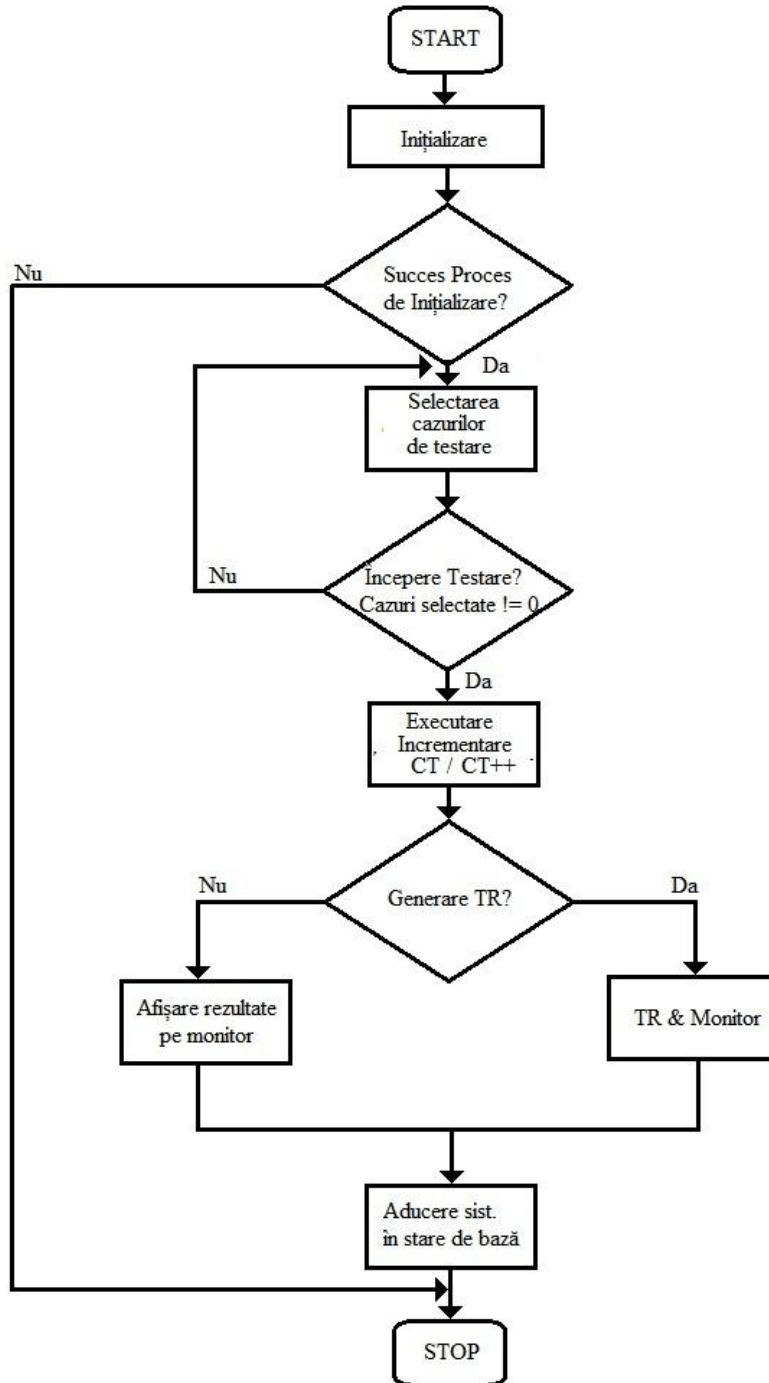


Figura 4.8 Algoritmii programului operațional

Pentru a fi sigur că sistemul este adus într-o stare cunoscută, se recomandă inițializarea sistemului la începutul aplicației, aceasta aducând sistemul în stare *default* când ECU-ul nu are tensiune de alimentare. Sistemul în funcție de aparatele selectate pe interfața prezentată mai sus, le va inițializa doar pe acestea selectate, celelalte nefiind trecute în stare de comandă la distanță – *remote controlled*. De exemplu pentru unitatea de rutare, în algoritmul de inițializare toate relele vor fi trecute în stare deschisă, sursa de alimentare va avea ieșirea dezactivată, iar aparatele de măsură nu vor efectua nici o măsurătoare.

Pentru selectarea cazurilor ce vor fi executate, autorul crează un vector unidimensional. În acest vector se vor stoca toate cazurile de testare selectate din fereastra pop-up, prezentată în figura 4.7. La apăsarea butonului OK, însemnând că toate cazurile de testare dorite au fost selectate, se va trece la executarea acestora după algoritmul implementat de autor și prezentat în figura 4.9. Acest algoritm va citi prima valoare a vectorului, iar dacă aceasta este 0 înseamnă că nici un caz de testare nu a fost selectat. Programul va reveni în fereastra principală fiind nevoie de o nouă apăsare a butonului de selectare a cazurilor de testare. Dacă valoarea citită din vector va avea valoare diferită, această valoare va reprezenta numărul/numele cazului de testare implementat. Prin începerea unui caz de testare nou se va executa o resetare de parametri pentru fiecare aparat implicat în cazul de testare. Astfel se asigură condițiile unei testări adecvate, iar aparatele vor fi aduse în starea recomandată de producătorul de echipamente. Variabilele necesare pentru evaluarea rezultatelor numerice vor fi trecute pe valoarea 0, astfel încât rezultatul să nu fie comparat cu o variabilă anterioară. Dacă unul din echipamente sau din variabile nu poate fi resetat/ă atunci programul se oprește imediat din motive de siguranță și de prevenire a unor defecțiuni. Dacă operațiunile de mai sus au fost încheiate cu succes atunci programul trece mai departe și va seta parametrii necesari aparatelor pentru efectuarea testului. Prin setarea parametrilor practic se crează *setup-ul* de măsură necesar executării cazului de testare. Prin setup de măsură se va înțelege, de exemplu, tensiunea de alimentare a ECU-ului setată pe 14 V, ieșirea sursei de alimentare să fie activă, activarea DMM-ului pentru a măsura o rezistență, tensiune, curent, frecvență sau alt domeniu de măsură posibil, activarea canalelor osciloscopului necesare măsurării a unui sau a mai multor parametrii pentru un semnal electric sau mai multe semnale, maxim 4 deoarece 4 este numărul de canale ale tipurilor de osciloscop integrate în acest ATS, dacă este nevoie de setarea unor forme de undă prin intermediul generatorului de funcții, ș.a.

În momentul în care sursa de alimentare cu tensiune continuă va avea ieșirea activă, algoritmul va executa secvență de protecție OVP sau OVC. Aceste secvențe create au rolul de protecție la supratensiune – OVP sau la supracurent – OVC. În acest mod ECU-ul este protejat fiind limitate daunele ulterioare ce pot avea loc. În laboratoarele de cercetare dezvoltare numărul dispozitivelor supuse testării este limitat, costurile pentru producerea acestora fiind foarte ridicate, astfel autorul recomandând ca aceste secvențe să fie folosite ca măsuri de protecție suplimentare. Secvența implementată în teză pentru protecție la supratensiune va citi valoarea tensiunii de alimentare a ECU-ului și valoarea curentului de la intrare, dacă valoarea

curentului de la intarea ECU-ului este 0 atunci ECU-ul este în protecție de tensiune. Dacă tensiunea este mică și valoarea curentului este mare atunci ECU-ul este în protecție de supracurent. Dacă programul intra în una din cele două protecții, acesta va fi oprit iar tensiunea și curentul vor fi afișate în fereastra de rezultate, fiind semnalată prezența unei nereguli.

Neactivarea unei protecții de tipul celor prezentate mai sus are ca rezultat începerea efectivă a cazurilor de testare. Efectuarea cazurilor de testare are loc după algoritmul definit de autor la implementarea cazurilor de testare. Algoritmii cazurilor de testare dezvoltati de autor sunt unici pentru fiecare caz în parte, dar pot fi folosiți în aplicații similare.

După executarea cazurilor de testare, rezultatele pot fi prelucrate în cadrul programului LABView, dacă este nevoie de acest lucru sau rezultatele pot fi comparate după metoda *Boundry*, compararea valorii măsurate cu limitele inferioare respectiv superioare. Depășirea acestor limite va însemna punerea cazului de testare pe valoare eronată – Failed, semnalând utilizatorul că acest caz de testare trebuie analizat. Dacă în timpul executării cazului de testare este apăsat butonul de STOP de pe GUI, programul va fi oprit imediat iar echipamentele vor fi resetate, ECU-ul rămânând fără tensiune de alimentare.

Resetarea echipamentelor va avea loc și după prelucrarea rezultatelor, la încheierea cazului de testare. În acest mod se evită posibilitatea de apariție a unor comportamente nedorite a ECU-ului sau a aparatelor ATS-ului.

După resetarea aparatelor se efectuează o evaluare a cazurilor de testare ce trebuiesc efectuate. Dacă nu mai există cazuri de testare ce trebuiesc efectuate, atunci sistemul se întoarce în fereastra principală generând un raport de testare. În cazul în care mai există cazuri de testare ce trebuiesc efectuate, numărul cazului de testare va fi șters din vector, și va fi citit următorul caz de testare. Executarea noului caz va fi identică cu algoritmul descris în figura 4.9.

Aceși pași vor fi parcurși până în momentul când vectorul va avea valoarea 0, în acel moment fiind generat raportul de testare care va include toate rezultatele cazurilor de testare executate de la începutul secvenței.

În algoritm există posibilitatea ca utilizatorul să nu dorească generarea unui raport de testare, în acest caz rezultate măsurătorilor fiind afișate în fereastra de rezultate din fereastra principală a aplicației. În general atunci când se dorește implementarea unor noi cazuri de testare, sau se dorește o validare rapidă din diferite motive, generarea unui raport de testare nu este utilă sau nedorită fiind suficientă afișarea rezultatelor în panoul frontal. Rapoartele de testare pot fi salvate sub diferite tipuri de fișier de tip .dat, .pdf sau alt format suportat de Microsoft Office.

Algoritmii dezvoltati și testați pot fi folosiți și la dezvoltarea altor aplicații similare cu cea descrisă în această lucrare.

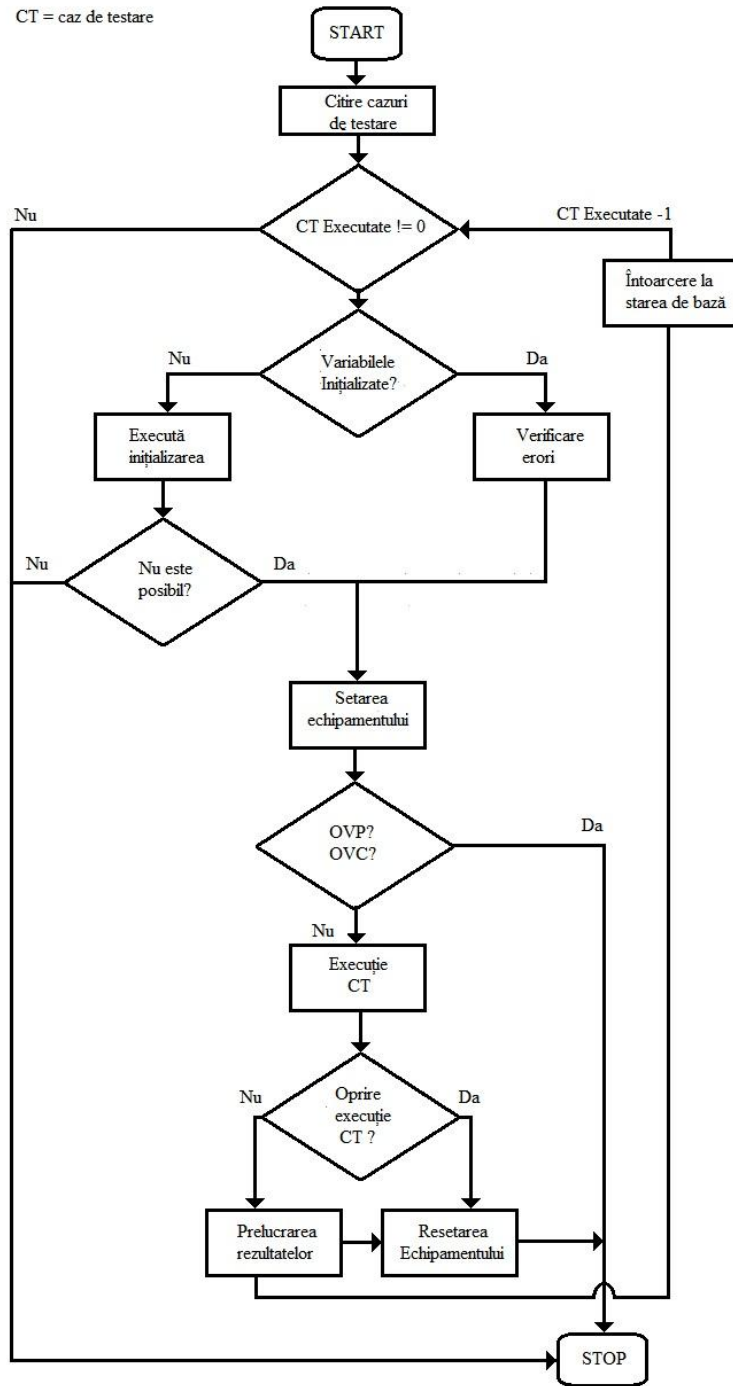


Figura4.9 Algoritm pentru execuția unui caz de testare

Pentru sistemele de tip HiL, algoritmul programului operațional este definit de firma producătoare de software, contribuțiile autorului fiind la nivelul structurii cazurilor de testare. Au fost create două tipuri de teste a căror structură este prezentată în figurile 4.10, respectiv 4.11. Parcurgând pașii menționați în aceste organigrame s-au efectuat 200 de teste de tip FT și 400 de teste de tip FRT. Aceste teste verifică funcționalitățile ECU-ului într-un mediu simulat, asemănător cu cel al autovehicolului real. Deoarece la proiectarea funcționalităților sunt așteptate anumite reacții ale sistemului în urma unor evenimente, prin cazurile de testare se verifică că ECU-ul reacționează cum a fost proiectat în cadrul sistemului simulat fiind ultima etapă înainte de echiparea autoturismelor supuse testării.

Un exemplu de caz funcțional este acela al trimerii comenzii de oprire a motorului cu combustie al autoturismului în cazul în care pedala de frână este apasată pentru mai mult de 3s iar turația turbinei scade sub un anumit nivel.

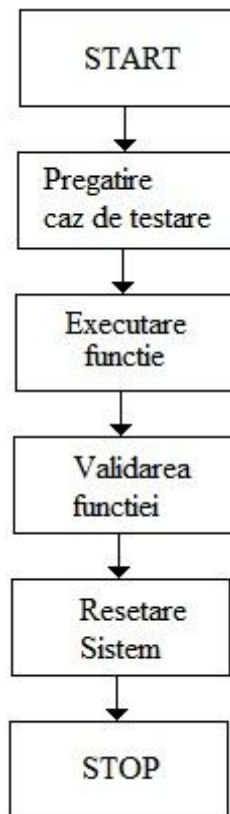


Figura 4.10 Structură pentru cazurile funcționale FT

Pentru cazurile de testare de tip FRT, un exemplu poate fi scurt-circuitarea pinului de comunicație CAN la masă sau la tensiunea de alimentare. În acest caz diagnoza trebuie să fie activă, funcțiile principale ale mașinii sunt trecute pe CAN-ul de urgență iar în memoria calculatorului se stochează un cod de eroare permanent.

Acest cod de eroare rămâne activ în memorie până la îndepărtarea sursei de eroare, după îndepărtare fiind trecut inactiv. Ștergerea definitivă poate fi efectuată doar cu diagnoza originală.

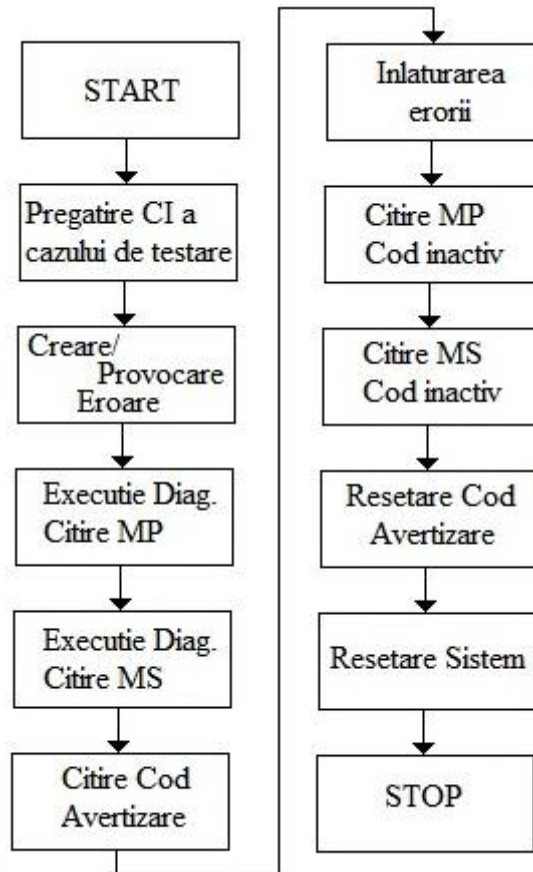


Figura 4.11 Algoritm / Structură pentru cazurile de reacție la stimuli FRT

CI = Condiții inițiale
 MP=memorie primară
 MS= memorie secundară

Cazurile de testare noi implementate vor respecta algoritmiu cadru prezentați în figurile 4.10 și 4.11. Folosirea algoritmilor cadru prezentați vor conduce la un mod de lucru structurat, cu pași bine definiți, scrierea specificațiilor de testare devine mai simplistă, fiind asigurate condițiile cadru pentru test. Automatizarea cazurilor de testare devine mai ușoară folosind aceste structuri, deoarece pot fi definite două template-uri pentru cazurile de testare, FT respectiv FRT, care ulterior pot fi modificate corespunzător cerințelor din specificații. Nerespectarea structurii prezentate în figura 4.11, pentru cazurile de testare FRT, poate conduce la interpretări eronate a rezultatelor. În cazul în care nu se dorește

citirea unei memorii în urma diagnozei pasul se poate sări prin introducerea valorii de None la rezultate așteptate.

Am creat , cu ajutorul programului ECU Test, o librărie cu toate pachetele funcționale necesare creării cazurilor de testare prezentate mai sus. Ideea de bază a aceste librări, idee care aparține autorului, este ca pachetele să fie dezvoltate într-un mod în care pot fi folosite pentru mai multe configurații simultan. Dacă la început fiecare ECU avea o librărie proprie, după construirea acestei librări, 3 ECU-uri aveau librărie comună. Rezultatul acestei librării comune va fi timpul economisit pentru dezvoltarea unei librării noi pentru fiecare ECU nou, astfel rezultând o reducere a costurilor cu procesul de automatizare a cazurilor de testare. Pentru dezvoltarea unei noi librări destinate unui nou ECU sunt nevoie de aproximativ 400 de ore, din care aproximativ 320 vor fi economiste. 80 de ore vor fi folosite pentru validarea tuturor funcțiilor din librărie, în cazul găsirii anumitor erori acestea vor fi rezolvate în numărul de ore alocat, erorile fiind de ordin minor. Costul de dezvoltare pe ora este de 60€, rezultând o reducere a costurilor de 19.200€. Librăria creată de autor a fost folosită pentru 3 ECU-uri, rezultând o economie totală de 57.600€. Mai mult folosind această librărie, dezvoltată de autor, împreună cu structurile prezentate, în figurile 4.10 și 4.11, pot conduce la o reducere a timpului total de lucru la aproximativ 60% din timpul total. Acest lucru este posibil deoarece și cazurile de testare pot fi preluate și modificate coprespunzător cu noile cerințe. Exemple de modificări ce trebuie efectuate: se așteaptă un nou cod în memoria primară sau în memoria secundară, se încarcă un alt fișier de diagnoză, se schimbă codul de avertizare.

Autorul a lucrat cu echipa de dezvoltare a modelului pentru ca împreună să poată fi dezvoltat un sistem de testare automat, ușor adaptabil la noi cerințe. O modificare esențială efectuată împreună cu echipa de dezvoltare a fost manipularea anumitor funcții prin ID-uri specifice, aceasta a dus la crearea fișierelor de mapare a semnalelor unei configurații, cu mențiunea că ID-urile sunt identice în fiecare fișier. ID-urile reprezintă o identitate unică atribuită unui semnal într-un fișier de mapare, în schimb semnalele pot fi denumite altfel dar având aceeași funcționalitate. Manipularea unui semnal se poate realiza în orice configurație prin apelarea ID-ului unic. De exemplu CTRL_CC_MEM_DIS este legat prin fișierul de mapare la 7 semnale distincte, din configurații distincte. Dacă se dorește citirea valorii semnalului, este suficientă citirea acestui ID. Pentru a înțelege mai bine cum funcționează programul cu fișierele de mapare este prezentată figura 4.12.

Practic figura 4.12 arată că programul ECU Test la rularea unui caz de testare oferă posibilitatea de citire sau scriere a unui semnal, semnal apelat printr-un ID unic dintr-un fișier global de mapare sau a unui fișier de mapare local în cazul de testare. Dacă ID-ul corespunde unui fișier global atunci se va trece la pasul următor și se va identifica baza de semnale respectivă în funcție de linia de produs aleasă.

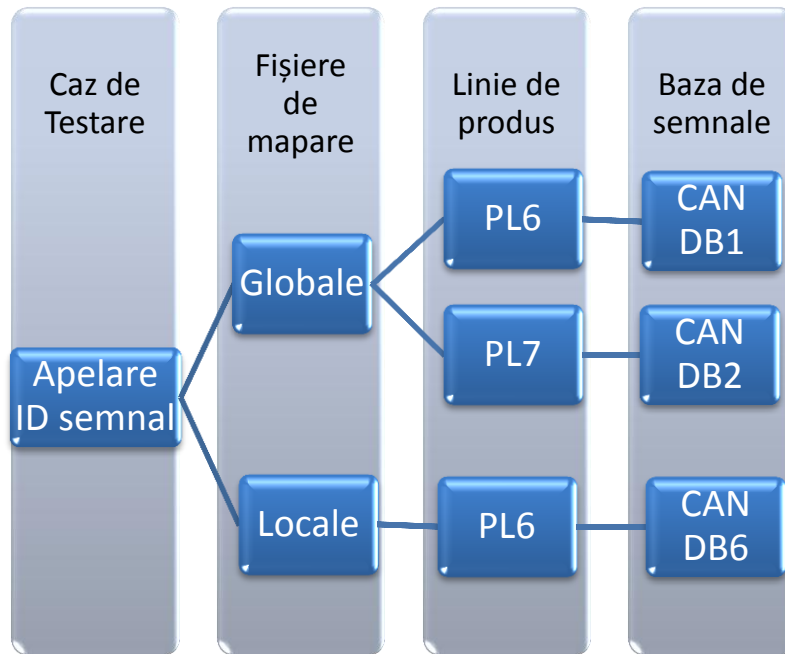


Figura 4.12 Conexiune ECU Test cu fișierele de mapare

4.4 Drive pentru echipamentele HW

În acest paragraf, autorul prezintă implementarea driverelor specifice aparaturii folosite pentru construcția sistemului de testare automată, prezentat în această lucrare. Construcția driverelor este necesară pentru a putea controla echipamentele electronice în cadrul aplicației de testare în modul dorit de utilizator. În teză se prezintă driverele construite de autor în procesul de testare, folosind manualele de utilizare ale firmei Agilent, manuale în care se află comenzile SCPI (comenzile standard pentru programarea instrumentelor) corespunzătoare [56][126-140][142][149][150][154][159][186][198][199]. Driverele reprezintă integrarea în software a comenzilor de natură software pentru comanda echipamentelor hardware de la distanță, comandă care permite pregătirea echipamentelor într-o stare necesară pentru un anumit test. Prin intermediul driverelor se pot modifica parametri de intrare sau ieșire, în funcție de caz, a echipamentelor electronice. Driverele construite în cadrul acestei teze sunt:

- Driver pentru multimetrul digital;
- Driver pentru unitatea de rutare;
- Driver pentru generatorul de funcții;

- Drivere pentru aparatele de tip osciloscop pentru setarea bazei de timp, a parametrilor de canal, a condițiilor de declanșare, a setării panoului frontal, a citirii anumitor măsurători;
- Driver pentru sursa de alimentare;

Principiul de funcționare al driverelor implementate de autor este următorul: trimiterea unei comenzi sub forma unui vector unidimensional din panoul frontal (sau fișier excel), citirea celulelor vectorului unidimensional și atribuirea fiecărei celule pentru o comandă bine definită.

Astfel pentru DMM (multimetru digital), autorul a creat driver-ul prezentat în figura 4.13.

