

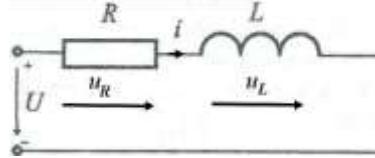
## Cv.3 Modelovanie RL a RC obvodu ako sústavy I. rádu

### 1. Sériový RL obvod

#### 1.1. Odvodenie matematického modelu

Úlohou je modelovať obvod tak, aby sme získali PrCh a LFCh.

Schéma obvodu:



**Prenosové funkcie:**

V prípade jednoslučkového obvodu prenosovú funkciu získame výhodne pomocou vzťahu pre delič napätia:

$$F_R(s) = \frac{U_R(s)}{U(s)} = \frac{Z_R(s)}{Z_R(s) + Z_L(s)} = \frac{R}{R + sL} \cdot \frac{1/R}{1/R} = \frac{1}{1 + s \cdot L/R}$$

kde  $L/R = T$  je časová konštanta sériového RL obvodu.

Podobne

$$F_L(s) = \frac{U_L(s)}{U(s)} = \frac{Z_L(s)}{Z_R(s) + Z_L(s)} = \frac{sL}{R + sL} \cdot \frac{1/R}{1/R} = \frac{sT + 0}{1 + sT}$$

Pre prúd platí:  $I = U_R/R$ , takže prenos prúdu je:

$$F_I(s) = \frac{I(s)}{U(s)} = \frac{U_R(s)/R}{U(s)} = \frac{F_R(s)}{R} = \frac{1/R}{1 + sT}$$

### 1.2. Riešenie v MATLABe

Požadované charakteristiky získame pomocou inštrukcií step a bode. Rozmiestnenie grafov:

subplot (2,2,1) Step FR, FL	subplot (1,2,2) Bode FR FL
subplot (2,2,3) Step UR, UL	

Vyhodnotiť priebehy: zlom LAFCh je pri  $\omega = \frac{1}{T} = \frac{R}{L} = \frac{10}{0,01} = 1\,000 \text{ rad/s}$

Poznámka: pre zápis úboru v MATLABe používame nasledovný zápis:

Príbuzné inštrukcie zapisovať do riadku, šetriť miesto.

Jednotlivé časti programu (výpočet, ..., kreslenie, ...) oddeľovať prázdny riadkom.

% Určenie súboru, meno programu (v tomto prípade RLobvod\_M.m), meno riešiteľa, dátum

% Stručný komentár o funkcii programu, vstupy, výstupy a pod.

Vyčistenie obsahu premenných, stránky Workspace, deklarácie a pod.

Vstupné parametre – tu:  $U_d = 10 \text{ V}$ ,  $L = 10 \text{ mH}$ ,  $R = 10 \text{ }\Omega$ . Pozor, pre mH zapisujeme  $L=10e-3$

Parametre riešenia (doby simulácie, rozsahy a pod.).

Zápis TF      numR=[...]; numL=[...]; numI=numR/R

den=[...]; % v uzavretom obvode je menovateľ spoločný, prenosy sa líšia čitateľom

FR=tf(numR,den), FL=tf(numL, den) a podobne

Pre výpis funkcie možno použiť printsys (num, den,'s')

### 1.3. Model obvodu v Simulinku

#### Odvodenie modelu

Vždy sa snažíme zostaviť diferenciálne rovnice obvodu (nie s integrálmi, či kombinované, t.j. integračno -diferenciálne). Vychádzame z rovnice obvodu pre II. KZ:

$$U(s) = U_R(s) + U_L(s) = RI(s) + sL I(s)$$

Pri tvorbe modelu vytvoríme najvyššiu (prvú) deriváciu výstupnej veličiny  $sI(s)$ :

$$sL I(s) = [U(s) - R \cdot I(s)]$$

odkiaľ prúd je:

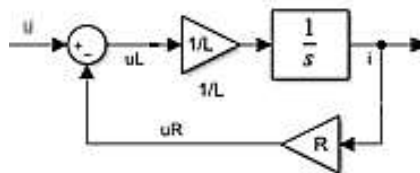
$$I(s) = \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{L} [U(s) - R \cdot I(s)]$$

