

LUCRAREA 2

INTRODUCERE ÎN MEDIUL DE PROGRAMARE SIMULINK

Obiectivele lucrării

Deoarece multe dintre lucrările de laborator din prezentul îndrumar vor avea o componentă în care se va face modelarea unui sistem în vederea obținerii răspunsului acestuia la diverse tipuri de semnale, este necesară cunoașterea de către studenți a mediului de programare MATLAB-SIMULINK. În cadrul acestei lucrări studenții sunt familiarizați cu acest mediu de programare, având de îndeplinit următoarelor obiective:

- însușirea modului de lucru cu mediul de programare SIMULINK;
- familiarizarea cu obiectele din biblioteca SIMULINK;
- construirea diagramelor destinate simulării unor elemente simple, în cadrul mediului de programare SIMULINK;

Prezentarea conținutului lucrării

MATLAB este un pachet de programe de înaltă performanță, dedicat calculului numeric și reprezentărilor grafice în domeniul științelor ingineresti și nu numai. Una dintre aplicațiile specifice mediului de programare MATLAB este pachetul SIMULINK. Acest pachet de programe este utilizat pentru simularea numerică a sistemelor dinamice cu ajutorul unor elemente dinamice fundamentale.

Lansarea în execuție a mediului SIMULINK

Mediul SIMULINK poate fi activat din mediul de programare MATLAB, în două moduri:

- Se face click (mouse stânga) pe icoana Simulink  , din bara de instrumente a mediului MATLAB;
- Din mediul MATLAB, în fereastra principală MATLAB Command Window, în linia de comandă se dă comanda *simulink* și se execută, așa cum este prezentat în Fig.1.

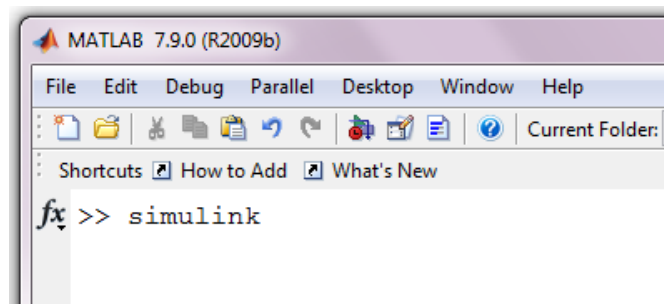


Fig. 1. Lansarea în execuție a mediului SIMULINK, utilizând comanda *simulink*.

În urma acțiunii uneia din comenzile specificate anterior, este lansat în execuție pachetul SIMULINK. Pe ecran se va deschide o fereastră ce conține componentele aflate în biblioteca SIMULINK, Fig.2.

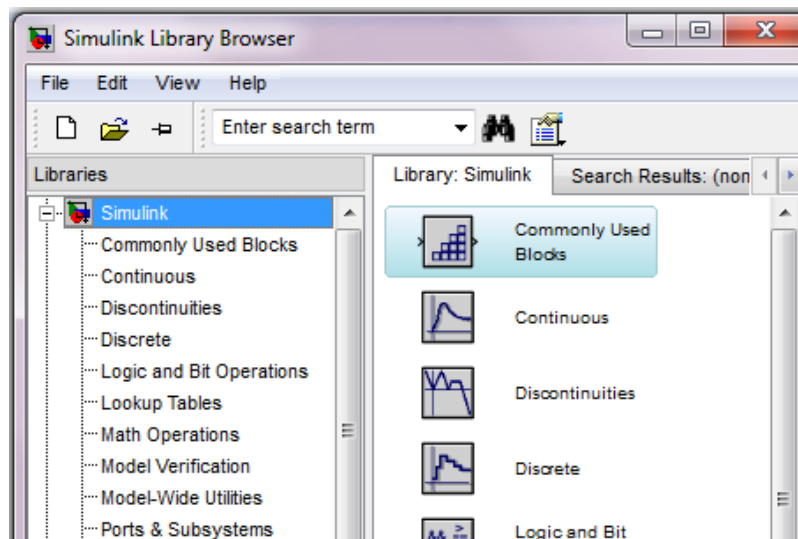


Fig.2. Biblioteca mediului Simulink.

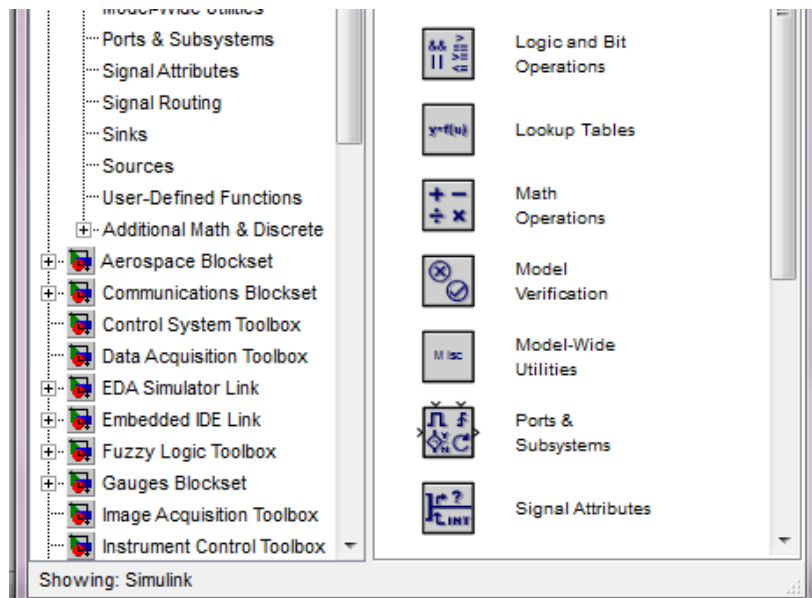


Fig.2. Biblioteca mediului Simulink (continuare)

Pentru construirea unei diagrame se vor selecta comenzile *New*, *Model* din meniul *File* al mediului Simulink, așa cum este prezentat în Fig.3. În urma execuției acestei acțiuni, pe ecran se va deschide o fereastră destinată construirii modelului sistemului și simulării diagramelor astfel obținute, Fig.4.

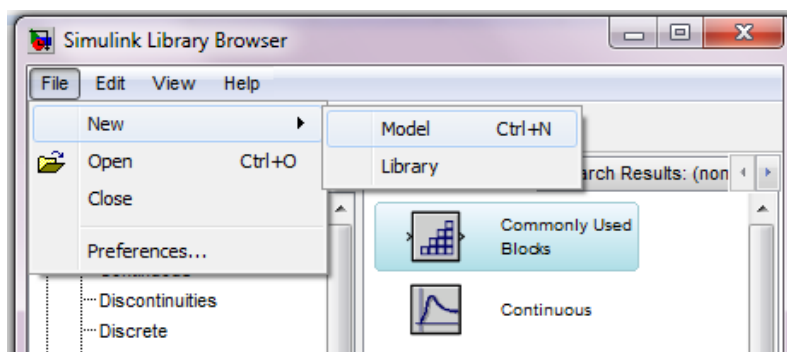


Fig.3. Lansarea în execuție a ferestrei de construire a unei diagrame

Se poate începe realizarea unui nou model făcând click pe fila nouă (blanc) din fereastra Simulink.

