



HiTECH-HEV

Modular architecture developed for Hardware-in-the-loop platform for TEsting Competitive, Highly-efficient and reliable Hybrid Electric Vehicles

Titlu Proiect: **Hardware-in-the-Loop Modular Platform for TEsting the Energy Management of Competitive & Highly-Efficient Hybrid-Electric Vehicles (HiTECH-HEV)**

Număr contract: PCCA 191/2012

Adresă web-site: www.hitech-hev.utcluj.ro

Parteneri consorțiu: Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca (coordonator – CO)
ICPE-SA (primul partener – P1)
SC LMS-International SRL (al doilea partener – P2)



Echipa managerială: Daniel FODOREAN (director proiect, responsabil CO)
Paul MINCIUNESCU (responsabil P1)
Cristi IRIMIA (responsabil P2)

Raport Final – Etapa I (Iulie - Decembrie 2012)



I. Rezumatul Etapei

1. Obiectivul și activitățile asociate primei etape de implementare a proiectului HITECH-HEV

ETAPA I Stabilirea platformei modulare a vehiculului electric-hibrid (VEH) și a componentelor principale ale sistemului.

Activitatea I.1. Evaluarea infrastructurii și achiziționarea echipamentelor principale pentru implementarea proiectului HITECH-HEV.

Activitatea I.2. Stabilirea gradului de hibridizare și modularitatea sistemului HEV studiat.

Proiectul HITECH-HEV a demarat la începutul lunii Iulie a.c., partenerii consorțiului pregătind fiecare individual o fișă tehnică pentru evaluarea infrastructurii și a componentelor sistemului HEV aflat în studiu.

Folosindu-ne de figura următoare, se reamintesc elementele principale ale platformei modulare a HEV studiat precum și nivelul de responsabilitate al partenerilor.

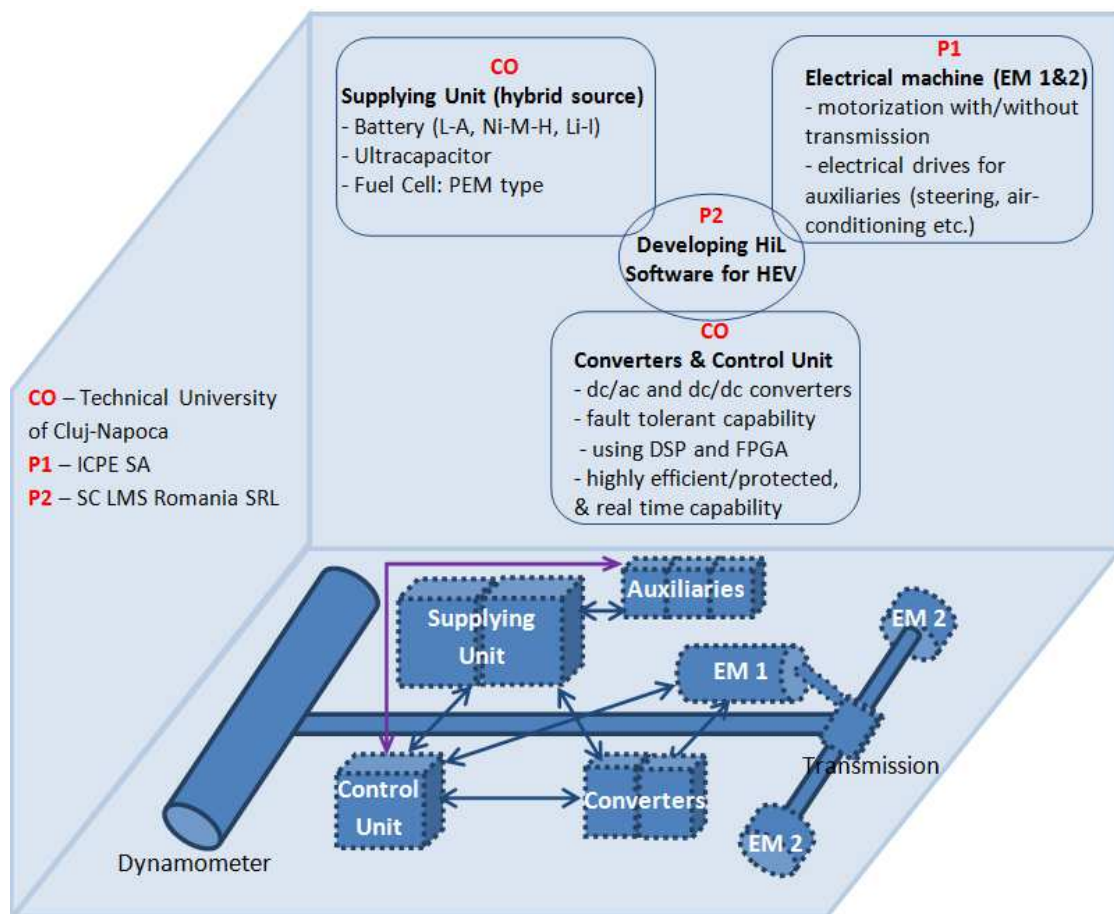


Figura 1. Schiță pentru concepția platformei modulare a HEV studiat, și responsabilitățile partenerilor.



În luna August a avut loc o ședință de lucru în care s-au dezbătut următoarele lucruri:

- Calendarul implementării proiectului pentru anul I (modalități de implementare a primelor două activități de cercetare).
- Stabilirea infrastructurii pentru implementarea proiectului.
- Posibilele contacte cu furnizorii de soluții mecanice necesare în implementarea proiectului.
- Discuții despre drepturile intelectuale.
- Discutarea detaliilor contractuale (cheltuieli bugetare, plafoane salariale).
- Responsabilii de proiect au stabilit modalitățile de comunicare electronică și s-au făcut propuneri pentru o întâlnire ulterioară.

Ca urmare a acestei ședințe s-au luat o serie de hotărâri care să contribuie la succesul proiectului HITECH-HEV, și anume :

- Dat fiind nivelul investiției, dinamometrul capabil să furnizeze funcționalitatea mașinilor testate în 4 cadrane (regim de motor și generator – cu frânare recuperativă) a fost înlocuit cu o soluție corespunzătoare ca și nivel de putere, și anume o mașină electrică și convertizorul asociat : se estimează o diminuare a investiției de aproximativ 60 000 euro.
- Pentru implementarea platformei de teste este necesară o vizită de studiu la un laborator/firmă de cercetare specializată în testarea pe stand experimental a lanțului de tracțiune a unui automobil.
- S-au identificat posibii furnizori de soluții de antrenare pentru înlocuirea dinamometrului precum și posibii terți capabili să furnizeze rulmenți pentru aplicații de mare viteză și echilibrarea ansamblului de antrenare prin prelucrări mecanice de mare precizie.
- S-au stabilit responsabilitățile partenerilor: coordonatorul are în responsabilitate studiul analitic și numeric al motorizărilor de mare viteză (dimensionarea a trei mașini electrice), partenerul 1 se va ocupa de construcția efectivă a motorizării precum și studiul solicitărilor mecanice ale mașinilor electrice, iar partenerul 2 se va ocupa de implementarea modelelor într-un software specializat.

Ca urmare a unei deplasări de studiu efectuate la firma GreenMot, din Lyon-Franța (companie privată specializată în testarea fluxului de energie și a comportamentului vibrator în automobile termice și electrice), membrii echipei HITECH-HEV au stabilit furnizorii potențiali de soluții de înlocuire a dinamometrului precum și sistemul de control în timp real și achiziție de mare precizie pentru aplicația studiată.

Ulterior, fie prin vizite în fieful coordonatorului sau prin discuții tehnice prin telefon sau folosind poșta electronică, responsabilii partenerilor au stabilit necesarul de echipamente de achiziționat pentru dezvoltarea infrastructurii platformei modulare pentru testare HiL a HEV studiat, precum și gradul de modularitate și hibridizare a sistemului. Ca urmare a acestor discuții, s-a evidențiat necesitatea înlocuirii angrenajului mecanic necesar la transmiterea cuplului la roți cu un angrenaj magnetic. Acesta din urmă prezintă avantajul de a nu necesita lubrifiere, iar vibrațiile de natură mecanică sunt eliminate. Acest element de inovație a deschis noi perspective ale cercetării științifice. S-au elaborat modele de antrenare motor-reductor magnetic în diverse configurații. Obținerea unui reductor magnetic cu transmisie variabilă este una din țintele principale ale studiului, capabilă să propună noi idei și implicit produse pentru brevetare.

