LUCRAREA DE LABORATOR NR.2

MODELAREA MATEMATICĂ A CIRCUITELOR ELECTRICE LINIARE

1. **Obiective**
   - modelarea matematică a circuitelor electrice liniare,
   - modele matematice asociate circuitului serie RLC,
   - modelul matematic al unui circuit format prin înserierea a doi cuadripoli,
   - implementarea în simulink a modelelor studiate.

2. **Definiții**

- Un circuit electric liniar este un circuit electric pentru care este aplicabil principiul superpoziției. În principiu, un circuit electric liniar are în componență componente pasive de tip rezistoare, bobine și condensatoare. În schemele electrice ele apar de regulă idealizate prin rezistențe (R), inductanțe (L) și capacități (C). Valorile lor se exprimă în ohm (Ω), Henry (H), respectiv farad (F).

- În structura unui circuit electric, respectiv în schemele electrice ale acestora, întâlnim ochiuri și noduri. Porțiunile dintre două noduri se numesc laturi. Punctele prin care se realizează legătura cu surse de energie exterioare (generatoare de tensiune, mai des, respectiv generatoare de curent, mai rar) sau cu alte circuite se numesc bornele circuitului. Porțiunile de circuit închise se numesc ochiuri. Un ochi de circuit se consideră distinct în raport cu celelalte ochiuri dacă are cel puțin o latură în plus față de celelalte ochiuri. Notăm numărul ochiurilor distincte cu n_o și numărul nodurilor cu n_n.

- Caracterizarea unui circuit din punct de vedere matematic se face cu ajutorul teoremelor lui Kirchhoff care exprimă legăturile dintre semnalele din circuit, adică dintre tensiunile și curenții din laturile circuitului. Un circuit este caracterizat prin $n_o + n_n - 1$ egalități:

  n_o egalități obținute cu a II-a teoremă a lui Kirchhoff (K-II)

  $n_n - 1$ egalități obținute cu prima teorema a lui Kirchhoff (K-I).

Pentru a scrie egalitățile este necesar ca în prealabil să se adopte pe schemele electrice sensuri pozitive pentru curenți și tensiuni. Egalitățile se scriu folosind sensurile pozitive adoptate. De regulă, sensurile pozitive se adoptă în funcție de rolul de consumator sau generator conferit circuitului. Din punct de vedere matematic nu are importanță cum se aleg sensurilor. Interpretarea rezultatelor depinde însă de sensurile alese.

- Cele $n_o + n_n - 1$ egalități sunt denumite uzual, dar în mod impropriu, ecuațiile circuitului. Pentru a fi în adevăr ecuații sau modele matematice ale circuitului semnalele din circuit trebuie împărțite în semnale cauză (mărimi de intrare) și semnale efect (mărimi de ieșire). Denumim această operație „orientare a circuitului" (a sistemului sau a modelului matematic). Modelul care rezultă după orientare se numește model primar al circuitului. Atributul „primar" subliniază ideea că, de regulă, forma finală a modelului se obține efectuând asupra modelului primar diferite operații.

- Este posibil să ne intereseze și alte semnale sau mărimi decât cele care apar în modelul primar: căderi de tensiune, puteri, energii. În acest caz modelul primar se completează adaugând relații suplimentare de calcul a noilor mărimi în funcție de cele care apar în model.

- Circuitele electrice sunt alimentate de la circuite generatoare și pot avea conectate la bornele lor circuite consumatoare. Atunci când din schema circuitului lipsesc generatoarele, de regulă se adoptă următoarele convenții de idealizare:
  - Dacă semnalul de intrare în circuit este o tensiune, atunci se consideră că el provine de la un *generator ideal de tensiune* care controlează în mod independent tensiunea aplicată și permite trecerea curentului în ambele sensuri, fără să apară căderi de tensiune la bornele generatorului.

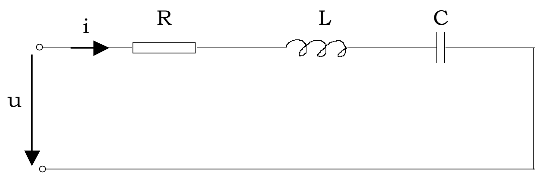
- Dacă semnalul de intrare în circuit este un curent electric atunci se consideră că el provine de la un *generator ideal de curent* care controlează în mod independent curentul aplicat și suportă la borne orice nivel de tensiune creat la bornele consumatorului.

- Modelele matematice ale circuitelor electrice se folosesc în diferite scopuri: pentru calcularea răspunsului circuitelor (calcularea semnalelor de ieșire în funcție de semnale de intrare date), pentru descrierea circuitelor și în alte domenii diferite de domeniul timp (operațional, frecvență), pentru analizarea proprietăților circuitelor (comportare în diferite regimuri de funcționare, stabilitate etc.).