Pri zostavení modelu najprv vytvoríme súčet v zátvorke, ktorý násobíme zosilnením  $1/L$ , čo tvorí vstup integrátora. Ostatné napätia dostaneme pomocou Ohmových vzťahov:  $U_R(s) = R \cdot I(s)$ . Pri vytváraní napätia na indukčnosti by sme potrebovali derivovať prúd:  $U_L(s) = sL I(s)$ , čomu sa však vyhneme použitím:

$$U_L(s) = U(s) - U_R(s)$$

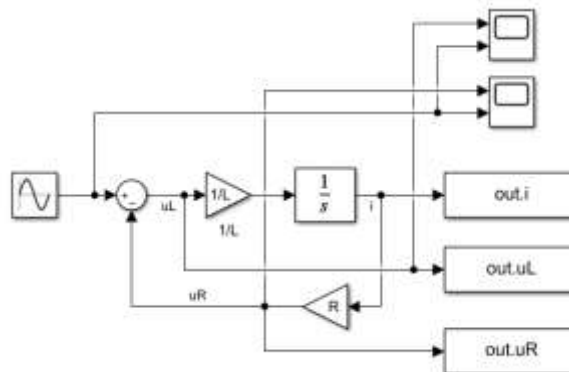
Pozn.: je to veľmi častý prípad, kedy sa vyhneme potrebe vytvorenia derivačného bloku.

#### Bloková schéma RL sériového obvodu:



Ďalšie riešenie:

- Doplniť schému blokmi To Workspace (nastaviť Array) na výstupy  $u_R$  a  $u_L$ .  
Výsledná schéma v Simulinku



- Zostaviť m-súbor pre zadávanie parametrov, spúšťanie a dobu simulácie a kreslenie priebehov (plot) jedného grafu. Súbor uložiť napr. RLobvod\_S.slx (názov sa musí líšiť od názvu v MATLABe).
- Parametre obvodu:  $U_d = 10 \text{ V}$ ,  $L = 10 \text{ mH}$ ,  $R = 10 \Omega$
- Doba simulácie cca:  $T_{kon} = 5 \text{ T}$ , kde  $T = L/R$  je časová konštanta obvodu

- Odštartovanie simulačnej schémy z MATLABu: inštrukcia `sim ('Rlobvod_S')`
- Nakreslenie priebehov v MATLABe: `plot (ans.t, ansi.iL), title ('iL(t)')`
- Zobrazenie priebehov v jednom grafe: `plot (t,iL,'r', t,uR,'b', t,uL,'g')`

Schému uložíme pod názvom **Rlobvod\_S.slx**

Túto schému budeme ovládať z MATLABu súborom **Rlobvod\_M.slx**

### Napájanie obvodu jednosmerným napätím

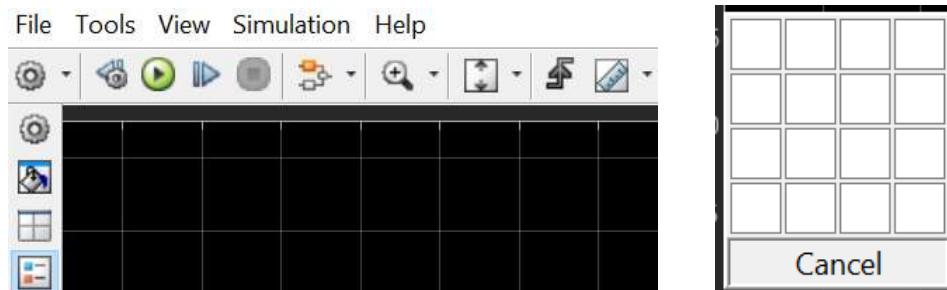
- Na vstup schémy zaradiť blok Step, nastaviť hodnotu napätia (napr.  $U = 10\text{ V}$ )  
Pozor, nastaviť v ňom správne hodnotu Step time = 0

### Napájanie obvodu striedavým napätím $U_d = 10\text{ V}, f = 10\text{ Hz}$ až 5000 Hz

- zaradiť blok Sinus, nastaviť na ňom  $2 \cdot \pi \cdot f$
- pomocou plot zobrazit' súčasne vstupný a výstupný signál v jednom grafe, pozorovať fázový posun pri rôznej frekvencii
- Pozn. aby nedošlo ku skresleniu signálu pri vysokých frekvenciách  $\omega$  ("hranatý" signál), v Simulinku treba vhodne nastaviť menšiu toleranciu modeling/Model Settings/Relative Tolerance