Referitor la gradul de modularitate, se amintește că :

- Din punctul de vedere al motorizării : sunt propuse spre studiu trei soluții de motoare de



mare viteză : sincron cu magneți permanenți din pământuri rare, de inducție și sincron reactiv.

- Sunt în studiu diverse variante de reductoare magnetice : cu raport de transmisie fix sau variabil.
- Convertizoarele pentru alimentarea motorizării: mașinile fiind de curent alternativ, se poate folosi același convertizor (invertor) pentru toate cele trei tipuri de motorizare.
- Alimentarea: folosind baterii, ultracondensatoare sau o combinație dintre acestea.
- Sistemele auxiliare : sistemul HEV studiat va putea lua în considerare o varietate de sisteme auxiliare, consumatoare de energie (sistemul de aer condiționat, sistemul de direcție, sistemul de frânare, scaune/oglinzi acționate electric etc.).
- Managementul energiei folosind diverse scenarii : distanțe scurte, medii și lungi, precum și diverse profile rutiere și condiții de trafic/meteo.

Având toate aceste elemente în atenție, s-au achiziționat primele echipamente necesare la implementarea proiectului. Se menționează că cea mai mare parte a echipamentelor va fi achiziționată pe durata celui de-al doilea an de derulare a proiectului (2013). Pe lângă o serie de materiale electrice și electronice, s-au achiziționat :

- Sursă programabilă de putere de curent continuu, de 45kW (0...400Vc.c.), marca Sorensen (145 700 lei).
- Sistem de gestiunea a energie, control în timp real și achiziție de date : dSPACE1006 (13 503€)
- Modul de control în timp de mare precizie, pentru realizarea comenzii motoarelor de curent alternativ, D5202ACM, 2 800 €.
- Două calculatoare (4836lei/bucată – procesor i7 cu procesor QC 3,4GHz, 8Gb RAM, 1Tb HDD, 2Gb memorie video): pentru studiul numeric al soluțiilor de antrenare și –pentru implementarea controlului în timp real.

Tot în această etapă s-a făcut o evaluare a materialelor necesare pentru construirea convertizoarelor statice, care trebuie să asigure fluxului de putere înspre motorul electric, cu o dinamică ridicată. Ca urmare a studiului analitic și numeric s-a constatat că pentru realizarea controlului la turație ridicată trebuie ca frecvența de comutație a întreruptoarelor să fie peste 20 kHz. În atare condiții, utilizarea IGBT-urilor este inutilă. Doar tranzistoare de tehnologie MOSFET ar putea asigura funcționalitate invertorului la frecvența de comutație amintită. Pe de altă parte, întreruptoarele electronice de tehnologie MOSFET sunt limitate la funcționarea în curent. S-au găsit tranzistoare la curent nominal de 55A, având o rezistență de grilă de valoare mică (pentru limitarea pierderilor în cupru, ce produc încălzirea tranzistorului). O astfel de valoare de curent nu este suficientă pentru funcționarea la 40kW. Astfel, bobinajul motorului se va realiza din căi de curent în paralele, astfel că cel puțin două întreruptoare vor fi responsabile pentru alternanța pozitivă sau negativă a unei faze. O astfel de structură va ridica costul invertorului, în schimb ar oferi un grad sporit de toleranță la defect. Comanda printr-un astfel de de invertor cu întreruptoare în paralel pe fiecare alternanță se poate face doar folosind tehnologie FPGA. Oricum, o atenție specială va trebui acordată încălzirii convertizorului.

Pentru anul următor se dorește achiziționarea a trei sarcini programabile, de c.a./c.c. de 15kW fiecare, pentru simularea sarcinii trifazate, un traductor de cuplu și turație de 40000rpm, un sistem de măsură instantanee a energiei din sistem, emulatorul dinamometrului etc..



II. Descrierea științifică și tehnică a proiectului HiTECH-HEV.

1. Concepte HiL, SiL pentru implementarea platformei modulare HiTECH-HEV

Noțiunea de simulare în timp real se referă la corelarea modelării matematice cu utilizarea unor echipamente reale, supuse unor semnale sau perturbații generate sau reale. Modelarea matematică trebuie să reproducă cât mai fidel realitatea, respectându-se, în același timp, constrângerile multiple asociate interconectării modelelor virtuale cu sistemele reale. Spre deosebire de simularea numerică, modelele folosite în timp real trebuie să fie robuste, fără a fi diminuate performanțele.

Simulare și testarea în timp real, în buclă închisă, sau **HiL**, conform denumirii în limba engleză a procedurii, se situează între **proiectarea preliminară și definitivarea prototipurilor**, după cum se poate observa în Fig.2 care prezintă **diagrama V dezvoltării unui produs**.

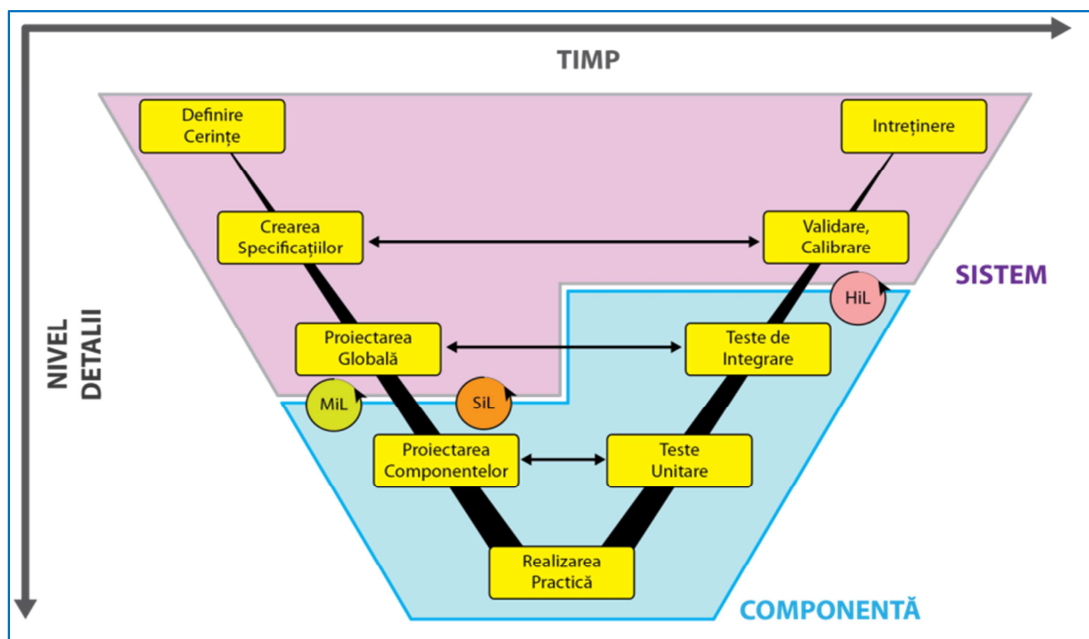


Figura 2. Diagrama în V a dezvoltării unui produs

Noțiunea de **timp real** a evoluat începând cu **epoca calculatoarelor analogice**. Acestea puteau executa o serie de operații matematice mult mai rapid decât evoluau procesele pe care le controlau. De aici a apărut necesitatea introducerii unor elemente suplimentare, care să **adapteze ieșirea calculatoarelor (comanda) la rata de schimbare a mărimii controlate din cadrul proceselor respective**. În caz contrar, semnalul de comandă era generat prea devreme, iar procesul se găsea încă în starea anterioară, apărând **neconcordanțe ce destabilizau funcționarea reguletoarelor**. Despre procesele fizice se spunea că evoluau în timp real, iar la momentul respectiv calculatoarele erau cele care mergeau mai rapid. După apariția unităților de calcul digitale, puterea de calcul prezentă în dispozitivele de comandă și control din echipamente a devenit insuficientă pentru a rula programe la viteza cu care evoluau procesele. Astfel, noțiunea de timp real a căpătat altă semnificație. Pe măsură ce electronica digitală s-a dezvoltat, componenta software a căpătat mai multă importanță, ajungând să determine în proporție de 90% performanțele unui echipament.