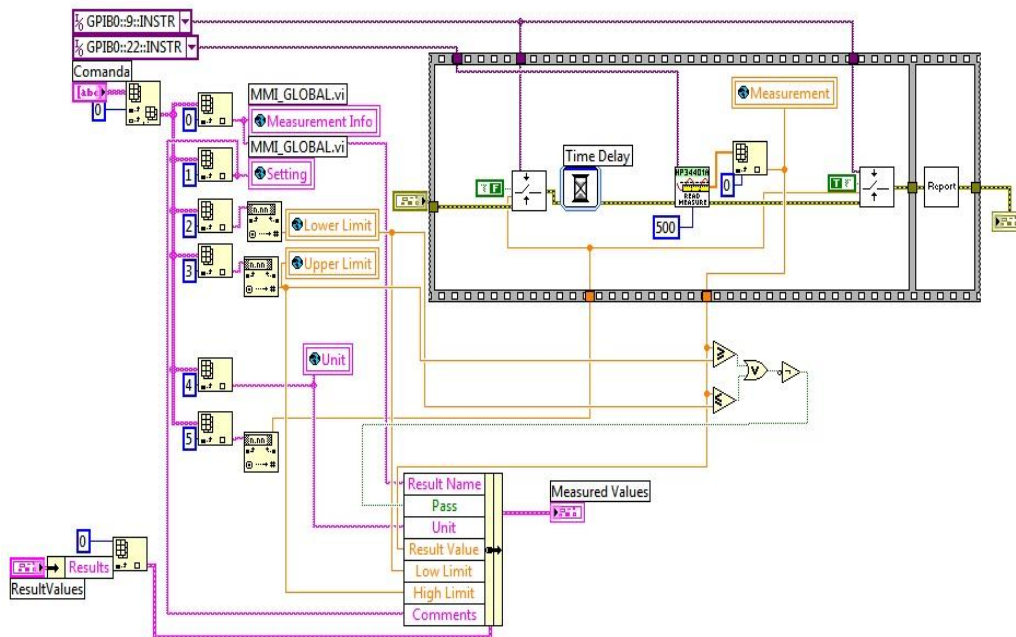


Figura 4.13 Driver pentru DMM-ul Agilent 34410A

După cum se poate observa în figura 4.13 driverul acesta va citi comanda principală, care va avea o structură de genul: Nume semnal, Test point, Limită inferioară, limită superioară, unitate de măsură, numărul releului ce trebuie închis și deschis. Astfel la începutul testului releul corespunzător pentru un semnal este acționat în poziție închis, se efectuează măsurătoarea dorită pe domeniul necesar parametrului măsurat, se compară această valoare măsurată cu limitele superioară respectiv inferioară după care se acționează în poziția deschis releul corespunzător iar valoarea împreună cu evaluarea valorii măsurate se scriu într-un raport de testare. În acest mod, se va executa o măsurătoare completă cu aparatul de măsurat Agilent 34410A, iar prin acționarea releului pe poziția închis respectiv deschis de la începutul și sfârșitul testului se vor asigura condițiile de protecție la scurt pe ieșirea unității de multiplexare Agilent 34907A.

Pentru unitatea de rutare, driverele sunt mult mai simple deoarece la această unitate releele sunt acționate pe cele două stări: închis respectiv deschis. Driverul implementat este prezentat în figura 4.14. Pentru comanda unui releu pe poziția închis este nevoie de trimiterea unei comenzi de tipul: Close 101, prin această comandă programul înțelege să acționeze releul 101 pe poziția închis.

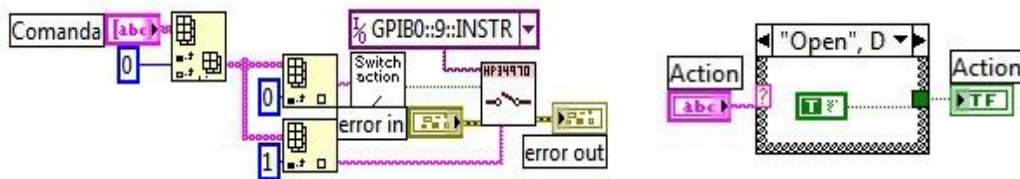


Figura 4.14 Driverul pentru unitatea de rutare

Pentru generatorul de funcții, driverul implementat este prezentat în figura 4.15. Acest driver are posibilitatea de:

- selectare a impedanței de ieșire: HiZ sau 50Ω;
- selectarea formei de undă generate;
- Amplitudinea;
- Offset-ul;
- Frecvența;
- Symetria;
- Activarea ieșirii;
- Activarea unui Puls.

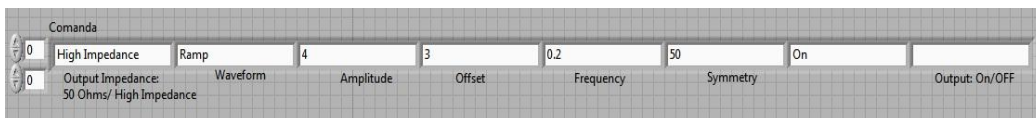


Figura 4.15a Comanda trimisă de dezvoltator pentru configurarea FG-ului

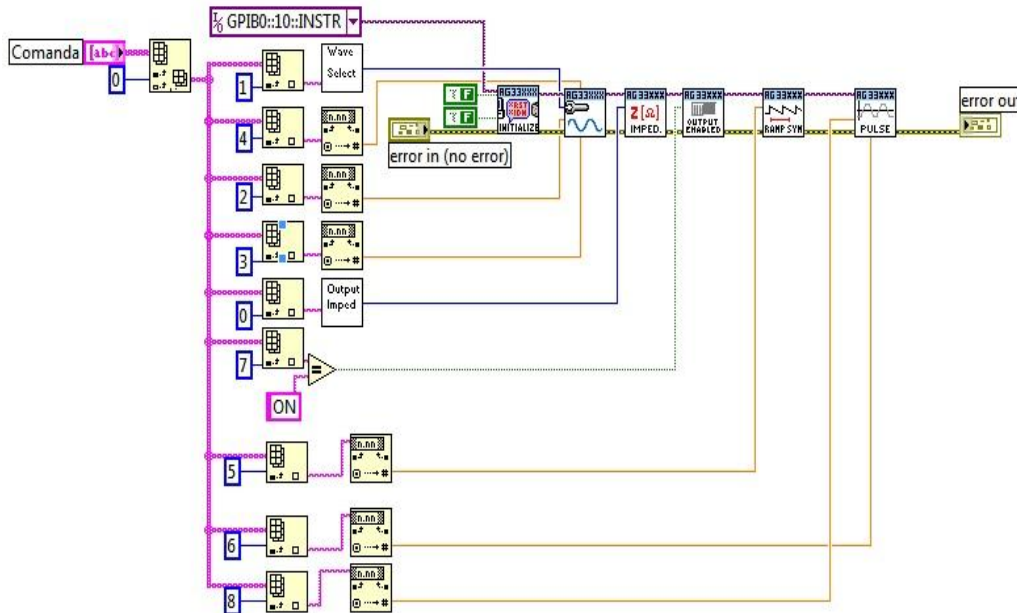


Figura 4.15b Driverul care demultiplexează linia de comandă a FG-ului

În figura 4.16 este prezentată modalitatea de alegere a unei forme de undă cu ajutorul unui VI, deoarece formatul de tip text nu este acceptat, autorul realizează o conversie a textului într-un număr numit ID, ID atribuit fiecărei forme de undă posibilă a fi generată.

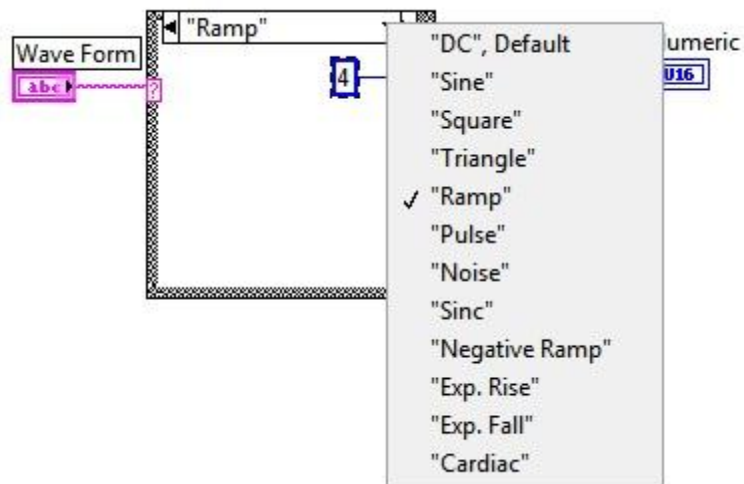


Figura 4.16 Atribuirea de ID pentru formele de undă posibile a fi generate cu FG-ul

Deoarece în cadrul cazurilor de testare este nevoie de generarea unui semnal modulat autorul a implementat următorul driver pentru generarea acestor tipuri de semnale, prezentat în figura 4.17.

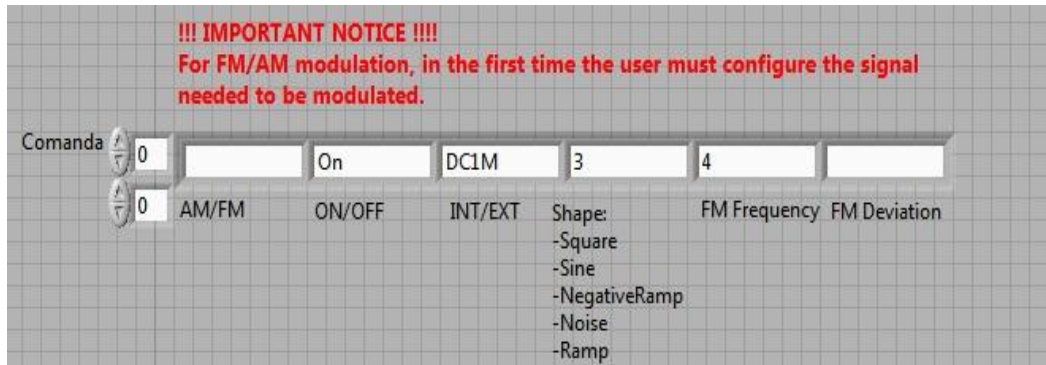


Figura 4.17a Comanda din panoul frontal pentru generarea semnalelor modulate cu generatorul de funcții

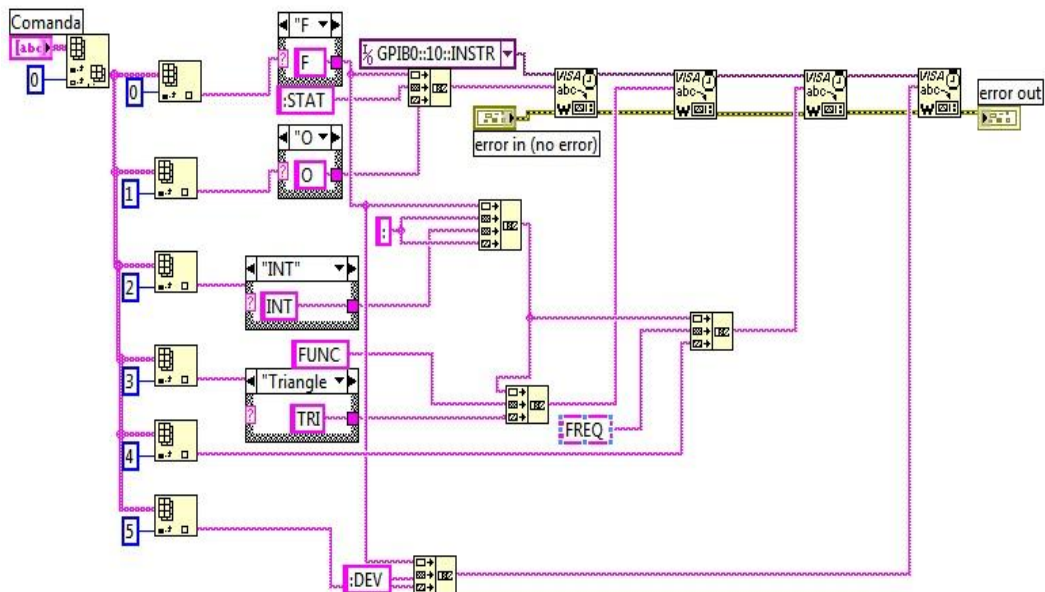


Figura 4.17b Implementarea în diagrama bloc a comenzilor SCPI pentru generarea semnalelor modulate cu generatorul de funcții

Comanda ce trebuie transmisă cu acest driver are următoarea formă: Tipul modulației (AM – modulație în amplitudine / FM – modulație în frecvență, Activarea modulației, semnalul modulator intern sau extern, forma semnalului modulator, frecvența sau amplitudinea semnalului modulator).

Acest ATS poate comanda 2 tipuri de osciloscop, Textronix și LeCroy. Pentru fiecare din cele două aparate de măsură, autorul a creat linii de comandă adaptate aplicației de testare automate [57][114].

Astfel, pentru osciloscopul LeCroy autorul a realizat următoarea linie de comandă, utilizată pentru configurarea canalelor osciloscopului:

Numele canalului – Channel1, Channel2, Channel3 sau Channel4; Activarea canalului – On/Off; Cuplajul Canalului – DC1M, AC1M, DC50, AC; Amplitudinea verticala pe diviziune – introdusă manual de autor 1V, 2V, 5V, 10V sau subunități ale acesteia; Offeset-ul canalului necesar pentru poziționarea pe ecran a semnalului electric; Lățimea de bandă; Atenuarea probei de măsură.

În figura 4.18 este prezentată linia de comandă trimisă pentru setarea parametrilor, precum și implementarea în mediul LABView pentru aplicația de testare.

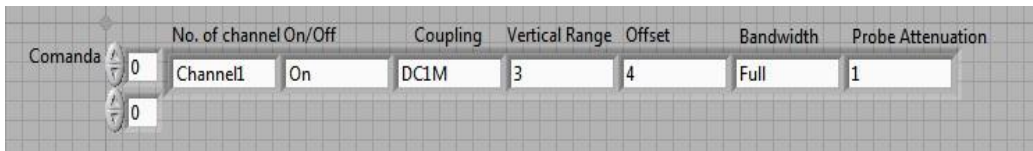


Figura4.18a Linia de comandă trimisă pentru configurarea osciloscopului LeCroy

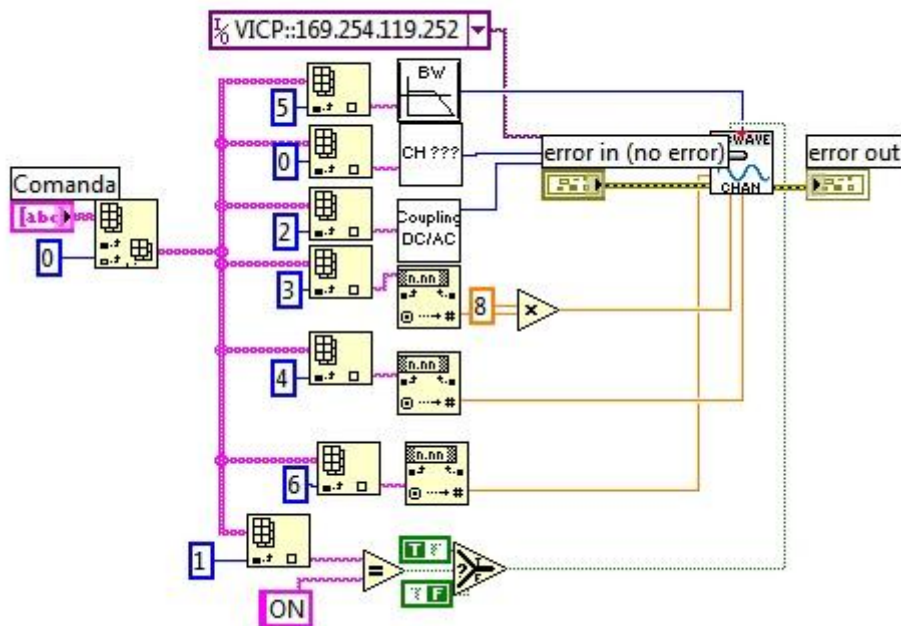


Figura 4.18b Interpretarea liniei de comandă în diagrama bloc pentru setarea osciloscopului Lecroy

Pentru setarea bazei de timp a osciloscopului LeCroy, linia de comandă conform liniei de cod SCPI este:

Timpul bazei de timp – cât însumează întregul ecran al osciloscopului;
 Poziția de unde va începe trigger-ul; Numărul de puncte care compun imaginea.
 Astfel în figura 4.19 se vor prezenta linia de comandă implementată pentru configurarea bazei de timp a osciloscopului precum și interpretarea acesteia cu ajutorul aplicației LABView.



Figura 4.19a Linia de comandă trimisă pentru configurarea bazei de timp a osciloscopului LeCroy

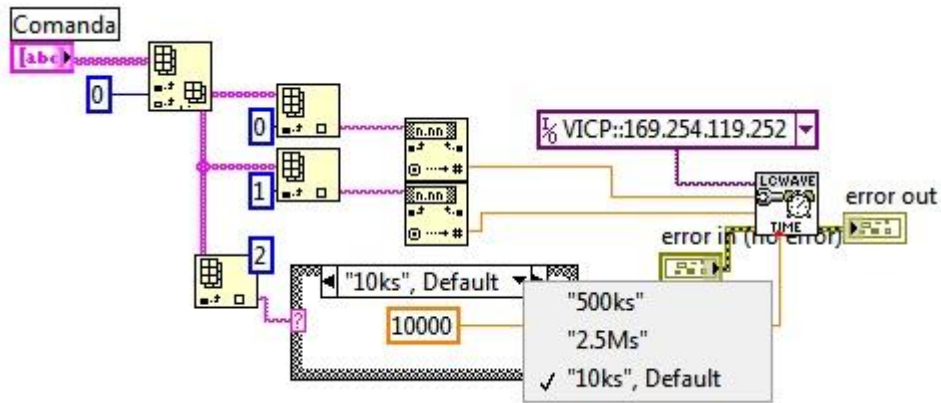


Figura 4.19b Interpretarea liniei de comandă pentru configurarea bazei de timp a osciloscopului LeCroy

Pentru a vizualiza o formă de undă, după niște condiții prestabilite, este nevoie de configurarea condițiilor de declanșare (de *triggerare*) ale osciloscopului pentru oscilografie. Aceste condiții fac ca semnalele electrice să apară pe ecranul osciloscopului numai după îndeplinirea acestora. Un exemplu, al condițiilor de declanșare, este: declanșează achiziția singulară atunci când semnalul electric de pe canalul 1 este pe front negativ la 2.5V iar canalul 2 este pe front pozitiv la 1.75V. Linia de comandă pentru condiția de triggerare, din figura 4.20a, este de forma: modul de triggerare – Auto, normal, single sau Stop; Sursa canalului pe care se face trigger – Channel1, Channel2, Channel3, Channel4 sau Linie Externă; Nivelul de tensiune al semnalului – valoare introdusă de utilizator cu mențiunea că nu trebuie să depășească valoarea semnalului pentru a fi active condițiile de declanșare;

Frontul pe care sunt active condițiile de declanșare – front crescător sau front căzător; Cuplarea – cuplaj AC sau DC; Modul de reținere; Dacă modul de reținere este în funcție de timp se va adăuga valoarea timpului de *Holdoff*. În figura 4.20b este prezentată implementarea în LABView a interpretării liniei de comandă.

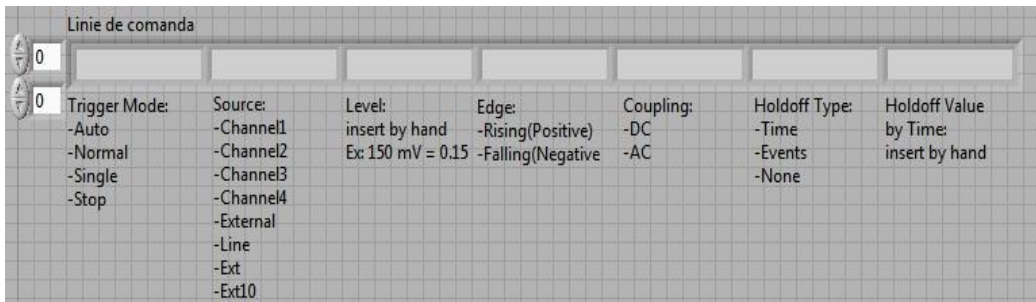


Figura 4.20 a Linia de comandă trimisă pentru configurarea condițiilor de declanșare în cazul osciloscopului LeCroy

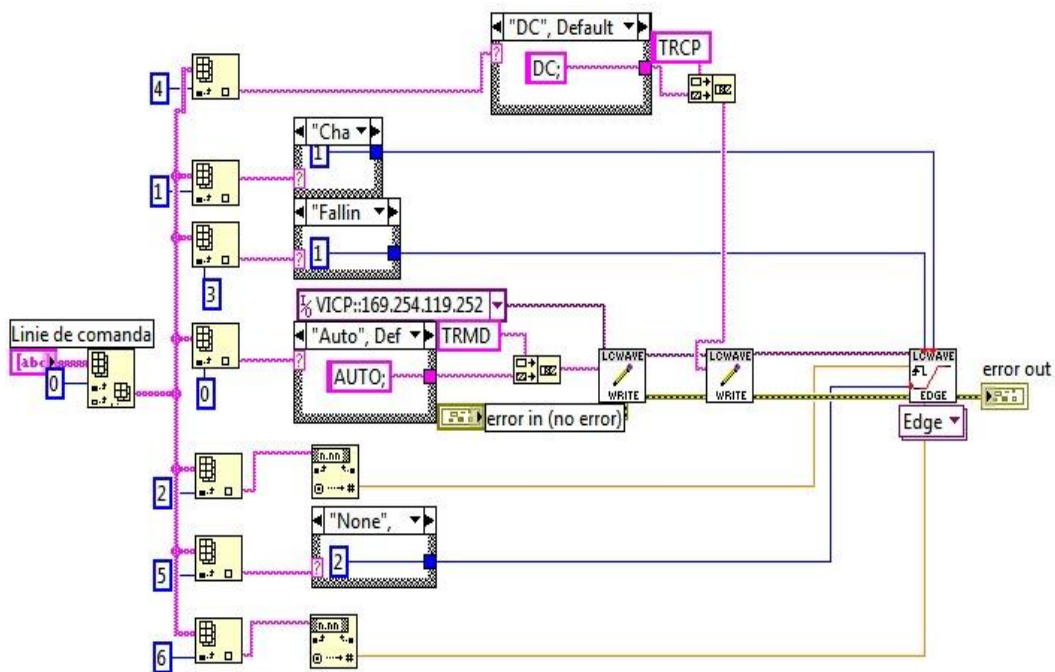


Figura 4.20b Interpretarea linie de comandă pentru configurarea condițiilor de declanșare în cazul osciloscopului LeCroy

Pentru a realiza mai ușor unele configurații de măsurare s-a folosit opțiunea de salvare a osciloscopului a setărilor existente pe panoul frontal. Prin aceste fișiere salvate pe osciloscop există posibilitatea ca această salvare să fie apelată și utilizată

Într-un timp foarte scurt. Din manualul de utilizare, s-au folosit comenzile STPN și RCPN (*STPN = store front pannel configuration, respectiv RCPN = recall front pannel configuration*) care au fost introduse în linia de comandă pentru salvarea sau apelarea configurației panoului frontal al osciloscopului. În linia de comandă trebuie inclusă în a doua celulă calea către locul unde a fost configurația salvată.

În figura 4.21 se prezintă linia de comandă implementată de autor pentru salvarea configurației panoului frontal precum și interpretarea acesteia în aplicația de testare.

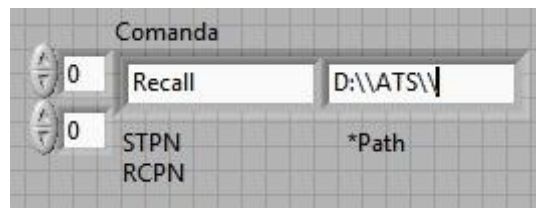


Figura 4.21a Linia de comandă trimisă pentru apelarea panoului frontal al osciloscopului LeCroy

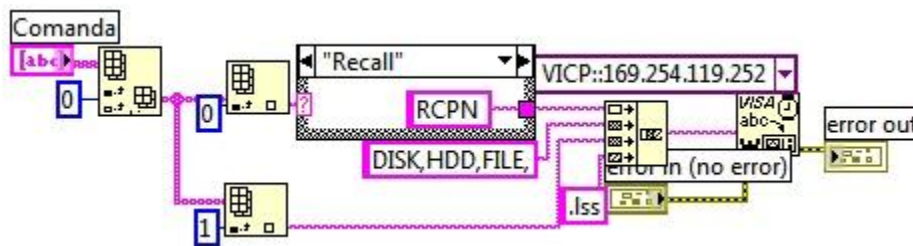


Figura 4.21b Interpretarea liniei de comandă pentru apelarea panoului frontal al osciloscopului LeCroy

După configurarea bazei de timp, a condițiilor de declanșare sau apelarea unei anumite configurații pentru panoul frontal, se implementează o modalitate de citire a parametrilor pentru semnalele electrice de pe unul din cele patru canale ale osciloscopului LeCroy. În figura 4.22 se prezintă linia de comandă ce este transmisă pentru măsurarea unui parametru de pe un canal al osciloscopului LeCroy, precum și modalitatea de interpretare a acestei linii de comandă în cadrul aplicației de testare. În cadrul programului LABView va fi citită fiecare celulă a vectorului unidimensional, citirea fiind transformată în linii de cod transmise echipamentului hardware. Ca exemplu: din figura 4.22a se citește poziția 2 și 3, care reprezintă o măsurătoare de un anumit tip, pentru exemplu vom alege Base de pe canalul 1, astfel programul LABView va trimite prin intermediul interfeței GPIB următoarea linie de comandă conform standardului SCPI: READ MEASurement BASE CHannel 1; Răspunsul aparatului va fi prelucrat în programul LABView în conformitate cu restul liniei de comandă: atribuirea unui nume pentru semnalul electric, citirea limitelor

inferioare și superioare ale măsurătorii, compararea cu aceasta limită și prezentarea rezultatului: Failed sau Passed (neacceptat sau acceptat).