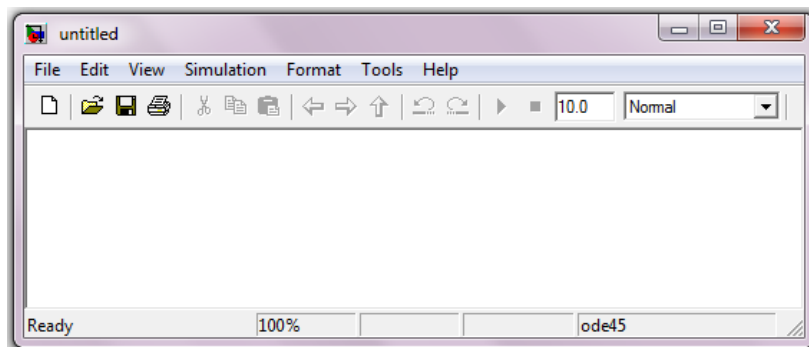


Fig.4. Imaginea ferestrei destinată construirii și simulării diagramelor

Componentele conținute de biblioteca Simulink

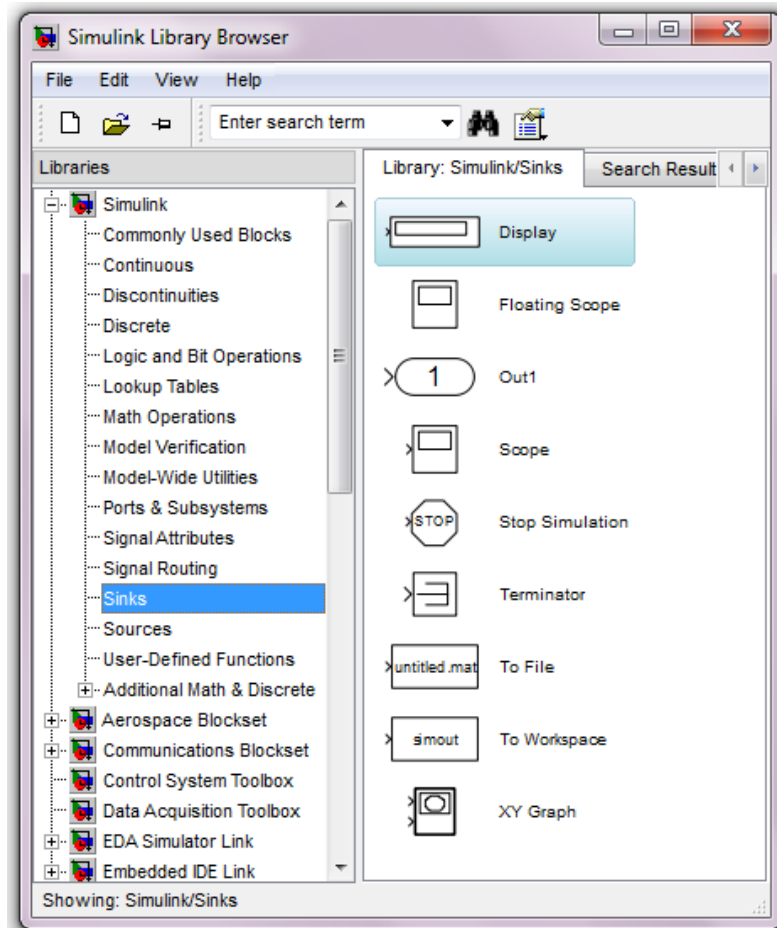
Biblioteca mediului Simulink (*Simulink Library*) conține un set componente destinate realizării unor operații elementare, având semnificație matematică sau de natura generării, prelucrării sau afișării semnalelor, așa cum s-a văzut în Fig.2.

Semnificațiile celor mai frecvent utilizate componente din biblioteca Simulink sunt prezentate în Tabelul 1.

Tabelul 1.

Nr. crt.	Denumire	Semnificație
1	Source	Generarea semnalelor sursă
2	Sinks	Reprezentarea grafică a dinamicii sistemelor
3	Discrete	Simularea sistemelor discrete în timp
4	Continuous	Simularea sistemelor liniare și sistemelor neliniare
5	Math Operation	Realizarea operațiilor matematice
6	Signal Routing	Realizarea conexiunilor

La rândul ei, fiecare componentă conține un set de instrumente. Dacă se va executa dublu-click pe oricare dintre componentele din bibliotecă, în partea dreaptă a ferestrei din Fig.2 vor apărea instrumentele componente respective, așa cum este prezentat în Fig.5. În cele ce urmează se vor detalia câteva dintre cele mai utilizate componente ale bibliotecii Simulink.

Fig.5. Instrumentele componentei *Sinks*.

*Componenta semnalelor sursă (Signal **Sources** Library)*

Componenta semnalelor sursă conține instrumente generatoare de semnale de intrare ce se vor aplica modelului sistemului studiat. Aceste instrumente sunt obținute prin activarea componentei *Sources*. Principalele instrumente asociate componentei semnalelor sursă sunt prezentate în Tabelul 2. Semnalele sursă cele mai utilizate în cadrul aplicațiilor sunt: semnalul de ceas, constanta, semnalul sinusoidal și semnalul treaptă.

Tabelul 2.

Nr. crt.	Denumire instrument	Semnificație
1	Constant	Semnal de intrare constant
2	Clock	Semnal de ceas
3	Sine Wave	Semnal sinusoidal
4	Step	Semnal treaptă

*Componenta semnalelor de ieșire (Signal **Sinks** Library)*

Instrumentele componenteii *Sinks* sunt obținute prin activarea pictogramei *Sinks*. Semnificația principalelor instrumente ale componenteii *Sinks* sunt prezentate în Tabelul 3.

Tabelul 3.

Nr.crt.	Denumire	Semnificație
1	Scope	Vizualizare mărimi de ieșire pe osciloscop
2	To Workspace	Mediul de lucru
3	Stop Simulation	Sfârșitul simulării

*Componenta sistemelor continue (**Continuous**-Library)*

Instrumentele componenteii sistemelor liniare sunt obținute prin activarea pictogramei *Continuous*. Principalele instrumente asociate componenteii sistemelor liniare sunt prezentate în Tabelul 4. Componenta sistemelor liniare conține instrumente dedicate funcțiilor matematice algebrice: integrator, funcție de transfer, sumator, amplificator etc.

Tabelul 4.

Nr.crt.	Denumire	Semnificație
1	Integrator	Integrator
2	Derivative	Derivator
3	Transfer Fcn	Funcția de transfer

Componenta funcțiilor matematice

Prin activarea pictogramei *Math Operation* sunt obținute instrumentele componenteii funcțiilor matematice. Semnificațiile componentelor din blocul funcțiilor matematice sunt prezentate în

Tabelul 5. Meniul funcțiilor matematice conține obiectele pentru funcții matematice algebrice, funcția histerezis, funcția de întârziere și saturare.

Tabelul 5.