Este greu de definit cu precizie ceea ce constituie în ziua de azi un sistem de timp real. Multitudinea de aplicații existente face ca încadrarea unui concept abstract ca cel în cauză să fie subiectul multor controverse. Sigur este că, dacă anumite concepte pot exista și în mediul virtual,



precum o teorie sau o ipoteză, **sistemele de timp real sunt într-o majoritate covârșitoare dependente de un proces fizic sau echipament real. De la avioanele de vânătoare moderne până la echipamentele medicale sau ABS-ul de pe autovehicule, toate dispozitivele folosesc un sistem de timp real.** Acestea sunt doar aplicații comune, existând și routere sau portaluri (gateway) ce sunt animate de astfel de programe, prin urmare nu toate sistemele de timp real trebuie să aibă un suport fizic palpabil. **Ceea ce este unilateral acceptat este că un sistem de timp real trebuie să răspundă la stimuli externi corect și într-un interval de timp bine determinat.** Reformulând, nu este suficient ca o anumită operație să fie îndeplinită cu succes, acest lucru trebuie să se încadreze într-o durată de timp bine definită. Acest lucru nu înseamnă că aceasta este predeterminată, cunoscută. **Algoritmii ce stau la baza unui sistem pot lua în considerare și o abordare statistică a intervalului de timp alocate unei operații, însă o normă bine definită stă la baza oricărui sistem de timp real.**

Sintetizând semnificația noțiunii de timp real într-o caracteristică de bază, se poate spune ca **timpul real se referă la rata naturală de evoluție a unui proces, fără a fi raportată la curgerea firească a timpului, așa cum o percep oamenii.** Ceea ce pentru oameni ar părea foarte rapid, practic instantaneu, raportat la viteza de execuție a unui automat ar putea fi o durată extrem de mare sau invers.

1.1 Caracteristici ale sistemelor de timp real

Un sistem se poate spune că este de timp real dacă răspunde la stimulii externi și interni într-o manieră absolut determinată.

Pe lângă cunoașterea stărilor unui sistem de timp real, **este esențială și determinarea coordonatelor temporale ale acestora.** Pentru ca un sistem de timp real să fie cu adevărat util, acesta trebuie să fie asociat unui proces fizic. În aceste condiții, **evoluția procesului determină coordonata temporală a sistemului de timp real.** Nu trebuie făcută confuzia între partea de comandă și procesul propriu-zis. Sistemul de timp real capătă această proprietate prin construcția sa și prin adaptarea unor parametri la un anumit proces. **Atunci când rata de execuție al algoritmilor controller-ului este suficient de rapidă pentru a putea respecta cerințele de proiectare dar și suficient de robustă pentru a elimina orice eroare cunoscută sau prevăzută, se poate spune că sistemul funcționează în timp real, însă numai raportat la un anumit proces.** Astfel apare distincția între un **sistem de timp real**, sistem ce are **posibilitatea de a funcționa în timp real și funcționarea în timp real**, ce include un sistem de timp real, un proces anumit și o serie de parametri.

Un sistem de operare este o interfață între utilizator și hardware ce gestionează resursele sistemului și coordonează operațiunile acestuia. Sistemul de operare timp real realizează operațiunile esențiale ale oricărui sistem de operare: schimbarea contextului și planificarea resurselor, toate acestea respectând constrângerile stricte impuse pentru asigurarea funcționării în timp real.

În sinteză, principalele caracteristici ale sistemelor de timp real sunt următoarele:

- sistemele de timp real și funcționarea în timp real sunt două concepte diferite;
- sistemele de timp real sunt alcătuite din sisteme de operare de timp real și diverse echipamente, cu softul aferent, pentru interfața cu mediul exterior;
- sistemele de operare de timp real se deosebesc de cele clasice prin construcția lor, prin structura internă;
- caracteristicile definitorii pentru un sistem de timp real, valabil mai ales pentru sistemele de operare de timp real, sunt robustețea și predictibilitatea ce au ca rezultat evitarea stărilor nedorite;
- temporizarea judicioasă este o caracteristică a sistemelor de timp real doar atunci când le asociem cu un proces fizic specificat;



1.2 Simularea în timp real

Până în anii '90 programele de simulare erau practic inexistente. Calculatoarele erau folosite în activitatea de proiectare, pentru calcule, însă ideea de **a modela elemente complexe într-un mediu reconfigurabil nu căpătase amploare**. Interacțiunea dificilă cu calculatorul ca și puterea scăzută de calcul disponibilă oamenilor obișnuiți au ținut la distanță simularea numerică. În prezent lucrurile s-au schimbat iar majoritatea cercetărilor se fac azi prin simulare.

Prin **simulare se înțelege un pas în plus față de modelare, unde sunt create reprezentări virtuale ale unor elemente din realitate**. O simulare este într-o mare măsură interactivă. Prin **cuplarea unui model matematic cu interfețe dedicate, fie operatorului uman fie echipamentelor**, s-a realizat o evoluție substanțială în tehnică. La început, folosind calculatoare analogice și tuburi catodice, se puteau trasa curbe pentru elemente simple și rezolva sisteme de ecuații diferențiale fără soluții analitice. Ulterior, după apariția tehnologiilor digitale, **diverse modele ale unor procese din natură puteau fi testate pe calculatoare puternice, multi-procesor, aflate în dotarea firmelor foarte mari sau guvernelor**. În ziua de azi **orice calculator de uz general poate executa un număr mare de operații**, depășind de mii până la miliarde de ori puterea de calcul a primelor generații de computere.

În domeniul militar mai ales, **simularea a jucat un rol esențial în antrenamentul personalului**. Pe lângă aceasta, resursele uriașe implicate în acest proces au determinat menținerea unui **con de umbră asupra procedurilor de interacțiune dintre om sau echipamentele fizice și modelele rulate în cadrul unei simulări**. Astfel, simularea în timp real a fost exemplificată doar prin exemple teoretice și algoritmi sintetici, lipsind implementările de valoare.

Prin perspectiva creșterii puterii de calcul disponibile pentru bugete restrânse și **răspândirea nevoii de a produce mai ieftin și mai rapid**, multe companii mari au început să încerce **adaptarea modelelor de simulare și a sistemelor conexe la testarea prototipurilor**.

La început, simularea în timp real a fost aplicată **dezvoltării de ECU pentru autovehicule**. Acestea sunt **automate de stări**, de aceea integrarea lor este mai ușoară. **Primind semnale digitale**, ce pot fi generate rapid, acestea **puteau fi testate pentru a vedea cum răspund diverselor situații din realitate**, simulate de unități speciale. **Cum ECU-urile erau chiar unitățile fizice** ce se montau pe autovehicule, **simularea în timp real a acestora a căpătat abrevierea de HiL (Hardware-in-the-Loop)**. Tehnologia a fost extinsă ulterior și la testarea motoarelor cu ardere internă și la alte subsansamble.

Ținând seama de definițiile sistemelor de timp real și de cele prezentate mai sus, se poate da o **definiție** și pentru simularea în timp real: **simularea în timp real este procesul prin care modelele matematice sau funcționale ale unor echipamente sunt rezolvate cu ajutorul unui sistem de timp real**.

În esență, simularea în timp real este utilă doar marginal, ajutând la **manipularea unor parametri direct de către operator în timpul rulării procesului de simulare**. Ceea ce este cu adevărat important sunt **extensiile noțiunii la interfețele cu mediul exterior**. Astfel, modelarea se poate face în **buclă închisă**, incluzând:

- **HiL (Hardware-in-the-Loop)**: orice **echipament funcțional din realitate** - motoare, echipamente hidraulice, mecanice, etc.;
- **SiL (Software-in-the-Loop)**: unități ce conțin un **software integrat**;
- **MiL (Model-in-the-Loop)**: **testarea unui model matematic**;

În continuare, **prin simularea în timp real se va înțelege oricare din tipologiile de mai sus**.

