

**FACULTATEA DE AUTOMATICĂ ȘI CALCULATOARE  
DEPARTAMENTUL DE AUTOMATICĂ ȘI INFORMATICĂ  
INDUSTRIALĂ**

*Bd. Vasile Pârvan 2*

*1900 Timișoara*

*Romania*

*Tel./Fax.: +40 256 40 32 10; +40 256 40 32 41*



## **TEORIA SISTEMELOR I – LUCRAREA DE LABORATOR 6**

### **Utilizarea modului dSPACE pentru implementarea filtrelor de ordinul II.**

#### **A. Obiective**

- Însușirea unor noțiuni despre modulul dSPACE și utilizarea acestuia.
- Familiarizarea cu noțiunea de filtru.
- Câștigarea unor deprinderi de experimentare.

#### **B. Considerații pregătitoare**

##### **B.1. Modulul dSPACE**

###### ***B1.1. Generalități***

Modulul dSPACE este un echipament numeric bazat pe procesor de semnal numeric ("digital signal processor" - DSP), destinat dezvoltării de aplicații în domeniul prelucrării semnalelor și executării de sarcini conexe ce implică **regulatoare numerice multivariabile de mare viteză** și **simulări în timp real** în diverse domenii, cum ar fi, de exemplu:

- robotică;
- elemente de execuție hidraulice și electrice;
- controlul mișcării;
- transporturi autonome <sup>1)</sup> (autoturisme, locomotive, avioane)
- controlul vibrațiilor.

Modulul dSPACE este un mijloc extrem de puternic în dezvoltarea de echipamente de conducere numerică, permițând efectuarea de analize on-line a comportării sistemelor automate.

Avantajele pe care le aduce modulul dSPACE sunt următoarele:

- posibilitate de proiectare interactivă și iterativă;
- implementare simplă și rapidă a modelelor Simulink;
- configurare grafică simplă a interfețelor;
- reducere semnificativă a efortului și timpului de implementare prin generare de cod complet automată;

---

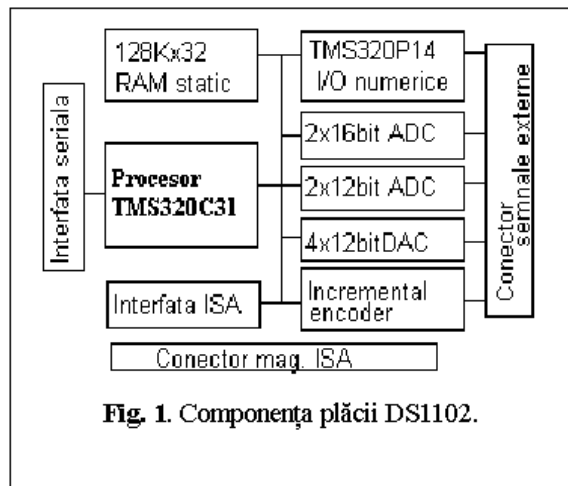
<sup>1)</sup> Domeniul este cunoscut în străinătate sub denumirea de "automotive".

-posibilitatea verificării prin simulare în timp real a strategiilor de conducere sau de prelucrare numerică a semnalelor.

Prin utilizarea modulului dSPACE atenția proiectantului poate fi concentrată doar pe etapa de proiectare a modelului sistemului dinamic, de conducere automată sau de prelucrare de semnal. Ca urmare, metodele teoriei sistemelor și metodele de proiectare a sistemelor de reglare automată pot fi verificate și aplicate practic, imediat și în mod nemijlocit.

**B1.2. Prezentare constructiv funcțională**

Modulul dSPACE este dezvoltat pe o placă de bază DS1102, echipată cu un procesor de semnal TMS 320C31, utilizat ca și unitate centrală, și cu circuite periferice, care realizează interfața dintre unitatea centrală și procesele conduse. Circuitele periferice îndeplinesc diverse funcții, cum ar fi: (intrări-ieșiri analogice, intrări-ieșiri numerice, timere, ieșiri cu modulare în lățime de puls (PWM), intrări de la traductoare incrementale etc.). Programarea plăcii se face cu un pachet de programe specializat, produs al firmei dSPACE, care se instalează pe calculatorul (PC) gazdă la care se cuplează modulul.