- Un criteriu de recunoaștere a liniarității ecuațiilor unui circuit este următorul: fiecare termen din ecuații este un monom de gradul întâi în raport cu semnalul din monom. În contextul acestui criteriu atât derivatele cât și integralele unor semnale se consideră semnale distincte.

3. Exemplul 1: circuitul serie RLC

- Schema electrică din figură reprezintă o schemă conceptuală asociată conexiunii (electrice) serie dintre un rezistor cu rezistența R, o bobină cu inductanța L și un condensator cu capacitatea C. Avem: $n_o = 1$, $n_n = 0$.



Ecuația circuitului se obține cu ajutorul teoremei K-II:

$$R \cdot i(t) + L \cdot \frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{C} \cdot \int i(t) \cdot dt = u(t) \quad (1)$$

Cei trei termeni din membrul stâng corespund căderilor de tensiune:

$$u_R(t) = R \cdot i(t) \quad (2.1)$$

$$u_L(t) = L \cdot \frac{di(t)}{dt} \quad (2.2)$$

$$u_C(t) = \frac{1}{C} \cdot \int i(t) \cdot dt = \frac{1}{C} \cdot \int_0^t i(\tau) \cdot d\tau + u_C(0). \quad (2.3)$$

Ultima formă a celei de a treia relații arată modul în care trebuie interpretată integrala nedefinită din egalitatea (1).

- Pentru a transforma ecuația (1) într-un model matematic trebuie să îi asociem o orientare. Discutăm două situații de orientare: $u \to i$ și $u \to u_C$. Pentru prima orientare modelul primar este dat chiar de relația (1). Pentru a doua orientare modelul primar este dat de ecuațiile (1) și (2.3).

a) **Orientarea u → i** (circuitului i se aplică din exterior semnalul u(t) și răspunde cu semnalul i(t)). Se pot folosi mai multe modele:

i) Model de tip ecuație integro-diferențială

$$R \cdot i(t) + L \cdot \frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{C} \cdot \int_0^t i(\tau) \cdot d\tau + u_C(0) = u(t),\ i(0) = i_0 \quad (3)$$

Modelul s-a completat cu condiția inițială $i(0) = i_0$. În total avem însă două condiții inițiale.

ii) Model de tip ecuație diferențială:

$$L \cdot \frac{d^2 i(t)}{dt^2} + R \cdot \frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{C} \cdot i(t) = \frac{du(t)}{dt},\ i(0) = i_0,\ \left.\frac{di(t)}{dt}\right|_{t=0} = i_0' \quad (4)$$

El rezultă din (3) prin derivare în raport cu timpul și adăugarea de condiții inițiale.

iii) Sistem de ecuații diferențiale de ordinul I

$$\begin{cases} \dfrac{du_C(t)}{dt} = \dfrac{1}{C} \cdot i(t), u_C(0) = u_{C0} \\ \dfrac{di(t)}{dt} = -\dfrac{R}{L} \cdot i(t) - \dfrac{1}{L} \cdot u_C(t) + \dfrac{1}{L} \cdot u(t), i(0) = i_0 \end{cases} \quad (5)$$

Prima ecuație provine din (2.3), iar a doua din (1) și (2.3).

Semnalele $u_C(t)$ și i(t) care apar în (5) prin derivatele lor de ordinul I se numesc variabile de stare. Modelul necesită condiții inițiale pentru fiecare din ele.

Modelele (3) și (4) se numesc modele matematice intrare-ieșire (MM-II) iar modelul (5) ecuații de stare ale unui model matematic intrare-stare ieșire (MM-ISI). MM-ISI conține în plus față de ecuațiile de stare și ecuații de ieșire, adică expresii de calcul a semnalelor de ieșire cu ajutorul variabilelor de stare și al variabilelor de intrare. În cazul de față ecuația de ieșire are forma unei identități:

$$i(t) = i(t), \quad (6)$$

Folosind pentru variabilele de stare notațiile x, iar pentru variabilele de ieșire notațiile y, MM-ISI format din (5) și (6) ia forma:

$$\begin{cases} \begin{cases} \dot{x}_1(t) = \frac{1}{C} x_2(t), \ x_1(0) = u_{C0} \\ \dot{x}_2(t) = -\frac{1}{L} \cdot x_1(t) - \frac{R}{L} \cdot x_2(t) + \frac{1}{L} \cdot u(t), \ x_2(0) = i_0 \end{cases} \\ y(t) = x_2(t) \end{cases} . \quad (7)$$

Modele (3), (4), (5) – (6) sunt de ordinul II[1]. Ele se pot deduce unul din celălalt prin operații de calcul integral și diferențial. Modelele sunt „echivalente intrare-ieșire”, adică din punctul de vedere curentului pe care îl furnizează în funcție de tensiune aplicată la borne.