### Možnosti zobrazenia na Scope v Simulinku

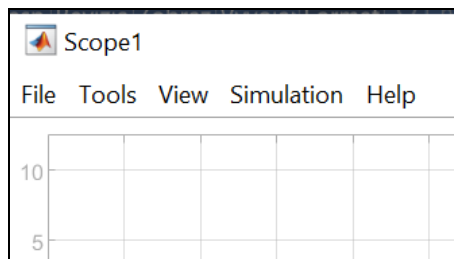
- Preštudovať možnosti nastavenia bloku Scope: implicitne je tmavé pozadie, ktoré nahradíme bielym (kvôli prípadnej úspore tonera pri tlači na papier). Pri viacerých výstupoch sa môžeme rozhodnúť, či každý priebeh bude v samostatnom grafe, alebo v jednom grafe bude viac priebehov:



Menu bloku Scope:

	Nastavenie svetlého pozadia:	možnosť kopírovať priebeh do Wordu
<p>Zaškrtnutie Legend vytvorí legendu k priebehom. Bloky (Sum, Gain, Transfer Fcn) preto treba vhodne premenovať; najlepšie tak, ako sa volá výstupná veličina bloku.</p>	<p>Tu možno nastaviť farbu a hrúbku každej čiary.</p>	<p>Otvára zobrazenie bloku Scope na začiatku simulácie.</p>

Po nastavení svetlého pozadia:



Graf zo Simulinku možno kopírovať do Wordu – buď pomocou menu File/Copy to Clipboard, alebo pomocou klávesovej skratky Ctrl + C.

## 1.4. Zadanie obvodu v Simulinku blokom Transfer Fcn

V niektorých prípadoch je výhodné (a jednoduchšie) modelovať prenos pomocou bloku Transfer Function zadáním polynómu čitateľa a menovateľa.

**Pozor: nepoužívať tento postup v referáte !!!** (v podstate by šlo o zdvojený výstup, keďže v referáte za zobrazujú tiež výstupy modelovanie prenosovej funkcie z MATLABu).

- Parametre prenosovej funkcie nastaviť do Transfer function
  - čitateľ:  $\text{numR} = [1]$ , pre indukčnosť:  $\text{numL} = [L/R \ 0]$
  - menovateľ:  $\text{den} = [L/R \ 1]$
- Zostaviť schému (Step, Transfer Function, Scope, To Workspace)
- Zostaviť ovládací program pre Simulink
- Doplniť výpočtom a kreslením LFCh
- Vykresliť priebehy v MATLABE pomocou inštrukcie plot (možno tu použiť farby, zmeniť hrúbku čiary, vyznačiť nadpis a premenovať osi).