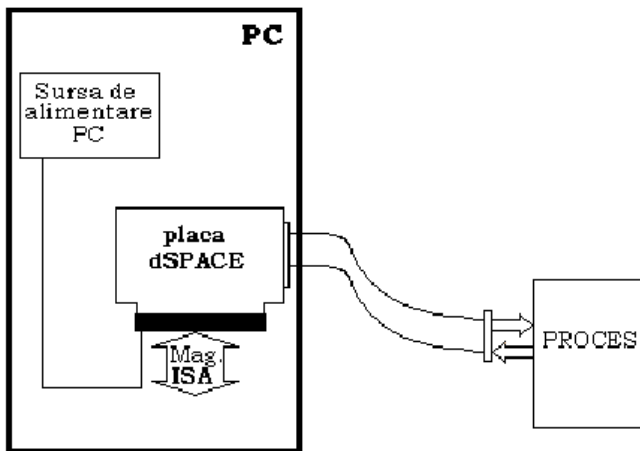


**Fig. 1.** Componenta plăcii DS1102.

◆ *DS1102 - Placa cu procesor de semnal (fig.1)*

Structura plăcii DS1102 se prezintă în fig. 1. Pe lângă unitatea centrală, procesorul de semnal în virgulă flotantă de generația a treia TMS 320C31, pe placa sunt amplasate un set de circuite periferice necesare în prelucrarea datelor numerice: i) o memorie de viteză mare de 128 kCuvinte (de 32 biți), ce asigură operare cu timp de așteptare zero; ii) două convertoare analogic-

numerice de 16 biți (ADC); iii) două convertoare analogic-numerice de 12 biți (ADC); iv) patru convertoare numeric-analogice de 12 biți (DAC); v) două porturi paralele I/O de 8 biți; vi) un bloc de prelucrare a semnalelor provenite de la traductoare incrementale; vii) o interfață pentru conectarea plăcii cu un calculator PC prin magistrala ISA. (Fig. 2).



**Fig.2.** Conectarea plăcii dSPACE în PC

Există și variante ale plăcii în cutii independente de un PC, prevăzute cu alimentare proprie și comunicație pe linie serială standard pentru încărcarea aplicației.

◆ *Componența pachetului de programe*

Produsul software are componentele menționate în fig.3, toate rezidente pe calculatorul gazdă:

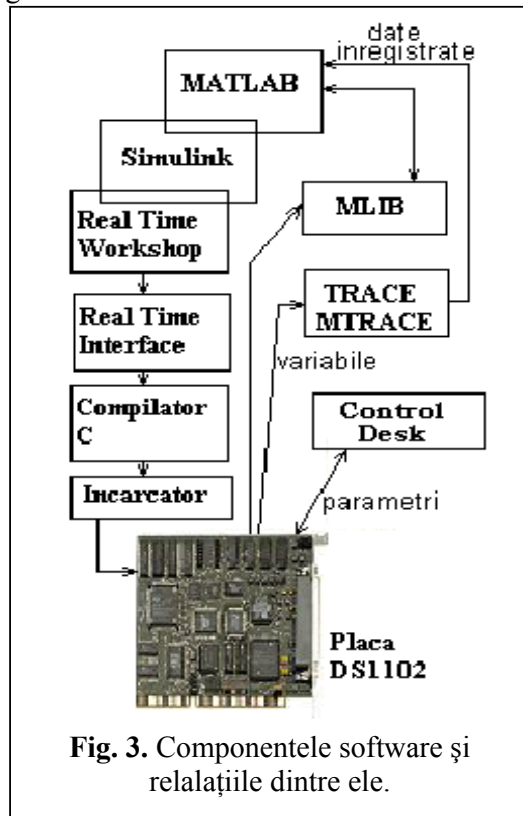


Fig. 3. Componentele software și relațiile dintre ele.

▪ **RTW (Real Time Workshop)**, este un program destinat formării și integrării aplicațiilor în timp real în vederea utilizării lor în medii dezvoltate; RTW este toolbox al Matlab.