Nr.crt.	Denumire	Semnificație
1	Sin	Funcția trigonometrică sinus
2	Min	Funcția minim
3	Gain	Amplificator
4	Sum	Sumator
5	Product	Produs

Partea experimentală

Pentru a realiza simularea dinamică a unui sistem, utilizând mediul SIMULINK, sunt necesare parcurgerea următoarelor etape:

- Determinarea modelului matematic al sistemului.
- Identificarea blocurilor corespunzătoare elementelor dinamice, în vederea realizării modelului sistemului.
- Realizarea efectivă a modelului sistemului, format din blocuri standard (aflate în biblioteca Simulink) și/sau din blocuri proprii (create de utilizator).
- Configurarea fiecărui bloc, în funcție de modelul matematic și parametrii asociați sistemului.
- Lansarea în execuție, etapă realizată prin comanda *Start* din meniul *Simulation*.
- Selectarea opțiunilor necesare vizualizării rezultatelor simulării.

Exemplu

Element cu întârziere de ordinul I

Se consideră elementul de ordinul 1, Fig.6, descris prin modelul matematic:

$$T \cdot \dot{y} + y = K \cdot u \quad (1)$$

unde $T=2$ [s] reprezintă constanta de timp a elementului, exprimată în secunde, iar $K=5$ este factorul de amplificare. Semnalul de intrare este de forma $u(t)=1(t)$.

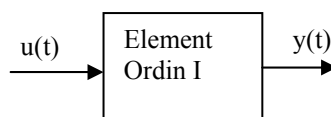


Fig.6. Structura sistemului de ordinul 1 descris de ecuația (1)

Condiția inițială a ecuației diferențiale este $y(0)=0$. Sistemul va fi simulat pe intervalul de timp $[0, 10]$ s.

Soluție

Pentru rezolvarea acestei probleme, elementul de ordinul I poate fi dat sub două moduri: pe baza formei standard, fiind construit în jurul unui integrator în buclă închisă sau direct pe baza funcției de transfer.

A. Model realizat pe baza formei standard

Modelul matematic descris de relația (1) se aduce la forma standard dată de relația (2) :

$$\frac{dy}{dt} = \frac{1}{T} (-y(t) + Ku(t)) \quad (2)$$

Pentru a implementa această relație, deci pentru a se realiza modelul elementului de ordin 1 descris de relația (2) este necesară o pagină nouă în care sunt aduse toate blocurile necesare, așa cum este prezentat în Fig.7. Modelul este salvat sub numele "elem_ord_1.mdl" folosind opțiunea *Save As* din meniul *File*. De menționat că la salvarea modelului nu trebuie data și extensia .mdl, aceasta fiind adăugată automat.

Urmează realizarea conexiunilor între aceste elemente. Ca exemplu vom considera conectarea ieșirii blocului *Step* cu intrarea amplificatorului *Gain1*.

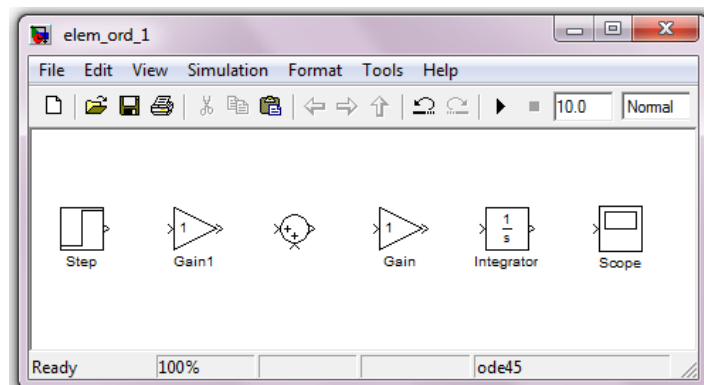


Fig.7. Elementele componente ale sistemului de ordinul 1.

Pentru a conecta între ele cele două elemente se pot folosi două variante:

- Prima variantă presupune apăsarea butonului din stânga al mouse-ului pe ieșirea blocului *Step* și deplasarea mouse-ului, cu butonul apăsat până pe intrarea amplificatorului *Gain1*. Conexiunea realizată corect arată ca în Fig.8.
- A doua variantă presupune selectarea blocului din față (*Step*) cu butonul stânga al mouse-ului și apoi, ținând apasată tasta *Ctrl* se va face click pe blocul ce trebuie conectat. Apare o săgeată care simbolizează realizarea corectă a conexiunii.

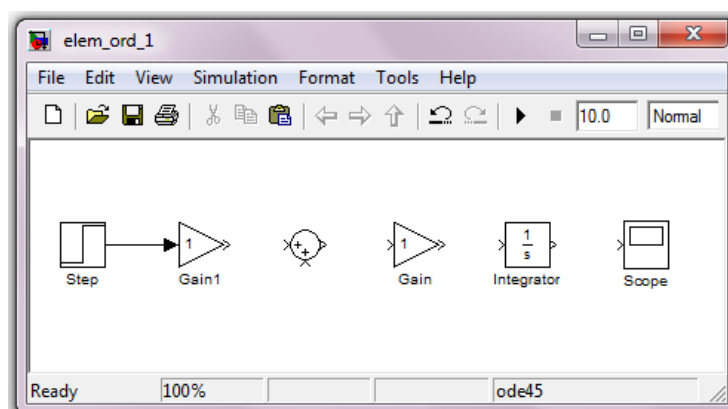


Fig.8. Prima conexiune, realizată corect

Dacă se întrerupe apăsarea butonului mouse-ului, în prima variantă prezentată, apare un început de conexiune, ca în Fig.9.

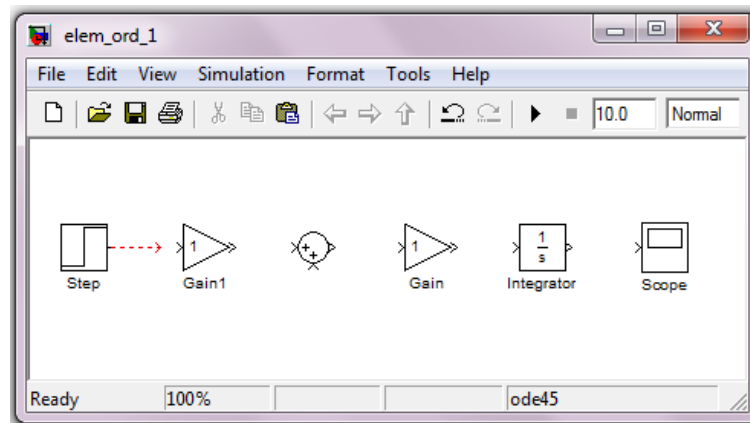


Fig.9. Prima conexiune, realizată incomplet

Această conexiune incompletă poate fi completată din punctul terminus (de pe săgeată) prin preluare cu mouse stînga și continuarea traseului până la intrarea blocului destinație.

O conexiune realizată greșit poate fi ștearsă prin selectarea cu mouse-ul (stînga) și apoi apăsarea tastei *Del* (delete). În momentul în care conexiunea este selectată aceasta este marcată vizibil.