1.3 Platforme de simulare în timp real

Platformele de simulare în timp real au apărut pentru a testa unitățile electronice de control pentru autovehicule. Inițial, ele testau răspunsul ECU la diferite semnale apropiate de cele



reale. Se evitau, astfel, accidentele datorate folosirii unor algoritmi necorespunzători și se accelera timpul de punere în funcțiune al noilor produse. **Testarea se făcea trimițând un vector de date ce acoperea toate valorile posibile ale intrărilor și ieșirilor și se verifica răspunsul sistemului de control.** Posibilitatea ca sistemele de simulare în timp real să fie utilizate pentru a controla și alte echipamente, chiar în timp ce acestea funcționau, nu apăruse încă.

Pe măsură ce tehnica de calcul a evoluat, **numărul de operații pe care un procesor putea să îl efectueze a crescut semnificativ. Simulatoarele au devenit interactive și au permis procesarea datelor destul de rapid pentru a le trimite înapoi în sistem ca un răspuns la diverse evenimente apărute.** Spre exemplu, dacă inițial, pentru a testa modul în care funcționează mecanismul electric atașat unui geam se trimitea un set de date care ar fi venit de la utilizator, iar rezultatul era stocat sub formă de date pe un mediu special, în momentul de față aceeași comandă poate fi dată de un operator uman, de la un buton identic cu cel din mașină, iar sistemul electric să fie comandat direct de ieșirea dintr-un emulator de ECU.

Practic, pe parcursul a două decade, s-a făcut tranziția de la analiza statică a datelor la concepte avansate precum **HiL, MiL sau SiL.** Acum **orice componentă, fie hardware, fie software, poate fi simulată, emulată, și conectată cu restul sistemului, din punctul de vedere al acestuia neexistând nici o diferență între obiectul real și cel virtual.** Un sistem de simulare în timp real a devenit o platformă complexă, ce permite de la a avea un autovehicul complet sub formă de soft pe un calculator și de a modifica on-line diverși parametri, până la a extrage oricâte componente din cadrul modelelor software și a le interconecta fizic cu calculatorul ce păstrează restul automobilului sub formă de soft.

După ce industria a început să absoarbă tehnica simulării în timp real, au apărut multe alte aplicații în afara domeniului auto. Cele mai extinse sunt în **domeniul aerospațial**, simulatoarele permițând optimizări performante pentru obținerea unor aparate sigure și ieftine.

Alt **domeniu** în care sunt prezente echipamentele menționate este cel **electrotehnic**, unde simulatoarele permit testarea defectelor rețelelor de distribuție electrică, a manevrelor din stațiile electrice sau a **mașinilor electrice și echipamentelor de comutație.**

1.4 Analiza comparativa a platformelor comerciale de simulare in timp real

Din punctul de vedere al **puterii de procesare**, raportată la o unitate (placă) cu procesor, **cele mai performante produse sunt cele ale National Instruments și Opal-RT**, ce folosesc procesoare puternice, **destinate nu numai rulării unor algoritmi simpli dar și creării unui mediu de lucru avansat.** Un plus de viteză este obținut de **Opal-RT datorită includerii unor FPGA, fapt ce poate elibera procesorul de unele operații.** **National Instruments**, prin modelele nou lansate de **procesoare Intel**, ce folosesc **4 nuclee**, pot ajunge la viteze similare.

Momentul în care au **apărut familiile de procesoare folosite de dSPACE** a reprezentat un **salt de performanță.** Cu toate că oferă performanțe foarte bune în ceea ce privește **latența (PPC750)** sau **accesul la memorie (AMD)**, structura mult optimizată a **ultimelor procesoare Intel le-a depășit** la acest capitol. **Performanța unui procesor Intel din generația celor folosite într-un sistem PXI este cu până la 100 de ori mai mare decât a generațiilor Opteron.** Datorită unei arhitecturi complexe un procesor Intel poate prezenta anumite dezavantaje, însă calitatea principală o reprezintă puterea mare de calcul datorată modului în care gestionează un sistem multitasking.

Din punctul de vedere al **prețului**, **cele mai scumpe echipamente sunt cele produse de dSPACE.** În ceea ce privește soluțiile cu costuri scăzute, **National Instruments** ofera astfel de platforme. **Un sistem performant, de tipul controller plus placa de achiziție de date cu minim 16 canale, bus CAN și software-ul aferent are același pret atât la NI cât și la Opal-RT.** Diferența este că **Opal-RT are nevoie de Matlab și Simulink, care adaugă un cost suplimentar.**



Este posibil ca sistemul de simulare sa aiba un preț comparabil cu cel al sistemului studiat, cu diferența că în cazul NI sau Opal-RT, poate fi folosit și în alte domenii fără a modifica elementele de bază: cu aceeași platformă PXI se poate studia fie un motor termic, fie un sistem de mașini electrice.

Cele mai multe module disponibile sunt produse de NI. Indiferent de viteză, rezoluție sau de protocol, există un produs pentru platforma PXI ce poate oferi o soluție. Celelalte două firme au o gamă restrânsă de module, ce sunt îmbunătățite pe măsură ce tehnologia avansează.

Toate companiile menționate au clienți renumiți din domenii diferite. Din punctul de vedere al specializării, produsele dSPACE sunt cele mai avansate (industria auto). Ca putere de procesare, RT-LAB oferă arhitecturi paralele extrem de performante. NI este cea mai flexibilă platformă, putând fi adaptată la orice situație posibilă.

1.5 Evaluarea rapida a strategiei de control a prototipului unui produs (Rapid Control Prototyping - RCP)

RPC este definit ca un proces care permite inginerului sa testeze rapid, prin iterații succesive, strategia de control pe un calculator cu sistem de operare in timp real folosind echipamente reale de intrare-iesire, Fig. 3.

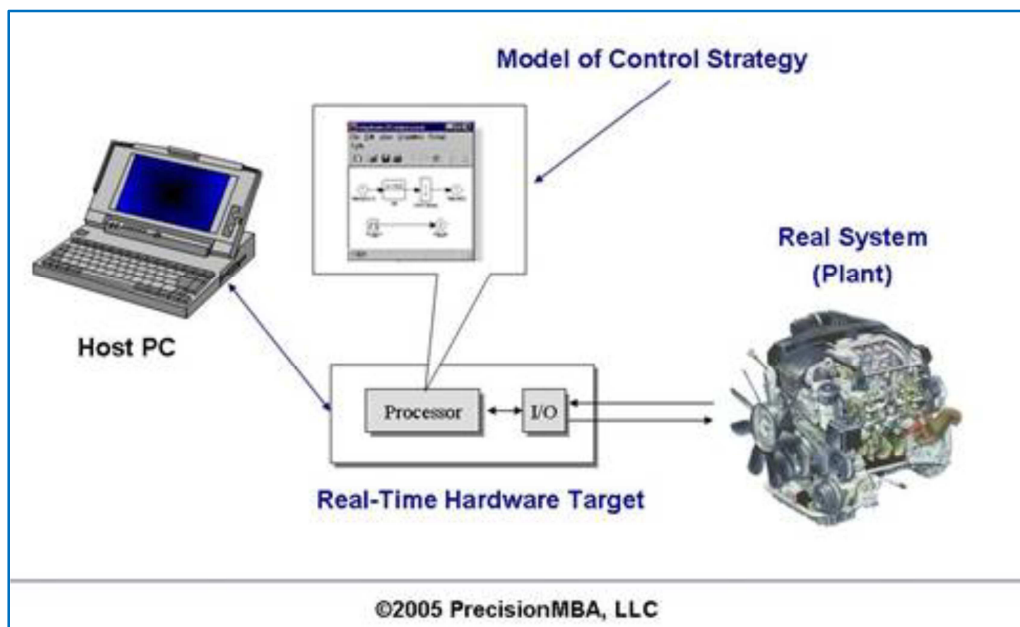


Figura 3. Definiere RPC: algoritmul de control este simulat iar echipamentul testat este real

RCP a cunoscut o dezvoltare rapida in industria de automobile din SUA in anii 1990. Reprezenta o soluție care permitea realizarea unor sisteme de comandă si control pentru echipamente cu un grad de complexitate tot mai ridicat, cu diverse funcționalități cum sunt: eliminarea blocării in timpul franării, evitarea răsturnării, controlul stabilității, controlul activ in timpul deplasării, distribuirea cuplului motor pe roți.