▪ **RTI (Real Time Interface)**, - este un program care conectează MATLAB, Simulink, și alte toolbox-uri, formate prin RTW cu software-ul specific procesorului de semnal (compilator, asamblor, încărcător).

▪ **Compiler C, Asamblor, Încărcător** – componente Texas Instrument – sunt programe care generează codul obiect pentru procesorul de semnal.

Avantajele menționate la punctul B.1.1. se datorează facilitățile aduse de RTI.

▪ **MLIB** – program component care permite accesul din spațiul de lucru al MATLAB la hardware-ul dSPACE. El este util în modificarea parametrilor aplicației în timp real care se execută sau în trimiterea unor secvențe de test către aplicația în timp real.

▪ **TRACE** – program component care permite înregistrarea și afișarea grafică on-line a tuturor semnalelor și parametrilor din sistem;

▪ **MTRACE** - program component care permite capturarea de la placa în scopul prelucrării lor de instrumentele MATLAB;

▪ **CONTROL DESK** - reprezintă un panou cu instrumente virtuale care permite afișarea grafică și modificarea interactivă a variabilelor unei aplicații. Afișarea este realizată cu instrumente de tipul : osciloscop, afișaj numeric, ecran cu ac indicator etc. Modificarea variabilelor este realizată prin butoane, intrări numerice etc.

**B.2. Realizarea de aplicații cu modulul dSPACE.**

Mediul MATLAB reprezintă un instrument foarte convenabil pentru:

- 1°. proiectarea sistemelor dinamice, destinate conducerii proceselor sau prelucrării de semnale (filtre);
- 2°. modelarea proceselor dinamice, dintr-o gamă deosebit de largă;
- 3°. proiectarea sistemelor de conducere, în speță a sistemelor de reglare.

Aceste capabilități se asigură prin paleta foarte largă de 'TOOLBOX'-uri care acoperă practic toate domeniile de la modelare până la optimizare. SIMULINK-ul extinde MATLAB-ul printr-o interfață grafică care conferă rapiditate în modelare și simulare.

Modulul dSPACE permite implementarea în timp real, cu ajutorul componentei RTI, a modelului unui sistem dinamic, definit în mediul Matlab. Modelul poate fi destinat conducerii

unui proces sau prelucrării de semnale (capabilitatea 1°), precum și modelării de procese dinamice (capabilitatea 2°). Rolul componentei RTI este de a genera codul C, pornind de la diagrama bloc în SIMULINK, de a lansa apoi compilarea, linkeditarea și încărcarea codului obiect obținut pe placă.

Capabilitatea 1°, denumită în mod simplu „funcție regulator” sau „funcție filtru”, se realizează în timp real folosind configurația din fig.4, iar capabilitatea 2°, denumită „funcție simulator de proces”, folosind configurația din fig. 5.

În cazul funcției regulator sau funcției filtru sistemul dinamic implementat pe placa dSPACE este imediat integrat în sistemul de reglare automată real. Prin aceasta, în condițiile unui management corect al dezvoltării aplicației de conducere, se creează următoarele premise pentru definitivarea implementării strategiei de conducere:

- sesizarea unor caracteristici ale procesului condus real (inclusiv ale senzorilor și elementelor de execuție) nesurprinse de modelul utilizat în proiectare;
- modificarea și corectarea iterativă într-un mod simplu a structurii și / sau parametrilor regulatorului, funcție de performanțele obținute pe sistemul de reglare real;
- înregistrarea de date reale din proces și prelucrarea lor imediate.

În cazul aplicațiilor industriale aceste premise reprezintă avantaje evidente, prin faptul că modulele dSPACE pot conferi o flexibilitate notabilă standurilor de încercări și pot rafina o utilizare industrială.