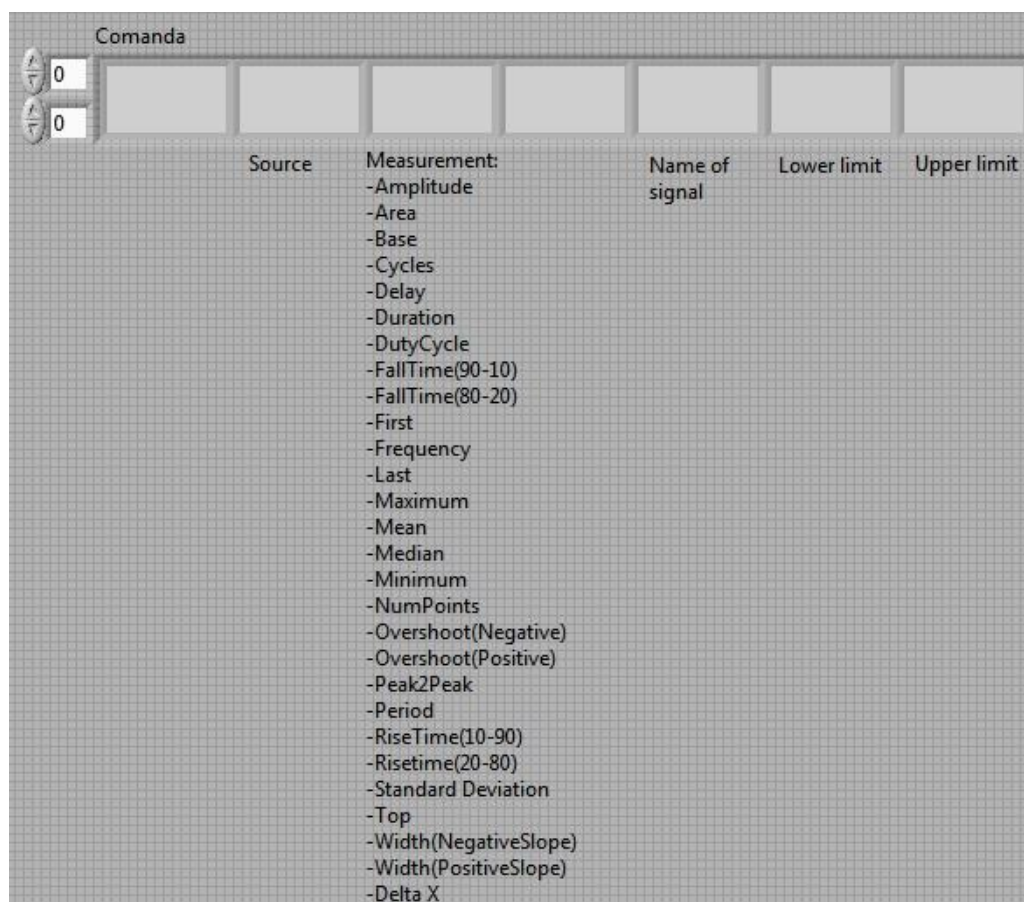


Figura 4.22 a Linia de comandă pentru măsurarea unui parametru electric al semnalelor prezente pe unul din cele 4 canale ale osciloscopului LeCroy

După cum se poate observa din figura 4.22 cu acest driver se pot efectua mai multe tipuri de măsurări ale parametrilor electrici prezenți la intrarea celor 4 canale ale osciloscopului LeCroy. Precizează că este necesară trimiterea unei linii de comandă pentru citirea unui parametru al semnalului electric de pe un anumit canal. Astfel dacă se dorește măsurarea frecvenței pentru semnalele electrice achiziționate la intrarea celor 4 canale ale osciloscopului, va fi nevoie de trimiterea a 4 linii de comandă precum în figura 4.23.

Autorul a integrat chiar și posibilitatea de a măsura diferența dintre cursoare, aceasta diferență fiind utilă în cazul unor cazuri de testare.

Osciloscopul Tektronix DPO2000 are nevoie de folosirea driverului prezentat în figura 4.24 pentru aplicația dezvoltată de autor, dar acest driver are o

funcționalitate redusă. Aceasta poate afișa pe ecran valoarea măsurată pentru un parametru al unui semnal electric, dar nu poate fi citită în aplicație.

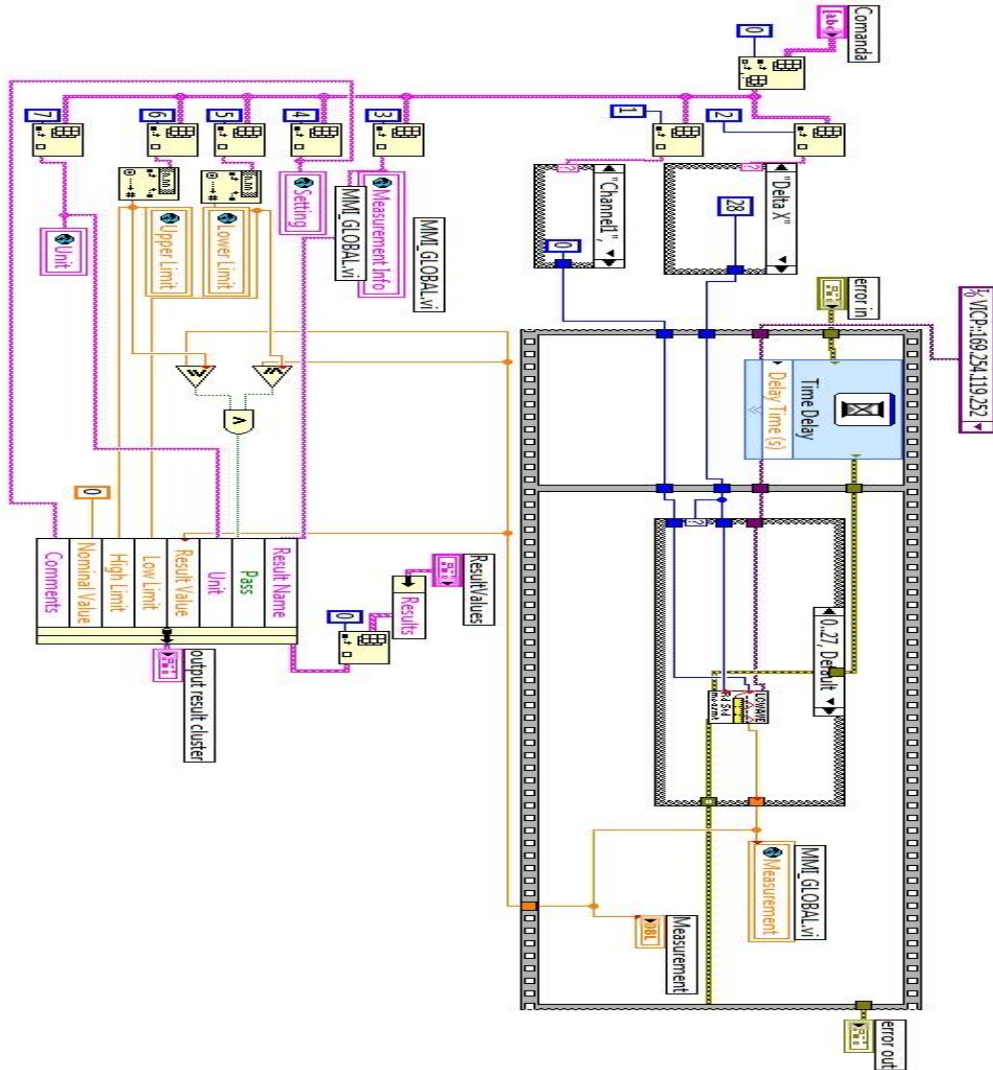


Figura 4.22 b Interpretarea liniei de comandă pentru măsurarea unui parametru electric al semnalelor prezente pe unul din cele 4 canale ale osciloscopului LeCroy

Measure OSC	Source	Measurement	MMI Global	Name	Lower Limit	Upper Limit	Unit
5V SMPS	Channel1	Frequency	Frequency	5V	90000.000	110000.000	Hz
1V8 SMPS	Channel2	Frequency	Frequency	1V8	480000.000	520000.000	Hz
1V2 SMPS	Channel3	Frequency	Frequency	1V2	480000.000	520000.000	Hz
3V SMPS	Channel4	Frequency	Frequency	3V	480000.000	520000.000	Hz

Figura 4.23 Linii de comandă ce trebuie trimise către osciloscop pentru citirea mai multor parametrii, pentru fiecare canal al osciloscopului

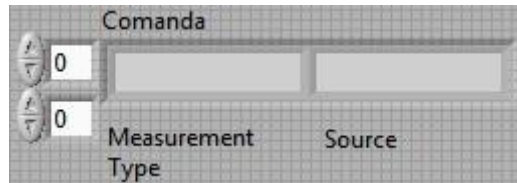


Figura 4.24a Linie de comandă trimisă pentru afișarea unui parametru cu ajutorul osciloscopului Tektronix DPO2000

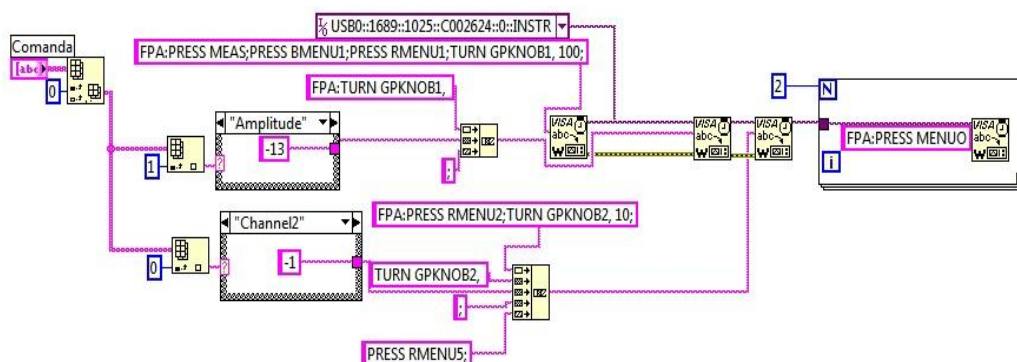


Figura 4.24b Interpretarea liniei de comandă trimisă pentru afișarea unui parametru cu ajutorul osciloscopului Tektronix DPO2000

Pentru a putea realiza citirea valorilor de întârziere dintre cursoare a fost creat algoritmul redat în figura 4.25. Acest algoritm presupune trimiterea unei linii de comandă, prezentată în figura 4.25a care va fi interpretată conform implementării din figura 4.25b.

Comanda						
Type of measurement:	Curs. pos:	Measurement no.:	Source Channel:	"to" Channel:	Edge for source channel:	Edge for "to" channel:
-Delay	-BACKWards	-1	-CH1	-CH1	-Rise	-Rise
-Phase	-Forward	-2	-CH2	-CH2	-Fall	-Fall
		-3	-CH3	-CH3		
		-4	-CH4	-CH4		

Figura 4.25a Linie de comandă ce trebuie trimisă pentru efectuarea unei măsurători de întârziere – *delay* cu osciloscopul Tektronix

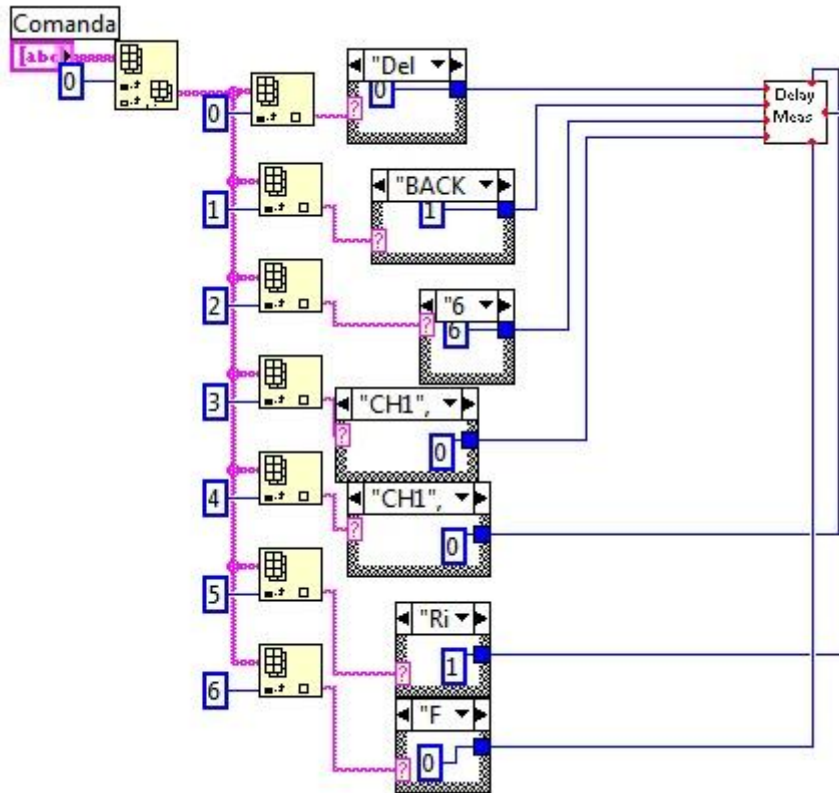


Figura 4.25b Interpretarea liniei de comandă ce trebuie trimisă pentru efectuarea unei măsurători de întârziere – delay cu osciloscopul Tektronix

Practic linia de comandă va fi împărțită pe mai multe celule, fiecare celulă selectând valoarea dorită prin programarea cazului de testare aceasta selectând din structurile de tip CASE valoarea unor ID-uri atribuite de autor în urma unor nume sugestive. Astfel aceste ID-uri vor transmite valoarea numerică necesară construirii comenzii de tip SCPI pentru osciloscopul Tektronix DPO2000. În figura 4.26 este prezentată modalitatea de construire a unei comenzi SCPI (comenzi standard de programare a instrumentelor) cu mediul de programare LABView, comandă care va fi selectată prin transmiterea liniei de comandă prezentată în figura 4.25a. Astfel pentru a măsura întârzierea canalului 2, având ca semnal declanșator canalul 1, cu direcția dinspre canalul 1 spre canalul 2, măsurarea fiind afișată pe ecran cu numărul 0 pe fronturile negative ale canalelor trebuie trimisă următoarea linie de comandă: Delay Forward 0 CH1 CH2 FALL FALL. Comanda SCPI trimisă osciloscopului la rularea acestui caz de testare va fi:

```
MEASU:MEAS0:SOURCE1 CH1;;
MEASU:MEAS0:SOURCE2 CH2;;
MEASU:MEAS0:DELay:DIR FORW;;
```

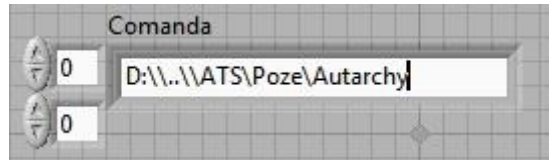



Figura 4.27a Linie de comandă pentru salvarea pozelor pe hard disk-ul local cu aplicația de testare

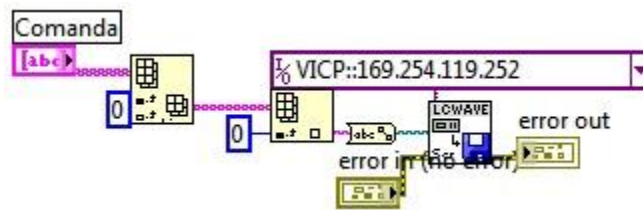


Figura 4.27b Interpretarea liniei de comandă pentru salvarea pozelor pe hard disk-ul local cu aplicația de testare

Pentru o exploatare mai facilă a osciloscopului este necesară generarea unei soluții de etichetare a canalelor osciloscopului în prezentarea oscilogramelor. Prin etichetarea canalelor în momentul testării se asigură citirea ușoară a semnalelor și după scurgerea unei perioade de timp de la efectuarea testului. În acest mod poza salvată pe calculatorul local poate fi folosită oricând pentru validarea unor teste.

În figura 4.28a este prezentată linia de comandă implementată pentru etichetare, iar în figura 4.28b este prezentată interpretarea liniei de comandă pentru etichetare.

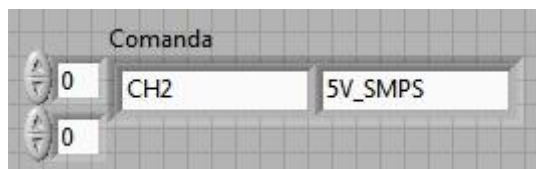


Figura 4.28a Linie de comandă necesară pentru etichetarea canalelor osciloscopului Tektronix

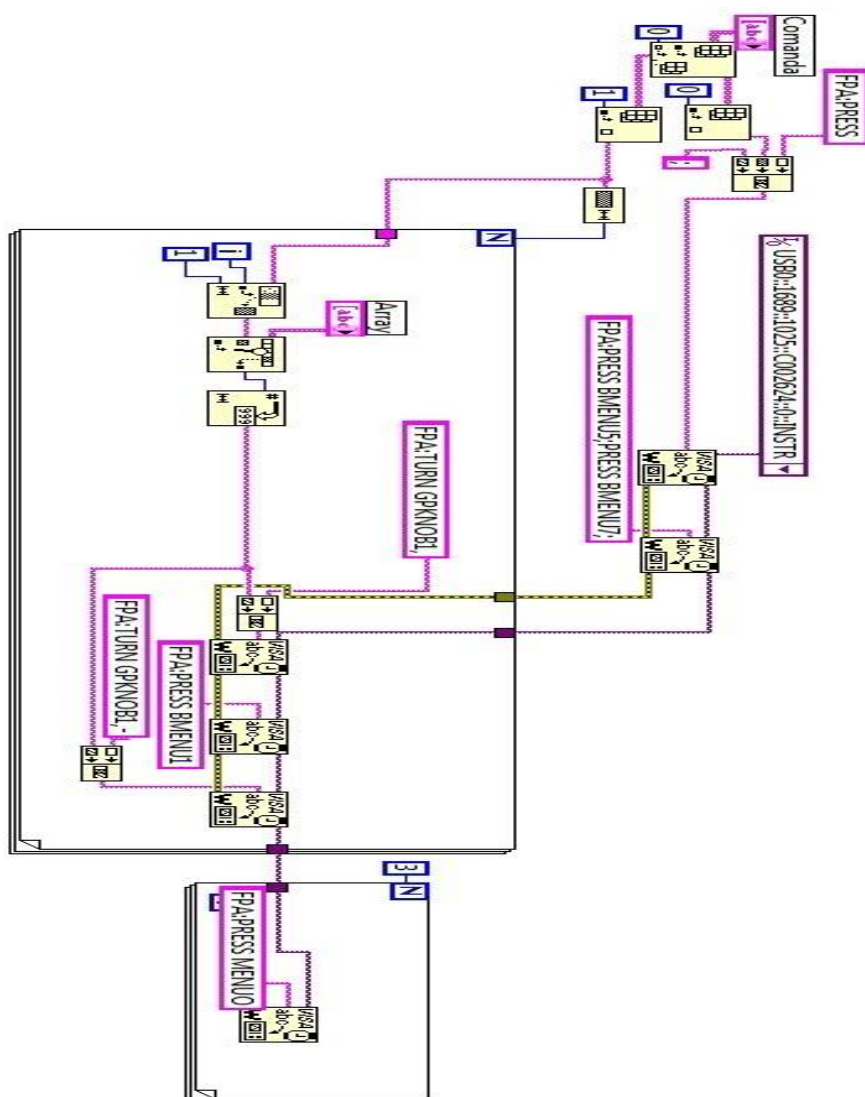


Figura4.28b Interpretarea liniei de comandă necesară pentru etichetarea canalelor osciloscopului Tektronix

În cele prezentate în acest paragraf s-a dorit să se descrie modalitatea de construire a algoritmilor în modul de programare LABView. Aplicația de testare construită de autor este capabilă să funcționeze cu două tipuri de osciloscop: LeCroy Wavesurfer 64Xs și Tektronix DPO. Toate produsele companiei LeCroy sau Tetronix pot fi comandate cu ajutorul acestei aplicații de testare, aceasta însemnând îndeplinirea condiției de portabilitate a aplicației de testare.

4.5 Cazuri de testare implementate

Înainte de efectuarea oricăror teste asupra unui dispozitiv sau componentă electronică trebuie parcurși mai mulți pași [52][70][101][113][115]. Aceștia sunt:

- Analiza documentației de testare furnizate de producător sau OEM;
- Se proiectează arhitectura sau structura hardware a ATS-ului;
- Se construiește arhitectura hardware pentru ATS – achiziție de noi echipamente sau upgrade la cele existente;
- Se construiește sau se personalizează interfața pentru proiectul respectiv, dacă este nevoie;
- Se identifică limitările impuse de proprietățile hardware;
- Se identifică limitările impuse de mediul de programare;
- Se identifică cazurile de testare ce pot fi reutilizate;
- Se construiesc noile cazuri de testare pentru cerințele neacoperite – autorul recomandă alcătuirea acestor teste într-un mod care să permită utilizarea și în cadrul altor proiecte.

Acesta este punctul în care noi cazuri de testare pot fi implementate în aplicația de testare. Cazurile de testare pot fi construite într-un mod în care portarea cazurilor de la un proiect la altul să fie ușor de făcut. Autorul a reușit pentru ambele sisteme de testare automată, ICT și HiL, să construiască cazuri de testare care pot fi portate în cadrul mai multor proiecte. Ca rezultat se realizează o reducere a timpului de lucru necesar dezvoltării ATS-ului, o reducere a costurilor necesare dezvoltării ATS-ului, oferă portabilitate cazurilor și o eficiență ridicată.

ECU-urile din cadrul industriei automotive sunt de obicei împărțite pe mai multe module: parte analogică și parte digitală [68][109][199]. Din partea analogică fac parte modulele de power supply, filtre și protecții electrice [58]. Din partea de module digitale fac parte: modulul de comunicație – modulul Control Area Network (CAN), modulul de calcul – microcontrollere și oscilatoare, bus-uri de comunicație, memorii [43][48].

În urma participării autorului tezei la elaborarea și punerea în practică a proiectelor de testare din cadrul industriei automotive, s-au desprins următoarele tipuri de teste și măsurători ce trebuie efectuate asupra blocurilor analogice ale unui ECU (sistem de control electronic), parte din arhitectura autoturismelor:

- Măsurarea parametrilor surselor de tensiune;
- Măsurarea eficienței sursei de tensiune;
- Măsurarea tensiunii de referință pentru sursele SMPS;
- Testarea comportamentului surselor BUCK în funcție de tensiunea de intrare;
- Testarea protecției ECU-ului la supratensiune de alimentare;
- Testarea comportamentului ECU-ului la sub tensiune de alimentare;
- Testarea comportamentului ECU-ului în cazul întreprinderii tensiunii de alimentare pentru durate scurte;
- Testarea comportamentului ECU-ului în cazul alimentării cu tensiune nefiltrată;

- Testarea comportamentului ECU-ului în cazul alimentării cu tensiune inversă;
- Testarea comportamentului ECU-ului în cazul alimentării cu forme de undă specifice domeniului automotive.

În cele ce urmează se vor prezenta câteva din testele enumerate mai sus.

Testarea surselor de alimentare de curent continuu

În ECU-urile automotive, sursele de tensiune preferate sunt de tipul celor care lucrează în comutație, de tip BUCK. În figura 4.29 se prezintă structura unei astfel de surse și formele de undă caracteristice acestei surse. Datorită faptului că valorile se testează după metoda boundary extragerea limitelor superioare și inferioare se realizează din fișiere Mathcad unde sunt calculate aceste limite [158][161-163]. Metoda de testare de tip boundary presupune compararea valorilor măsurate cu limitele superioare, respectiv inferioare obținute în urma unor calcule matematice care descriu funcționarea sursei. Aceste calcule se realizează în fișiere de tip MATHcad sau MATLAB, iar în calculul parametrilor superiori, respectiv inferiori al surselor se va ține cont de variația componentelor în raport cu temperatura.

Aceste convertoare de tip BUCK, în cadrul ECU-urilor automotive, unde constituie principala sursă de tensiune pentru celelalte circuite vor funcționa întotdeauna în regim CCM – continuous current mode. Autorul dorește modul de deducere a ecuației de funcționare pentru convertorul Buck, pentru o mai bună înțelegere a parametrilor ce urmează a fi mășurați.

Atunci când tranzistorul este închis:

$$V_O = V_i - V_O \quad (4.1)$$

Când tranzistorul este deschis:

$$V_L = -V_O \quad (4.2)$$

Curentul prin bobina:

$$V_L = L \frac{dI}{dt} \quad (4.3)$$

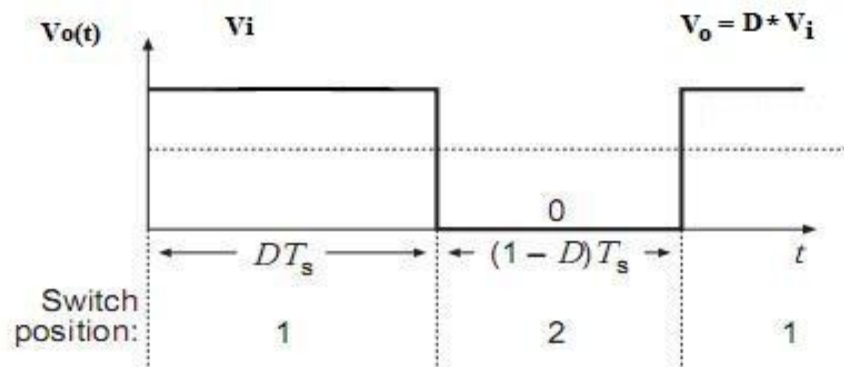
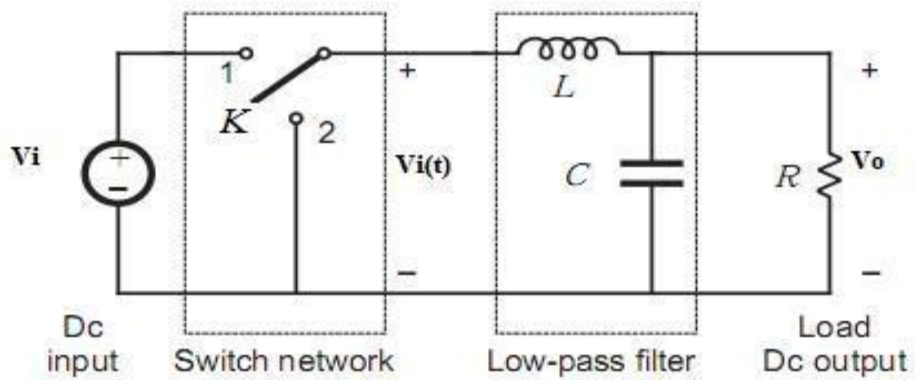


Figura 4.29 Structura Buck, prezentare forme de undă

$$\Delta I_{Lon} = \int_0^{t_{on}} \frac{V_L}{L} dt = \frac{(V_i - V_o)}{L} t_{on}, t_{on} = DT \quad (4.4)$$

$$\Delta I_{Loft} = \int_{t_{on}}^T \frac{V_L}{L} dt = -\frac{V_o}{L} t_{off}, t_{off} = (1 - D)T \quad (4.5)$$

$$\frac{(V_i - V_o)}{L} t_{on} - \frac{V_o}{L} t_{off} = 0 \quad (4.6)$$

$$(V_i - V_o)DT - V_o(1 - D)T = 0 \Rightarrow V_o = DV_i \quad (4.7)$$

Din ecuația 4.7 se pot extrage primii parametri care sunt esențiali a fi testați: tensiunea de intrare, parametrul duty cycle și tensiunea de ieșire. S-au

elaborat teste în care se măsoară acești parametri la diferite temperaturi, pentru a vedea comportamentul convertorului BUCK în întreg range-ul automotive.