Modelul complet, cu toate conexiunile realizate este prezentat în Fig.10.

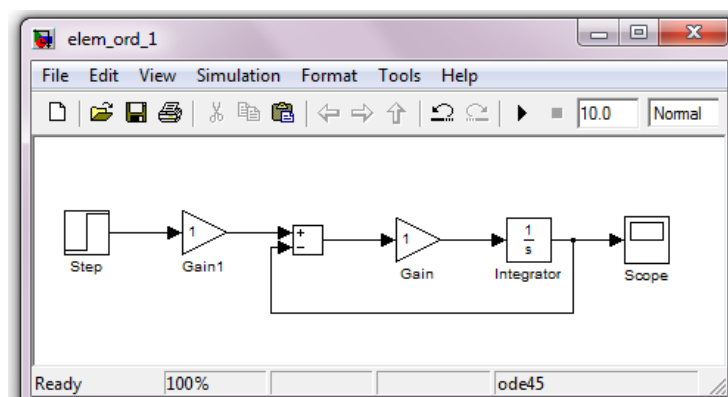


Fig.10. Modelul, fără valorile reale ale parametrilor

De remarcat o primă modificare față de elementele aduse din biblioteca simulink: sumatorul, care avea formă de cerc acum apare ca un

dreptunghi cu semnele + și -, față de cele inițiale, ++. Acest lucru s-a obținut făcând dublu click cu mouse-ul pe sumatorul inițial. Se deschide fereastra de dialog din Fig.11 și se modifică parametrii (semnele de intrare) și forma geometrică utilizată pentru sumator. Dacă urmează a fi sumate/scăzute mai multe semnale, se vor introduce în fereastra de dialog atâtea semne + și/sau - câte sunt necesare.

Urmează setarea parametrilor fiecărui modul care este utilizat în acest model. Deoarece avem $K=5$, putem introduce din blocul *Step* o treaptă unitară urmată de amplificatorul *Gain1* setat pe factorul de amplificare 5. Fereastra de dialog a blocului de generare a semnalului treaptă unitară *Step* este prezentată în Fig.12.

Momentul în care se aplică treapta de amplitudine 1 este considerat momentul $t=0$, dar se poate seta și o altă valoare. (Această posibilitate este utilă atunci când se dorește modificarea semnalului de intrare printr-o treaptă de o anumită valoare la un anumit moment de timp).

După introducerea valorilor se dă OK și fereastra se închide. Urmează introducerea valorii 5 în blocul *Gain1*. Deoarece blocurile *Gain1* și *Gain* sunt de același tip, vom explica modul în care blocul *Gain* va fi setat pentru valoarea $1/T = 1/2$.

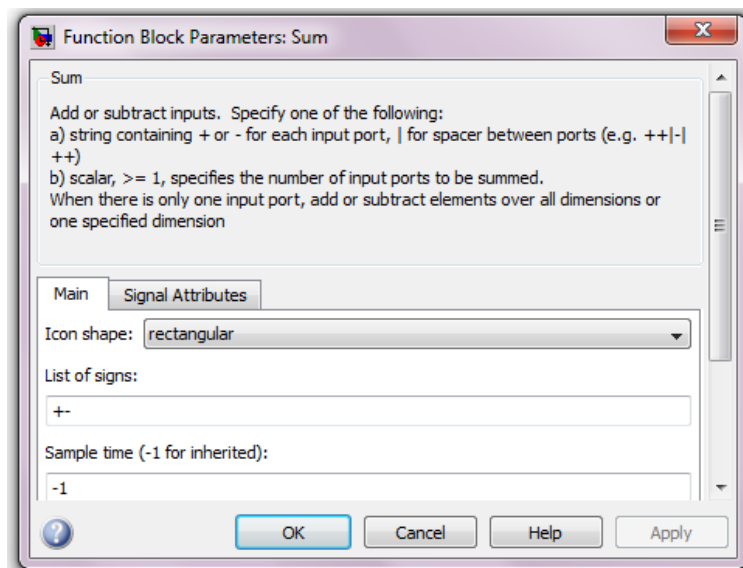


Fig.11. Fereastra de dialog a sumatorului

Deoarece elementul considerat are constanta de timp $T=2$ s, este necesar ca blocul *Gain* aflat pe calea directă a modelului să primească valoarea $1/T$ pentru a putea implementa ecuația (2). Se face dublu click pe blocul *Gain* și se modifică valoarea amplificării, așa cum este prezentat în Fig.13.

Valoarea introdusă este $1/2$ pentru a evidenția pe $1/T$. Se putea introduce foarte bine și valoarea 0.5, rezultatul fiind același.

Este posibil ca acest parametru să fie chiar sub forma $1/T$. În această situație trebuie precizată, printr-o comandă dată în MATLAB, valoarea lui T . Se poate da simplu $T=2$ și ENTER în fereastra principală MATLAB Command Window.

O altă variantă prin care parametrul poate fi dat sub forma $1/T$ ține de realizarea unui subsistem și mascarea acestuia, așa cum va fi prezentat pe parcursul lucrării. În mod asemănător poate fi folosită și valoarea K drept parametru pentru blocul *Gain1*.

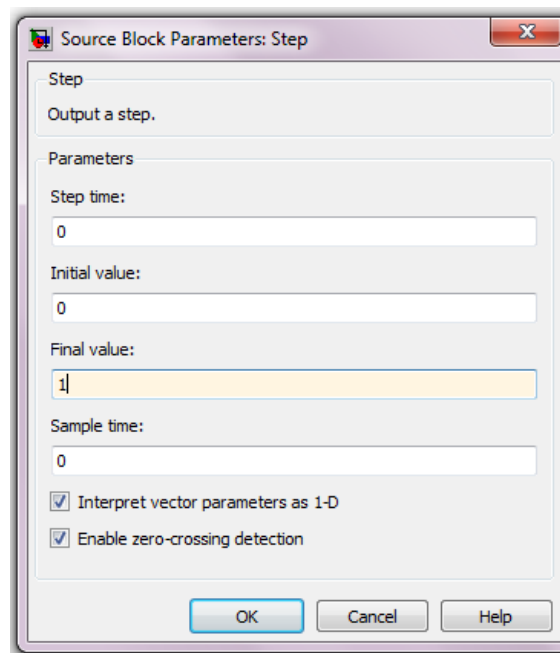


Fig.12. Fereastra de dialog a blocului Step

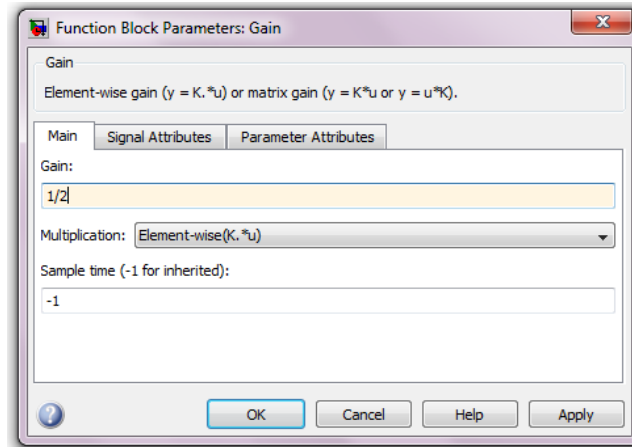


Fig.13. Fereastra de dialog a blocului Gain

Dupa setarea parametrilor fiecărui bloc modelul este gata și are aspectul prezentat în Fig.14.