În cazul funcției *simulator de proces*, pe placa dSPACE este implementat modelul procesului condus. Scopul ansamblului din fig. 5 este de a încerca pe un stand de probe un regulator deja

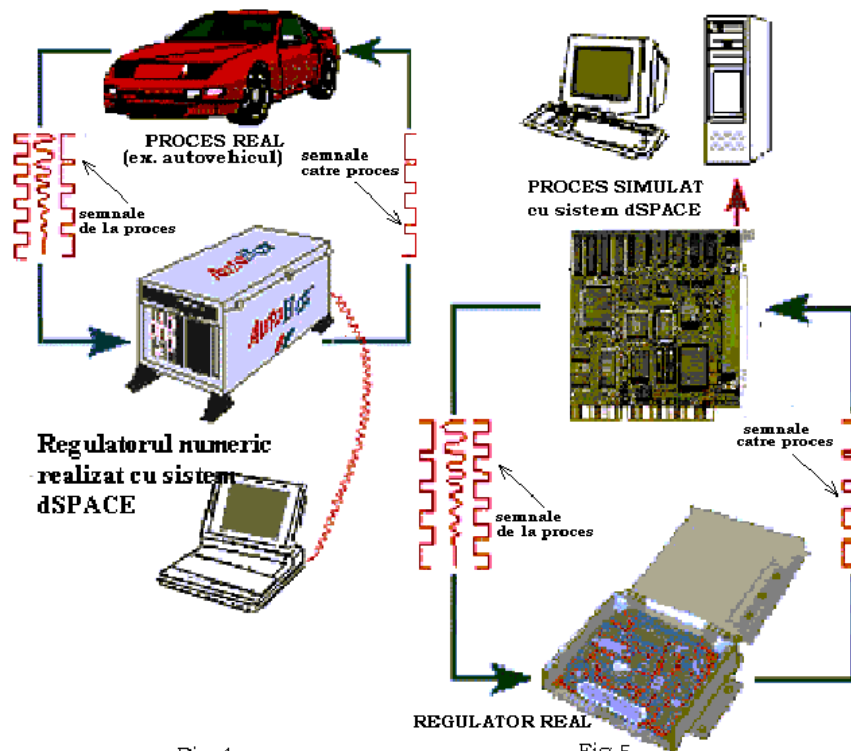


Fig. 4

Fig.5

construit în cazul în care nu este disponibil un model fizic al procesului. Avantajele acestei configurații sunt:

- reducerea efortului de validare a regulatorului prin corecția și / sau modificarea rapidă și fără efort a parametrilor și / sau structurii acestuia;
- crearea de condiții de corecție a calității, protocolare și de asigurare a trasabilității produselor prin înregistrarea condițiilor de testare în vederea unor prelucrări și analize ulterioare destinate îmbunătățirii calității, editării unor fișe, certificate sau documente însoțitoare a produsului, reproducerii unor probe;
- perfecționarea modelului procesului prin introducerea și corectarea subsistemelor corespunzătoare dispozitivelor reale (structură și parametri), reducându-se astfel incertitudinile de modelare inițială.

Indiferent de funcția îndeplinită de modulul dSPACE, acesta prezintă facilități deosebit de importante din punctul de vedere al *Controlul experimentului* în cursul testării sistemului în care este integrat modulul. Este vorba despre o serie de instrumente software cum sunt Control Desk și TRACE care permit controlul experimentelor în timp real prin modificarea on-line a parametrilor elementelor de transfer, a structurii sistemelor implementate în Simulink, a variabilelor afișate sau înregistrate fără a influența continuitatea experimentelor.

### B3. Filtre de ordinul II în timp continuu realizate cu modulul dSPACE

#### ◆ Trei filtre de ordinul II (STC), Filtre Butterworth

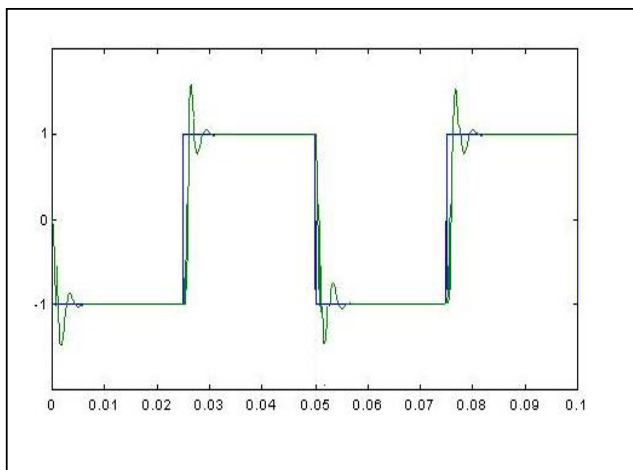
În cadrul lucrării de laborator se vor implementa pe modulul dSPACE următoarele trei filtre de ordinul II:

$$H_{F1}(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (1), \quad H_{F2}(s) = \frac{s\omega_n}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (2), \quad H_{F3}(s) = \frac{s^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (3)$$

Cele trei funcții de transfer de mai sus caracterizează respectiv câte un filtru trece-jos, filtru trece-bandă și un filtru trece-sus.

O categorie specială de filtre folosite în aplicații sunt filtrele Butterworth. Ele aproximează cel mai bine filtrele ideale trece-jos de lărgime de bandă  $\Lambda_b = [0, \omega_F]$  [1, p. 96]. Funcția de transfer a unui filtrele Butterworth are expresia:

$$H_F(s) = \frac{(-1)^n \cdot \prod_{i=1}^n p_{Fi}}{\prod_{i=1}^n (s - p_{Fi})}, \quad p_{Fi} = \omega_F \cdot e^{j\left[\frac{\pi}{2} + (2i-1)\frac{\pi}{2n}\right]} \quad (4)$$



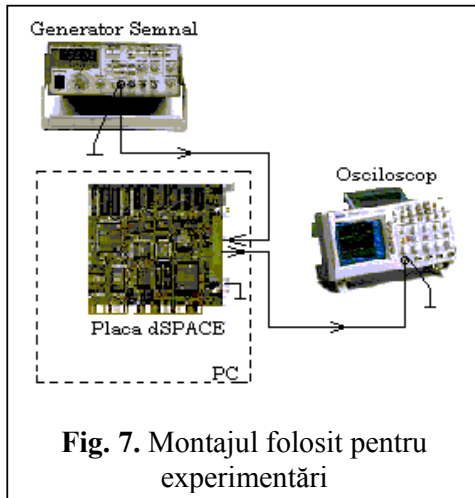
Pentru o valoare a coeficientului de amortizare  $\zeta = 0.5$  și a pulsației proprii  $\omega_n = \omega_F$  filtrul cu funcția de transfer  $H_{F1}(s)$  devine un filtru Butterworth de ordinul II. rad/s. La aplicarea unui tren de impulsuri dreptunghiulare bipolară, de frecvență de 20 Hz și amplitudine 1, pentru un filtru cu  $\omega_n = 2000 \text{ sec}^{-1}$  se obține răspunsul din fig. 6 (simulare cu Simulink).

**Fig.6.** Răspunsul indicial al unui filtru de tip Butterworth de ordinul II.

◆ *Construirea modelului filtrului și implementarea pe sistemul dSPACE*

Montajul folosit în experimentare este prezentat din fig. 7. Pentru realizarea filtrului (construirea modelului și implementare) se parcurg următoarele etape:

- i) *Conectarea plăcii dSPACE la stimuli externi prin:*
  - a. conectarea bornei ADC1 a plăcii la generatorul de joasă frecvență Tektronix CFG253 și selectarea unei unde dreptunghiulare de 20 Hz bipolară de amplitudine 1V ( $2 V_{VV}$ )<sup>2)</sup>;
  - b. conectarea bornei DAC1 a plăcii la osciloscopul Tektronix TDS;
  - c. conectarea maselor celor două aparate la borna de masă a plăcii.