Pe lângă aceste teste care verifică funcționalitatea convertorului BUCK, în modul CCM, au fost generate teste de eficiență. Pentru măsurarea eficienței voi defini acest termen ca fiind raportul dintre puterea de ieșire și puterea de intrare, ecuația 4.8.

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} = \frac{V_o I_o}{V_i I_i} \quad (4.8)$$

Pentru măsurarea eficienței unui convertor sau a unei surse SMPS, se va folosi structura de ATS prezentată de autor în figura 3.2, în plus fiind nevoie și de o rezistență decadică programabilă pe GPIB. Cu ajutorul acestei rezistențe decadice se va regla curentul de ieșire la o valoare prestabilită. Autorul menționează că acest test este semiautomat, deoarece este nevoie izolarea convertorului BUCK de circuit și datorită faptului că două DMM-uri vor fi folosite ca ampermetre și necesită legarea lor în serie. Practic acest test nu este complet automat fiindcă la începutul testului este nevoie de intervenția operatorului uman. Pentru o automatizare completă este nevoie de introducerea în schema electrică a unui șunt, pentru măsurarea curenților. Algoritmul software implementat în aplicație poate rula testul într-un mod complet automatizat putând fi folosit cu succes în orice aplicație automotive, și este prezentat în figura 4.30.

Practic în cadrul ECU-urilor din domeniul automotive se află 2-4 convertoare de tip BUCK care vor realiza tensiuni de 5V_SMPS, 3V3_SMPS, 1V8_SMPS și 1V2_SMPS necesare celorlalte module ale ECU-ului. Pentru toate aceste convertoare, pot fi folosite cazurile de testare mai sus, implementarea fiind efectuată o singură dată cu structura prezentată în capitolul 3 și aplicația din capitolul 4, refolosind testele în cadrul a 3 proiecte automotive în cadrul unui producător de componente electronice pentru această industrie [34][35][40][147][185]. Reutilizarea testelor este posibilă în oricare alt proiect folosind structurile prezentate anterior.

Se prezintă în continuare, testele identificate și implementate conform standardului ISO 16750 [91][92][93][94][95][67][182-183].

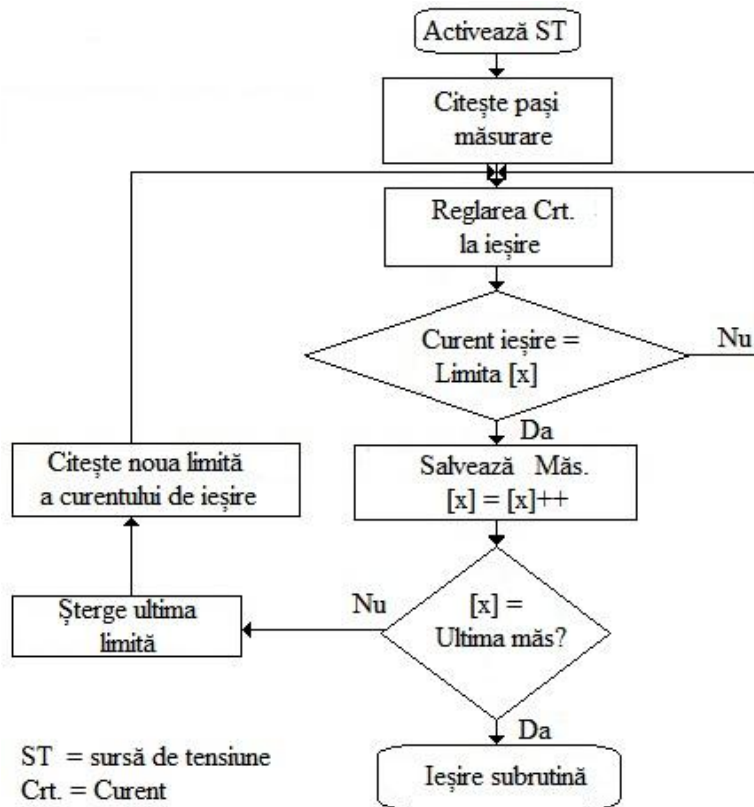


Figura 4.30 Algoritm pentru testarea eficienței unui convertor BUCK

Verificarea Curentului de intrare la tensiunea minimă de alimentare, tensiune nominală și tensiunea maximă de alimentare. Scopul acestui test este de a verifica comportamentul ECU-ului pe domeniul de tensiune în care acesta ar trebui să fie activ. Pragurile de tensiune folosite de standardul ISO 16750 sunt prezentate în tabelele 4.1 și 4.2. Din aceste tabele se pot observa limitele inferioare respectiv superioare ale tensiunii de alimentare a ECU-ului la care trebuie citită valoarea intensității curentului electric absorbit de la baterie, în cazul testării de la sursa de tensiune. Tensiunea nominală este 13.5V în cazul sistemelor de 12V (autoturisme mici) și 24V (autovehicule mari de tip utilitare camion). OEM-ul (producătorul original de echipament) trebuie să definească din ce clasă face parte senzorul, această clasă fiind relevantă pentru alegerea tensiunilor de alimentare.

Rezultatele testării pot fi observate în tabelul 4.10 – măsurători cu DMM-ul (multimetrul digital), rândurile 21-23.

Tabelul 4.1 Tensiuni de alimentare pentru sisteme automotiv $V_i=12V$

Code	Supply Voltage [V]	
	V_{min}	V_{max}
A	6	16
B	8	16
C	9	16
D	10.5	16

Tabelul 4.2 Tensiuni de alimentare pentru sisteme automotiv $V_i = 24V$

Code	Supply Voltage [V]	
	V_{min}	V_{max}
A	10	32
B	16	32
C	22	32

Testarea comportamentului ECU-ului la tensiuni de alimentare mai mare decât tensiunea de alimentare maximă admisă de producător (overvoltage)

Standardul ISO 16750 prevede ca acest test să se efectueze după cum urmează: se aplică la bornele ECU-ului o tensiune de alimentare, de la o sursă de tensiune de curent continuu, mai mare decât tensiunea maximă stabilită conform standardului, tensiune maximă care permite funcționarea corespunzătoare. Durata aplicării aceste tensiuni trebuie să depășească 60 de min, toleranța fiind de maximum 5 minute. Pe durata aplicării perturbației exterioare asupra ECU-ului, acesta nu trebuie să îndeplinească funcția normală pentru care a fost proiectat. După eliminarea tensiunii perturbatoare, ECU-ul își va relua funcționarea după specificațiile de funcționare. Rezultatele pentru acest caz de testare sunt prezentate în figura 4.42.

Încărcarea și descărcarea treptată a bateriei

În acest test se va observa comportamentul ECU-ului la încărcarea, respectiv descărcarea, bateriei autovehicolului – fiind observabile protecțiile ECU-ului la tensiuni de alimentare prea mici, sub tensiunea minimă de funcționare și la tensiuni de alimentare prea mari, peste tensiunea maximă de funcționare. ECU-ul trebuie să se comporte normal doar în domeniul de tensiune pentru care a fost proiectat. Testul durează aproximativ 4 ore. Rezultatele pentru acest caz de testare sunt prezentate în figura 4.37.

Discontinuități ale tensiunii de alimentare

Practic în acest test se va observa comportamentul ECU-ului în momentul în care siguranțele altor circuite devin inactive sau active. Se vor genera pentru o scurtă perioadă de timp mici căderi ale tensiunii de alimentare, după formele prezentate în figura 4.31 și tabelul 4.3. Rezultatele pentru acest caz de testare sunt prezentate în figura 4.40.



Figura 4.31 – Forma de undă generată la intrarea ECU-ului pentru întreruperi de scurtă durată ale tensiunii de alimentare

Tabel 4.3 – Tensiunile V_{drop} care trebuie atinse pentru discontinuități ale V_{in}

Name	Supply Voltage [V]	
	$V_{in} = 12$	$V_{in} = 24$
V_{drop}	4.5	9

Profil de start

Acest test va verifica comportamentul ECU-ului în timpul și după pornirea motorului. Forma de undă după care se face testarea este redată în figura 4.32 iar parametrii electrici și timpii aferenți în tabelul 4.4. Rezultatele testului sunt prezentate în figura 4.48.

Tabel 4.4 Tensiuni ale formei de undă pentru profilul de start

Name	Supply Voltage[v] / Time [ms]	
	$V_{in} = 12$	$V_{in}=24$
V_B	13.5	16
V_s	4,5	8
V_a	6,5	15
T_r	5	10
t_6	15	50
t_7	50	50
t_8	1	20
t_r	40/100	40/

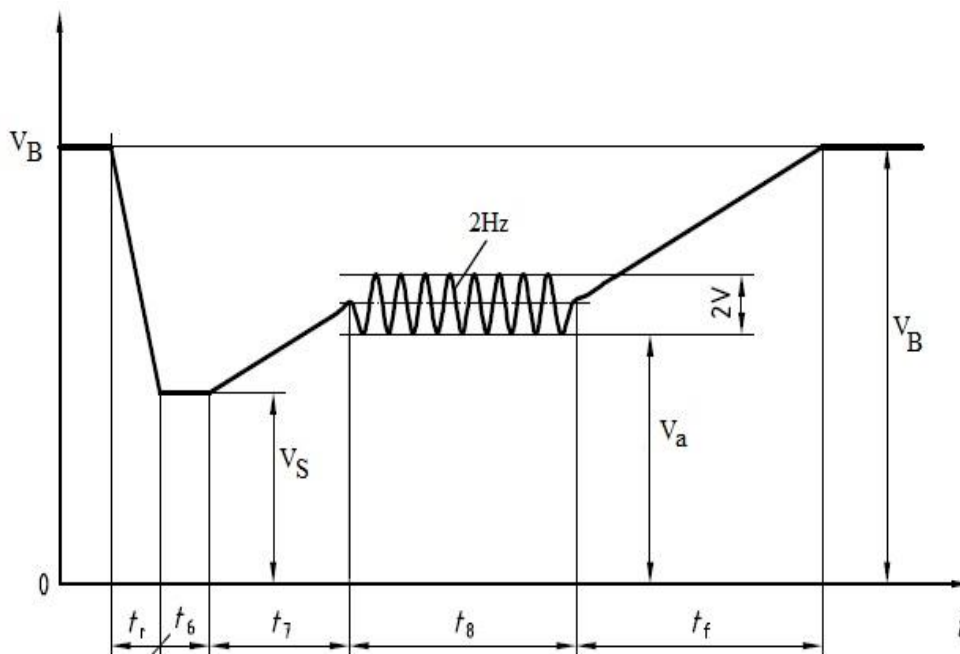


Figura 4.32 Formă de undă generată pentru testul profilului de start

Reversed voltage

Acest test verifică funcționarea ECU-ului în momentul în care este folosit un dispozitiv auxiliar pentru pornirea autovehicolului. ECU-ul ar trebui să reziste tensiunii inverse, pe durata perturbației ECU-ul neavând un comportament specific, dar după eliminarea perturbației ECU-ul ar trebui să funcționeze după specificațiile de proiectare. Rezultatele sunt prezentate în figura 4.44.

Cazurile de testare de mai sus au fost implementate de autor pentru partea de module analogice iar testele au fost validate de producătorul automotive cu rezultate satisfăcătoare. Testele au fost acceptate și integrate ca teste standard în cadrul mai multor proiecte, fiecare test fiind utilizabil pentru proiectele cu domeniile de tensiune amintite.

Este o sinteză critică făcută de autor asupra celor mai moderne metode privind comunicația CAN folosită în industria automotive [22][80-88][24][54][55][122][123][143-146][184].

CAN – Controller Area Network – este magistrala de tip master multiplu de interconectare a ECU-urilor în arhitectura autovehicolului. Această magistrală poate avea viteze diferite, dar tendința standardizată în ultima perioadă este de a folosi o configurație CAN pe 500kbit/s. Fiecare nod este pasibil să trimită sau să primească mesaje, dar nu simultan. În general un mesaj constă dintr-un ID – identificator care reprezintă prioritatea mesajului și până la 8 biți de date. Pe magistrala CAN transmisia se face în modul serial, iar la magistrală se pot conecta senzori, actuatore sau alte dispozitive de control cu posibilitate de comunicare pe CAN.

Conectarea nu se face în mod direct, fiind nevoie de un *host processor* – procesor gazdă și un controller de CAN. În momentul când magistrala este liberă, orice dispozitiv poate transmite mesaje pe magistrală, dar în momentul transmiterii a două mesaje simultane pe magistrală, mesajul cu ID-ul prioritar va fi păstrat și transmis celorlalte noduri. Acesta este mecanismul de arbitrare al mesajelor trimise pe magistrala CAN, mesajele cu ID-uri prioritare fiind transmise primele.

Pentru fiecare nod de comunicație CAN este nevoie de:

- Host processor: cu ajutorul acestui procesor se traduc mesajele primite și se identifică răspunsurile ce trebuie trimise;
- CAN controller: cu ajutorul acestui controller se trimite sau recepționează mesajele în format serial;
- Transceiver: cu ajutorul acestui circuit se realizează adaptarea nivelurilor de CAN necesare pentru transmiterea mesajelor, se protejează controllerul de CAN și se realizează conversia mesajului.

În figura 4.33, se arată posibilitatea de conectare a mai multor echipamente la magistrala CAN.

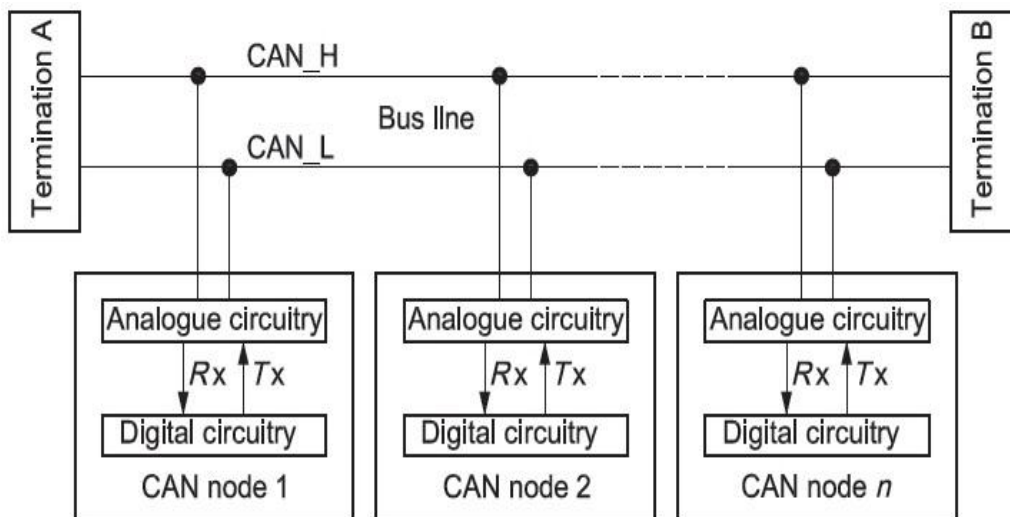


Figura 4.33 Conectarea echipamentelor la magistrala CAN

În figura 4.33 se pot observa două nivele logice de tensiune, CAN_H și CAN_L, nivele de tensiune care sunt relative la masa fiecărui nod individual de CAN. Cele două tensiuni în funcție de nivelul atins, pot genera două stări: starea dominantă și starea recesivă. În starea dominantă are loc transmiterea datelor, în starea recesivă ECU-ul putând recepționa mesaje. Aceste stări sunt prezentate de autor în figura 4.34.

Autorul sublinează importanța acestor tensiuni, prezentate în figura 4.34 pentru buna funcționare a magistralei CAN. Astfel, se poate observa importanța și necesitatea implementării unor teste care să verifice nivelurile de tensiune ale magistralei CAN:

- Verificarea nivelului de tensiune pentru CAN_H (CAN_High);
- Verificarea nivelului de tensiune pentru CAN_L (CAN_Low);
- Verificarea nivelului de tensiune pentru V_{diff} definit ca fiind diferența dintre cele două linii de CAN, ecuația 4.9.

$$V_{diff} = V_{CAN_H} - V_{CAN_L} \quad (4.9)$$

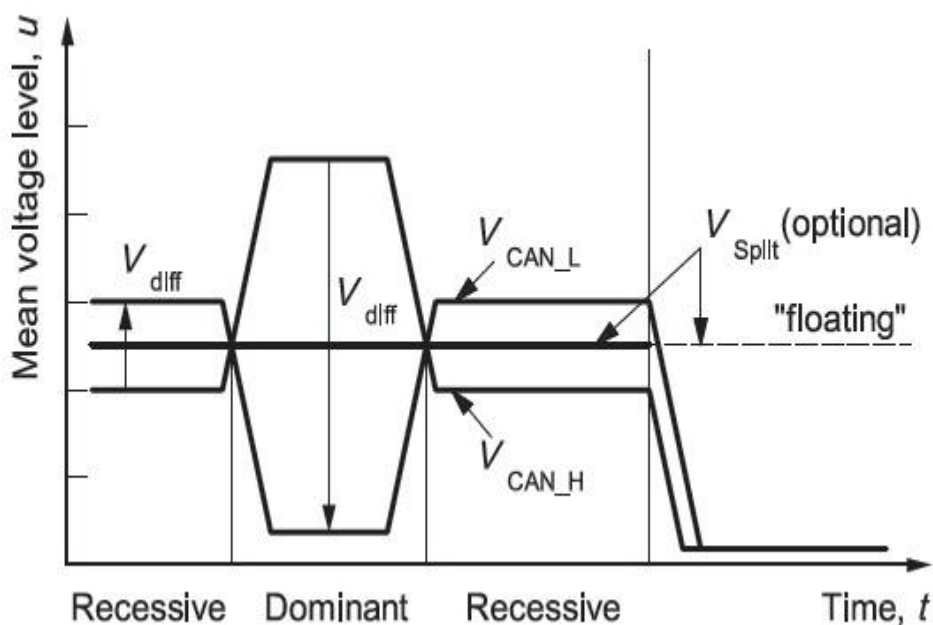


Figura 4.34 Stările dominante și recesive pentru magistrala CAN

Pentru magistrala CAN mai sunt importanți următorii parametri:

- Domeniul de tensiune comună - *Common mode bus voltage range* - definit ca plaja de tensiune pentru care este garantată funcționarea comunicației CAN în cazul conectării numărului maxim de noduri la magistrala CAN;
- R_{diff} - definită ca fiind rezistența văzută între terminalele între CAN_L și CAN_H când ECU-ul este deconectat de la magistrala de CAN;
- R_{in} - definită ca fiind rezistența văzută între terminalele specifice, CAN_H și CAN_L, și terminalul de masă, atunci când ECU-ul este deconectat de la magistrala de CAN;
- C_{in} - capacitatea văzută între terminalele specifice, CAN_H și CAN_L, atunci când ECU-ul este deconectat de la magistrala de CAN.
- t_{node} - suma timpilor de întârziere, necesari pentru a transmite un bit de date, de la controller până la ieșirea *transciever*-ului, atunci când ECU-ul este deconectat de la magistrala de CAN.

S-a reușit implementarea cazurilor de testare capabile a verifica, rezistența diferențială văzută între terminale, rezistența internă, nivelurile de tensiune ale liniei

CAN_H și CAN_L, nivelul de tensiune al diferenței dintre cele două linii pe durata celor două stări folosind pentru validare tabele prezentate mai jos.

Tabelul 4.5 – Parametrii de tensiune ai magistralei în stare recisivă

Parametru	Notăție	Unitate	Valoare [V]			Condiție
			Min.	Nom.	Max.	
Common mode bus voltage	V_{CAN_H}	V		2.5	7.0	Măsurată față de masa fiecărui nod al magistralei CAN
	V_{CAN_L}	V	-2.0	2.5		
Differential bus voltage	V_{diff}	mV	-120	0	12	Măsurată la nodul magistralei conectate la masă

Tabelul 4.6 – Parametrii de tensiune ai magistralei în stare dominantă

Parametru	Notăție	Unitate	Valoare [V]			Condiție
			Min.	Nom.	Max.	
Common mode bus voltage	V_{CAN_H}	V		3.5	7.0	Măsurată față de masa fiecărui nod al magistralei CAN
	V_{CAN_L}	V	-2.0	1.5		
Differential bus voltage	V_{diff}	mV	1.2	2.0	3.0	Măsurată la nodul magistralei conectate la masă

Tabelul 4.7 – Parametrii minimi și maximi pentru tensiunile liniilor CAN_H și CAN_L

Tensiunea nominală a bateriei	Notăție	Valoare [V]	
		Min.	Max.
12V	V_{CAN_H}	-3.0	16.0
	V_{CAN_L}	-3.0	16.0
24V	V_{CAN_H}	-3.0	32.0
	V_{CAN_L}	-3.0	32.0

Tabelul 4.8 – Parametrii DC pentru starea recesivă pentru un nod al magistralei

Parametru	Notăție	Unitate	Valoare			Condiție
			Min.	Nom.	Max.	
Output bus voltage	V_{CAN_H}	V	2.0	2.5	3.0	Fără sarcină
	V_{CAN_L}	V	2.0	2.5	3.0	
Differential output bus voltage	V_{diff}	mV	-500	0	50	Fără sarcină
Differential internal resistor	R_{diff}	k Ω	10		100	Fără sarcină
Internal resistor	R_{in}	k Ω	5		50	
Differential input voltage	V_{diff}	V	-1.0		0.5	

Tabelul 4.9 – Parametrii DC pentru starea dominantă a unui nod CAN

Parametru	Notăție	Unitate	Valoare			Condiție
			Min.	Nom.	Max.	
Output bus voltage	V_{CAN_H}	V	2.75	3.5	4.5	Fără sarcină
	V_{CAN_L}	V	0.5	1.5	2.25	
Differential output voltage	V_{diff}	V	1.5	2.0	3.0	Fără sarcină
Differential input voltage	V_{diff}	V	0.9		5.0	Fără sarcină

Testarea realizată, prin efectuarea măsurătorilor asupra circuitelor CAN din figura 4.35, circuite de CAN care sunt angrenate într-o rețea de dispozitive de tipul celei prezentate în figura 4.34, trebuie să ofere valori ca cele prezentate în tabelele 4.5 – 4.9, valori care vor rezulta din figurile 4.49-4.54 prezentate la partea de rezultate.

Topologia circuitelor de tip CAN, este similară cu cea prezentată în figura 4.35. Astfel prin introducerea punctelor de testare, în diferite puncte ale circuitului, se pot conecta probe de testare care achiziționează semnale cu ajutorul unității de rutare Agilent. Prin intermediul a două relee, care vor fi acționate în poziția deschis sau închis se va efectua conectarea unei impedanțe la ieșire de 120 Ω , valoarea poate fi adaptată în funcție de cerințe. Prin intermediul altor două relee semnalele CAN_H și CAN_L pot fi routate la osciloscop sau la DMM, în funcție de preferință.

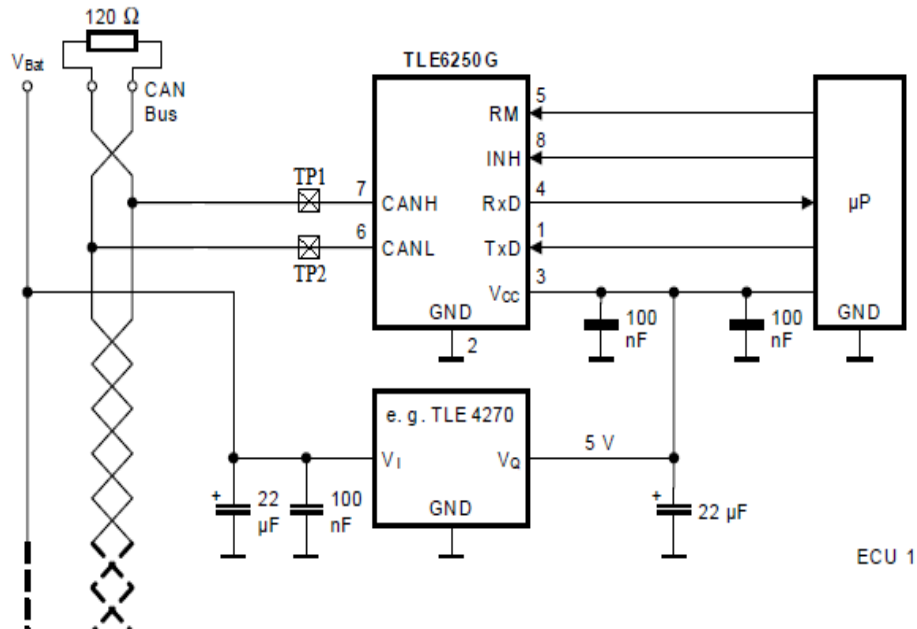


Figura 4.35 Topologia circuitelor CAN

Pentru modulul digital autorul a implementat și integrat un test care verifică timpii în care se mai pot scrie date în memoria EEPROM. Acest test este important pentru validarea posibilității de salvare a datelor. Testul este denumit test de autarhie.