Un sistem RPC este alcătuit din urmatoarele componente, Fig. 4:

- programul de modelare matematică, de ex. Simulink;
- interfața bloc simbolica I/O pentru Simulink (mediu de dezvoltare in timp real);
- calculator țintă cu sistem de operare in timp real (aceste calculatoare sunt integrate, cu dispozitive de I/O analoge, digitale si seriale);
- calculator gazdă (PC) cu legaturi de comunicare cu calculatorul țintă;

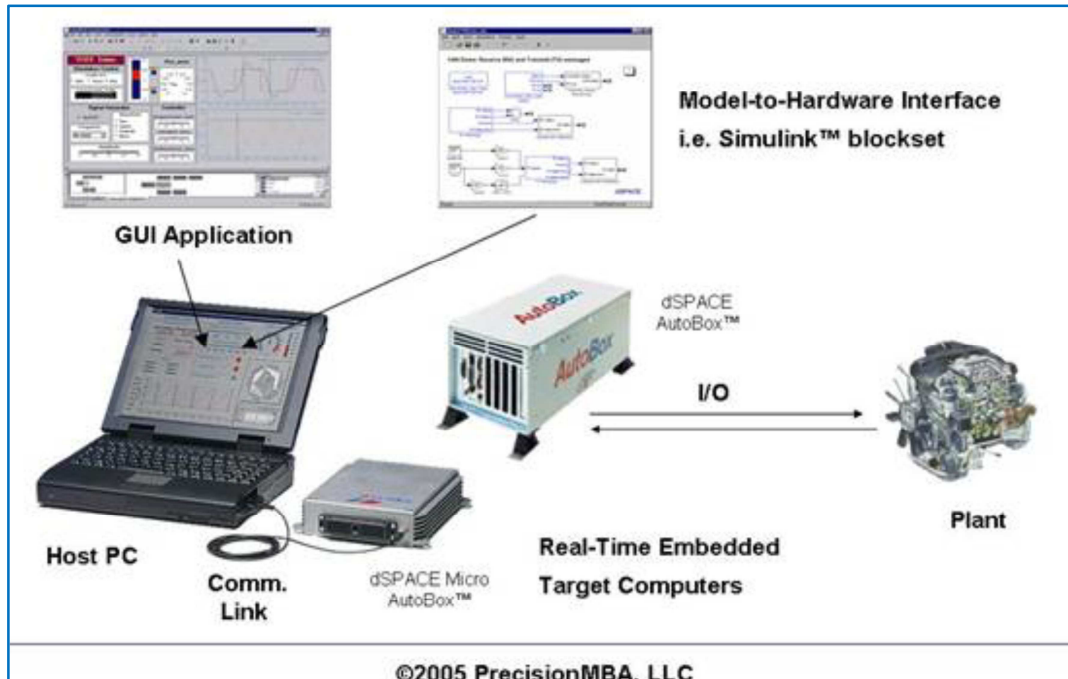


Figura 4. Componentele tipice ale unui sistem RPC

- **interfața grafică utilizator (GUI)** pentru controlul în timp real a procesului analizat.

Algoritmii RPC sunt elaborați și dezvoltați pe modele simbolice, folosind un program de modelare matematică cum este **The Mathworks Simulink**. În timpul acestei etape nu este necesară traducerea modelelor în **programul C**.

Procedeele de elaborare și dezvoltare a unui algoritm RCP este prezentat în Fig. 5 și cuprinde următoarele etape:

- **dezvoltarea strategiei de control** este realizată folosind programul de modelare matematică simbolică Simulink;
- **blocurile de intrare/ieșire sunt importate în modelul matematic** și sunt conectate în punctele corespunzătoare ale modelului;
- **analiza strategiei de control** cuprinde următorii pași:
 - citirea modelului și generarea automată a codului C într-o formă ce poate fi compilată;
 - compilarea codului C și realizarea legăturilor cu codurile țintă specifice cum sunt planificatorul (scheduler), codurile de intrare/ieșire și programele specifice de comunicare specifice în sistemul de lucru în timp real;
 - elaborarea programului executabil pentru calculatorul țintă;

● **utilizând GUI programul executabil este descărcat pe calculatorul țintă**. Acest program poate fi controlat și instrumentat prin intermediul GUI, realizându-se astfel controlul experimentului.

GUI devine fereastra utilizatorului pentru analiza strategiei de control în timp real.

Variabilele pot fi monitorizate, reprezentate grafic sau înregistrate. Modificarea strategiei de control se poate face numai prin intermediul factorilor de amplificare, fără schimbarea modelului.

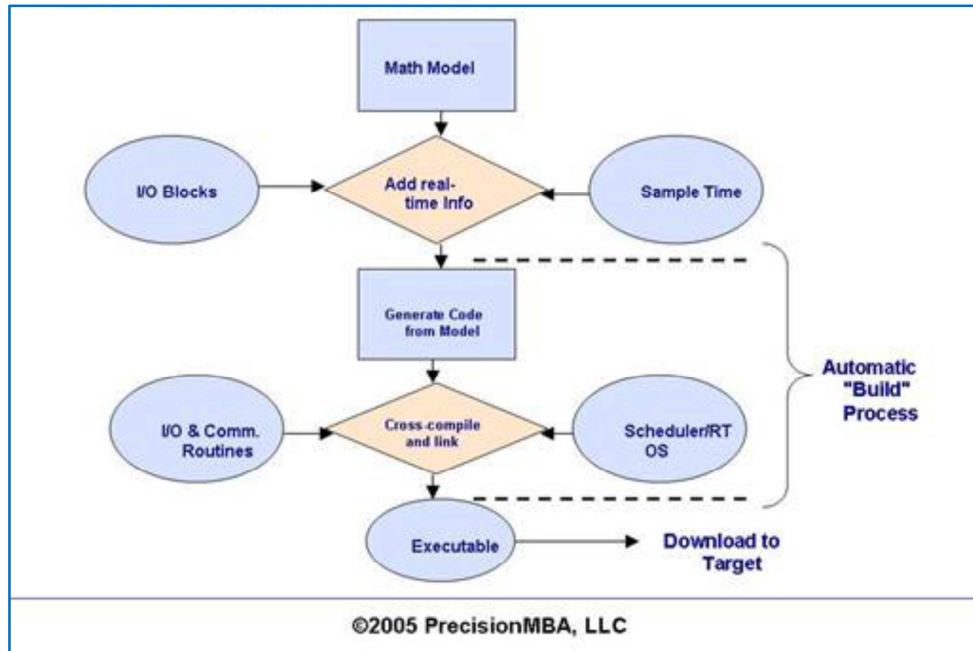


Figura 5. RPC - Procesul de elaborare si dezvoltare

3.6 Analiza iterativă simultană în timp real a modelelor matematice și a echipamentelor reale **Hardware in the Loop (HiL)**

HiL este o formă de simulare iterativă în timp real și diferă de o simulare simplă în timp real prin includerea unor componente fizice reale în procesul iterativ de analiză. Aceste componente pot fi unitați electronice de comandă (**ECU** pentru automobile, **FADEC** în aviație) ale motoarelor reale. Ținând cont de aplicațiile industriale, definirea unui sistem **HiL** este prezentată în Fig. 6. Se observă că se folosește modelul motorului iar **ECU** este real.