> (P1): Pentru circuitele electrice liniare curenții prin inductanțe și tensiunile de la bornele capacităților sunt întotdeauna variabile de stare.

b) **Orientarea u → u_C** (circuitului i se aplică din exterior semnalul u(t) și răspunde cu semnalul $u_C(t)$). Și de data aceasta se pot folosi mai multe modele:

i) MM-II de tip ecuație diferențială:

$$L \cdot C \cdot \frac{d^2 u_C(t)}{dt^2} + R \cdot C \cdot \frac{du_C(t)}{dt} + u_C(t) = u(t), \ u_C(0) = u_{C0}, \frac{du_C(t)}{dt}\Big|_{t=0} = u'_{C0} \quad (8)$$

Modelul s-a obținut din (1) eliminând curentul i(t). Relația de eliminare se obține din (2.3) prin derivare în raport cu timpul:

$$i(t) = C \cdot \frac{du_C(t)}{dt} \quad (9)$$

ii) MM-ISI:

$$\begin{cases} \begin{cases} \dot{x}_1(t) = \frac{1}{C} x_2(t), \ x_1(0) = u_{C0} \\ \dot{x}_2(t) = -\frac{1}{L} \cdot x_1(t) - \frac{R}{L} \cdot x_2(t) + \frac{1}{L} \cdot u(t), \ x_2(0) = i_0 \end{cases} \\ y(t) = x_1(t) \end{cases} \quad (10)$$

El se obține tot cu ecuațiile de stare (5) dar cu o ecuație de ieșire care consemnează că ne interesează ca mărime de ieșire prima variabilă de stare.

- Se observă că este mult mai ușor de lucrat cu MM-ISI întrucât ecuațiile de stare se păstrează și se modifică doar ecuațiile de ieșire.

[1]Afirmația se bazează pe regulile de stabilire a ordinului unei ecuații integro-diferențiale, a unei ecuații diferențiale ordinare și a unui sistem de ecuații diferențiale ordinare.

- În mediul de simulare simulink sunt prevăzute blocuri speciale care permit calcularea mărimilor de ieșire prin aplicarea automată a unor metode numerice de integrare a sistemelor de ecuații diferențiale. Pentru a putea calcula diferite mărimi de interes ecuațiile de ieșire ale MM-ISI trebuie să aibă ca mărimi de ieșire tocmai variabilele de stare. Odată asigurat acest lucru se pot calcula cu relații suplimentare orice mărimi ne interesează.

  Bunăoară, presupunem că pentru circuitul serie RLC ne interesează să calculăm în mod suplimentar tensiunea de pe rezistor, puterea consumată de rezistor prin efect Joule-Lenz, energia transmisă pe la bornele circuitului de către generatorul ideal de tensiune și tensiunea pe inductanță. Celor patru mărimi le corespund semnalele:

$$u_R(t) = R \cdot i(t),\quad p_R(t) = R \cdot i^2(t),\quad w_e(t) = \int_0^t u(\tau)\cdot i(\tau)\cdot d\tau,\quad u_L(t) = L \cdot \frac{di(t)}{dt}, \qquad (10')$$

  iar MM care le furnizează are ecuațiile (11):

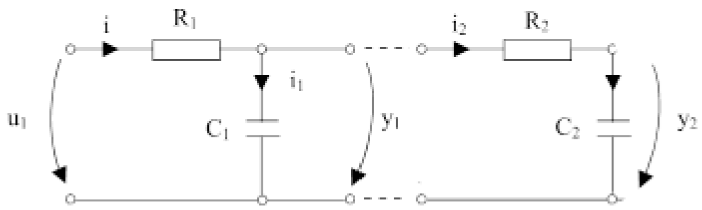
$$\begin{cases} \begin{cases} \begin{cases} \dot{x}_1(t) = x_2(t), x_1(0) = u_{C0} \\ \dot{x}_2(t) = -\frac{1}{L}\cdot x_1(t) - \frac{R}{L}\cdot x_2(t) + \frac{1}{L}\cdot u(t), x_2(0) = i_0 \end{cases} \\ \begin{cases} y_1(t) = x_1(t) \\ y_2(t) = x_2(t) \end{cases} \end{cases} \\ \begin{cases} z_1(t) = R\cdot y_2(t) \\ z_2(t) = R\cdot y_2^2(t) \\ z_3(t) = \int_0^t u(\tau)\cdot y_2(\tau)\cdot d\tau \\ z_4(t) = -y_1(t) - R\cdot y_2(t) + u(t) \end{cases} \end{cases} \qquad (11)$$

Primul grup de 4 relații formează MM-ISI al circuitului, iar ultimele 4 relații rescriu formulele (10) folosind semnalul de intrare și semnalele de ieșire ale MM-ISI.