Pentru că ECU-urile în momentul când ajung în laboratoarele de cercetare dezvoltare nu sunt validate, în principiu acestea neavând scrisă nici o versiune de software, autorul a introdus posibilitatea de scriere a software-ului cu acest ATS, prin conectarea unor probe de testare la conectorul de JTAG. Astfel prin intermediul cablului JTAG disponibil din patul de cuie, s-a reușit scrierea SW-ului operațional al funcționării ECU-urilor. Acest software este necesar pentru funcționarea corespunzătoare a sistemului de control electronic. Funcțiile principale ale ECU-ului sunt îndeplinite cu ajutorul părții software. Totodată după scrierea SW-ului, autorul testează tensiunile principale ale ECU-ului, precum și curenții de intrare, pragurile de supratensiune și subțensiune pentru o primă validare a ECU-ului. Acest test se poate verifica ori de câte ori este nevoie pentru a observa funcționalitatea primară a ECU-ului [152].

Pentru sistemele de testare automată de tip HiL, autorul a creat și realizat automatizat FT-uri (teste funcționale) și FRT-uri (teste de tipul reacții la aplicarea unor stimuli), pentru verificarea funcțiilor ce trebuiesc îndeplinite de ECU-ul cutiei de viteze automate, în cadrul unui important dezvoltator de autovehicole. Testele au fost validate cu persoanele responsabile de funcție, rezultatele fiind și în acest caz acceptate cu succes de către dezvoltatorul de autovehicole.

Prin execuția testelor și implementarea acestor tipuri de teste, se are în vedere descoperirea erorilor software ce pot surveni în funcționarea automobilului. Autorul trece în revistă funcțiile pentru care a scris cazurile de testare FT și FRT:

- funcția de oprire a motorului;
- funcția de pornire a motorului;
- funcția de introducere a vitezelor: D, P, R, N, M+, M-, S+, S-;
- funcția de asistență la parcare;
- funcția de siguranță în cazul producerii unei defecțiuni electrice;
- funcția de siguranță în cazul producerii unei defecțiuni mecanice;
- funcția de protecție împotriva rulării nedorite;
- funcția de diagnoză pentru cazul în care se produc erori de tipul *timeout*;
- funcția de diagnoză pentru cazul în care se produc erori de tipul schimbări de date;
- funcția de diagnoză în cazul unor valori neplauzibile a semnalelor de CAN;
- funcția de diagnoză în cazul transmiterii unor valori neplauzibile transmise de ceilalți senzori;
- funcția de diagnoză/protecție în cazul apariției unor tensiuni accidentale prea mari;
- funcția de diagnoză/protecție în cazul apariției unor tensiuni prea mici;
- funcția de diagnoză/protecție în cazul apariției unor perturbații de tip lipsa magistralei de comunicație CAN;

Deoarece proiectul este în derulare sub condiții de confidențialitate, autorul nu poate oferi mai multe detalii, acceptul fiind doar pentru prezentarea unor rezultate parțiale.

4.6 Rezultate obținute

Pentru cazurile de testare prezentate în paragraful anterior, autorul prezintă rezultatele obținute cu cele două tipuri de ATS. La dezvoltarea acestor ATS-uri, autorul a contribuit atât la partea HW, în cazul ATS-ului de tip ICT, cât și la partea SW prin dezvoltarea aplicațiilor de testare – ICT cât și crearea de scripturi pentru cazurile de testare prezentate, în cadrul ambelor sisteme ICT și HiL.

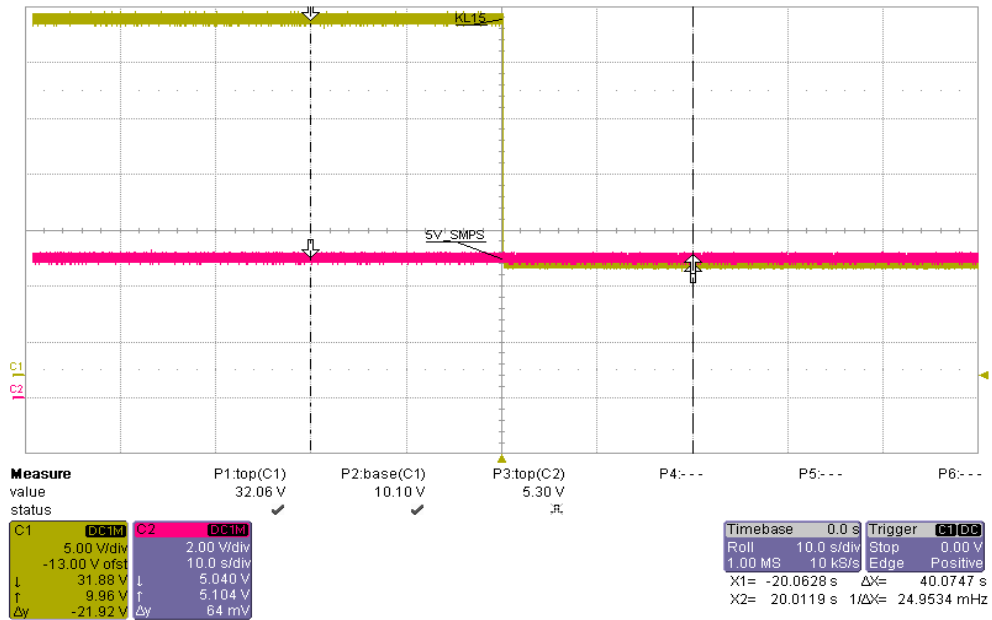


Figura 4.36 – Măsurarea ieșirii sursei principale de 5V la tensiunea minimă și maximă a tensiunii de alimentare

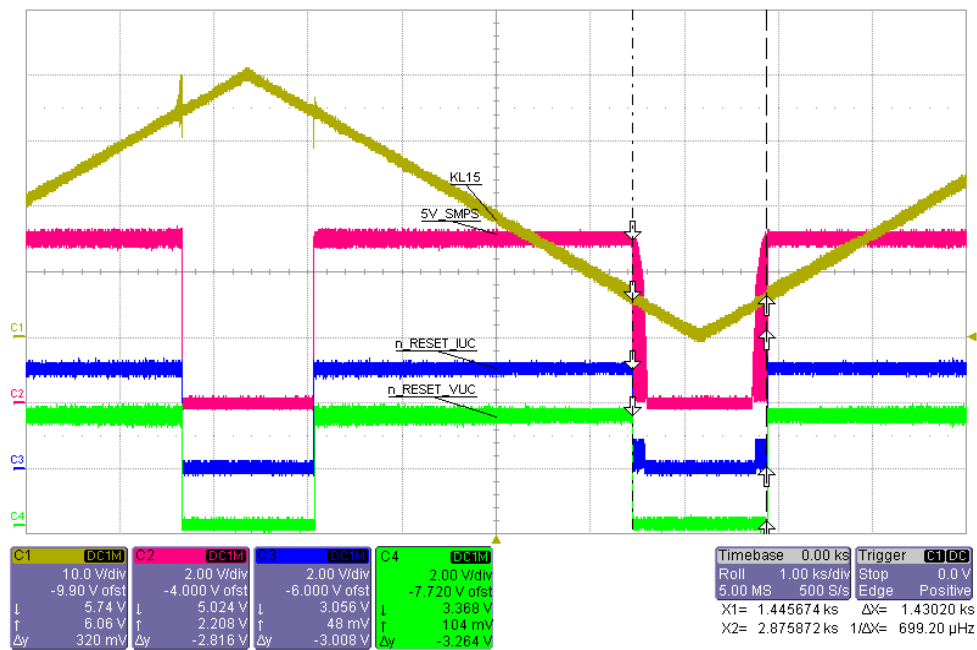


Figura 4.37 – Măsurarea parametrilor semnalelor în cazul testului de încărcare și descărcare treptată a bateriei

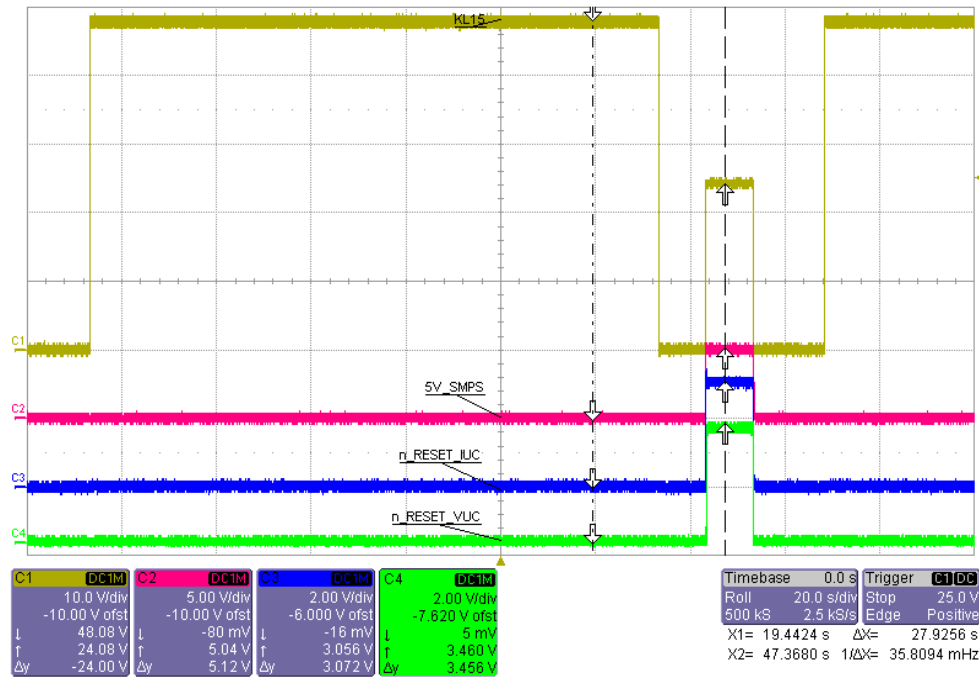


Figura 4.38 – Măsurarea imunității ECU-ului la tensiuni înalte

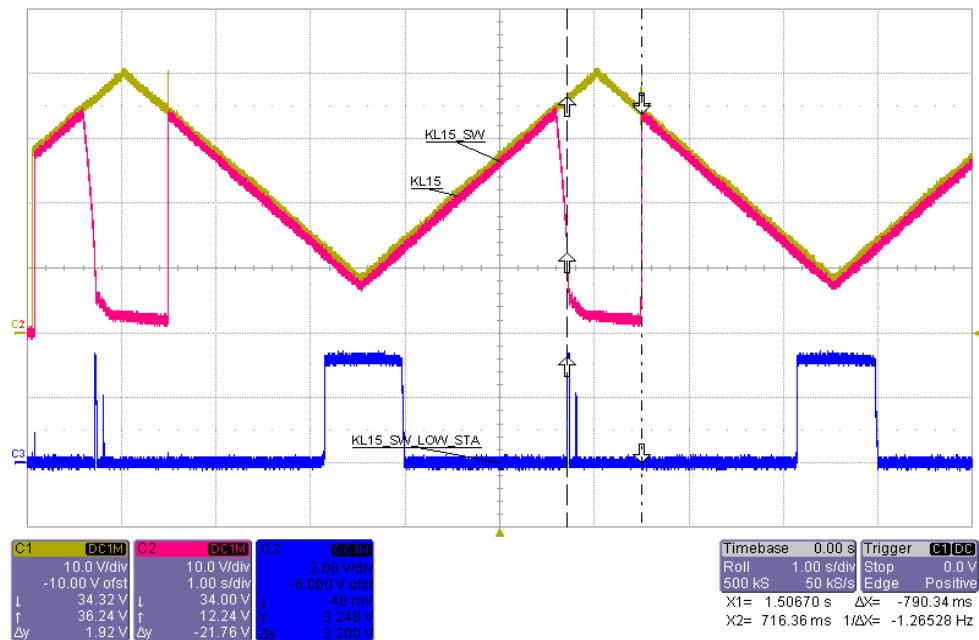


Figura 4.39 – Validarea ECU-ului pentru tensiune de alimentare sub tensiunea minimă admisă

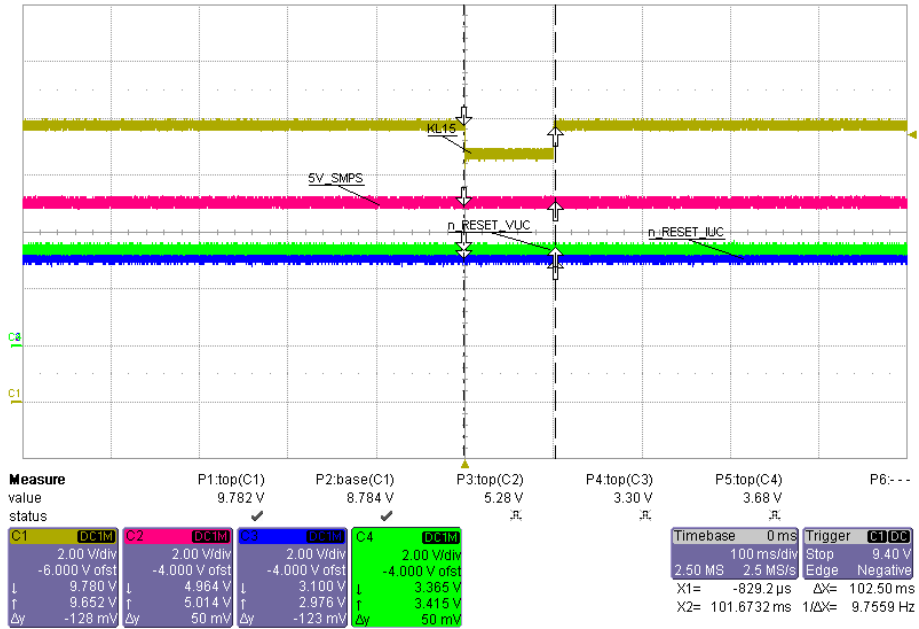


Figura 4.40 – Validarea unității de control electronic în cazul apariției unei întreruperi scurte pe tensiunea de alimentare a acesteia

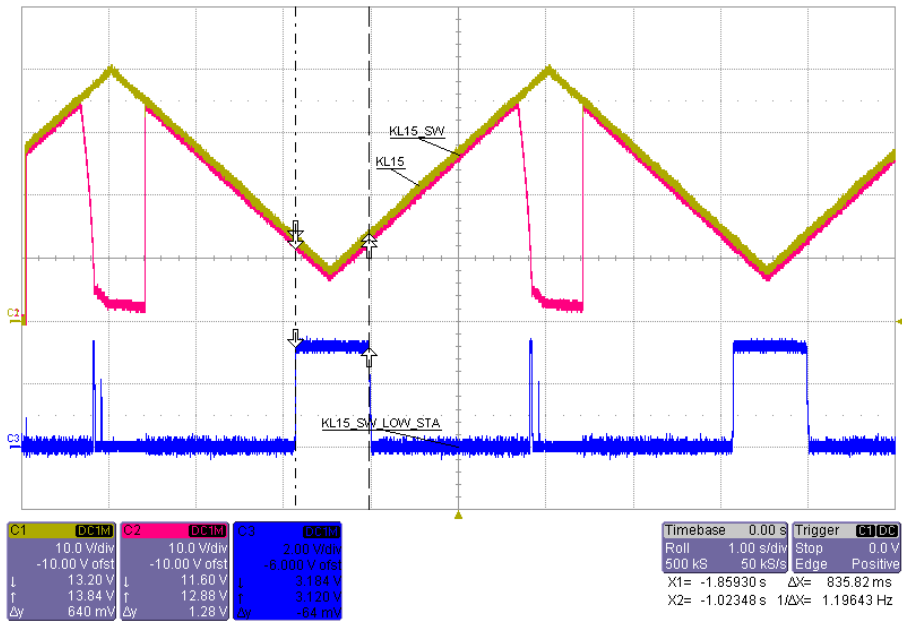


Figura 4.41 – Detecția pragurilor pentru acționarea protecției de tensiune sub limita admisă

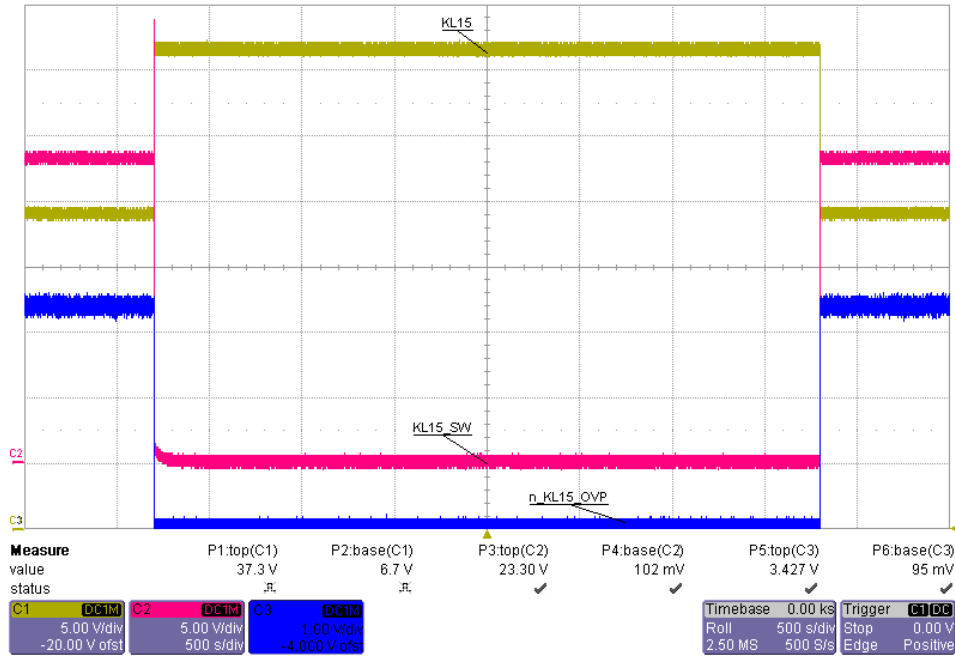


Figura 4.42 – Funcționarea unității de control electronice în cazul aplicării unei tensiuni de alimentare peste limita admisă – overvoltage

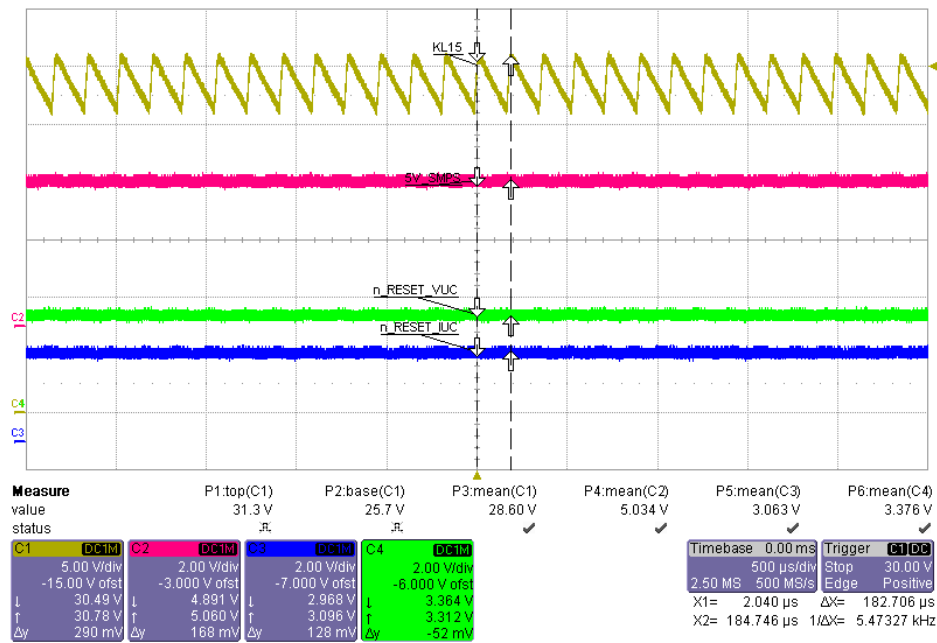


Figura 4.43 – Verificarea funcționalității ECU-ului atunci cand avem o tensiune de intrare perturbată

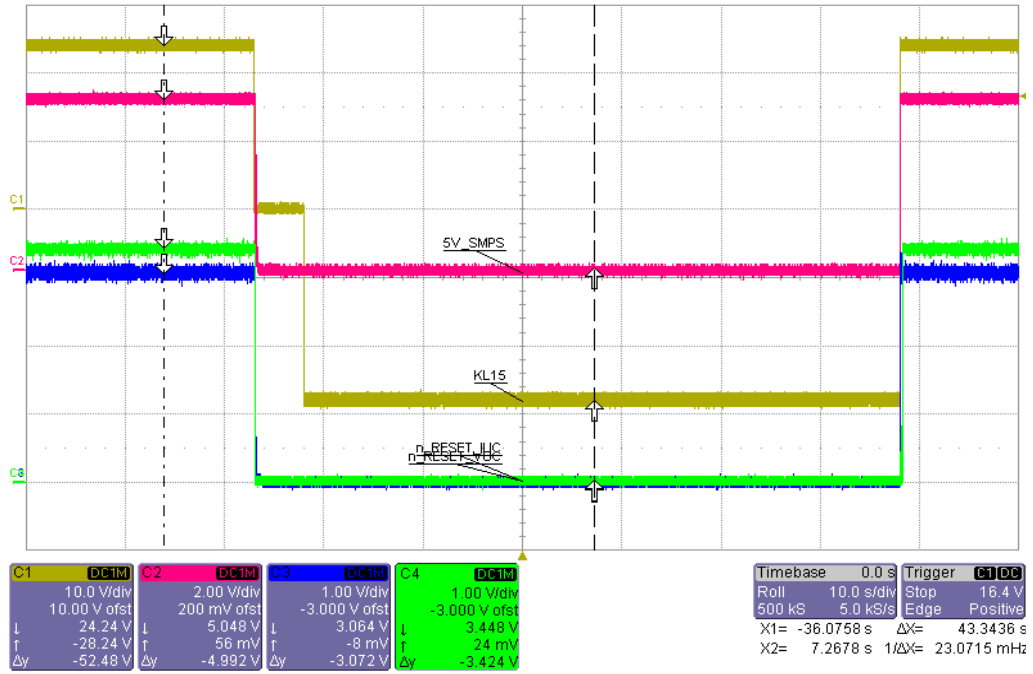


Figura 4.44 – Funcționarea ECU-ului în cazul aplicării unei tensiuni de alimentare inverse – reversed voltage