subplot (2,2,1)	subplot (2,2,2)
plot	bode

## 1.5. Výpis programu

Názov programu: RLObvod\_M.m (Výsledky modelovania sériového RL obvodu)

```
% RL obvod - analyza vlastnosti (MATLAB 2020b), 3.3.2022
% prechodove a frekvencne charakteristiky, harmonicke napajanie
% Riesenie v MATLABe i v Simulinku
```

```
clc, clear, clf, format compact
U=10; L=10e-3; R=10; % parametre obvodu
disp('Modelovanie serioveho RL obvodu')
T=L/R; % casova konstanta RL obvodu
wz=1/T; % kruhova frekvencia bodu zlomu ALFCH
Tsim=5*T; % doba simulacie v Simulinku
Tstep=5*T; % rozsah Step
wmin=1e2;wmax=1e4; % rozsah LFCH v MATLABe
w=1000; % kruhova frekvencia sinus napatia
f=w/(2*pi); % frekvencia sinusovky (len pre informaciu)
```

```

Tsin=1/f; % doba periódy sinusovky
Tsim=2*Tsin;% doba simulácie v Simulinku pre sinus.napájanie
form1 = 'kruhová frekvencia bodu zlomu = %4.0f rad/s \n';
fprintf(form1,wz)

% Vypočet a zobrazenie prenosových funkcií
numR=[1]; numL=[T 0]; % numI=numR/R; - prúd netreba (je vo fáze s uR)
den=[T 1]; % menovateľ je spoločný pre celý obvod
FR=tf(numR,den), FL=tf(numL,den), % FI=tf(numI,den);

figure(1) % zobrazenia prechodových a LCH {uL,uR} v jednom grafe
subplot(2,2,1), step(FR,FL,Tstep), grid, legend('FR','FL')
    title("RL obvod: F_R(s), F_L(s) pre R="+R+" \Omega, L="+L+" H")
subplot(1,2,2), bode(FR,FL,{wmin,wmax}), grid, legend('F_R','F_L')
    title('Bode: F_R(j\omega), F_L(j\omega)')
subplot(2,2,3), step(U*FR,U*FL,Tstep), grid, legend('uR','uL')
    title("u_R(t), u_L(t) pri U="+U+" V")
    xlabel ("\rightarrow t [s]"), ylabel ("\rightarrow u(t) [V]")
% Pozn.: 1) pre úpravu grafu klikni 2x do grafu
%         2) pre špec. znaky pozri v helpe: >> doc ylabel
%         3) do grafu možno vpísať informácie pomocou text a gtext

figure(2) % riešenie v Simulinku, napájanie step, sinus, chirp,
sim('RL_obvod_S')
% Pozn. blok ToWorkspace nastaviť: Save format = Array, Sample time = -1
subplot(1,2,1), bode(FR,FL,{wmin,wmax}), grid, legend('F_R','F_L')
subplot(1,2,1) % pri ~ napájaní je vhodné vytlačiť k napätiam aj LFCh
plot(ans.tout, ans.uR, ans.tout, ans.uL, 'LineWidth',1.5), grid
    title("u_L(t), u_R(t) pre Usin, w="+w+" rad/s"), legend('u_L','u_R')
    xlabel ("\rightarrow t [s]"), ylabel ("\rightarrow u(t) [V]") % osí
    xlim([0 0.015]), ylim([-1 1]) % prípadná úprava mierok grafu

```

## 1.6. Výstupy z programu

Modelovanie seriového RL obvodu

Tstep = 0.0050

kruhová frekvencia zlomu = 1000 rad/s

frekvencia sinus.napájacieho napätia = 1000 Hz

FR(s) =

1

-----  
0.001 s + 1

FL(s) =

0.001 s

-----  
0.001 s + 1

figure (1):