4. Exemplul 2: circuit format cu doi cuadripoli înseriați electric

Circuitul din figură are două ochiuri distincte ($n_o = 2$) și două noduri ($n_n = 2$). În el apar 3 curenți. Considerăm că primul ochi cuprinde „tensiunea u_1, rezistența R_1 și capacitatea C_1", iar al doilea ochi „tensiunea u_1, rezistența R_1, rezistența R_2 și capacitatea C_2". Nodurile corespund bornelor capacității C_1. Întrucât $n_n + (n_o - 1) = 3$ circuitul se descrie prin 3 relații. Aceste sunt:

$$\begin{cases} R_1\cdot i(t) + \frac{1}{C_1}\cdot \int i_1(t)\cdot dt = u_1(t) \\ R_1\cdot i(t) + R_2\cdot i_2(t) + \frac{1}{C_2}\cdot \int i_2(t)\cdot dt = u_1(t) \\ i(t) = i_1(t) + i_2(t) \end{cases} \qquad (12)$$



Relațiile (12) pot fi descrise și cu variabile de stare. Potrivit precizării (P1) se adoptă ca variabile de stare tensiunile de pe capacități potrivit sensurilor pozitive indicate în figură.

$$x_1(t)=\frac{1}{C_1}\cdot\int i_1(t)\cdot dt\,,\quad x_2(t)=\frac{1}{C_2}\cdot\int i_2(t)\cdot dt \quad (13)$$

Prin introducerea lor și eliminarea curentului i(t) relațiile (12) devin

$$\begin{cases} R_1\cdot i_1(t)+R_1\cdot i_2(t)+x_1(t)=u_1(t)\\ R_1\cdot i_1(t)+(R_1+R_2)\cdot i_2(t)+x_2(t)=u_1(t)\end{cases} \quad (14)$$

Eliminând și curenții $i_1(t)$ și $i_2(t)$, prin derivarea relațiilor (13) în raport cu timpul, obținem:

$$\begin{cases} R_1\cdot C_1\cdot \dot{x}_1(t)+R_1\cdot C_2\cdot \dot{x}_2(t)+x_1(t)=u_1(t)\\ R_1\cdot C_1\cdot \dot{x}_1(t)+(R_1+R_2)\cdot C_2\cdot \dot{x}_2(t)+x_2(t)=u_1(t)\end{cases}. \quad (15)$$

Odată orientate, sistemele (12) sau (15) devin forme primare ale MM. Ele se folosesc în aceeași idee ca ecuațiile (11). În particular, dacă ne interesează orientarea $u_1 \to \{u_{C1}, u_{C2}\}$ se adăugă ecuațiile de ieșire:

$$y_1(t) = x_1(t)\,,\ \ y_2(t) = x_2(t) \quad (16)$$

și obținem:

$$\begin{cases} \begin{bmatrix}\dot{x}_1(t)\\ \dot{x}_2(t\end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\dfrac{R_1+R_2}{R_1\cdot R_2\cdot C_1}\cdot x_1(t)+\dfrac{1}{R_2\cdot C_1}\cdot x_2(t)+\dfrac{1}{R_1\cdot C_1}\cdot u_1(t)\\ \dfrac{1}{R_2\cdot C_2}\cdot x_1(t)-\dfrac{1}{R_2\cdot C_2}\cdot x_2(t)\end{bmatrix}\\ \begin{bmatrix}y_1(t)\\ y_2(t)\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}x_1(t)\\ x_2(t\end{bmatrix}\end{cases} \quad (17)$$

Dacă pentru orientarea $u_1 \to u_{C1}$ dorim un MM-II, obținerea acestuia numai prin calcule în domeniul timp este anevoioasă. Rezolvarea problemei se simplifică esențial rescriind sistemul (15) în domeniul operațional pentru condiții inițiale nule. Se obține

$$(15) \multimap \begin{cases} R_1\cdot C_1\cdot s\cdot x_1(s)+R_1\cdot C_2\cdot s\cdot x_2(s)+x_1(s)=u_1(s)\\ R_1\cdot C_1\cdot s\cdot x_1(s)+(R_1+R_2)\cdot C_2\cdot s\cdot x_2(s)+x_2(s)=u_1(s)\end{cases}, \quad (18)$$

respectiv sistemul algebric

$$\begin{bmatrix} R_1\cdot C_1\cdot s+1 & R_1\cdot C_2\cdot s\\ R_1\cdot C_1\cdot s & (R_1+R_2)\cdot C_2\cdot s+1\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}x_1(s)\\ x_2(s)\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}u_1(s)\\ u_1(s)\end{bmatrix}. \quad (19)$$