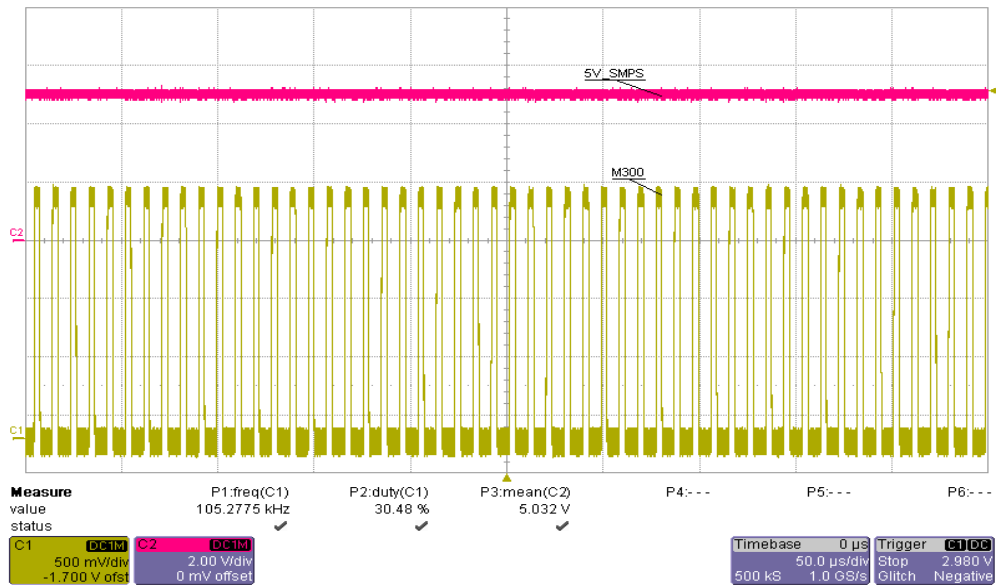


Figura 4.45 – Testarea sursei BUCK de 5V pentru tensiune de intrare de 18V

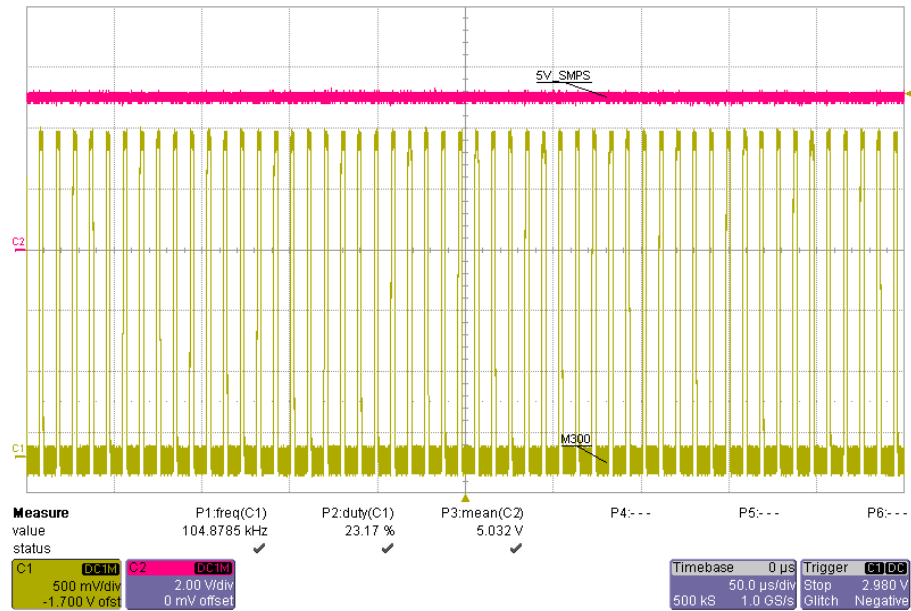


Figura 4.46 – Testarea sursei BUCK de 5V pentru tensiune de intrare de 24V

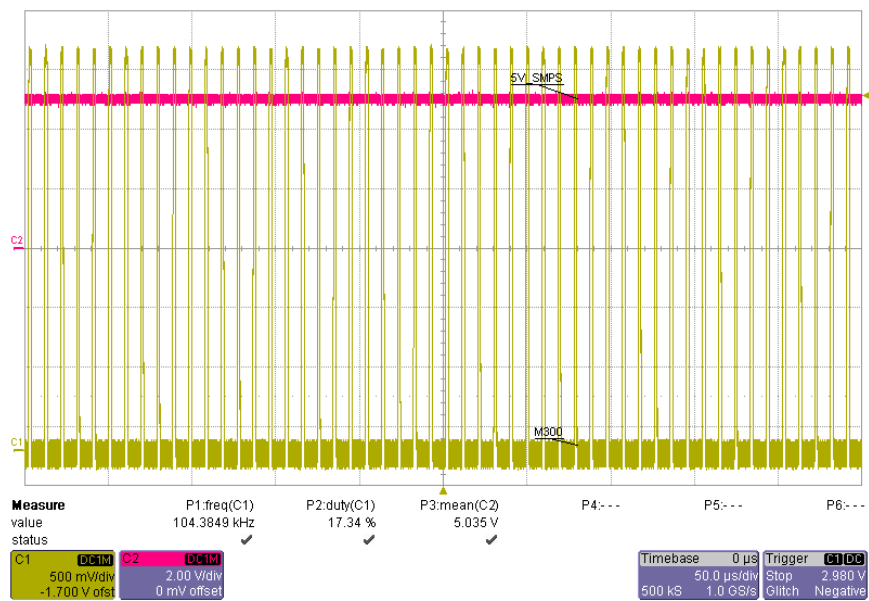


Figura 4.47 – Testarea sursei BUCK de 5V pentru tensiune de intrare de 32V

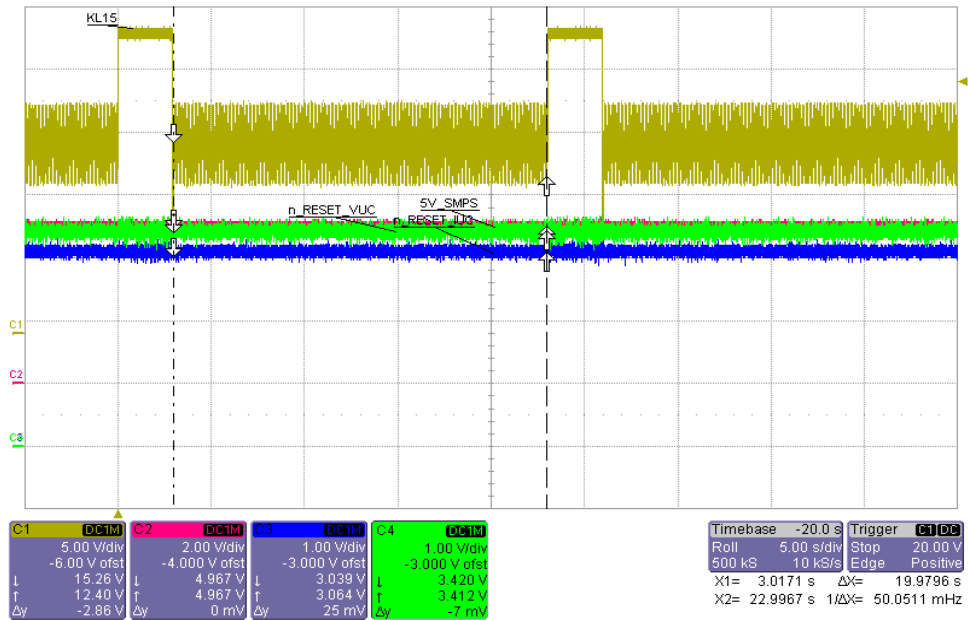


Figura 4.48 – Răspunsul ECU-ului la impulsuri de tipul profilului de start

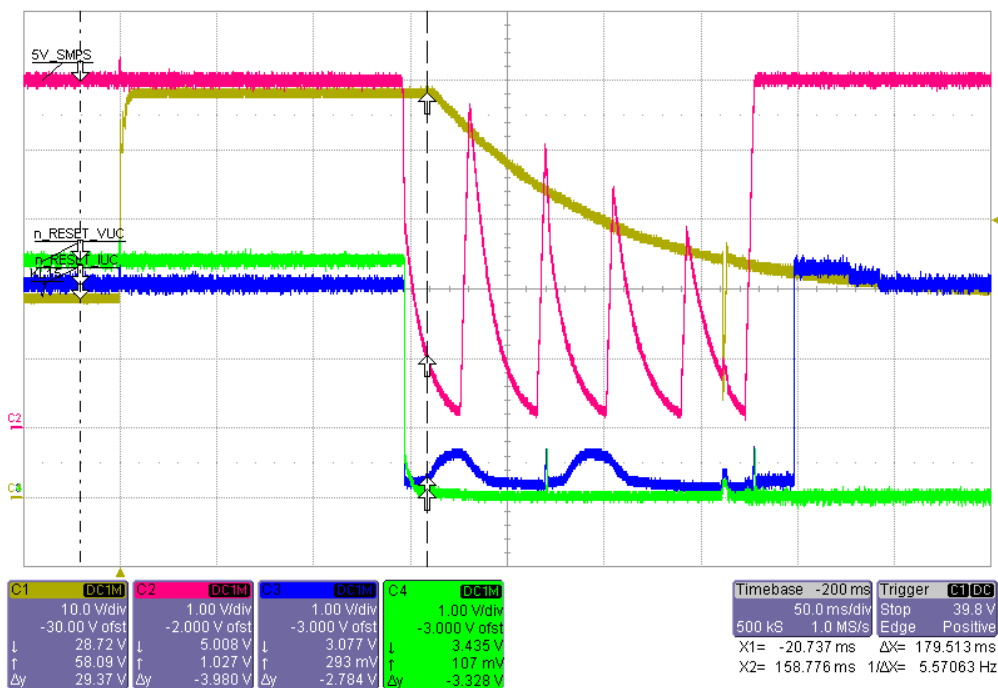


Figura 4.49 – Testarea sursei BUCK de 5V pentru tensiune de intrare de 24V

4.6 Rezultate obținute 151

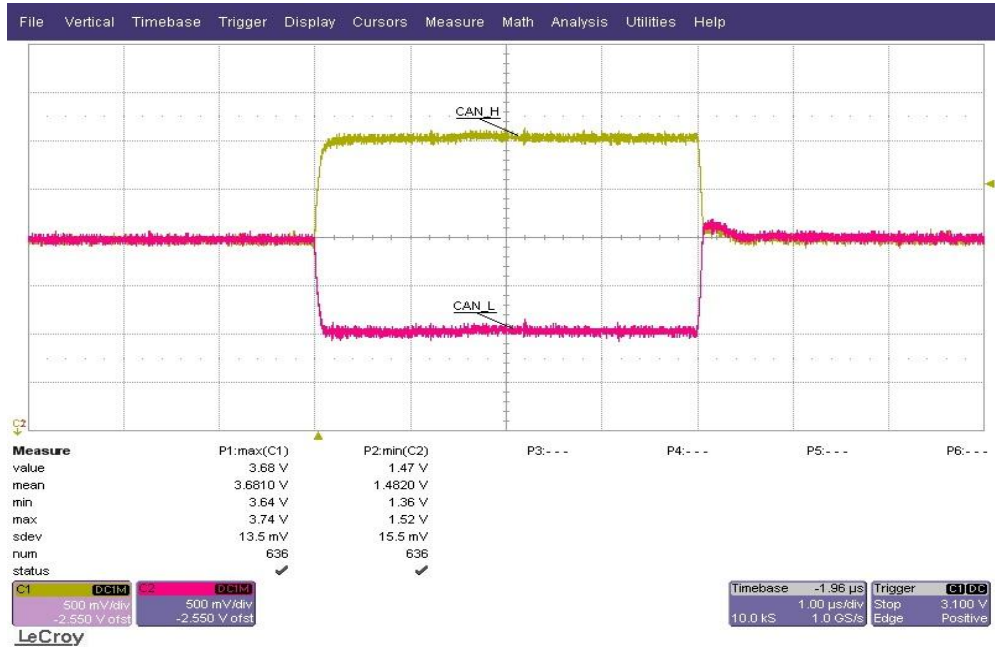


Figura 4.50 – Măsurarea nivelurilor de tensiune pentru comunicația CAN

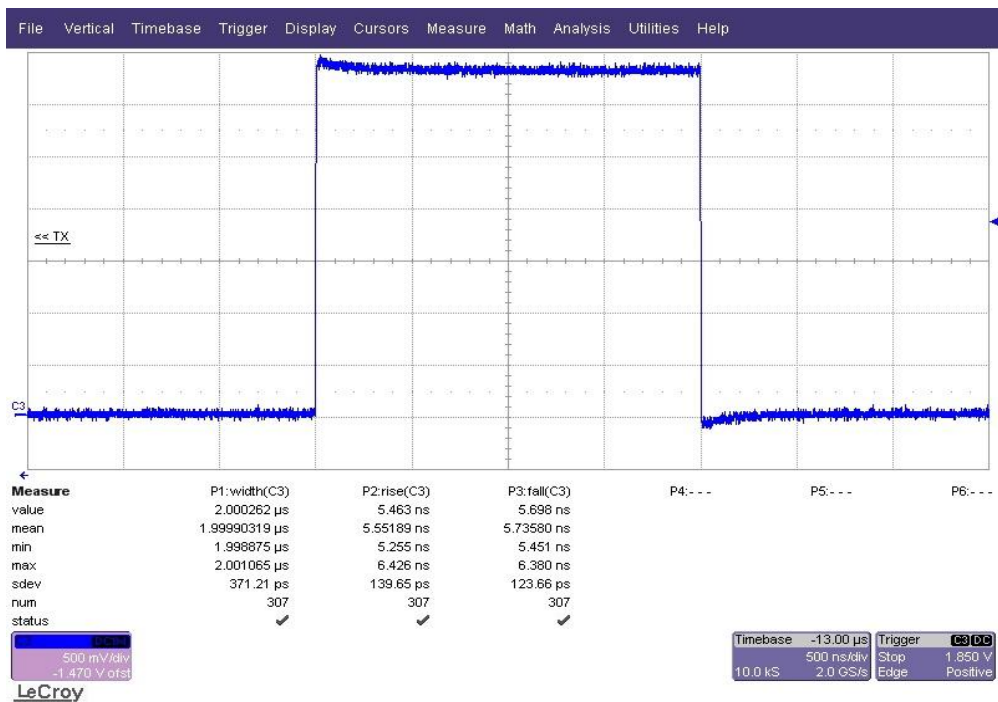


Figura 4.51 – Măsurarea duratei unui bit pe magistrala CAN

152 CapIV. Structura software: algoritmi, cazuri de testare, particularități



Figura 4.52 – Măsurarea tensiunii de mod comun pentru starea dominantă a comunicației CAN

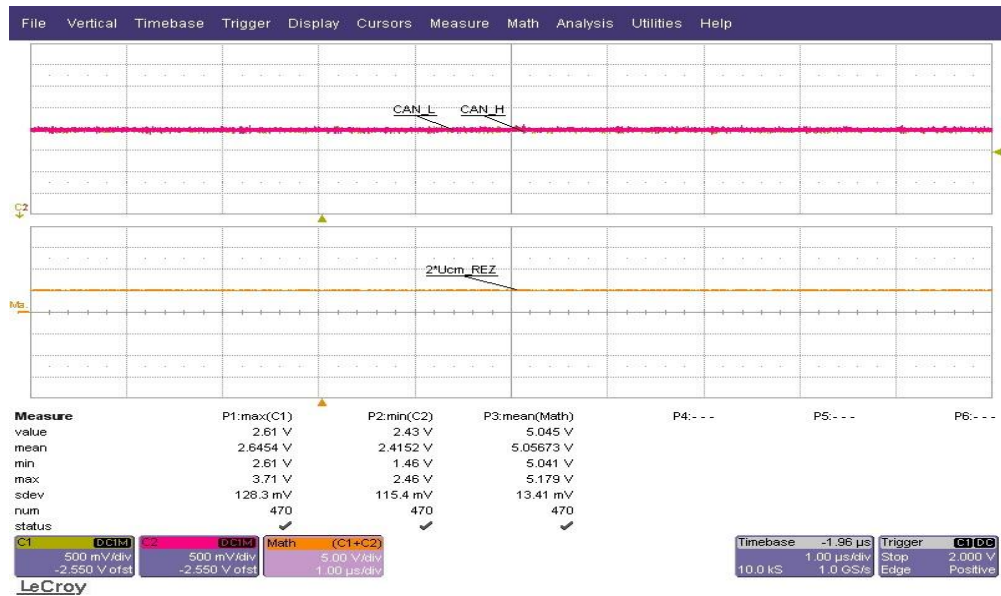


Figura 4.53 – Măsurarea nivelor de tensiune pentru starea recesivă a comunicației CAN

4.6 Rezultate obținute 153



Figura 4.54 – Măsurarea nivelului de tensiune V_{diff} a comunicației CAN în starea dominantă

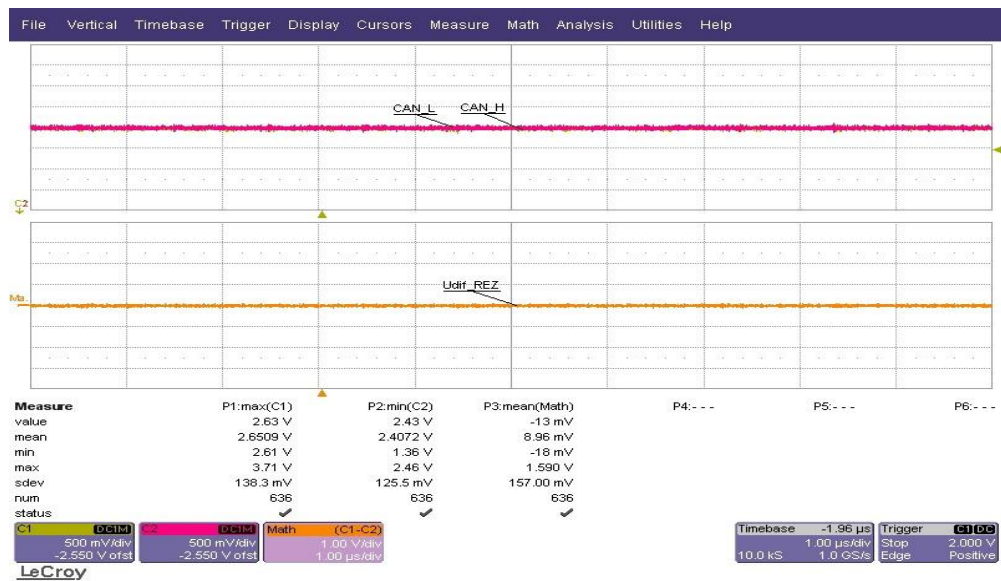


Figura 4.55 – Măsurarea nivelului de tensiune V_{diff} pentru comunicației CAN în stare recesivă

Tabelul 4.10 Măsurători efectuate cu DMM-ul

Nume semnal	Unitate de măsură	Limită inferioară	Limită superioară	V. alim ECU	Valoare măsurată
KL15	V	15.5	32.5		23.981072
KL15_SW	V	15.5	32.5		23.163398
KL15_D	V	15.5	32.5		23.20626
5V_SMPS	V	4.702	5.157		5.002063
3V3_SMPS	V	3.268	3.568		3.4562268
3V3_SW	V	3.17	3.562		3.4475442
1V8_SMPS	V	1.708	1.842		1.7964476
1V2_SMPS	V	1.146	1.233		1.2128353
3V3_REF	V	3.283	3.316		3.3011053
ADC_5V_SMPS	V	2.33	2.675		2.5019997
ADC_3V3_SMPS	V	1.538	1.765		1.7312237
ADC_4V8_EXT_CURRENT	V	1.2	1.4		1.2702556
ADC_4V8_EXT	V	2.199	2.6		2.4371729
ADC_1V2_SMPS	V	1.135	1.265		1.2126286
ADC_1V8_SMPS	V	1.705	1.895		1.7962488
ADC_KL15_SW	V	1.434	3.197		2.2928435
ADC_KL15_B	V	2.2	2.4		2.3625365
ADC_3V3_SW	V	1.6	1.8		1.7223179
ADC_3V3_EEPROM	V	2.5	5		3.443114
ADC_3V3_REF	V	1.601	1.698		1.6502273

current consumption	V	0.05	0.2	16V	0.1756025
current consumption	V	0.05	0.2	24V	0.121775
current consumption	V	0.05	0.2	32V	97.011E-3
Low_Batt down trsh	V	12	15	-	12.9
Low_Batt down trsh	V	12	15	-	12.9
Low_Batt up trsh	V	12	15	-	13.8
Overvoltage up trsh	V	33	36	-	35.2
Overvoltage down trsh	V	33	36	-	34.6

Folosind tabelul 4.10 și fișierele MatchCAD puse la dispoziție de producătorul automotive, autorul validează sistemul de testare automată după calculul erorii prezentat în capitolul 3. Astfel pentru valoarea sursei de tensiune, care constituie referința ECU-ului de 3.3V, în tabelul 4.10 se pot observa limitele minime și maxime pe care le poate avea această sursă de tensiune, eroarea relativă maximă calculată la limita superioară a domeniului poate fi de 7.5%.

Pentru sistemele de tip HiL, autorul prezintă o comparație a vechilor seturi de testare existente cu noile seturi de testare construite pe arhitectura și algoritmi implementați de autor.

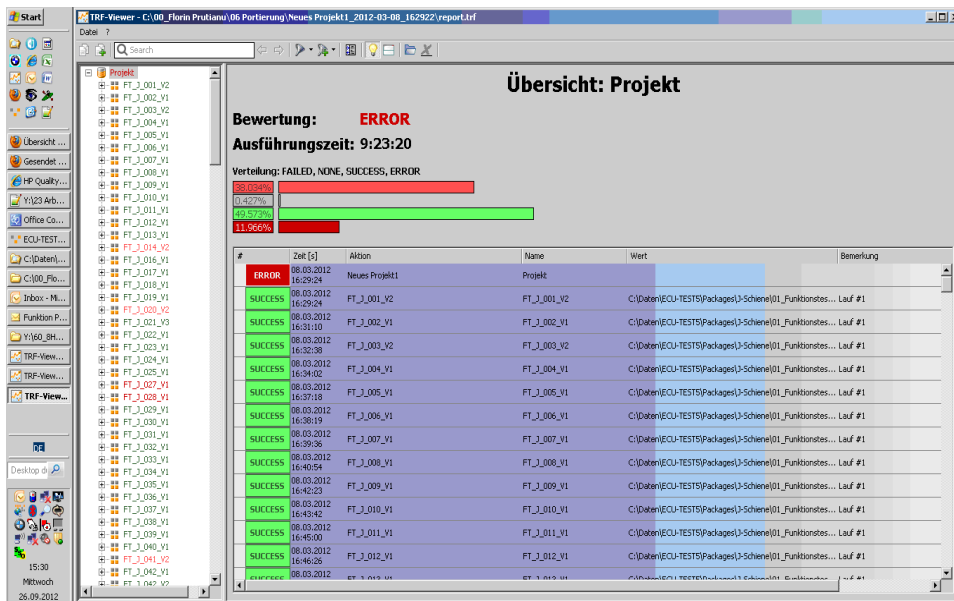


Figura 4.56 – Testarea automată cu ECU Test utilizând structura veche de testare

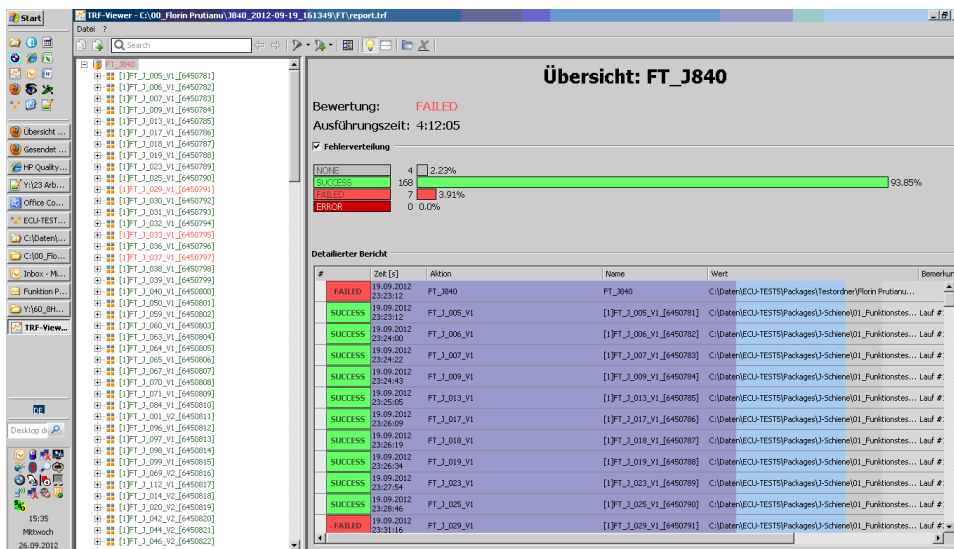


Figura 4.57 – Testarea automată utilizând structura nouă de testare

Din cele două figuri se pot observa că folosirea variabilelor globale pentru selecția configurației corecte, adăugarea pașilor structurați în testare, manipularea ID-urilor din fișierele de mapare în locul manipulării directe a semnalelor au adus înjumătățirea timpilor de lucru, reducerea numărului de cazuri care sunt picate, eliminarea erorilor.

După validarea îmbunătățirilor aduse de autor, s-a adoptat ca structura cazurilor de testare automată să fie asemănătoare în toate proiectele.

4.7 Concluzii și contribuții personale

Concluzii

În prima parte a capitolului sunt prezentate două medii de programare grafice specifice domeniului automotive. Programele de testare prezentate, ECU Test și LABView, pot fi folosite pentru a acoperi întreaga arie a modelului V. Pentru partea de testare la nivelul hardware și la nivel de componentă poate fi folosit LABView, pentru partea de testare a modelului, la nivel de testare software, sub-sistem și sistem poate fi folosit ECU Test. Deoarece amândouă programe sunt medii de programare grafice, acestea oferă utilizatorului o ușurință în folosire datorită aspectului intuitiv. Partea de depanare, a ambelor programe, este de asemenea intuitivă, fiind un avantaj al aplicațiilor de testare. Comparativ cu alte limbaje de programare, C, C# sau C++ unde programul este scris în sute sau mii de linii de cod, realizarea programelor în mod grafic pare mai ușoară atât din punct de vedere al structurii logice cât și a depanării. Construcția programelor se realizează ușor, fiind de tipul drag and drop.

Partea software, în aplicațiile de testare automate destinate industriei automotive, este importantă din punct de vedere al funcției îndeplinite în cadrul ATS-ului. Aceasta trebuie să controleze echipamentele de la distanță oferind un control integral al aparaturii de testare, atât la rularea cazurilor de testare, această operațiune fiind efectuată cu un minim de efort al operatorului uman, cât și în cazul implementării cazurilor de testare. Deciziile pe care le poate opera partea software sunt legate de algoritmi implementați.

Inteligența aplicației de testare este practic implementată în algoritmi aplicației, fiecare algoritm având un rol dedicat în cadrul programului operațional sau în cazul rulării cazurilor de testare. Sunt creați algoritmi pentru citirea cazurilor de testare, algoritmi pentru programul operațional, pentru salvarea parametrilor, pentru rularea unor cazuri de testare, pentru compararea rezultatelor, algoritmi cu funcții de protecție, ș.a. Astfel ambele programe au nevoie de o structură a cazurilor de testare. Această structură este definită în mare parte de specificațiile de testare care sunt construite diferit, în funcție de nivelul automotive la care se testează. Dacă în mediul de programare LABView cazurile de testare se implementează independent, cazurile de testare având aceeași structură dar în proiecte diferite, în mediul de programare ECU Test autorul a identificat posibilitatea utilizării unei noi structuri. Astfel în figura 4.10 și 4.11 sunt descrise structurile folosite pentru construcția cazurilor de testare FT și FRT.

Un alt aspect important al aplicațiilor de testare, este reprezentat de interfața GUI a aplicației de testare. Practic în această aplicație utilizatorul va avea acces la facilitățile ATS-ului, aici vor fi introduse datele relevante pentru proiect.

Astfel, în LABView, se crează interfața grafică a aplicației de testare deoarece programul nu dispune de aceasta. În programul ECU Test interfața grafică este reprezentată de chiar de ferestrele de configurare a programului. Informațiile relevante pentru proiect sunt preluate, în LABView prin intermediul interfeței grafice iar în ECU Test prin crearea unei configurații de testare. Astfel, autorul în interfața grafică adună informațiile de tipul: nume prenume utilizator, departament, număr de telefon, versiune HW a ECU-ului, versiune de SW, aparatura folosită, temperatura la care se efectuează testele, tensiunea de alimentare. Prin intermediul interfeței grafice construite în LABView, utilizatorul poate activa sau dezactiva echipamentele necesare pentru a executa un caz de testare.