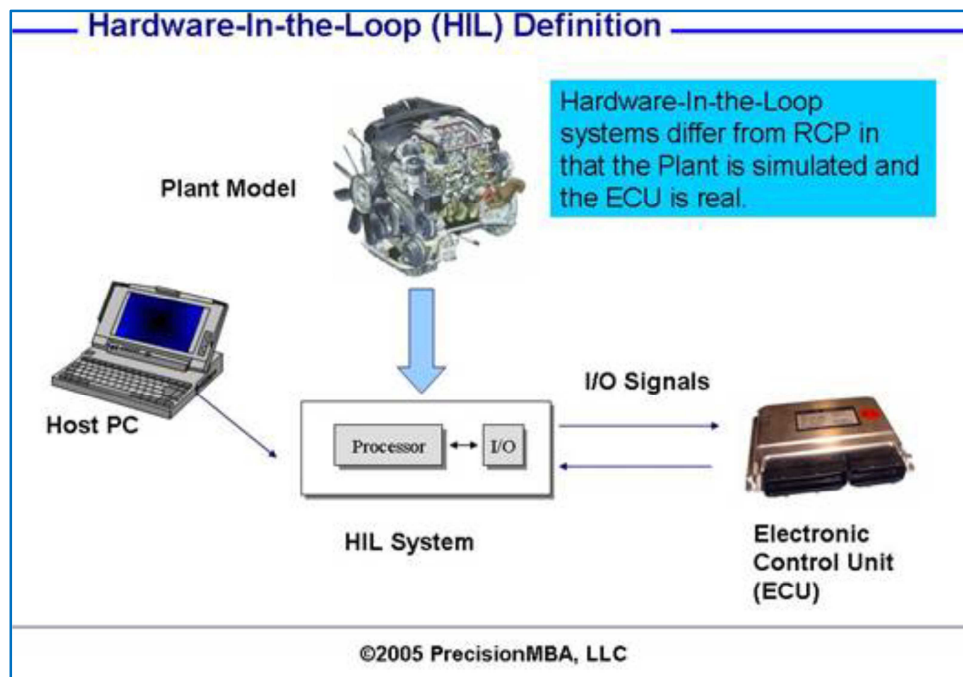


Figura 6. Definirea conceptului HiL

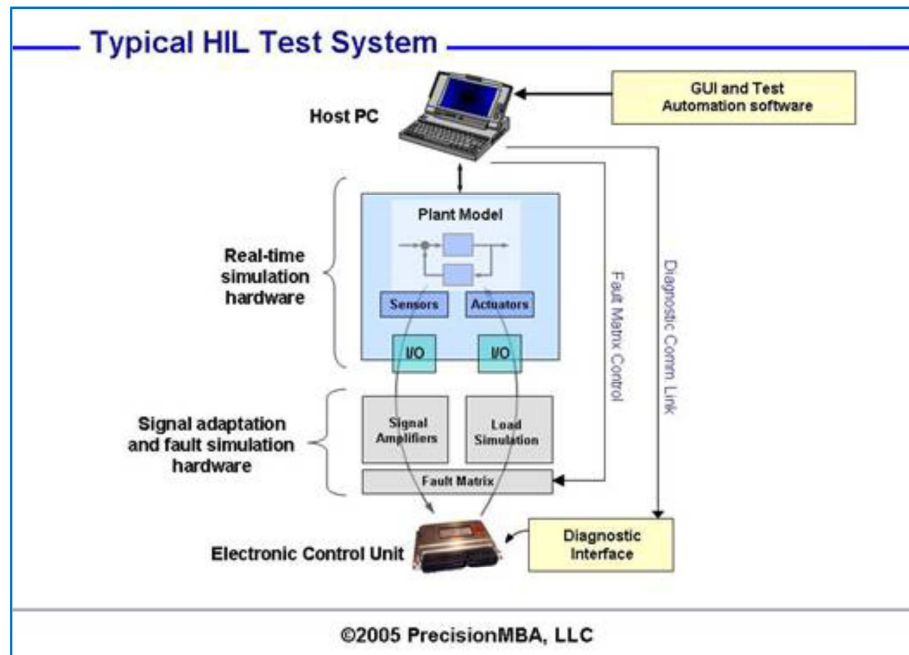


Figura 7. Componentele tipice ale unui sistem HiL

Avantajele sistemului HiL definit mai sus sunt multiple. **Au fost elaborate metode care permit testarea și verificarea automată a tuturor caracteristicilor unei unități electronice de control.** Simularile HiL pot fi făcute fără deteriorarea echipamentelor sau punerea în pericol a celor care realizează experimentările.

Un sistem HiL este alcătuit din următoarele componente:

- modelul matematic al echipamentului (motor, vehicul);
- senzorii modelului matematic;
- calculatoarele țintă care operează în timp real cu interfața I/O;
- încărcările reale sau simulate;
- simulatorul hard de defecte;
- calculatorul gazdă (PC) cu legături de comunicare cu calculatorul țintă și o legătură de diagnostic cu ECU;
- aplicația GUI pentru transferul și controlul în timp real a procesului analizat;
- aplicație care permite controlul automat al testării.

Modelul matematic

Modelul matematic al echipamentului poate fi preluat dintr-o bibliotecă sau poate fi elaborat de către utilizator. În cadrul programului Simulink există pentru motoare Diesel sau cu benzină, pentru automobile sau pentru camioane. Aceste modele pot fi utilizate în simulările în timp real. Complexitatea modelului depinde de domeniul de utilizare în simularea HiL. În general aceste modele sunt folosite pentru testarea capacităților de diagnostic ale ECU.

Senzorii modelului matematic

Senzorii atașați modelului matematic captează fidel informațiile despre evoluția variabilelor de stare în procesul de simulare. În realitate, mărimile fizice preluate de senzorii reali sunt afectate de neliniaritățile acestora, aceste erori fiind compensate de ECU cu ajutorul unui model matematic al senzorului. Se poate folosi metoda de interpolare pe baza tabelului de erori al senzorului, stocat în prealabil, atunci când procesul analizat este mult mai rapid decât constantele de



timp ale echipamentului modelat. Pentru procese lente este posibilă o modelare dinamică a senzorului. Anumite sisteme **HiL** conțin procesoare dedicate pentru modelarea senzorilor.

Calculatoarele țintă care operează în timp real cu interfața I/O

Majoritatea sistemelor HiL utilizează sisteme de calcul integrate care permit rularea modelelor în timp real. Acest lucru permite decuplarea operațiunilor în timp real de **calculatorul gazdă (PC)**. **Sistemul de operare (MS-Windows) de pe calculatorul gazdă nu operează în timp real.** Calculatoarele țintă comunică între ele și cu **interfața I/O** prin intermediul unui canal de transmitere a datelor (data bus), cum sunt **VME, PCI, PXI**. Interfața I/O poate fi digitală (ex. **TLL**), sau analogă, situație în care sunt folosite amplificatoare operaționale.

Încărcările

Dispozitivele I/O, incluse în sistemele **HiL** realizate de diferiți producători, **generează semnale standard** și în anumite situații esăe necesară amplificarea sau condiționarea lor pentru a putea fi conectate cu **ECU** testat. În analizele în timp real de tip **HiL** încărcările utilizate pot fi reale sau simulate și sunt definite de utilizatorul acestor sisteme în funcție de necesități.

Simularea defectelor

Majoritatea sistemelor de testare **HiL** sunt utilizate pentru evaluarea capacităților de identificare a defectelor de către **ECU**. Jumatate din resursele echipamentelor **ECU** montate pe automobilele moderne sunt dedicate acestui scop. Pentru simularea defectelor se folosesc regulatoare montate între **HiL** și **ECU** (Fig. 3.5). Aceste dispozitive sunt comandate de calculatorul gazdă în cadrul procedurilor de testare manuală sau automată. Legătura dintre regulatoarele de simulare a defectelor și calculatorul gazdă se poate face folosind protocolul **CAN**.

Calculatorul gazdă

Pe calculatorul gazdă rulează aplicația **GUI** pentru rularea aplicațiilor de testare automată, pentru controlul componentelor sistemului **HiL** cum ar fi comutarea generatorului de defecte și realizarea legăturii de diagnostic către **ECU**. Tot cu ajutorul **GUI** se dezvoltă și se modifică modelele și procedurile de testare, se achiziționează, se stochează și se generează rapoartele cu rezultatele testelor. Legătura dintre calculatorul gazdă și sistemele care operează în timp real este de tip **Ethernet**. Se pot folosi, de asemenea, căi de comunicare seriale de mare viteză, sau legături paralele.