Relația de legătură între u_1 și x_1 se deduce rezolvând sistemul (19) cu regula lui Kramer. Rezultă:

$$x_1(s)=\frac{\Delta_{x_1}}{\Delta}=\frac{R_2\cdot C_2\cdot s+1}{R_1\cdot R_2\cdot C_1\cdot C_2\cdot s^2+(R_1\cdot C_1+R_1\cdot C_2+R_2\cdot C_2)\cdot s+1}\cdot u_1(s) \quad ,(20)$$

apoi succesiv

$$R_1R_2C_1C_2\cdot s^2\cdot x_1(s)+(R_1C_1+R_1C_2+R_2C_2)\cdot x_1(s)+x_1(s)=R_2C_2\cdot s\cdot u_1(s)+u_1(s)\,, \quad (21)$$

$$(21) \bullet\!\!-\!\!\circ\ R_1R_2C_1C_2\cdot \ddot{x}_1(t)+(R_1C_1+R_1C_2+R_2C_2)\cdot \dot{x}_1(t)+x_1(t)=R_2C_2\cdot \dot{u}_1(t)+u_1(t)\,. \quad (22)$$

Observație: Modelul (22) coincide cu modelul (2) de la pag. 7 din curs.

5. Implementări în simulink

- În cadrul acestei secțiuni se evidențiază prin simulare comportarea circuitelor din secțiunile 3 și 4 în câteva regimuri de funcționare.
- Modelele simulink sunt construite, în principal, în jurul blocurile „TransferFcn" și „State-Space" din librăria „Continuous". În figura de mai jos apar o parte din elementele librăriei. Prezentarea nu

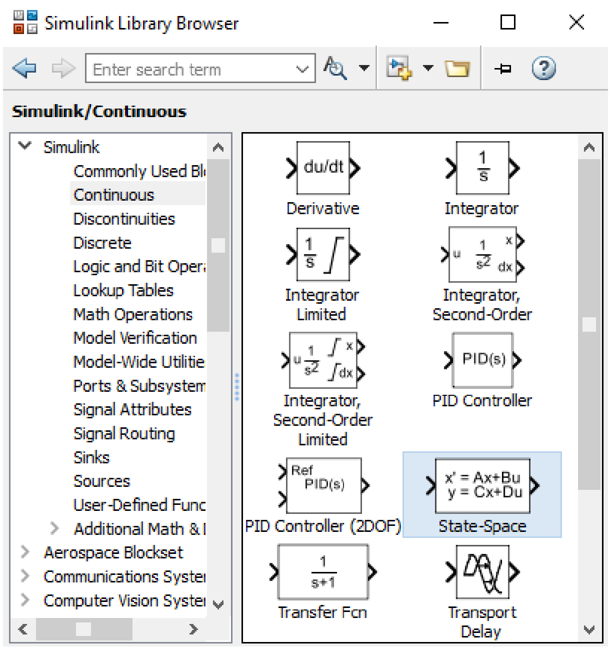
epuizează posibilitățile de folosire a acestor blocuri ci ilustrează câte un exemplu pentru fiecare dintre secțiunile 3 și 4.

Blocul Transfer Fcn se folosește pentru MM-II scrise în domeniul operațional sub forma

$$y(s) = H(s)\cdot u(s)\ . \quad (23)$$

H(s) este o funcție rațională de „s” și se numește funcție de transfer. Coeficienții numărătorului și numitorului se înscriu în interfața blocului prin introducere de valori sau de expresii parametrizabile. Atunci când se folosesc expresii parametrizabile valorile parametrilor se transmit de la un fișier script.

În cursul simulării blocul furnizează la ieșire semnalul y(t) care corespunde semnalului de intrare u(t) și unor condiții inițiale nule potrivit prelucrării acestuia cu MM-II din domeniul timp din care s-a obținut relația (23).



Blocul State-Space se folosește pentru implementarea de MM-ISI de forma:

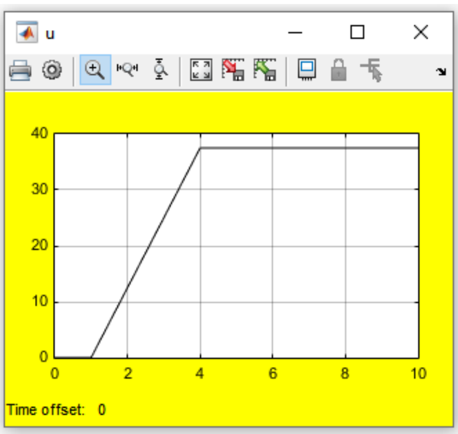
$$\begin{cases} \dot{x}(t) = A\cdot x(t) + B\cdot u(t)\,,\ x(t_0) = x_0 \\ y(t) = C\cdot x(t) + D\cdot u(t) \end{cases} \qquad (24)$$