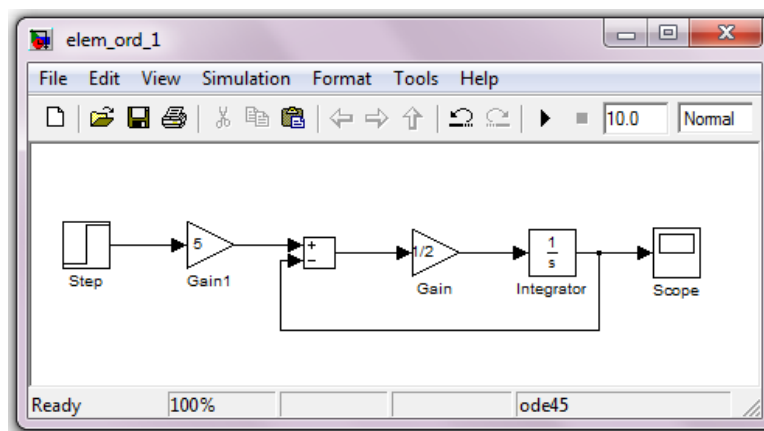


Fig.14. Modelul complet al elementului

Simularea dinamică este realizată prin comanda *Start* din meniul *Simulation*. Înainte de a da startul simulării este necesară configurarea paramerilor de simulare utilizând meniul *Simulation, Configuration Parameters*. De aici pot fi alese momentele “*Start Time*” și “*Stop Time*” pentru setarea intervalului de integrare cât și metoda de integrare numerică utilizată. Ceilalți parametri ce pot fi modificați vor putea fi

modificați după ce se obține un pic de experiență prin realizarea unor modele mai complexe.

Se vor seta valorile *Start Time* = 0 și *Stop Time* = 10 s. Celelalte valori ale parametrilor rămân nemodificate. Se dă apoi comanda *Start* din meniul *Simulation*.

Vizualizarea rezultatelor simulării este accesibilă prin intermediul blocului *Scope*. Pentru aceasta se dă dublu click pe blocul *Scope* și apoi se apasă pe *Auto-scale* (binoclul), rezultatul obținut fiind prezentat în Fig.15.

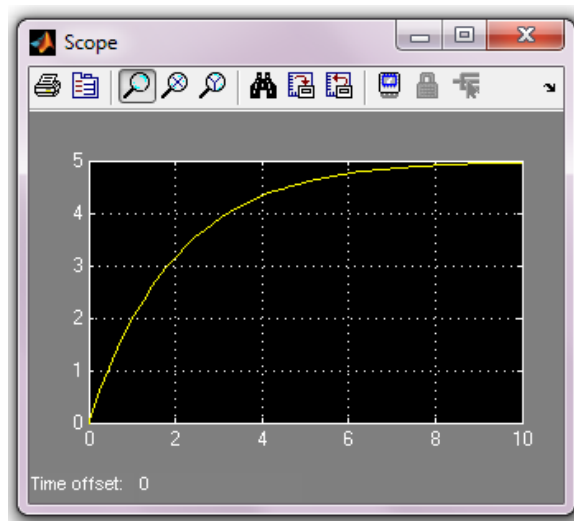


Fig.15. Rezultatul simulării

Blocul *Scope* prezintă câteva elemente specifice important a fi cunoscute, acestea fiind prezentate în Fig.16:

- al doilea buton din stânga este butonul *Parameters*, Fig.17. Prin folosirea setărilor indicate se poate obține reprezentarea grafică a datelor de ieșire într-o fereastră de tip *Figure* care va putea fi utilizată în redactarea unui document. Modul în care se poate face acest lucru va fi prezentat mai jos.
- următorul buton din fereastra *Scope* este butonul de *Zoom* care permite modificarea dimensiunilor graficului în ambele direcții, x și y (se alege aria de modificare cu mouse-ul);

- următoarele două butoane sunt de asemenea butoane *Zoom*. Ele permit modificarea graficului prin zoom în direcția x, respectiv y. Selectarea zonei pe care se face zoom-ul se face cu mouse stânga, indiferent de axă.
- butonul cu binoclul este butonul *Auto-scale* care arată întreg răspunsul în timp (anulând orice modificare).
- următorul buton este butonul *Save-axes* care salvează sau îngheață axele.
- ultimul buton evidențiat restaurează valorile setate pentru axe.

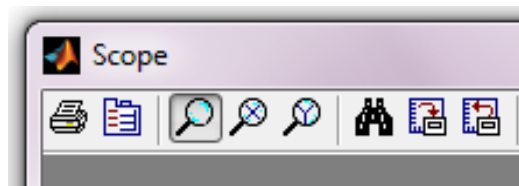


Fig.16. Bara de obiecte a blocului Scope.

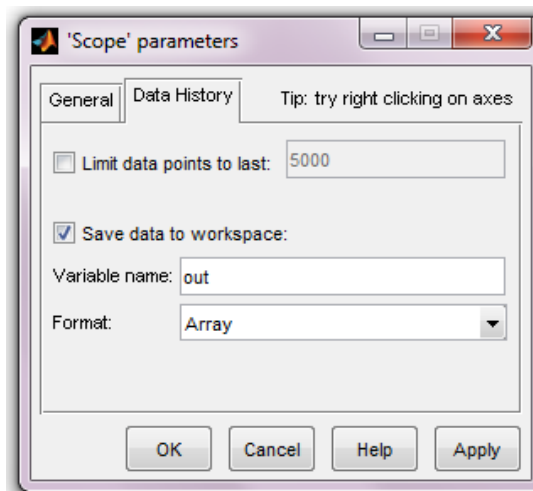


Fig.17. Fereastra de dialog a butonului Parameters.

Dacă modelul care se implementează pentru un anumit sistem este prea complicat, acesta poate fi aparent simplificat prin realizarea unor subsisteme care să cuprindă porțiuni din model. Pentru sistemul realizat pentru acest element de ordinul 1, având modelul prezentat în Fig.14, se poate realiza un *Subsystem* care să conțină toate blocurile care compun

elementul propriu-zis, deci fără sursa de semnal *Step* și fără *Scope*. Aceasta se poate face prin selectarea cu mouse stânga a tuturor blocurilor cuprinse între *Step* și *Scope*. După selectarea blocurilor, se intră în meniul *Edit*, apoi *Create Subsystem*. Rezultatul este prezentat în Fig.18.

Dacă se dă dublu click pe mouse stânga se poate vizualiza conținutul subsistemului, Fig.19. Numele subsistemului poate fi modificat făcând click pe denumirea actuală (Subsystem) și introducând noua denumire, de ex. *Subsit_ord_1*.

Simularea poate fi făcută pentru modelul din Fig.18 la fel ca în cazul anterior. *Start simulare* se poate da mai simplu din butonul *Play* din bara de instrumente a modelului.