GUI – Interfața Grafică Utilizator

Aplicația Interfața Grafică Utilizator rulează pe calculatorul gazdă și controlează procesele de timp real cum sunt: transferul modelelor matematice, operațiunile de start și stop, supravegherea evoluției testelor și achiziționarea datelor experimentale.

Aplicațiile de testare automată

Aplicațiile pot fi incluse în **GUI** sau pot fi o aplicații separate, poziționate în partea superioară a **GUI**. Ele furnizează utilizatorului posibilitatea de a executa testările în regim automat, **furnizând operatorului metode de autorizare a secvențelor de testare**. Autorizările reprezintă scripturi de test elaborate în **Visual Basic** sau **Python** sau pot fi scheme logice.

1.7 Generarea automată a codului obiect (cod masina) Automatic Code Generation (ACG – Auto-code)

În testările **HiL**, generarea codului obiect (masină) și implementarea lui într-o formă executabilă pe **ECU** este realizată în mai multe etape, Fig. 8.

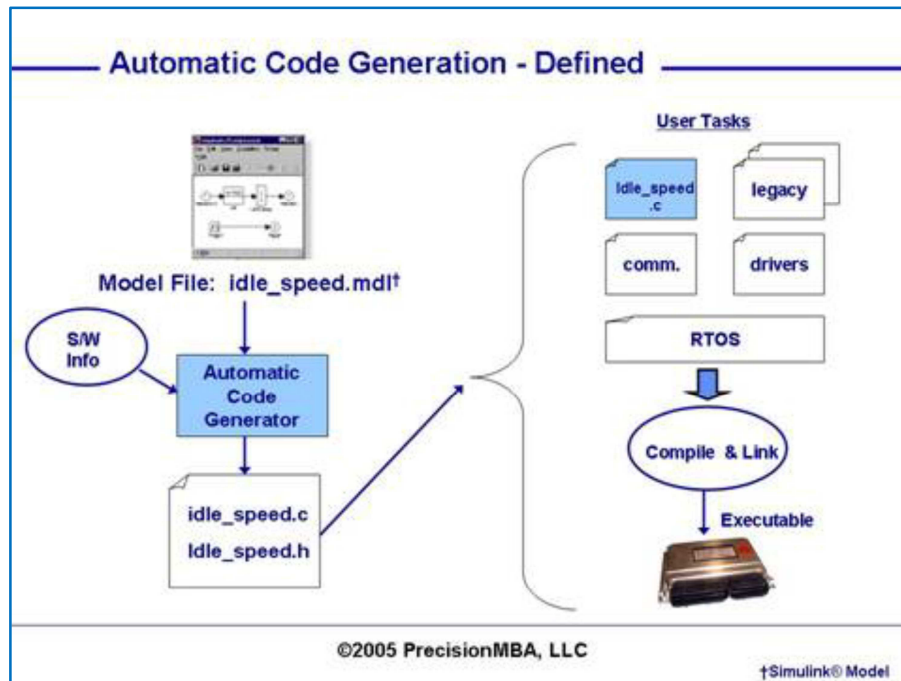


Figura 8. Etapele generării automate a codului obiect

- O nouă strategie de comandă și control este modelată și testată inițial prin modelare matematică, de exemplu mersul în gol al unui motor, Fig. 3.6. Această strategie poate fi ulterior testată pe un echipament real, un motor cu ardere internă, folosind procedurile din metodologia de testare RCP.

- După obținerea performanțelor dorite pentru algoritmul analizat, se poate trece la etapa de generare automată a unui cod sursă. Informația "S/W Info" este necesară deoarece variabilele folosite în descrierea modelului sunt evaluate în virgulă mobilă, dublă precizie. Modulul ECU lucrează în virgulă fixă și pe 32 biți.

- Generarea codului este asistată de utilizator. Este posibilă o setare implicită, dar codul generat în această situație nu este într-o formă optimizată. Utilizatorul trebuie să specifice tipurile de date pentru variabilele de intrare. Se poate specifica numărul de biți (8, 16, 32 biți), semnul (scalar sau pseudoscalar) și precizia (numărul de biți după virgulă fixă). Generarea automată a codului necesită aceste precizări explicite.

- Marele avantaj al includerii generării automate de cod în procesul de simulare este acela că permite simularea funcționalității modelului propus plecând de la valori de intrare specificate și analizând răspunsurile pentru toate blocurile din model. Se obțin limitele maxime și minime pentru variabilele modelului. Cunoașterea domeniului de variație al mărimilor face posibilă "auto-scalarea" datelor descrise în virgulă fixă.

2. Realizările din primul an în proiectul HiTECH-HEV

Până în acest moment s-a realizat un studiu de evaluare a soluțiilor posibile pentru motorizarea HEV, și anume

- mașină sincronă cu magneți permanenți din pământuri rare (MSMP-PR)
- mașină sincronă reactivă (MSR)
- mașină asincronă, sau de inducție (MI)



Motorizării electrice i s-a asociat un angrenaj magnetic, ce elimină frecările și încălzirea mecanică, și nu necesită lubrifiere. Un exemplu al motorizării de mare viteză, folosind MSMP-PR și reductor magnetic este prezentat în secțiune în Fig. 9. De asemenea, o atenție sporită a fost acordată materialelor ce vor fi folosite pentru confecționarea mizeului magnetic al mașinilor electrice de mare viteză, știind că frecvența de lucru va fi de cel puțin 675 Hz.

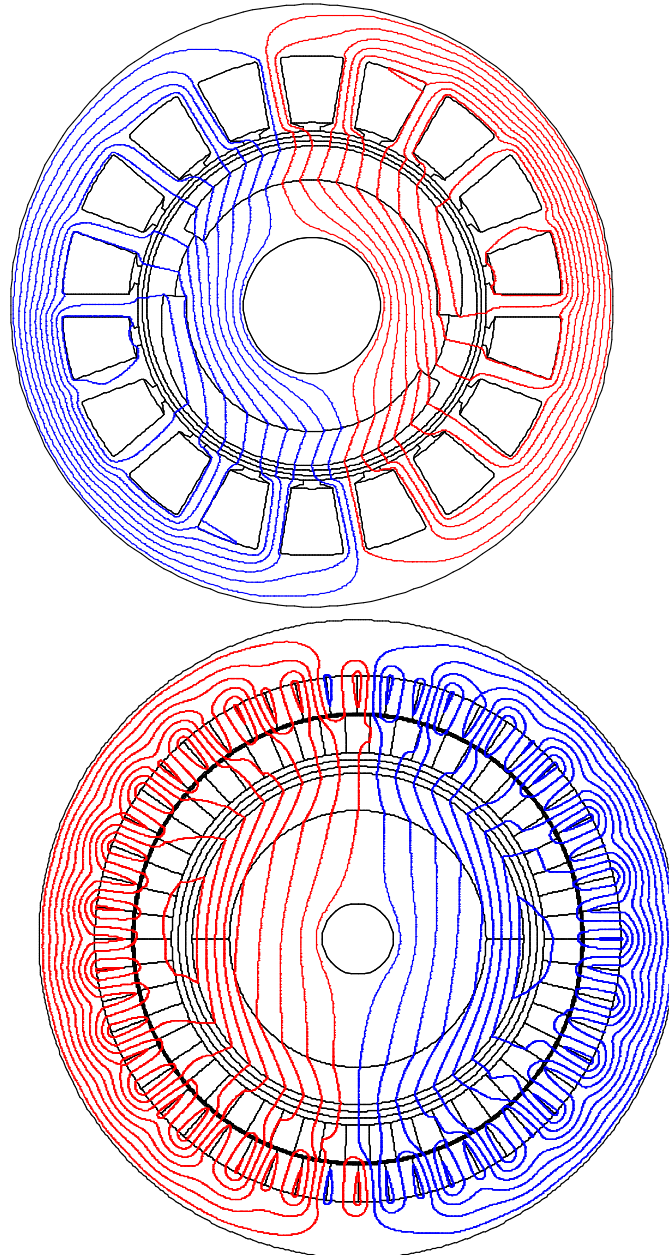







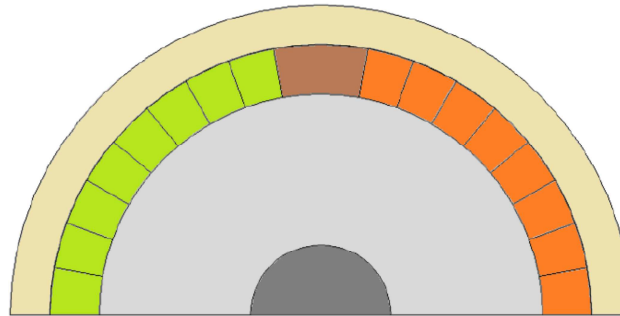
Figura 9. Secțiune în MSMP-PR (sus) și partea activă a reductorului magnetic (jos) de mare viteză (raport 1:27).