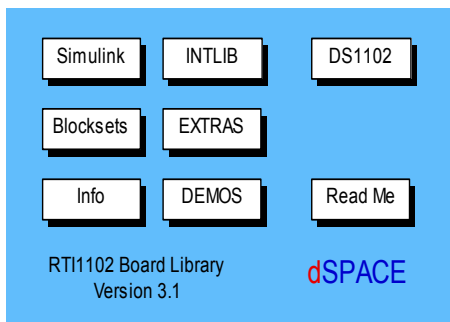
**Fig. 7.** Montajul folosit pentru experimentări

- ii) *Configurarea modelului filtrului în Matlab-Simulink prin:*

- a. lansarea programului MATLAB;
- b. modificarea directorului de lucru de la cel implicit (default) la C:\matlab\laborator\ cu comanda `>>chdir C:\matlab\laborator\` ;
- c. deschiderea bibliotecii dSPACE prin comanda `<rtlib>` în MATLAB. În urma acestei comenzi apare fereastra cu mai multe opțiuni din fig. 8;
- d. deschiderea unui nou fișier din această fereastră prin comenzile `<File>`

`<New>` și salvarea lui ca fișier **pt2.mdl**

- e. construirea modelului Simulink al filtrului  $H_i(s)$  ( $i = 1,2,3$ ) cu ajutorul elementelor din biblioteca Simulink, folosind următoarele subbiblioteci Simulink : `<Simulink>`, `<Continuous>`, `<TransferFunction>`.



**Fig. 8**

- iii) *Definirea interfețelor de intrare și ieșire pentru a realiza un filtru real. Acesta va lucra cu semnale fizice aduse din exterior, și va furniza la ieșire un semnal fizic* Acțiunea constă în fapt în alegerea unui convertor analogic-numeric (CAN) ADC și a unui convertor numeric-analogic (CNA) DAC<sup>3)</sup>. În acest scop se utilizează opțiunea `<DS1102>` din fereastra `rtlib`. Aceasta deschide o nouă fereastră ce conține la nivel de blocuri toate resursele fizice ale plăcii DS1102. Practic „se face **drag**” cu mouse-ul pe blocurile `DS1102DAC` și `DS1102ADC` aducându-le pe aceeași fereastră cu modelul

filtrului (metodă similară cu construirea de modele în Simulink). Apoi se efectuează legăturile din fig. 9.

<sup>2)</sup> Notația  $2 V_{VV}$  se citește: 2 Volt vârf la vârf.

<sup>3)</sup> Prin CAN semnalul este convertit într-un număr care este prelucrat conform modelului matematic al filtrului, rezultatul prelucrării furnizând la ieșire un număr ce este convertit într-un semnal fizic de către CNA.

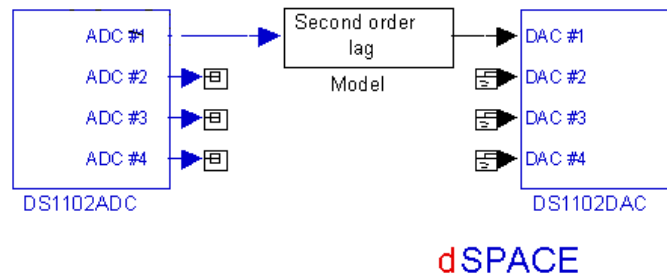


Fig. 9

Astfel, se conectează pe modelul de pe ecranul monitorului (vezi fig.9): i) intrarea filtrului la ieșirea ADC#1, ii) ieșirea filtrului la intrarea DAC#1, iii) ieșirile nefolosite de la ADC la elementul **Terminator**, iar intrările nefolosite de la DAC la elementul **Ground** din biblioteca Simulink **Connections**.

iv) *Setarea parametrilor modelării și ai implementării modelului*, se realizează în modul următor:

- selectarea din fereastra meniului modelului filtrului a opțiunilor <Simulation> apoi <Parameters>;
- selectarea din opțiunea <Solver> a opțiunilor <Solver options type> - **Fixed step** și <Fixed step size> - 0.0001 sec (valoare implicită);
- selectarea din opțiunea <RTW> a opțiunii **Build**, care reprezintă comanda ce lansează procedura automată de construire a aplicației timp real, constituită din următoarele faze:
  - I. generarea codului în C al modelului construit extins cu interfețele plăcii DS1102 de către Real Time Workshop din Matlab;
  - II. generarea codului mașină pentru procesorul TMS320C31 de pe placa DS1102 de către compilator și linker;
  - III. încărcarea acestui cod pe placă și lansarea în execuție a programului de aplicație de către încărcător (loader).