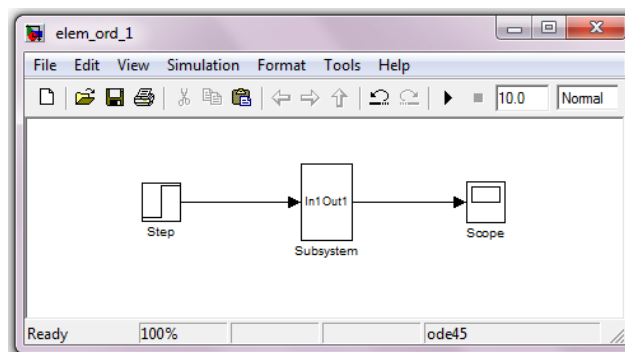


Fig.18. Subsistem pentru elementul de ordinul 1.

Dacă blocurile *Gain1* și respectiv *Gain* nu primesc valori numerice ci valorile K (factorul de amplificare) și $1/T$ (inversa constantei de timp) atunci acest subsistem se poate masca astfel: se selectează subsistemul cu mouse-ul apoi din meniul *Edit* se dă *Mask Subsystem*. Apare *Mask Editor* pentru subsistem în care se introduc valorile ca în Fig.20.

Parametrii care vor fi indicați sunt *Factor de amplificare* și respectiv *Constanta de timp* iar în subsistem acești parametri vor fi recunoscuți ca fiind K și respectiv T . Introducerea acestor valori se face din butonul *Add*. La final se dă *Apply* și apoi *OK*.

După mascarea subsistemului și închiderea editorului, dacă se revine la modelul care conține subsistemul și se dă dublu click pe *Subsystem* apare fereastra de dialog din Fig.21.

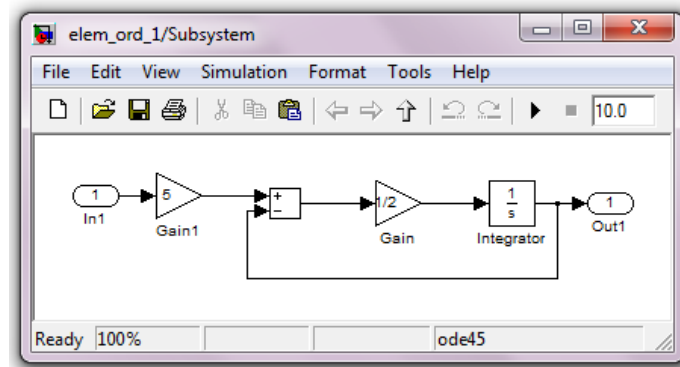


Fig.19. Vizualizarea conținutului subsistemului.

Se introduc valorile parametrilor elementului de ordin 1, $K = 5$ și respectiv $T = 2$. Se poate efectua o nouă simulare și se constată prin vizualizarea rezultatelor (dublu click pe *Scope*, apoi *Auto-scale*) că aceste sunt identice cu cele din Fig.15.

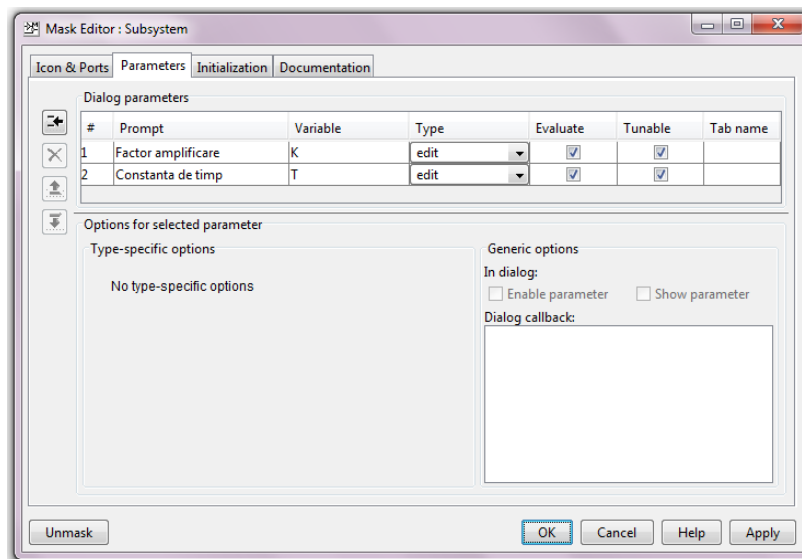


Fig.20. Modul de editare a măștii subsistemului.

Dacă se dorește ca rezultatul simulării să fie utilizat într-un document, vom ține cont de numele atribuit variabilei de ieșire în blocul *Scope* (în cazul nostru variabile este notată *out*). În fereastra principală a MATLAB-ului (Command Window) se poate da comanda:

```
plot(out(:,1),out(:,2))
```

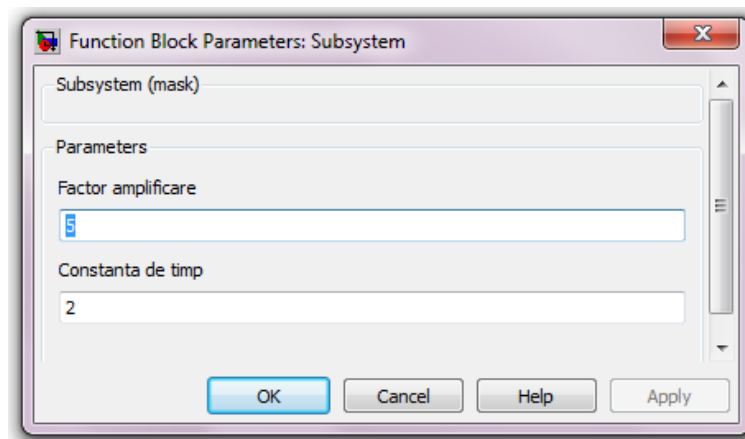


Fig.21. Introducerea parametrilor modelului.

Prin executarea acestei comenzi se obține un grafic în fereastra *Figure1* a MATLAB similar celui de pe *Scope*. Graficul obținut poate fi editat prin apăsarea butonului cu săgeată (Edit Plot) după care se poate marca cu mouse stânga curba obținută apoi cu mouse dreapta se pot schimba culoarea, tipul liniei, grosimea, etc. Tot cu mouse dreapta (dar în fereastră, nu pe grafic) se poate edita *Grid*-ul, astfel încât graficul obținut arată ca în Fig.22.

Dacă se dorește introducerea denumirii axelor, se vor da comenzile:

```
xlabel('timp [s]');  
ylabel('out');
```

Pentru copierea graficului se intră în meniul *Edit* al ferestrei grafice *Figure1*. Se dă *Copy Figure* iar după executarea acestei comenzi se intră în documentul word în care se dorește inserarea graficului. Se dă *Ctrl-V (Paste)* și grafiul este plasat în document. Poate fi mărit, micșorat, etc.

Există și o altă posibilitate de a obține acest grafic în documentul word care presupune inserarea în model a unui alt modul de ieșire de tip

Workspace. Efectul este același, trebuie introduse denumiri pentru mărimile respective, ca în Fig.23.