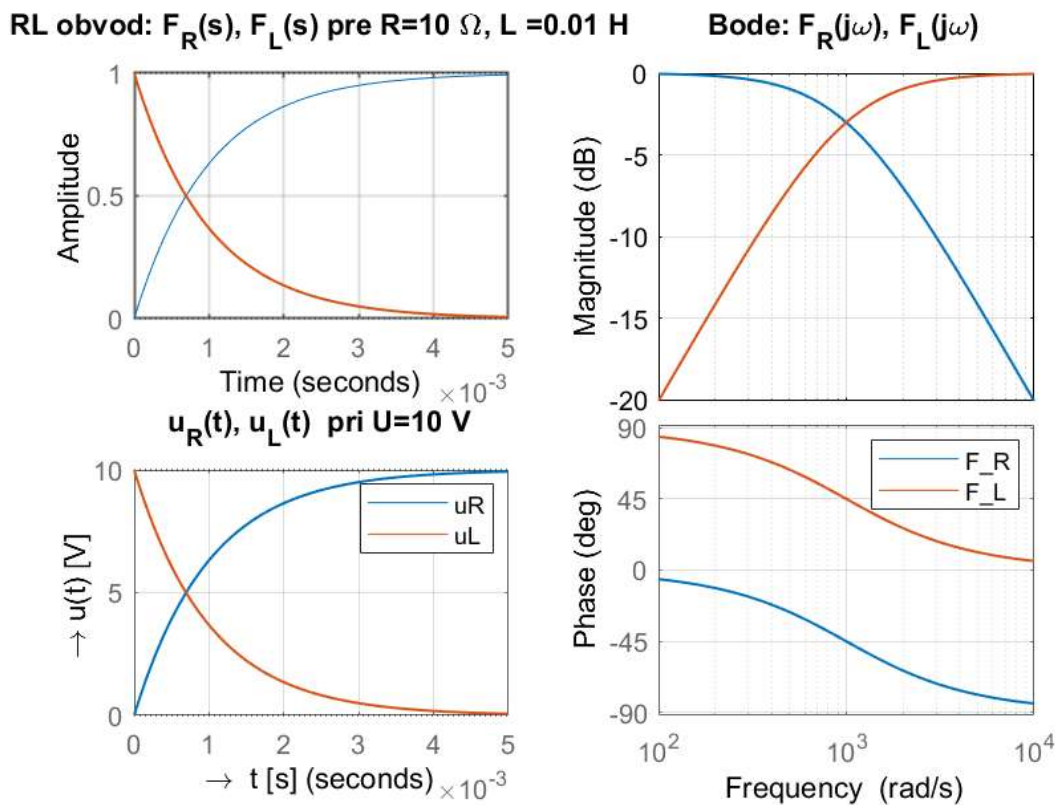
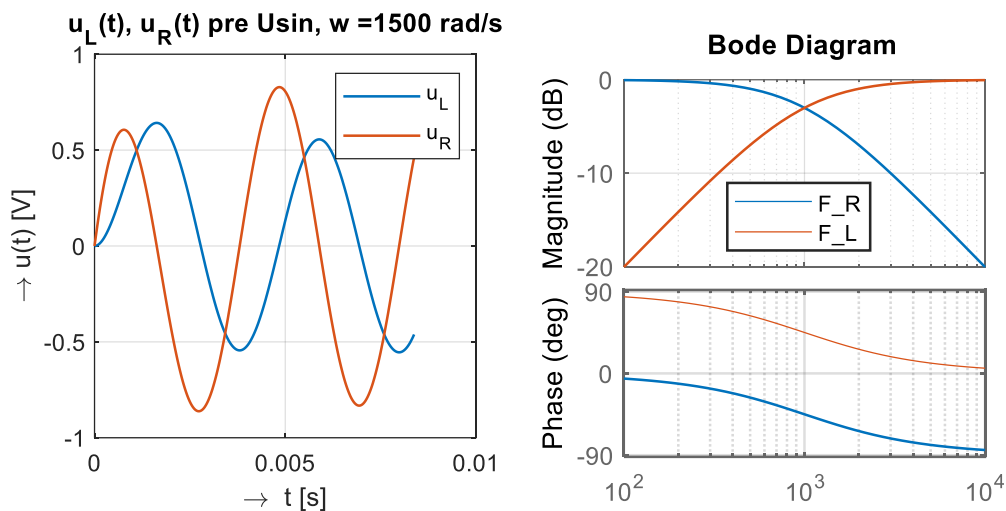
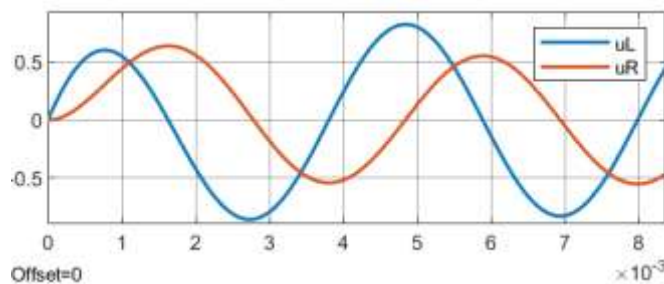


figure (2):



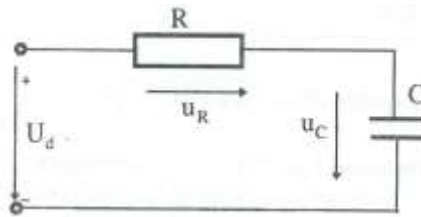
Výstup zo Simulinku pri harmonickom napájaní  
(nie je možné meniť veľkosti popisov osí, ani dať názov grafu):



## 2. Sériový RC obvod

Domáca úloha: Zostavte program podobným spôsobom pre sériový RC obvod

- 1) modelovať RC obvod a
- 2) analyzovať získané priebehy



Parametre:  $U = 10 \text{ V}$ ,  $R = 10 \Omega$ ,  $C = 100 \mu\text{F}$