Cele două medii de programare oferă posibilitatea de prelucrare a rezultatelor, acest lucru fiind important în momentul creării cazurilor de testare. De exemplu, pentru implementarea cazului de testare care măsoară eficiența unei surse de tip SMPS, este nevoie de prelucrarea rezultatelor pentru calculul puterilor. Din punct de vedere al operatorilor matematici în formă grafică, mediul de programare LABView este superior ECU Test. La cel din urmă, operațiile matematice mai complicate trebuiesc efectuate cu scripturi în Python, ceea ce înseamnă construirea algoritmilor pentru operatori matematici.

După efectuarea cazurilor de testare, următoarea etapă este de salvare a rezultatelor măsurate. Astfel, ambele programe folosite la construcția aplicațiilor de testare oferă posibilitatea de salvare a rezultatelor în fișiere de diferite formate: .doc, .xls, .dat, .pdf, .xml. LABView oferă suplimentar și opțiunea de salvare a pictogramelor pe calculatorul pe care este instalat, direct de pe osciloscop ceea ce va ajuta la o definiție mai bună în raportul de testare a problemelor găsite în timpul testării. Comparativ cu LABView, ECU Test este inferior deoarece nu poate reda în mod grafic comportamentul unor semnale de CAN și nici o modalitate de salvare a evoluției unui semnal. Pentru a vizualiza evoluția semnalelor CAN se folosește un program suplimentar Vector CANoe [193] cu ajutorul căruia se pot monitoriza semnalele de CAN, care are posibilitatea de redare grafică a evoluției în timp a semnalelor.

Autorul consideră că cele două programe pot fi folosite cu succes pentru construcția aplicațiilor de testare, cu aplicabilitate în industria automotive, pentru întregul model V de la nivelul de componentă hardware până la nivelul de sistem.

Contribuții personale:

Autorul a contribuit la dezvoltarea mai multor aplicații de testare automate, create pentru a testa sisteme automotive de cameră și sisteme automotive cu aplicații radar. Astfel pentru fiecare proiect la care a luat parte autorul, în care a fost integrată o aplicație de testare folosind mediul LABView, autorul a contribuit cu:

- A studiat documentația necesară construcției aplicațiilor automotive: standarde și norme de aplicare;
- A identificat pe baza documentelor primite cazurilor de testare posibile a fi implementate respectând standardele automotive;

- A creat specificațiile cazurilor de testare pentru a fi implementate, într-un mod general dar aplicate pe proiect astfel încât specificațiile să poată fi folosite și în cadrul altor proiecte cu modificări minore;
- A creat aplicațiile principale de testare adaptate fiecărui proiect, respectând cerințele legate de proiect, aceste aplicații îndeplinind condițiile unor aplicații de testare portabile;
- A creat interfața grafică cu utilizatorul, pentru o utilizare cât mai ușoară a ATS-ului cu posibilitatea de preluare a informațiilor necesare pentru proiect;
- A propus și implementat, driverele necesare bunei funcționări a echipamentelor din componența ATS-ului;
- Implementarea practica în aplicația de testare pentru algoritmi propuși, practic aplicația de testare;
- A propus algoritmi pentru rularea cazurilor de testare, un exemplu fiind algoritmul de efectuare a măsurătorilor de eficiența a surselor SMPS;
- Implementarea/ Dezvoltarea cazurilor de testare pentru validarea ECU-ului conform documentației primite;
- A implementat salvarea rezultatelor sub forma permanentă de fișiere, sau temporare prin afișarea rezultatelor pe monitor;

Contribuții aduse aplicațiilor de testare, realizate cu ECU Test, program software care controlează sistemele ATS de tip HiL . Aceste sisteme sunt folosite pentru testarea software-ului care comandă cutiile de viteză automate. Contribuțiile sunt:

- A contribuit la modificarea structurii cazurilor de testare, acum cazurile de testare fiind construite după algoritmul prezentat în figura 4.10 respectiv 4.11;
- A creat fișiere de mapare care ajută la controlul semnalelor CAN, cu ajutorul acestora cazurile de testare devenind portabile;
- A creat configurații de testare adaptate fiecărui ECU care folosesc variabile globale, prin folosirea acestora putând fi modificate anumite praguri sau coduri de eroare care se schimbă foarte des;
- A creat pachete pentru o bibliotecă nouă, în aceasta fiind salvate pachetele care construiesc cazurile de testare;
- A creat cazuri de testare pentru:
 - funcția de oprire a motorului;
 - funcția de pornire a motorului;
 - funcția de introducere a vitezelor: D (drive – a conduce), P (parking – parcare), R (reverse – manșarier), N (neutral – punct neutru) , M+ (schimbare viteză în treaptă superioară în modul manual), M- (schimbare viteză în treaptă inferioară în modul manual), S+ (schimbare viteză în treaptă superioară în modul sport), S- (schimbare viteză în treaptă inferioară în modul sport);
 - funcția de asistență la parcare;
 - funcția de siguranță în cazul producerii unei defecțiuni electrice;

- funcția de siguranță în cazul producerii unei defecțiuni mecanice;
 - funcția de protecție împotriva rulării nedorite;
 - funcția de diagnoză pentru cazul în care se produc erori de tipul *timeout*;
 - funcția de diagnoză pentru cazul în care se produc erori de tipul schimbări de date;
 - funcția de diagnoză în cazul unor valori neplauzibile a semnalelor de CAN;
 - funcția de diagnoză în cazul transmiterii unor valori neplauzibile transmise de ceilalți senzori;
 - funcția de diagnoză/protecție în cazul apariției unor tensiuni accidentale prea mari;
 - funcția de diagnoză/protecție în cazul apariției unor tensiuni prea mici;
 - funcția de diagnoză/protecție în cazul apariției unor perturbații de tip lipsa magistralei de comunicație CAN;
- A optimizat cazurile de testare din punct de vedere al timpilor de rulare, salvând practic timpul de testare, reducerea timpului de rulare al cazurilor de testare de la aproximativ 12 ore pentru cazurile de testare funcționale la 4 ore.

Capitolul V. Concluzii

Subiectul prezentat de autor în teza de doctorat abordează un domeniu de mare actualitate care este supus permanent perfecționării, ca urmare a dezvoltării foarte accelerate a industriei automotivă. Industria procurătoare de mașini este prezentă în toate colțurile lumii, iar procesul de dezvoltare a autovehiculelor este similar în toate companiile producătoare de autoturisme sau a producătorilor de componente automotivă. Domeniul testării automate este tot mai activ în piața testării echipamentelor automotivă, acaparând tot mai mult interes din partea producătorilor de componente și a producătorilor de autovehicule.

Testarea sistemelor, a subsistemelor, componentelor, părților hardware și software s-a realizat întotdeauna din cele două tipuri: testare manuală și testare automată. Datorită evoluției tehnologice la care asistăm, testarea automată înclină balanța proceselor de testare tot mai mult în favoarea ei, datorită timpilor de testare pe care aceasta îi poate oferi. Nevoia tot mai mare de testare rapidă și precisă a sistemelor destinate industriei automotivă, apariția unor noi echipamente electronice comandabile și datorită integrării într-un număr cât mai mare a componentelor electrice în autovehicul, toate acestea au condus la apariția unor noi sisteme de testare automată destinate industriei automotivă.

Astfel domeniul testării automotivă devine tot mai vast, datorită faptului că și industria automotivă este împărțită pe mai multe domenii, după ciclul V adoptat. Pentru fiecare nivel a apărut câte un sistem de testare automată, limitat la testarea unei anumite funcții sau având ca țintă testarea anumitor proprietăți fizice sau electrice.

Dezvoltarea sistemelor de testare automată înseamnă practic extinderea tehnicilor de testare integrate într-un sistem de testare. Adăugarea de noi cazuri de testare, care folosesc același sistem, prin extinderea tehnicilor de testare reprezintă un progres. De foarte multe ori datorită limitărilor fizice, limitări ale hardwareului sau ale softwareului, cazuri noi de testare nu pot fi integrate ușor, sau fără modificări majore ale sistemului inițial.

Prin identificarea tehnicilor și metodelor de testare, cu avantajele și dezavantajele caracteristice, și folosirea pentru fiecare nivel al ciclului V pot conduce la apariția unor noi sisteme de testare automată. Testarea automată este benefică în acest moment nu doar pentru producția în masă, unde sunt prezente sistemele ICT, ci și pentru laboratoarele de dezvoltare deoarece acestea testează și validează un număr mare de unități în mai multe bucle de testare. Ciclul V este repetitiv, din punct de vedere al testării, fiecărei bucle de testare corespunzându-i un ciclu V. Practic un produs se testează de mai multe ori după același ciclu V, testarea realizându-se la toate nivelele.

Este important pentru sistemul de testare automată cum sunt construite specificațiile de testare și cerințele produsului de la fiecare nivel, deoarece pe baza acestora se vor identifica echipamentele necesare unui nou sistem de testare automată. Pentru ca procesul de testare să fie complet funcțional, iar dezvoltarea sistemului de testare să testeze într-un procent cât mai mare cerințele produsului este necesară implicarea inginerilor de testare în procesul de descriere a produsului și a specificațiilor de testare. Această operațiune va conduce la un grad ridicat de acoperire prin testare a cerințelor produsului, testarea acestuia realizându-se în mod automat, acesta însemnând costuri reduse din punct de vedere al timpului și al personalului folosit.

După studierea documentației necesare, care descrie procesul automotive descris în capitolul 1 și 2, în care se regăsesc tehnicile și metodele de testare aplicate pentru nivelurile specifice acestei industrii, capitolul 3 descrie elementele constructive ale sistemului de testare automată propus și implementat de autor în industria automotive. Astfel pentru acest sistem au fost identificate ramurile procesului de testare automotive pe care poate fi folosit, integrarea făcându-se în cadrul laboratorului de cercetare dezvoltare a unui producător de componente automotive.

Din structura sistemului de testare, prezentat în capitolul 3, se pot identifica echipamentele folosite pentru crearea structurii ATS. Echipamentele sunt utilizate pentru realizarea acestui ATS sau pot fi utilizate ca separat, ca fiind echipamente individuale. În acest mod se îndeplinește o caracteristică a sistemelor de testare automată, și anume *share-ability* adică abilitatea de a utiliza sistemul și în alte moduri. Datorită acestei proprietăți echipamentele nu sunt blocate pe perioada cât ATS-ul nu este utilizat, echipamentele fiind disponibile pentru personalul laboratorului, pentru alte operații derulate. Portabilitatea este o proprietate a ATS-ului, îndeplinită de acest sistem, datorită faptului că nu este inclus într-o carcasă de tip *rack and stack*. O relocare a ATS-ului este la îndemână, datorită faptului că echipamentele pot fi ușor transportate.

Structura hardware prezentată în capitolul 3, este una generală, fiind destinată laboratorului de cercetare dezvoltare dar acoperă majoritatea proiectelor de testare din această industrie. Structura sistemului este documentată prin realizarea unui proiect CAD, în care pot fi urmărite traseele semnalelor, modulele folosite, utilizând un proiect de tip ierarhic. Proiectul înseamnă documentarea pașilor de construcție pentru fiecare componentă, ajutând personalul pe viitor la depanarea sistemului sau la adaptarea lui pentru alte proiecte. Aceasta reprezintă o altă trăsătură a ATS-ului, constituind trasabilitatea sistemului, urmărindu-i evoluția în timp. Pentru documentare autorul a ales programul Pspice, al firmei ORCAD, dar acest proiect poate fi făcut în orice program similar, sau chiar pe alte structuri de programe.

În capitolul 3, se regăsesc de asemenea principalele probe de testare folosite pentru construcția paturilor de cuie, probe care joacă un rol important atunci când se dorește achiziția de semnale de pe PCB. De asemenea în acest capitol, sunt prezentate și câteva particularități sau bune practici atunci când se construiește

fizic sistemul, prin integrarea elementelor de protecție, prin routarea atentă a semnalelor prin intermediul sistemului, sau prin gândirea planului de masă după o anumită formă. Însurarea acestor practici, alegerea echipamentelor cu specificații tehnice superioare precum și elaborarea unui program software complex constituie baza unui sistem de testare puternic, cu aplicare în laboratorul de cercetare-dezvoltare al producătorului automotive.

În capitolul 4, sunt prezentate principalele contribuții ale autorului legate de folosirea mediilor de programare în construcția sistemului de testare automate destinate industriei automotive. Practic orice sistem de testare automată va fi compus din două părți, partea hardware și partea software. Sistemul de testare automată va fi complet comandat, în mod *remote controlled*, prin intermediul protocolului de comunicație GPIB sau Ethernet de la un calculator, care va reprezenta unitatea de comandă a sistemului. Pentru sistemul implementat de autor, s-a preferat utilizarea mediului de programare LABView, produs de National Instruments, acest program lăsând utilizatorilor săi o libertate mare legată de implementarea algoritmilor și a operațiilor ce pot fi efectuate.

În LABView, autorul a dezvoltat driverele de comandă a aparatelor sau echipamentelor constructive ale ATS-ului, adaptate la aplicația dezvoltată de acesta. Practic aparatele vor fi comandate prin trimiterea unei linii de comandă care poate configura aparatul cu parametrii doriți pentru testare. Aceste linii de testare pot fi create și implementate direct în LABView, sau pot fi descrise în fișiere de tip excel, mediul de programare LABView având posibilitatea de citire a fișierelor de tip excel. Autorul recomandă folosirea fișierelor de tip excel, aceasta însemnând practic crearea unei matrici, matrice care va însuma totalitatea liniilor de comandă necesare unui test. Astfel pentru fiecare test implementat se poate crea un nou fișier excel.

Mediul de programare LABView lasă utilizatorilor săi sarcina de a dezvolta o interfață grafică, potrivită pentru aplicația dezvoltată. Astfel interfața grafică, prin care operatorul uman interacționează cu sistemul, poate fi diferită de la proiect la proiect în funcție de necesități.

Comparativ cu LABView, pentru sistemele de testare automată, un nou mediu de programare grafic ECU Test, asemănător cu LABView, este folosit la scală largă în sistemele de testare automată. ECU Test este practic o interfațare a mai multor programe, strânse sub forma unuia singur. Acest program este destinat mai mult tehnicilor de testare funcționale și reacții la stimuli la nivel de software, sistem și subsistem pentru că permite doar manipularea unor semnale de CAN. Pentru a fi adaptat și celorlalte nivele, acest program mai are nevoie de îmbunătățiri. De asemenea fereastra în care se lucrează pentru cazurile de testare este chiar interfața grafică a sistemului.

Astfel în implementarea testelor, în cele două medii de programare există asemănări, ambele fiind de tipul *drag and drop*, în ambele se pot vizualiza rezultatele și în ambele evaluarea cazurilor de testare se efectuează cu *failed* sau *success/passed*. Ambele medii de programare sunt prietenoase cu operatorul uman. Implementarea cazurilor de testare vine în urma cerințelor de testare scrise sub forma specificațiilor, specificații care vor denumi și cazurile de testare.

Pentru validarea sistemelor de testare și a îmbunătățirilor aduse, în incheierea capitolului se vor prezenta rezultatele obținute cu cele două sisteme, ICT & HiL. Rezultatele au fost discutate cu inginerii de proiectare și au fost acceptate ca fiind rezultate concludente, fiind folosite pentru validarea diferitelor produse.

Capitolul VI. Contribuții personale

Teza de doctorat "Contribuții privind structurile de testare automată din industria automotive" sintetizează și reflectă activitatea autorului în cadrul unui concern industrial vest european. Autorul a studiat numeroase documentații ale unor sisteme de testare automate, destinate industriei automotive, standarde și specificații de testare destinate proiectelor unde au fost implementate sisteme de testare automată, publicații în reviste și jurnale ale asociațiilor profesionale din domeniul instrumentației și măsurătorilor, cărți de referință a unor personalități de referință.

Activitatea autorului s-a axat pe crearea și validarea unui sistem de testare de tip ICT, destinat laboratoarelor de cercetare-dezvoltare al producătorilor de componente automotive, și pe reducerea timpilor și a rezultatelor de testare obținute cu sistemele de testare de tip HiL, destinate nivelurilor superioare ale ciclului V.

În continuare se vor prezenta, pe capitole, principalele probleme rezolvate de autor precum și contribuțiile originale privind aprofundarea și observațiile asupra unor module din sistemele de testare automată destinate industriei automotive.

1. Capitolul I "Stadiul actual al testării în industria automotive"

Capitolul I este un capitol introductiv în care autorul face o sinteză a bibliografiei dezvoltate de industria automotive în domeniul testării autoturismelor. Aici se găsesc observații și sugestii cu caracter personal privind vasta bibliografie studiată. Principalele probleme analizate de autor în acest capitol sunt:

- Noțiunea de automotive, industrie care utilizează și integrează foarte multe dispozitive electronice proiectate pentru diferite autovehicule având funcții specifice;
- prezentarea modelului V, preluat din industria avionică, folosit pentru clasificare nivelurilor care trebuie parcurse de un ECU pentru a fi integrat în autovehicul;
- prezentarea ciclului V din punct de vedere al cerințelor: cerințe la nivel de sistem, cerințe la nivel de subsistem, cerințe la nivel de proiectare (cuprinde cele trei tipuri de cerințe de proiectare: hardware și software, și cum trebuie să funcționeze când software-ul este integrat cu hardware-ul);
- Prezentarea ciclului V din punct de vedere al nivelurilor de testare: nivel de componentă hardware, nivel de componentă software, nivel de componentă

(integrarea hardware-ului și a software-ului), nivel de subsistem și nivelul de sistem;

- Prezentarea a celor două tipuri de testare care există în procesul de validare testare al componentelor destinate industriei automotiv: testarea de tip manuală și testarea de tip automată, prezentate cu principalele avantaje și dezavantaje;
- Identificare și prezentarea metodelor și tehnicilor de testare: testare automată de tip ICT, testarea funcțională, testare non-funcțională, testare de tip răspuns la stimuli, testare de tip regresie, prin această prezentare fiind definite practic tipurile de testare folosite în industria automotiv; Identificarea și strategiile de testare folosite în industria automotiv, practic o definire a acestora: testare de tip cutie neagră (*black-box testing*), testare de tip cutie albă (*white-box testing*), testare de tip bottom-up, testare de tip thread, testare de tip încredere (*Reability testing*), testarea eficienței, testarea portabilității, recenzia.

2. Capitolul II "Conceptul sistemului de testare automată pentru industria automotiv"

În acest capitol autorul prezintă și evidențiază caracteristici ale ATS-ului, destinat industriei automotiv, precum și principalele tipuri de ATS prezente în industrie la ora actuală. Capitolul definește tehnicile de testare aplicabile sistemelor de testare automate în funcție de nivelul de testare dorit. Principalele probleme observate:

- Autorul prezintă motivația apariției ATS-urilor în procesul de validare/testare/integrare automotiv realizând identificarea nevoii de apariție a unui sistem de testare destinat laboratoarelor de cercetare-dezvoltare;
- Identifică și prezintă, din punct propriu de vedere, tipurile și tehnicile de testare folosite în industria automotiv aplicate sistemelor de testare automate. Se face o prezentare amplă a tehnicilor definite în capitolul I, asupra sistemelor de testare folosite la nivelurile ciclului V;
- Prezentare detaliată a sistemelor de testare automotiv identificate la diferite niveluri ale ciclului V: HiL, SiL, MiL și ICT;
- Definește și identifică caracteristicile / proprietățile ce trebuie îndeplinite de sistemele de testare automate din industria automotiv: trasabilitate, eficiente din punct de vedere al costurilor, grad de ocupare ridicare, portabilitate, ș.a;
- Prezentarea și definirea erorilor ce pot apărea / afecta sistemele de măsură de tip ATS;
- Definirea gradului de ocupare al unui ATS;

- Definirea și descrierea părților componente ale ATS-ului care vor sta la baza noului sistem de testare automată, adaptat cerințelor impuse de laboratoarele de cercetare-dezvoltare al producătorilor de componente automotiv.

3. Capitolul III "Structura hardware pentru sistemele de testare automată din industria automotive"

Din experiența autorului, la un mare concern industrial vest european care se ocupă cu sisteme de testare automată din industria automotive, au rezultat cercetări care s-au concretizat în numeroase soluții tehnice ce fac obiectivul acestui capitol. Astfel, se poate aminti:

- Propunerea unei arhitecturi electrice pentru structura de testare automată de tip stack and rack, fără integrare a aparatelor & echipamentelor electrice într-o carcasă de tip stack. O astfel de implementare oferă libertate privind relocare sistemului în alte locații;
- Crearea documentației sistemului de testare automată prin crearea unui proiect ORCAD, în Pspice, unde pot fi urmărite semnalele de la proba de testare până la echipamentul de măsură. Toate versiunile ATS-ului sunt însoțite de aceste proiecte ORCAD care vor arăta modificările efectuate asupra sistemului;
- Crearea unor noi module pentru sistemul de testare automată, de exemplu: placa de multiplexoare necesară routării semnalelor de frecvență înaltă;
- Crearea a mai multor tipuri de paturi de cuie, cu diferite mecanisme de prindere a PCB-ului și noi tipuri de mișcare a probelor de testare. Pentru proiecte, autorul a folosit, paturi de cuie cu probe fixe, pe care placa va fi fixată cu ajutorul ghidajelor pe aceste probe, paturi de cuie cu probe mobile unde placa este fixă iar probele vor avea o mișcare de elevație de jos în sus;
- Routarea traseelor prin sistemul de măsură respectând reguli de routare astfel încât perturbațiile de tip electromagnetic să fie cât mai reduse;
- Reducerea dimensiunii interfeței ATS-ului, prin introducerea unor module de tip PCB în interiorul acesteia. Ceea ce se realiza înainte cu fire, acum se va realiza cu un cablaj imprimat;
- Realizează un plan de masă de tip starground, astfel fiind create bucle de masă cât mai mici, prin reducerea buclelor de masă fiind îmbunătățite măsurătorile efectuate cu sistemul;
- Construcția fizică a sistemului de testare automată, din stadiul de echipamente independente până la forma finală folosind documentația realizată în ORCAD;
- Integrarea a 2 tipuri de comunicație în cadrul unui sistem de testare automată: Ethernet și GPIB;

- Integrează un nou dispozitiv de măsură, de tip osciloscop, prin folosirea a două osciloscopae: LeCroy – pe o magistrală de tip LAN și Tektronix – pe o magistrală de tip GPIB.

4. Capitolul IV "Structura software: algoritmi, cazuri de testare, particularități"

În cadrul acestui capitol principalele contribuții ale autorului se regăsesc în:

- Am identificat pe baza documentelor primite, a cazurilor de testare posibile a fi implementate respectând standardele automotiv;
- Am creat specificațiile de testare, specifice cazurilor de testare care urmau a fi implementate, într-un mod general, cu aplicare pe proiect astfel încât prin adaptări minore ale specificațiilor, acestea să poată fi folosite și în cadrul altor proiecte;
- Am realizat interfeța grafică cu utilizatorul, pentru o utilizare cât mai ușoară a ATS-ului cu posibilitatea de preluare a informațiilor necesare pentru proiect;
- Am dezvoltat și implementat drivere necesare bunei funcționări a echipamentelor din componența ATS-ului;
- Am elaborat algoritmi pentru rularea cazurilor de testare, un exemplu fiind algoritmul de efectuare a măsurătorilor de eficiență a surselor SMPS;
- Am implementat / dezvoltat cazurile de testare pentru validarea ECU-ului conform documentației primite, dar nu numai.

Pentru aplicațiile de testare, construite cu ECU Test autorul a adus următoarele contribuții, optimizând timpii de rulare a secvențelor de testare:

- Am identificat lacunele de testare totală sau parțială a cerințelor/specificațiilor;
- Am creat fișiere de mapare care ajută la controlul semnalelor CAN, cu ajutorul acestora cazurile de testare devenind portabile;
- Am creat pachete pentru o bibliotecă nouă, în aceasta fiind salvate pachetele care construiesc cazurile de testare pentru:
 - funcția de oprire a motorului;
 - funcția de pornire a motorului;
 - funcția de introducere a vitezelor: D, P, R, N, M+, M-, S+, S-;
 - funcția de asistență la parcare;
 - funcția de siguranță în cazul producerii unei defecțiuni electrice;
 - funcția de siguranță în cazul producerii unei defecțiuni mecanice;
 - funcția de protecție împotriva rulării nedorite;
 - funcția de diagnoză pentru cazul în care se produc erori de tipul *timeout*;
 - funcția de diagnoză pentru cazul în care se produc erori de tipul schimbări de date;

- funcția de diagnoză în cazul unor valori neplauzibile a semnalor de CAN;
- funcția de diagnoză în cazul transmiterii unor valori neplauzibile transmise de ceilalți senzori;
- funcția de diagnoză/protecție în cazul apariției unor tensiuni accidentale prea mari;
- funcția de diagnoză/protecție în cazul apariției unor tensiuni prea mici;
- funcția de diagnoză/protecție în cazul apariției unor perturbații de tip lipsa magistralei de comunicație CAN.