Se dă dublu click pe blocurile *To Workspace1* și *To Workspace*, în primul se dă numele variabilei *timp* și formatul *Array* (din *Save format*) iar la al doilea *iesire*, format *Array*. Am considerat aceste denumiri pentru a fi net diferite de cele utilizate de blocul *Scope*.

Obținerea graficului se poate face printr-o comandă simplă în MATLAB Command Window de forma:

```
plot(timp,iesire);
```

Rezultatul este identic cu cel prezentat anterior, prin utilizarea parametrilor blocului *Scope*, Fig.22. Axele și grid-ul pot fi setate prin comenzi asemănătoare cu cele descrise anterior.

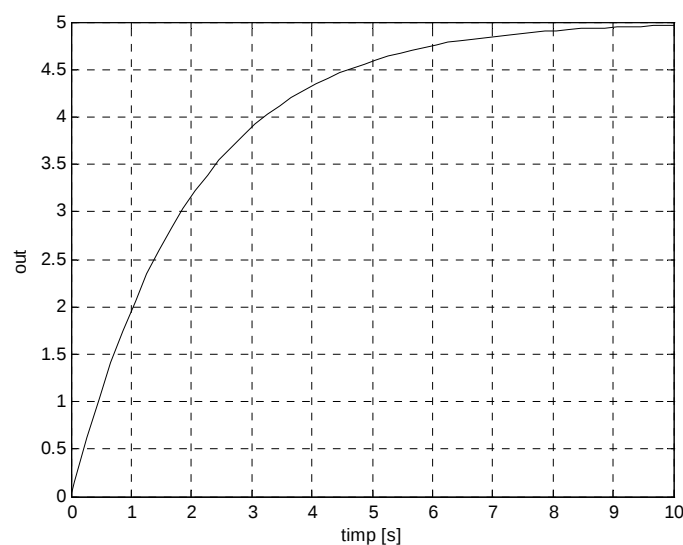


Fig.22. Semnalul de răspuns al sistemului.

B. Model realizat pe baza funcției de transfer

Același element de ordinul 1 poate fi modelat mai simplu dacă se utilizează blocul *Transfer Fcn* din subgrupa *Continuous*. Modelul de la care se pleacă este prezentat în Fig.24. Trebuie completat în mod corespunzător blocul *Transfer Fcn*.

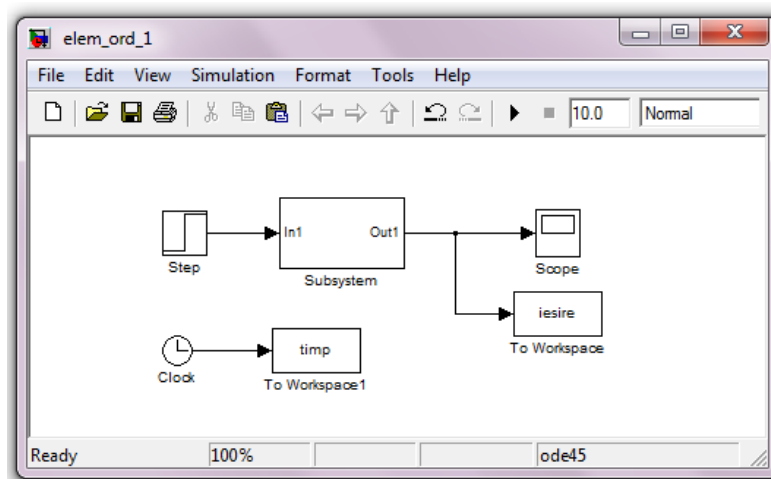


Fig.23. Sistemul cu ieșire în Workspace

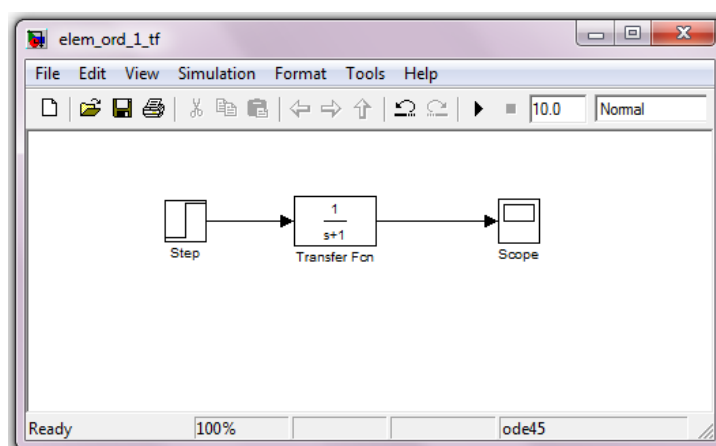


Fig.24. Element de ordinul 1 bazat pe Transfer Function

Având în vedere ecuația (2) ce descrie elementul de ordinul 1, aplicând transformata Laplace în condiții inițiale nule, se obține:

$$(Ts + 1)Y(s) = KU(s) \quad (3)$$

Rezultă funcția de transfer a elementului:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K}{Ts + 1} \quad (4)$$

Pentru a introduce această funcție de transfer în model, pentru $K=5$ și $T=2$, este necesar să facem dublu click pe blocul *Transfer Fcn* și să introducem funcția de transfer corespunzătoare. Aceasta va fi dată prin intermediul polinoamelor de la numărătorul și numitorul funcției de transfer. Un astfel de polinom se dă prin vectorul coeficienților săi. Fereastra de dialog arată ca în Fig.25.

Modelul completat astfel este prezentat în Fig.26.

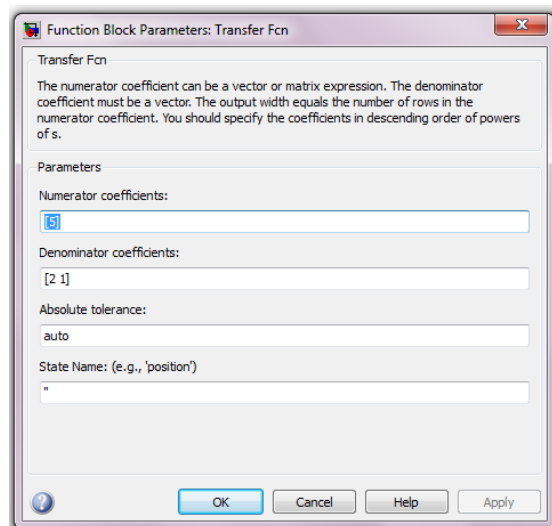


Fig.25. Fereastra de dialog pentru Transfer Fcn

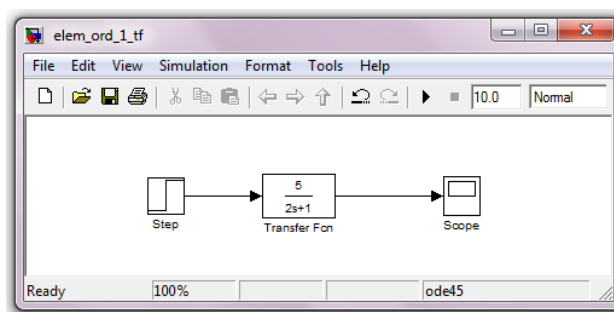


Fig.26. Modelul bazat pe Transfer Fcn

Rezultatul simulării este același cu cel prezentat anterior.