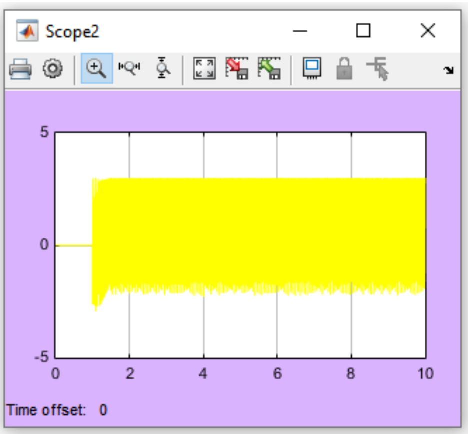
În (24) u, x și y sunt vectori coloană cu m, n, respectiv p componente, iar matricele A, B, C și D sunt de tipul (n,n), (n,m), (p,n), respectiv (p,m). Componentele lor se înscriu în interfața blocului prin introducere de valori sau de expresii parametrizabile însoțite de valori stabilite printr-un fișier script. Înscrierea este obligatorie chiar dacă matricele sunt nule. Tot în interfață se înscrie și vectorul valorilor inițiale respectând aceleași reguli de scriere ca și pentru matricele din (24).

În cursul simulării blocul furnizează la ieșire vectorul y(t) care corespunde semnalului de intrare u(t) potrivit prelucrării acestuia cu MM-ISI (23).

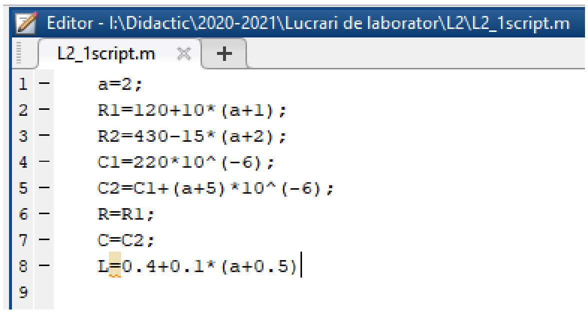
În continuare se prezintă două exemple.

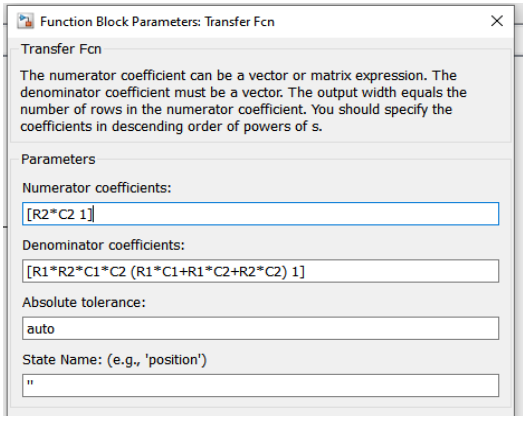
A) Determinarea variației tensiunii $u_{C1}(t)$ în funcție de tensiunea $u_1(t)$ pentru circuitul din secțiunea 3 în cazul când semnalul $u_1(t)$ are două componente: o componentă utilă (figura din stânga) și o componentă perturbatoare (figura din dreapta).



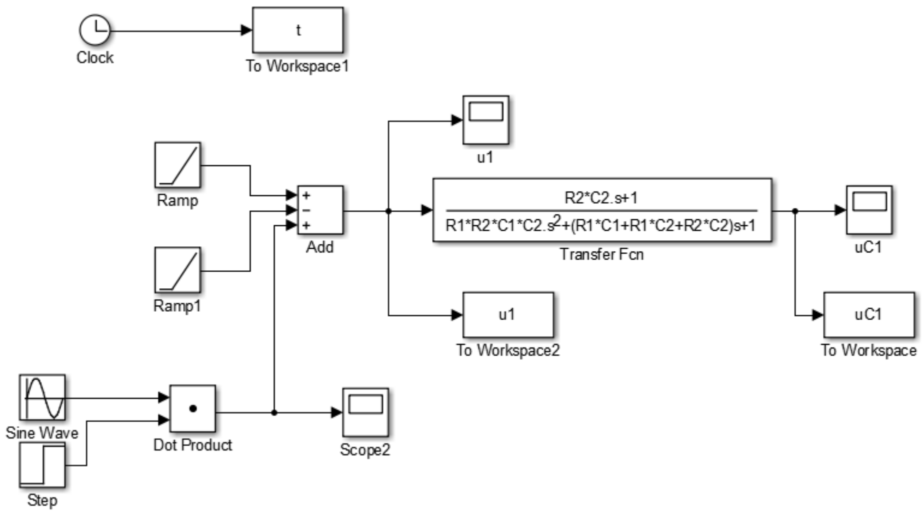


Pentru modelare folosim relația (20) observând că fracția poate fi asimilată cu o funcție de transfer. Modelul simulink folosește fișierul script de mai jos. În fișier sunt precizate formule de calcul pentru valorile lui R_1, R_2, C_1 și C_2, (notate cu R1, R2, C1 și C2). Valorile se calculează în funcție de un parametru a căruia i s-a dat valoarea 2. În modelul Simulink parametrizarea blocului Transfer Fcn se face ca în figura alăturată fișierului script.