Din acest moment placa DS1102 funcționează ca filtru. Deși modelul matematic al filtrului este dat în timp continuu, pentru a fi implementat pe un calculator, Matlab, Simulink și RTI au construit în mod automat un model matematic în timp discret cu pasul de discretizare egal cu parametrul: < Fixed step size>, în cazul nostru 0,0001 s. Metoda de discretizare este selectabilă tot din meniul <Simulation> , <Parameters>.

## C. Programul lucrării

1. Verificarea însușirii considerațiilor pregătitoare ale lucrării.
2. Realizarea filtrului cu funcția de transfer  $H_{F1}(s)$ , cu  $\omega_F = 500 \text{ sec}^{-1}$ ,  $\zeta = 0.5$  urmărindu-se etapele prezentate la punctul B.2 în secțiunea *Construirea modelului filtrului și implementarea pe sistemul dSPACE*.
3. Studiarea comportării filtrului prin urmărirea pe osciloscop a caracteristicilor de regim tranzitoriu și evaluarea indicatorilor de calitate ai filtrului <sup>4)</sup> determinați pe baza răspunsului acestuia la semnale de intrare date impuse de conducătorul de lucrări.

<sup>4)</sup> Problema se discută la laborator iar indicatorii se precizează de către conducătorul de lucrări.



4. Reluarea punctelor 2. și 3. pentru filtrul cu funcția de transfer  $H_{F2}(s)$ .
5. Reluarea punctelor 2. și 3. pentru filtrul cu funcția de transfer  $H_{F3}(s)$ .
6. Analizarea comportării filtrelor cu funcția de transfer  $H_{F1}(s)$  în cazurile:  $\zeta = 0.1$  și  $\zeta = 1$ .
7. Reluarea punctelor 2 și 3 pentru cazul filtrelor în timp discret, care se obțin din  $H_{F1}(s)$  prin discretizare prin aproximare cu  $h = 0.0005$  sec. (*Important! Se va modifica la aceeași valoare și **Fixed step size** din comanda **Simulation Parameters**.*)
8. Reluarea punctelor 2 și 3 pentru cazul filtrului în timp discret care se obține din  $H_{F1}(s)$  ca realizare la semnal treaptă folosind, pentru implementare, un model matematic intrare-stare-ieșire cu  $h = 0.0005$  sec. (*Important! Se va modifica la aceeași valoare și **Fixed step size** din comanda **Simulation Parameters**.*)

## D. Conținutul referatului

1. Prezentarea unei sinteze a considerațiilor pregătitoare din lucrare prin:
  - enumerarea tipurilor de aplicații posibile cu modulul dSPACE și a avantajelor utilizării acestuia;
  - enumerarea tipurilor de filtre studiate în lucrare.
2. Redarea caracteristicilor de regim tranzitoriu vizualizate pe osciloscop la punctele C3, ..., C7, cu precizarea pentru fiecare situație a valorilor concrete ale indicatorilor de calitate și a concluziilor la care conduc aceștia.
3. Precizarea elementelor esențiale referitoare la filtrul discret studiat la punctul C8: calculele efectuate pentru determinarea modelului în timp discret, descrierea modulului de simulare, rezultate ale simulării, concluzii.

## E. Întrebări

- a. Care sunt părțile componente ale modulului dSPACE?
- b. Enumerați câteva dintre aplicațiile posibile ale unui sistem cu procesor de semnal numeric.
- c. Care sunt posibilitățile de programare ale modului dSPACE?
- d. În ce configurații se poate utiliza echipamentul dSPACE în cadrul diferitelor funcții îndeplinite în timp real? Care sunt avantajele unor astfel de implementări?
- e. Care sunt modelele matematice ale filtrelor de ordinul doi studiate?
- f. Care este comanda MATLAB care deschide biblioteca dSPACE?
- g. Explicați necesitatea și modul de utilizare a convertoarelor analogic-numeric și numeric-analogic.
- h. Ce semnificație are parametrul < **Fixed step size**>?
- i. Cum se explică alegerea frecvenței de 20 Hz pentru generatorul de semnal?