Dacă pentru acest element se dorește obținerea răspunsului la un semnal sinusoidal de o anumită frecvență se va înlocui blocul *Step* cu blocul *Sine Wave*.

Fereastra de dialog a blocului *Sine Wave* este dată în Fig.27.

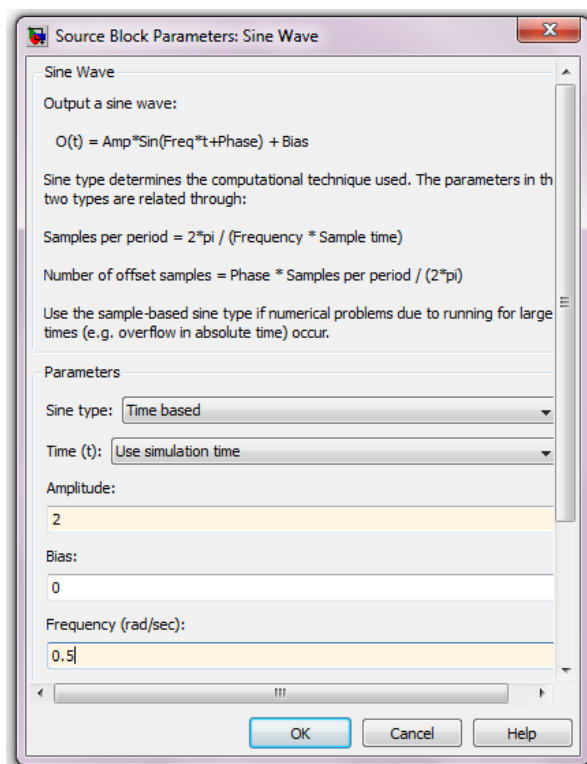


Fig.27. Fereastra de dialog pentru Sine Wave

Se consideră un semnal sinusoidal de amplitudine 2 și pulsație 0.5 rad/s. Se poate constata din fereastra de dialog că este vorba de pulsație fiind atenți la unitatea de măsură (rad/s). În cazul în care am avea frecvență pură am avea unitatea de măsură 1/s.

Am ales această pulsație deoarece ea este chiar pulsația de frângere a elementului de ordinul 1. Înseamnă că, pentru această pulsație

amplitudinea semnalului de ieșire va fi $0.707 \cdot 5 \cdot 2 = 7.07$ iar defazajul între semnalul de intrare și cel de ieșire este de -45 grade.

Vizualizarea simultană a celor două semnale poate fi obținută prin utilizarea unui multiplexor *Mux* din grupul *Signal Routing* ca în Fig.28.

Pentru a începe o conexiune pornind de pe o altă conexiune dintr-un anumit punct, construcția începe din punctul dorit cu mouse dreapta și poate fi continuată cu mouse stânga.

Rezultatul simulării este prezentat în Fig.29.

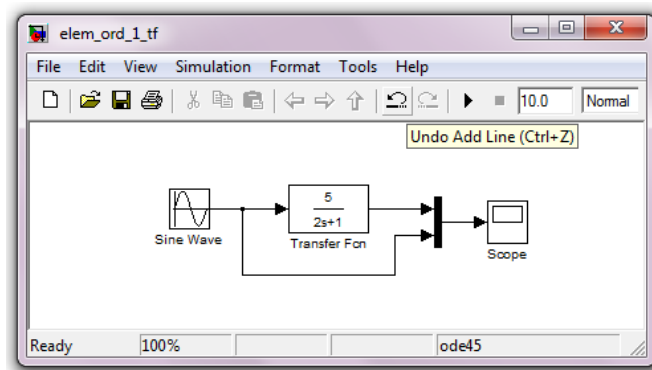


Fig.28. Vizualizarea simultană a două semnale

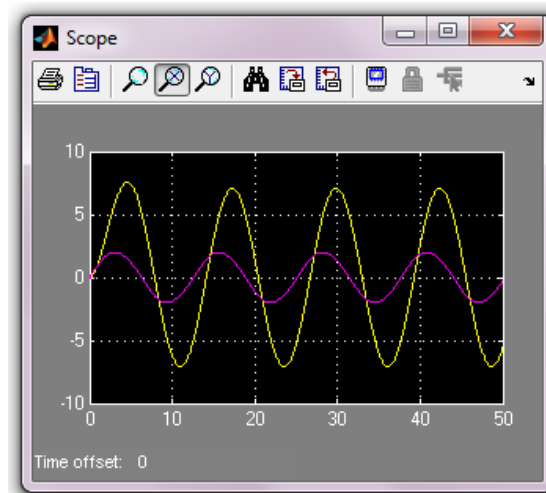


Fig.29. Rezultatul simulării

Având în vedere configurarea parametrilor pentru *Scope* se poate face o reprezentare grafică a celor două semnale prin comanda în MATLAB:

```
plot (out(:,1),out(:,2),out(:,1),out(:,3))
```

rezultatul fiind prezentat în Fig.30.

Pentru această simulare s-a folosit *Max Step Size* = 0.001 s și un timp de simulare (*Stop Time*) de 50 s din *Simulation, Configuration Parameters*. S-a ales această valoare pentru timpul de simulare pentru a avea aprox. 4 perioade ale semnalului de excitație, acesta având perioada $2\pi/0.5 = 12.5$ s (cu aproximație).

Dacă se folosește zoom-ul se poate vedea faptul că amplitudinea ieșirii este de 7.071 iar defazajul este de aprox. - 45 grade. (defazajul între ieșire și intrare este de aprox. un sfert de semiperioadă a semnalului de intrare, semnalul de ieșire fiind în urma semnalului de intrare).

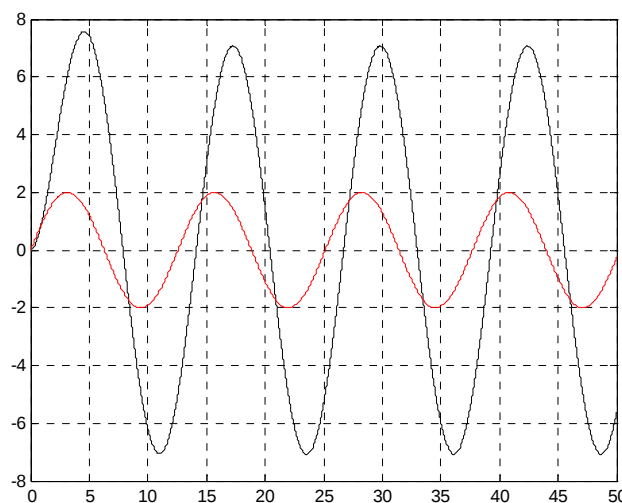


Fig.30. Rezultatul simulării cu utilizarea comenzii plot

Și acest grafic poate fi îmbunătățit prin specificarea axelor, legendă, marcare pe grafic, etc.