Bibliografie

- [1] Agilent Co: Agilent 33250 80MHz Waveform Generator User's guide - March 2003
- [2] Agilent Co: Programming Guide GPIB DC Power Supplies - January 2012
- [3] Agilent Co: IO Libraries Suite 15.5 VISA User's Guide - October 2012
- [4] Agilent Co: Side by side SCPI Command Comparison of the Agilent U2741A, 34405A, and 34410A Digital Multimeters - 2006
- [5] Agilent Co: 34410/11A Comand Quick Reference - 2006
- [6] Agilent Co: E3645A Single Output DC Power Supplies User's Guide -2009
- [7] Agilent Co: 82357A USB/GPIB Interface - 2010
- [8] Agilent Co: Test system Development Guide - 2009
- [9] Agilent Co: Agilent Connectivity Hardware for PC-to-Instrument Connections - 2011
- [10] Agilent Co: Test System Development Guide - 2007
- [11] Agilent Co: Agilent 34970A Data Aquisition/ Switch Unit Family - 2009
- [12] Ahrikencheikl C., Spears M. - Limited access testing of analog circuits: handling tolerances - International Tets conference - 1999
- [13] Alan Albee - Boundary Scan and In Circuit Test Combined Strategy and Benefits - 1999
- [14] Anderson B. - Parameter Design solutions for analog in circuit testing problems - IEEE International Conference on Communications - 1988
- [15] Belega Daniel - Masurari electrice si electronice - 2005
- [16] Begic Goran - System Test Design - Keeping the loop - 2010
- [17] BMW - 7 Series Gallery - 2011
- [18] Blair M., TEDL - a new test interface standard from the IEEE - Autotestcon 1997
- [19] Bruno L., Andre M., "A Comparison between LAN and GPIB Instrument Interfaces in a Automated Test System", 2007 ICEMI 8th International Conference on Electronic measurement and Instruments, pp. I 761- I 762, Aug.2007
- [20] Bode F. - IVI comes of age: an overview of IVI specifications with current status - Autotescon proceedings - 2002
- [21] Bongard, J.C., Lipson, H. (2004) - Once More unto the Breach: Automated Tuning of Robot Simulation using an Inverse Evolutionary Algorithm - Proceedings of the Ninth Int. Conference on Artificial Life - 2004
- [22] Bosch Specification, ISO 11898 - 1191
- [23] Bucanac C. - The V-Model - University of Karlskrona/Ronneby - 1999
- [24] Burns M., Burns R. - An introduction to Mixed-signal IC Test and measurement - Oxford, New York - 2001
- [25] Cârstea Calin Horia: Strategii de inspecție și testare în electronică - 2007

- [26] Cârstea Calin Horia – Testare Echipamente electronice – 1998
- [27] Cârstea C. H., Avram A., Rangu M. – Tehnologie Electronica – Augusta Timisoara – 2003
- [28] Cârstea C.H. – Constructia si tehnologia echipamentelor electronice – Ed. Politehnica Timisoara - 2000
- [29] Cebi A., L. Guvenc, M. Demirci, C. Karadeniz, K. Kanar, and E. Guraslan, "A low cost, portable engine electronic control unit hardware-in-the-loop test system", Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics – 2005
- [30] Changhua Lu, Xiaokand Deng, Chun Liu, Yong Wang – An Optimization algorithm for computing the minimal test set of circuits – 08th International Symposium on Intelligent information Technology Applications Workshops - 2008
- [31] Christopher Michael Ledbetter – Automated bench setup to characterize and test integrated circuits efficiently – Texas Technical University – 2005
- [32] Cheung Grace M. – Development of an automated efficiency and loss measurement system for high-efficiency power converters – Massachusetts Institute of Technology – 2010
- [33] Chodacki M., Badura D. – Autonomous test structures for synchronous sequential circuits – 13th international Carpathian Control Conference - 2012
- [34] Continental AG: Power Supply Test Specification – 2009
- [35] Continental AG: Power Suplly Test Specification – 2010
- [36] Cottet F., Ciobanu, O. – Bazele programării în LabVIEW – Ed. MatrixRom București 1999
- [37] Cram R.S – GPIB compliance testing in a large test and measurement company – Autotestcon 1994
- [38] Cristaldi L., Ferrero A., Piuri V. – Programmable instruments, virtual instruments and distributed measurement system – what is really useful, innovative and technically sound – Instrumentation & measurement magazine IEEE - 1999
- [39] Cruz P.P, Gutierrez A.M – LABView for intelligent control research and education – IEEE 4th International Conference on E-Learning in Industrial Electronics (ICELIE) - 2010
- [40] Croma ATE Inc – Switching Power Supply Automatic Test system - 2007
- [41] Czapski J - Useful features of automated test systems in the R&D laboratory - 2000 IEEE Autotestcon Proceedings, pp 601-613, Sep. 2000
- [42] D’anna N. – Cost software prevents ATE obsolescence – Test & Measurement world 2006
- [43] Dae-Hyun Kum, Joonwoo Son, Ivan Wilson – Automated Testing for Automotive Embedded Systems – SICE-ICASE 2006 International Joint Conference
- [44] DeMillo, McCracken, Martin, Passafiume – Software Testing and Evaluation – 1989
- [45] Dimitrijević B.R., Simić M.M., Virtual instrumentation software applied to integrated circuit testing procedure – 27th International Conference on Microelectronics Proceedings (MIEL) 2010
- [46] Dspace.de – HiL Testing – 2012
- [47] Dspace.de – ECU Network Testing by Hardware in the loop simulation - 2003

- [48] Elbadri M, Groza V., Abielmona R., Assaf M. – A Reconfigurable Processing Unit for Digital Circuit Testing using Built in Self Test Techniques – IEEE Proceedings Instrumentation and Measurement Technology Conference – 2006
- [49] Ellis K., Delaney – Signal definition and test description – Autotescon proceedings – 2002
- [50] Emmert G.T – Considerations for implementing high performance VXI test systems – Autotestcon 1998
- [51] Erickson R.W – Fundamentals of power electronics – Kluwer Academic Press - 2001
- [52] Ernami A., Yazdi H.T – Designing and constructing transformer test system with aif of Labview – 2nd International conference on Adaptive Science & Technology - 2009
- [53] Faulkner P. – Flexible mixed architecture automated test systems uses VME/VXI/compact PCI/PXI – VMEBUS systems - 2003
- [54] Fexa P., Vedral J. – Developing automated data acquisition systems for ADC and DAC testing – IEEE 6th International conference on Intelligent Data Acquisition And advance Computing systems (IDAACS) - 2011
- [55] Floor Sietsma – A Case Study in Formal Testing and an Algorithm for Automatic Test Case Generation with Transition Systems – University of Amsterdam 2009
- [56] Fu Wei, Zhu Yan, Fu Junli, Ouyang Puzhong – Control and testing system based on LABView for programmable AC Power source – 10th International Conference on Electronic Measurement & Instruments (ICEMI) - 2011
- [57] Gyurova Lavrova Antonia – Automation of testing for automotive embedded systems – October 2006
- [58] Goulart T.J, Consonni D, “Automated system for measuring electrical three-phase power components”, IEEE Transaction on Education, pp. 336-341, Nov. 2001
- [59] Goad K.G., Tront J.G, McKeeman J.C, “A PC-based automated guided probe testing system”, System Theory 1989 Proceedings, Twenty-First Southeastern Symposium on, pp. 345-348, March 1989
- [60] Gooding M., Cohen L. – Evaluation of three ATE test environments – IEEE vol 12 Electronics magazine 1997
- [61] Grochowski A., Bhattacharya D., Viswanathan T.R., Laker K. – Integrated circuit testing for quality assurance in manufacturing: history, current status and future trends – IEEE Transaction on Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing - 1997
- [62] Guangfan Shi, Guangming Yan, Jigang Li, Guanran Wang, Zeguo Cheng – The design and implement of virtual instrument based on computing technique and USB platform – 3rd International Conference on Information Technology - 2005
- [63] Guangzhao Luo, Weiguo Liu, Ke Song ; Zhong Zeng - dSPACE based Permanent Magnet Motor HIL simulation and test bench – International Conference on Industrial Technology IEEE 2008
- [64] Gühmann Clemens – Model Based Testing of Automotive Control Units - 2009
- [65] Harper C. – Electronic Packaging and Interconnection Handbook – McGraw Hill - 2000

- [66] Han Mei – The hardware design of the testing system for small grid off wind turbine generator based on Labview – International conference on Electronics, Communication and Control (ICECC) - 2011
- [67] Hawrylak P.J., Ogirala A., Cain J.T., Mickle M.H, "Automated Test System for ISO 18000-7 Active RFID", RFID, 2008 IEEE International conference, pp 9-18, April 2008
- [68] Huertas J.L. – Test and design for test of mixed signal integrated circuits – 17th Symposium on Integrated Circuits and system design - 2004
- [69] Huiqin Zhan, Jun Gu, "Automated Testing System of Upper Air Platform for Aviation Engine ",IEEE 2006 Autotestcon, pp 46-52, September 2006
- [70] Huizong Feng, Fenling Liu, Yang Xu – Functional testing system based on Labview for gas-fueled automobile engine ECU – 3rd International Conference on Advance Computer Control (ICACC) – 2011
- [71] Hults C., Schwedner F., Grossman S. – In Circuit test an evolution – IEEE Transaction on Manufacturing Technology - 1975
- [72] Hongbo Yu, Yihua Lan, Haozheng Ren, "The Research about an Automated Software Testing System Run Tool", 2011 3rd International Workshop on Intelligent Systems and Applications USA, pp. 1-4, May 2011
- [73] IBM, Systems Application Architecture: Common User Access: Basic Interface Design Guide, Document SC26-4583-0 – 1992
- [74] ICS Electronics – IEEE 488 Extending the GPIB Bus - 2003
- [75] IEEE – IEC/IEEE Standard for Higher Performance Protocol for the Standard Interface for Programmable Instrumentation – Part 1: General - 2010
- [76] IEEE – Standard Digital Interface for Programmable Instrumentation Part 2: Codes, Formats, Protocols and Common Commands – IEEE Std 488.2-1992 – update 2010
- [77] IEEE – Standard for signal and test definition – IEEE Std. 1641-2004
- [78] Ignea A. – Introducere în compatibilitatea electromagnetică – Editura de Vest, Timisoara, 1998
- [79] Ignea A., Stoiciu D. – Masurari Electrice, sensori si traductoare – Ed. Politehnica Timisoara 2006
- [80] International Standard, Road Vehicles – Controller Area Network Part II: High-speed access unit, ISOCD 11898-2 – 1991
- [81] International Standard, Road vehicles – Controller Area Network Part V, ISO11898-5
- [82] International Standards, ISO11898-2 – 2003
- [83] International Standards, ISO 11898-1: CAN Data Link Layer and Physical Signalling, -2003
- [84] International Standards, ISO 11898-2: CAN High-Speed Medium Access Unit , - 2003
- [85]International Standards, ISO 11898-3: CAN Low-Speed, Fault-Tolerant, Medium-Dependent Interface - 2003
- [86] International Standards, ISO 11898-4: CAN Time-Triggered Communication - 2003

- [87] International Standards, ISO 11898-5: CAN High-Speed Medium Access Unit with Low-Power Mode - 2003
- [88] International Standards, ISO 11898-6: CAN High-speed medium access unit with selective wake-up functionality - 2003
- [89] International Organization for Standardization - IEEE 488.1 - Digital interface for programmable instrumentation - 1988
- [90] International Organization for Standardization - IEEE 488.2 - Codes, formats, protocols and common commands for use with IEEE std. 488.1 - 1987
- [91] International Organization for Standardization - ISO FDIS 16750-1:2006: Road Vehicles -- Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment - Generals - 2006
- [92] International Organization for Standardization - ISO FDIS 16750-2:2006: Road Vehicles -- Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment - Electrical loads - 2006
- [93] International Organization for Standardization - ISO FDIS 16750-3:2006: Road Vehicles -- Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment - Mechanical Loads - 2006
- [94] International Organization for Standardization - ISO FDIS 16750-4:2006: Road Vehicles -- Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment - Climatic loads - 2006
- [95] International Organization for Standardization - ISO FDIS 16750-5:2006: Road Vehicles -- Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment - Chemical loads - 2006
- [96] Ingun GmbH - Test Probes Catalog - 2007/2008
- [97] Isar D. - Echipamente de conducere a proceselor industriale - Ed. Politehnica Timisoara - 1999
- [98] Isar D. - Interfete seriale pentru comunicatii industriale - Ed. Politehnica Timisoara - 2002
- [99] Jan G.J., Law S.F., "Implementation and use of general purpose interface bus interface in an automatic testing and measurement system of a management power supply", Review of Scientific Instruments, pp. 2488-2493, Nov. 1988
- [100] Jianguang Jia, Jingming Kuang, Zunwen He, Jun Fang, "Design of automated test system based on GPIB", ICEMI '09th International Conference on Electronic Measurement & Instruments 2009, pp 1-943 - 1-948, August 2009
- [101] Jian Song - Measure and test system of belt driving based on LABView - International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering (MACE) - 2010
- [102] Jingdyi Du, Wenqiang Xie, Xuan Wang - Transducer Testing System Based on Virtual Instrument Technology - 3rd Pacific-Asia Conference on Circuits, Communication and System (PACCS) - 2011
- [103] Jinming Tian, Chenglong Gong, Linhai Ji, Xiuqiang Chen - Test platform of auto wheel speed sensor based on LABView - 2nd International Conference on Computer Engineering and Technology (ICCET) - 2010

- [104] Jurca T., Stoiciu D., Mischie S. – Aparate electronice de masurat – Ed. Orizonturi universitare 2001
- [105] J. Du, Y. Wang, C. Yang, and H. Wang, - Hardware-in-the-loop simulation approach to testing controller of sequential turbocharging system - Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics, 2007
- [106] Kai Zhou, Xudong Wang, Chao Zhang, Jian Liu – Data aquisition system based on Labview for ABS dynamic simulation test stand – IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA) - 2010
- [107] Kaner Cern – Architectures of Test Automation – August 2000
- [108] Kassner J., Menzel W. – In Circuit testing of complex circuits using on-wafer probing and electromagnetic coupled ground interconnects – IEEE MTT-S International Microwave Symposium - 2000
- [109] Klein L., Bridgeman J. – An architecture for high speed analog in circuit testing – Internation test conference - 1990
- [110] Lascu M., Metode analogice și numerice de măsurare a marimilor electrice – 2000
- [111] Lascu M., Tehnici avansate de programare in LabView – 2007
- [112] Lascu D., Lascu M., Babaita M., Popescu V., Negoitescu D. - LabVIEW-Based Control of a Switching Board for Distance E-Learning – 2008
- [113] Laskar, Shahedul Haque, Muhammad Mohibullah – Power Quality Monitoring by Virtual Instrumentation using LABView – 46th International Universities Power Engineering Conference (UPEC) - 2011
- [114] Lecroy Company – X-Stream Oscilloscopes Remote control Manual – february 2005
- [115] Leikai Ma, Liang Xu, Kunpeng Zhang, Wei Wu, "The measurement of series and shung resistance of the silicon solar cell based on LabView", 2011 International Conference on Electrical and Control Engineering (ICECE), pp. 2711-2714, Sept. 2011
- [116] Li Pengfei, Nie Luhua, "Remote Control Laboratory Based on LabView", ICICTA '09 Second International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, pp. 84-87, Oct. 2009
- [117] Lindlar F., Windisch A., "A Search Based Approach to Functional Hardware in the Loop Testing", 2010 Second International Symposium on Search Based Software Engineering (SSBSE), pp.111-119, Sept.2010
- [118] Lockhart M., Clabon L., Lott C., James M. – Automated Battery tester data aquisition System using LABView – Region 5 Conference - 2008
- [119] Marick B. – When a Test should be automated – Stareast 1999
- [120] Malian J., Eklow B. – Embedded Testing in Circuit Test environment – International Test conference - 2008
- [121] Melich Cakmakci, Yonghua Li, Shuzen Liu – Model in the loop Development fur Fuel cell vehicle – 2011 American Control Conference, San Fransisco
- [122] Microchip Datasheet – MCP 2551 – high speed CAN Transceiver – 2003
- [123] Microchip Manuals – Controller Area Network (CAN) Basics

- [124] Mitchell J., Lockwood J. – Tools for in circuit testing of on-line content processing hardware – IEEE International conference on Microelectronic Systems Education – 2005
- [125] Miegler M., Wolz W. – Development of test programs in a virtual test environment – 14th IEEE VLSI test symposium - 1996
- [126] Mueller J., Oblad R. – Architecture drives test system standards – IEEE 2000
- [127] Mueller J.E – Achieving instrument interchangeability with IVI instrument drivers – Autotestcon 2003
- [128] National Instruments: LAB Windows/CVI user manual – 1998
- [129] National Instruments: LAB Windows/CVI test executive toolkit reference manual – 1998
- [130] National Instruemnts: Using teststand manual – 2003
- [131] National Instruments: Designing Automated Test Systems – 2002
- [132] National Instruments: Building a Stand-Alone Application – 2006
- [133] National Instruments: History of GPIB – 2010
- [134] National Instruments: GPIB Addressing NI-488 User Manual – 2005
- [135] National Instruments: GPIB Instrument Control Tutorial – 2009
- [136] National Instruments: NI-488.2 User Manual – february 2005
- [137] National Instruments: Controller Area Network Overview – 2006
- [138] National Instruments: Basics of Control Design and Simulation – 2001
- [139] National Instruments: Develop a Wireless Measurement System – 2007
- [140] National Instruments: The future for new bus technologies in instrument control and connectivity – 2006
- [141] Neblett B. – Implementing reusable instrument independent test programs in the factory – IEEE vol 12 – 1997
- [142] Neskovic M.D, Spasic J.S, Celebic V.V, Salom I.M (2010) "An Automated hardware testing using PXI hardware and Labview software", 2010 5th European Conference on Circuits and systems for communication (ECCSC), pp 232-235, 2010
- [143] Novak J., "Flexible approach to the Controller Area Networks test and evaluation", 2009 IDAACS IEEE International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, pp. 44-48, Sept.2009
- [144] Novak J., Kocourek P., "Automated Testing of Electronic Control Units Compatibility in Vehicle CAN Networks", 2005 Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, pp.1423-1428, June 2005
- [145] NVE Company – IL 41050 Isolated High speed CAN Transciever - 2012
- [146] NXP Datasheet – AN00020 TJA1050 high speed CAN Transciever - 2007
- [147] Ono K.,Ohmori K.,Fujii T., Asakura T., "Automated testing system for switching systems with multiple modules", International IEEE Conference on Communications, 1997 ICC Montreal Towards the Knowledge Millennium, pp. 236-240, Jun. 1997
- [148] Ostfalia University of Applied Sciences – Model in the loop simulation including Automotive Control Systems – Salzburg Austria Mai 2011

- [149] Pasquarette J. – Using IVI drivers to build hardware – National Instruments 1998
- [150] Pelesca J., Klemens B., Hunnar J., Hartmann T. – Advancement in automated simulation and testing technology for safety critical avionic systems – University of Bremen – 2006
- [151] Perez S. M – The critical need for open ATE architecture – International conference test – 2004
- [152] Pietro P.S., Angelo Morzenti, Morasca Sandro – Generation of execution sequences for modular time critical systems – IEEE transactions on software engineering – 2000
- [153] Pitica D., Radu M. – Elemente de testare pentru sisteme electronice – Ed. Albasta Cluj Napoca - 2001
- [154] **Prutianu Florin**, Popescu Viorel – LeCroy & Tektronix Oscilloscopes remotely controlled with LabView drivers on LAN/GPIB communication protocol – Oradea, 2012, cotata B
- [155] **Prutianu Florin**, Popescu Viorel – Automated testing system for CAN communication circuit – Suceava, 2012, cotata ISI factor de impact 0.7
- [156] **Prutianu Florin**, Pop – Calimanu Ioana-Monica, Popescu Viorel – Validation system for power supply module part of automotive ECUs – ISETC Timisoara, 2012, cotata ISI
- [157] **Prutianu Florin**, Pop – Calimanu Ioana-Monica, Popescu Viorel – Semi-Automated Power Supply efficiency measuring system – ISETC Timisoara, 2012, cotata ISI
- [158] **Prutianu Florin**, Pop – Calimanu Ioana-Monica, Popescu Viorel – Power factor correction inductor design from a wind turbine boost converter – Oradea, 2011, cotata B
- [159] **Prutianu Florin**, Popescu Viorel – Control of single phase inverters for wind energy conversion using PWM techniques – ISETC Timisoara, 2010, cotata ISI
- [160] Palladino A., G. Fiengo, F. Giovagnini, and D. Lanzo, "A Micro Hardware-In-the-Loop Test System", *IEEE European Control Conference*, 2009
- [161] Popescu Viorel – Surse de alimentare neîntreruptibile – 2004
- [162] Popescu Viorel – Electronică de putere – 2005
- [163] Popescu V., Lascu D., Negoitescu D. – Convertoare de putere in comutatie - Ed. De Vest Timisoara – 1999
- [164] Prashant S. Parikh, Abramovici M. – Testability based partial scan analysis – Journal of electronic testing 1995
- [165] Pretschner A. – Model based testing – 27th International Conference on Software engineering 2005, Zurich
- [166] Purcell A. – The search for a gpib replacement – Autotestcon 1999
- [167] Rabe D., Miller J. – Applying software process to Virtual Instrument based test program set development – Autotestcon Proceedings - 1997
- [168] Rankin D.J, Jin Jiang – A Hardware in the loop Simulation platform for the Verification and Validation of Safety Control Systems – IEEE Transaction on Nuclear Science – 2011

- [169] Rajsuman R., Masunda N., Yamashita K. – Architecture and design of an open ATE to incubate the development of third party instruments, instrumentation and measurements – IEEE transaction vol 54 – 2005
- [170] Riegraf T., Beeth S., Krauß S. – Efficient Testing in Automotive Electronics – ATZ Conf. 2007
- [171] Rolain Y., Van Moer W. – Block oriented instrument software design – IEEE transaction on instrumentation and measurement – 2005
- [172] Rolince D. – Simplifying TPS development and execution using a PC – web based environment – Terradyne INC
- [173] Rolince D. – Applying virtual test principles to digital test program development – Terradyne INC
- [174] Stasonis B. – A new architecture for many test requirements – international test conference - 2003
- [175] Siegel S., Hielscher K.S, German R., Berger C. – Formal specification and systemic model-driven testing of embedded automotive systems – Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE) – 2011
- [176] Simu D. – Contributii la configurarea unor structuri de testare automata cu aplicatii in avionica – Timisoara 2006
- [177] Soh Ying Seah – Combining ATE and flying probe in circuit test strategies for load board verification and test – Instrumentation and measurement conference – 2009
- [178] Stern P. – High performance component software changes the rules for configuring ATE – Test division Terradyne INC
- [179] Stoica S. – System design verification tests – an overview – Test conference - 1999
- [180] Stora M.J., Droste D. – ATE open system platform – autotestcon 2003
- [181] Swain N.K., Anderson J.A, Ajit Singh, Swain M., Fulton M., Garrett J., Tucker O., "Remote data acquisition, control and analysis using LabView from panel and real time engine", IEEE Proceedings 2003 SoutheastCon 2003, pp. 1-6, April 2003
- [182] Tektronix Company – Power Supply Measurement and Analysis – 2002
- [183] Tektronix Company – Test & Measurement Solutions - 2008
- [184] Texas Instruments – Introduction to the Controller Area network – 2006
- [185] Ting Yang, Yicheng Zhang, Yongtao Yao, Hengliang Ren – Development of a Testing Platform for DC/DC Converters in Fuel Cell Electrical Vehicles – IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety – 2006
- [186] Topalov A., Mayrhofer K.J.J – Development and integration of a LABView-based modular architecture for automated execution of electrochemical catalyst testing – Review of Scientific Instruments - 2011
- [187] T. Hwang, J. Rohl, K. Park, J. Hwang, K. H. Lee, K. Lee, S.-J. Lee, and Y.-J. Kim, "Development of HIL Systems for active Brake Control Systems", *SICE-ICASE International Joint Conference*, 2006
- [188] Tracetronic GmbH – ECU Test Data Sheet
- [189] Tracetronic GmbH – ECU Test Users Guide Manual

- [190] Tudoroiu N., Prostean O., Curiac D. – Automatizari Complexe – Ed. Mirton Timisoara - 1993
- [191] US Department of Transportation – Systems Engineering for Intelligent Transportation Systems - 2007
- [192] Vasiu Radu – Testarea echipamentelor electronice – Ed. Orizonturi Universitare Timisoara - 2001
- [193] Vector Company – Hardware for ECU Testing - 2008
- [194] Vlăduțiu M., Crișan M. – Tehnica testării echipamentelor automate de prelucrare a datelor - 1989
- [195] Washington C., Delgado S. – Improve design efficiency and test capabilities with HIL Simulation – Autotestcon IEEE 2008
- [196] Weidong Zhu, Steve Pekarek, Juri Jatskevich, Oleg Wasynczuk, Dana Delisle – A Model in the loop Interface to emulate Source Dynamics in a Zonal DC Distribution System
- [197] West G. B., Jones M.F – Digital synchronization for reconfigurable ATE – International test conference - 2004
- [198] Zagal, J.C., Ruiz-del-Solar, J., Vallejos, P. (2004) Back-to-Reality: Crossing the Reality Gap in Evolutionary Robotics. In IAV 2004: Proceedings 5th IFAC Symposium on Intelligent Autonomous Vehicles, Elsevier Science Publishers
- [199] Zakizadeh J., Das S.R, Assaf M.H, Petriu E.M, Sahinoglu M., Jone W.B – Testing Analog and mixed Signal Circuits with built in hardware – a new approach – Proceedings of the IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference – 2005
- [200] Zhang Shutuan, Zhang Yi, Liu Lingshun, Gao Yanli – 10th International conference on Electronics Measurement & Instruments (ICEMI) - 2011
- [201] Zhang Wenfan, Liao Hui, "Design and research of performance of automated test system of electro-hydraulic proportional valve", International Conference on Eletronics, Communication and Control (ICECC) 2011, pp 1989-1991, Septmeber 2011
- [202] Zhang Xinjun, Tashiro Y., Takata H., Fujii T., Yamamuro M., Kasai D., Shimomura T., "An approach to automated program testing and debugging", 1999 Proceedings Sixth Asia Pacific in Software Engineering Conference, pp. 582-589, Dec. 1999
- [203] Zhou Jiadong, Ouyang Guangyao, Wang Minghe – Hardware in the loop Testing of Electronically-Controlled Common-Rail Systems for Marine diesel engine – International conference on Intelligent computation Technology and Automation (ICICTA) – 2010
- [204] Zulkifli M.Z, Harun S.W, Thambiratnam, Ahmad H., "Self Calibrating Automated Characterization Systems for Depressed Cladding EDFA Applications Using Labview Software with GPIB", IEEE transactions on Instrumentation and Measurement, pp. 2677-2681, Nov. 2008
- [205] [www. bcs.fansamotors.com](http://www.bcs.fansamotors.com)