Solicitările mecanice trebuie corect evaluate în cazul aplicațiilor de mare viteză. Grosimea bandajului de consolidare a magneților (confecționat de obicei din Carbon sau



Titan), precum și lima de rupere a rulmenților sau axului mașinii sunt elemente ce trebuie luate în considerare la dimensionarea electromagnetică și mecanică a motorizării de mare viteză. Fie analitic, fie prin analiză numerică, solicitările mecanice ale mașinii stau la baza validării dimensionării în vederea construcției soluțiilor studiate. Un exemplu de astfel de analiză de solicitări mecanice este prezentată în Fig. 10-11.

-  Epoxy resin
-  Sm2Co17
-  Carbon fiber (1.2 mm fit)
-  Lamination
-  Stainless steel



Surface: von Mises stress (MPa) Surface Deformation: Displacement field (Material)

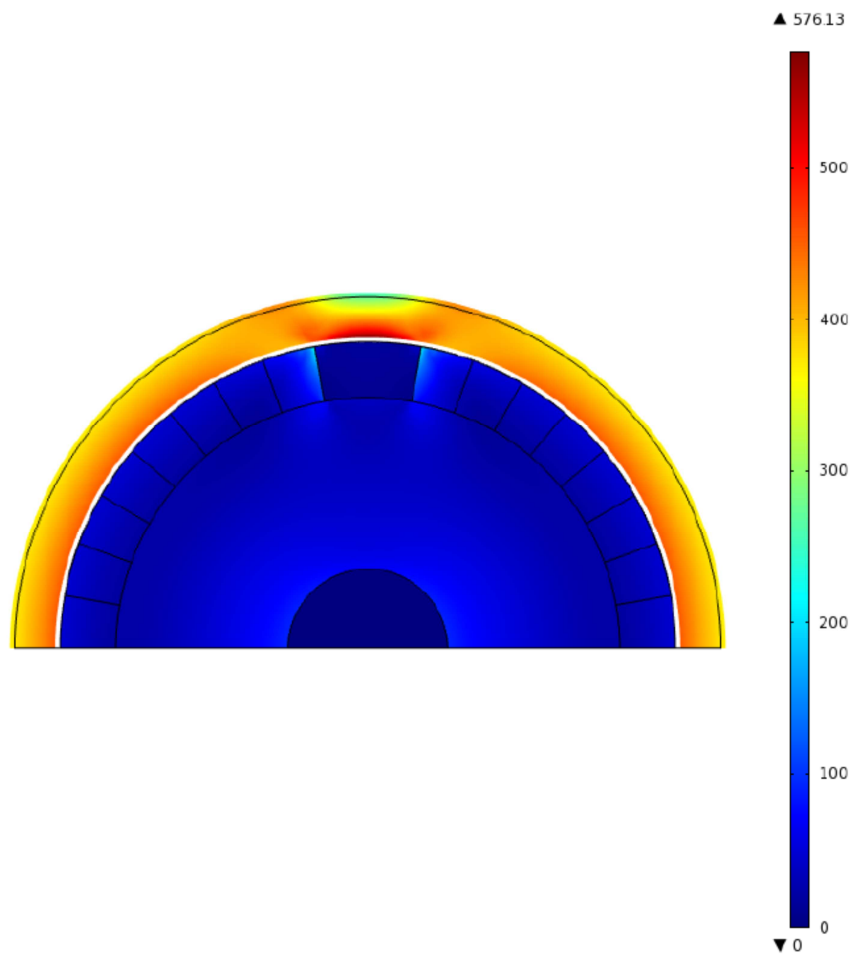


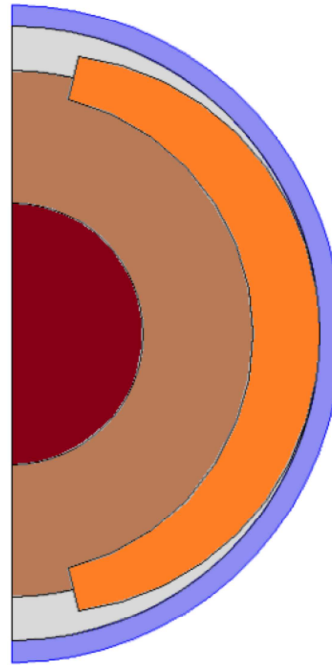
Figura 10. Constituirea rotorului MSMP_PR și Tensiuni și deformări în rotor (40kW la 48000 rot/min)



HITECH-HEV

Hardware-in-the-Loop Modular Platform for Testing the Energy Management of Competitive & Highly-Efficient Hybrid-Electric Vehicles

- Titanium**
E=1.14 GPa, rho=4400kg/m³, Poisson's r=0.32
- Epoxy resin**
E=5GPa, rho=1300kg/m³, Poisson's r=0.4
- Sm2Co17**
E=190GPa, rho=8300kg/m³, Poisson's r=0.27
- Laminations M300-35A**
E=215GPa, rho=7305kg/m³, Poisson's r=0.3
- Austenitic steel**
E=180GPa, rho=8000kg/m³, Poisson's r=0.3



Surface: von Mises stress (MPa) Surface Deformation: Displacement field (Material)

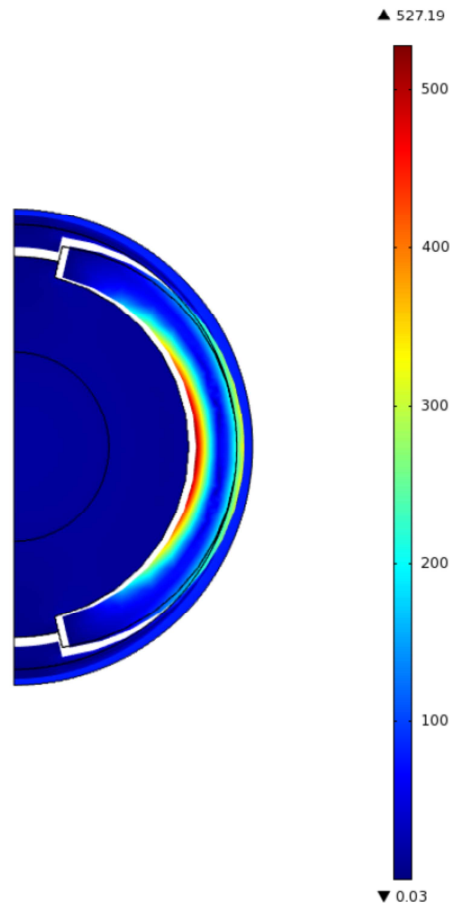


Figura 11. Configurație rotor MSMP-PR, la 40000 rpm și tensiunile și deformările din rotor.



3. Indicatori de rezultat și de proces în derularea proiectului HITECH-HEV

Tip Indicatori	Denumire Indicator	UM/an
Indicatori de Proces	Mobilitati interne	P1 – 1 P2 – 7
	Mobilitati internationale	CO – 1 P2 - 4
	Valoarea investitiilor în echipamente pentru proiecte	248 558 lei
	Numarul de întreprinderi participante	2
Indicatori de Rezultat	Numarul de articole propuse spre publicare în fluxul stiintific principal international	2
	Ponderea contributiei financiare private la proiecte	31.75% / 2012
	Valoarea contributiei financiare private la proiecte	173 700 / 2012

Anexa I – Site WEB

Situl web actualizat se găsește la adresa: www.hitech-hev.utcluj.ro.