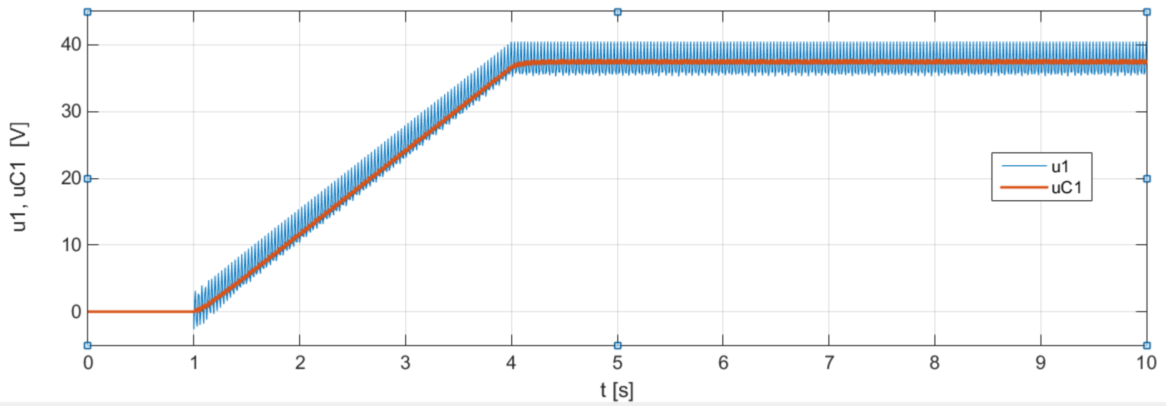
Modelul Simulink are următorul aspect:



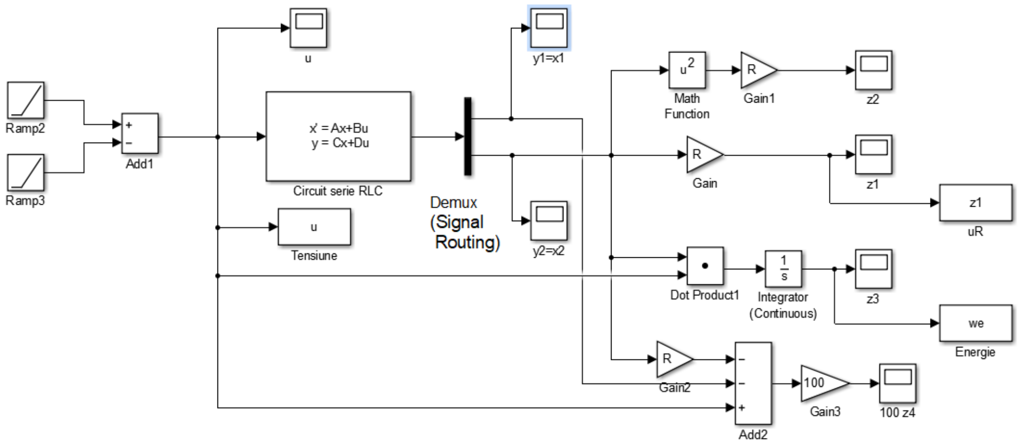
Intervalul de timp de integrare a fost setat la 10 secunde. După aplicarea comenzii Run pentru fișierul script, apoi a comenzii Run pentru modelul simulink și după încheierea calculului, cu comanda

>> plot(t,u1,t,uC1)

scrisă în fereastra de comandă Matlab, se obțin rezultatele din figură:

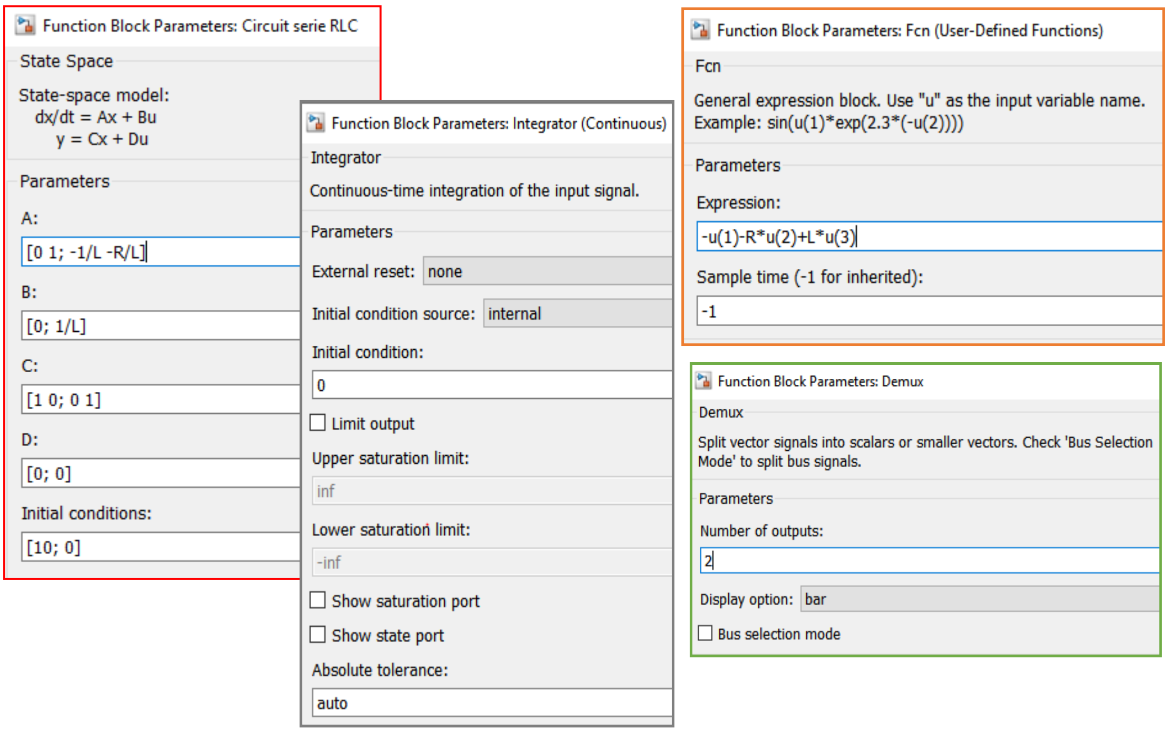


B) Determinarea răspunsului circuitului serie RLC din exemplul 1 și a variației variabilelor auxiliare, z_1, z_2, z_3 și z_4 conform modelului (11). Se folosește modelul simulink din figura de mai jos împreună cu același fișier script. Semnalul de intrare este cel de la exemplul A, dar neperturbat.

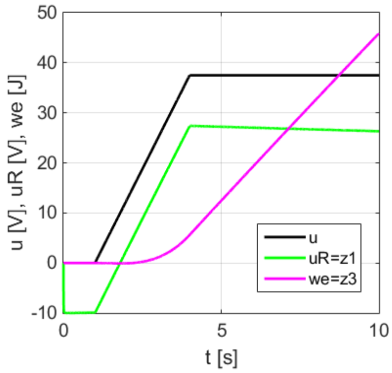


În model apar blocuri noi: un integrator, un bloc de calcul a unei funcții de o variabilă și un demultiplexor cu ajutorul căruia se obțin variabilele de stare. În dreptul unora dintre aceste blocuri s-a indicat librăria din care au fost extrase.

Mai jos sunt redate principalele interfețe de parametrizare.



În figura de mai jos sunt redate câteva dintre semnalele din modelul simulink. Și în acest caz intervalul de timp pentru simulare a fost de 10 secunde însă figura redă variația semnalelor pe un interval mai redus.



6. Tema de casă Nr. 2[2]

Nume și prenume	*Nr. matricol*	*S = suma cifrelor numărului matricol*	*a = Smod7*	*Data completării formularului*

TEMĂ DE CASĂ NR. 2

1. (Tema de casă se depune pe CV în săptămâna consecutivă celei în care s-a efectuat lucrarea de laborator. Formularul completat se depune în format pdf.)

1.1. Enunțați legea lui Ohm și teoremele lui Kirchhoff. Indicați în fiecare caz bibliografia folosită.

Legea lui Ohm	
Prima teoremă a lui Kirchhoff (K-I)	
A doua teoremă a lui Kirchhoff (K II)	

1.2. Reproduceți simularea de la exemplul A) de la pag. 6-7 din lucrare pentru valoare „a" calculată pe baza numărului matricol pentru un interval de timp de 8 secunde.

Se inserează o figură similară cu cea de la pag. 7 din lucrare.

1.3. Reproduceți simularea de la exemplul B) de la pag. 7-8 din lucrare pentru valoare „a" calculată pe baza numărului matricol pentru un interval de timp de 8 secunde.

Se inserează o figură similară cu cea de la pag. 8 din lucrare.

1.4. Configurați un bloc State-Space astfel încât să implementeze MM-ISI (17).

[2] Formularul cu tema de casă este disponibil pentru completare în fișierul TS_II-CTI_TC_02.docx.

Fișierul script „xxx.m”
Se inserează fișierul script.
Interfața blocului State-Space
Se inserează interfața blocului State-Space.