

CV. 4 VÝPOČET PRENEŠOVEJ FUNKCIE VIACSLUČKOVÉHO OBVODU – RIEŠENIE METÓDOU SLUČKOVÝCH PRÚDOV

Úloha:

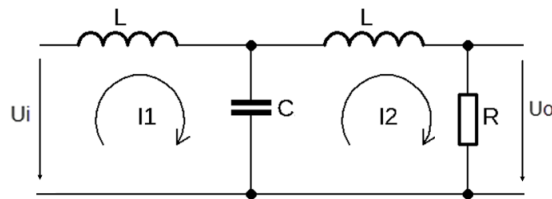
Vypočítať prenosovú funkciu dolnopriepustného filtra LCL pomocou MSP.

Overiť jeho činnosť pomocou harmonického signálu s lineárne sa zvyšujúcou sa frekvenciou privádzaného na vstup obvodu. Frekvenčná oblasť má pokrývať oblasť výrazných zmien LFCh (napr. oblasť rezonancie).

Riešenie

odvodenie impedančnej matice systému

Schéma elektrického obvodu:



Matematický model obvodu:

$$\begin{aligned} sL I_1 + \frac{1}{sC} I_1 - \frac{1}{sC} I_2 - U_i &= 0 \\ sL I_2 + \frac{1}{sC} I_2 + R I_2 - \frac{1}{sC} I_1 &= 0 \end{aligned}$$

Maticový zápis rovníc:

$$\begin{bmatrix} sL + \frac{1}{sC} & -\frac{1}{sC} \\ -\frac{1}{sC} & sL + \frac{1}{sC} + R \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_i \\ 0 \end{bmatrix}$$

Vypočítať $I_2(s)$ Cramerovým pravidlom, t.j.:

$$I_2(s) = \frac{\det \begin{bmatrix} sL + \frac{1}{sC} & U_i \\ -\frac{1}{sC} & 0 \end{bmatrix}}{\det \begin{bmatrix} sL + \frac{1}{sC} & -\frac{1}{sC} \\ -\frac{1}{sC} & sL + \frac{1}{sC} + R \end{bmatrix}} = \frac{\frac{1}{sC} U_i}{\det Z}$$

Výstupné napätie:

$$U_o(s) = R \cdot I_2(s) = \frac{R}{sC \cdot \det Z} U_i$$

Prenosová funkcia:

$$F(s) = \frac{U_o(s)}{U_i(s)}$$

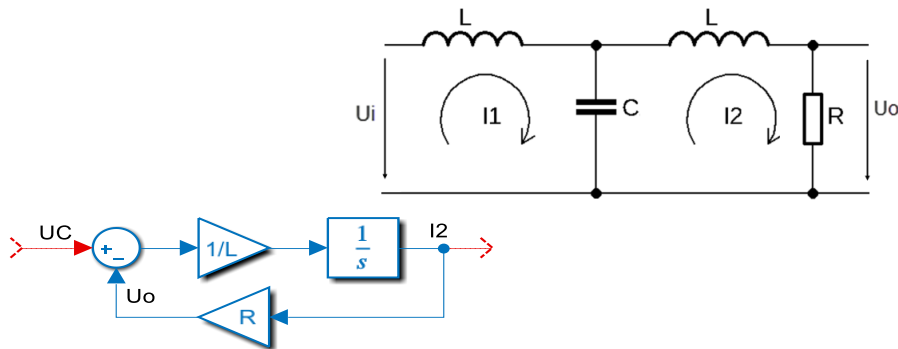
Zostavíme m-súbor v symbolickom MATLABe.

Odvodíme simulačný model obvodu v Simulinku, ktorý odštartujeme po prebehnutí m-súboru (v ktorom sú uložené parametre obvodu).

Vhodne nastavíme menu pre výstup v bloku Scope.

Pre zostavenie a popis grafov v MATLABe treba previesť signály zo Simulinku pomocou bloku To Workspace

Simulačná schéma:

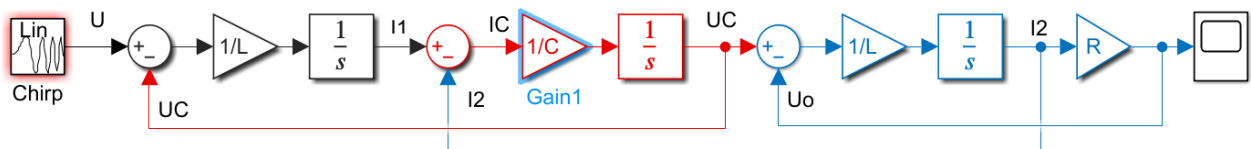


#	Rovnica	Z rovnice vyplýva	Dielčia schéma
S1	$U = sLI_1 + U_C$	$I_1 = \frac{1}{sL}(U - U_C)$	
A	$I_C = I_1 - I_2 = sCU_C$	$U_C = \frac{1}{sC}(I_1 - I_2)$	
S2	$U_C = sLI_2 + RI_2$	$I_2 = \frac{1}{sL}(U_C - RI_2)$	

kde

S1 – prvá slučka; A – spoločný uzol prvkov L, C, L; S2 – druhá slučka

Výsledná simulačná schéma v Simulinku:



Výpis programu

```
% Program pre výpočet TF pomocou symb.MATLABu (MSP). V. Fedák, 10.3.2022
% Simulácia a znázornenie PrCH a LFCH viacsľučkových obvodov
% Príklad: dvojsľučkový obvod - dolnopriepustný filter
% Zmeny veľkosti popisov osi, farby a hrúbky čiary
clear, clc, clf, format compact;
syms s R L C Ui Uo % deklarácia symbolických premenných

% Zadanie vstupných hodnôt
disp('Dolnopriepustný filter so záťažou - riešenie obvodu MSP')
Lx=50e-3; Cx=10e-6; Rx=100; Uix=10;% parametre obvodu
Tstep=0.02; wmin=1e1; wmax=1e5; % parametre pre Step a Bode
Tchirp=0.04; wminchirp=1e1; wmaxchirp=1e3; % parametre pre Chirp
```

```

Tsim=0.05 % doba simulácie v Simulinku (experimentálne určená)
color='b' % farba grafu b,r,y,m,c,k (možno meniť aj typ: 'b:', 'b--', atď.)

% Zápis systému a výpočet TF v symbolickom tvare
Z=[s*L+1/(s*C) -1/(s*C) % matica impedancií obvodu
   -1/(s*C) s*L+R+1/(s*C)];
u=[Ui;0]; % vektor napätí obvodu (i=input)
ZI2=[Z(:,1) u]; % submatica pre I2, pre I1 by to bolo: ZI1=[u Z(:,2)]
I2=det(ZI2)/det(Z); % výpočet slučkového prúdu I2 Cramerovým pravidlom
Uo=R*I2; % výstupné napätie na R2 (Ohmov zákon), (o - output)
F=Uo/Ui; % TF F(s) = Uo(s)/Ui(s) v symbolickom tvare

% Spracovanie údajov TF v symbolickom tvare pre prechod do num. MATLABu
[cit,men]=numden(F); % oddelenie polynómov čitateľa a menovateľa
cit=subs(cit,{R,L,C},{Rx,Lx,Cx}); % dosadenie hodnôt do polynómu čitateľa
men=subs(men,{R,L,C},{Rx,Lx,Cx}); % dosadenie do polynómu menovateľa
b=sym2poly(cit); % b - koeficienty polynómu čitateľa b(s)
a=sym2poly(men); % a - koeficienty polynómu menovateľa a(s)
b=double(b); % Prechod do numerickeho MATLABu
a=double(a);
F=tf(b,a) % Výsledná TF v numerickeho MATLABe
F=tf(b/a(end),a/a(end)) % TF upravená pre a0=1 (normovanie TF)

figure(1) % Vykresľovanie a popis priebehov PrCh a LFCh
subplot(121); step(F,Tstep,color), grid on,
    title('Prechodová charakteristika','FontSize',16)
    xlabel('\rightarrow T','FontSize',14)
    ylabel('\rightarrow U_{out}/U_{in}','FontSize',14)

subplot(122); bode(F,{wmin,wmax},color), grid on
    title('Frekvenčná charakteristika','fontSize',16)
    xlabel('\rightarrow \omega','FontSize',14), ylabel('\rightarrow \phi','FontSize',14)
    set(findall(gcf,'type','line'),'linewidth',1) % inštrukcia pre zmenu
    hrúbky čiary (2 body)

% Napájanie obvodu blokom chirp a riešenie v Simulinku
sim=('DPfilter_S') % pri pozorovaní výstupov na Scope otvoriť schému
                    % a štartovať ju zvlášť zo Simulinku
                    % (k tomu príslušne nastaviť menu v Scope)

```

Priebežné výpisy programu

Dôležité výpisy vo vybraných krokoch programu v MATLABe sú znázornené **červenou farbou**. Treba si všimnúť aký tvar má výpis

```

F=Uo/Ui % TF v symbolickom tvare
      F = R/(C*L^2*s^3 + C*R*L*s^2 + 2*L*s + R)
% Spracovanie údajov TF v symbolickom tvare pre prechod do num. MATLABu
[cit,men]=numden(F); % oddelenie polynómov čitateľa a menovateľa z TF
      cit = R
      men = C*L^2*s^3 + C*R*L*s^2 + 2*L*s + R
cit=subs(cit,{R,L,C},{Rx,Lx,Cx}); % dosadenie hodnôt do symb. polynómu čitateľa
      cit = 30
men=subs(men,{R,L,C},{Rx,Lx,Cx}); % dosadenie hodnôt do symb. polynómu menovateľa
      men = s^3/1000000 + (3*s^2)/100000 + s/5 + 30
b=sym2poly(cit); % vracia numericke hodnoty koeficientov symb.polynómu b(s)

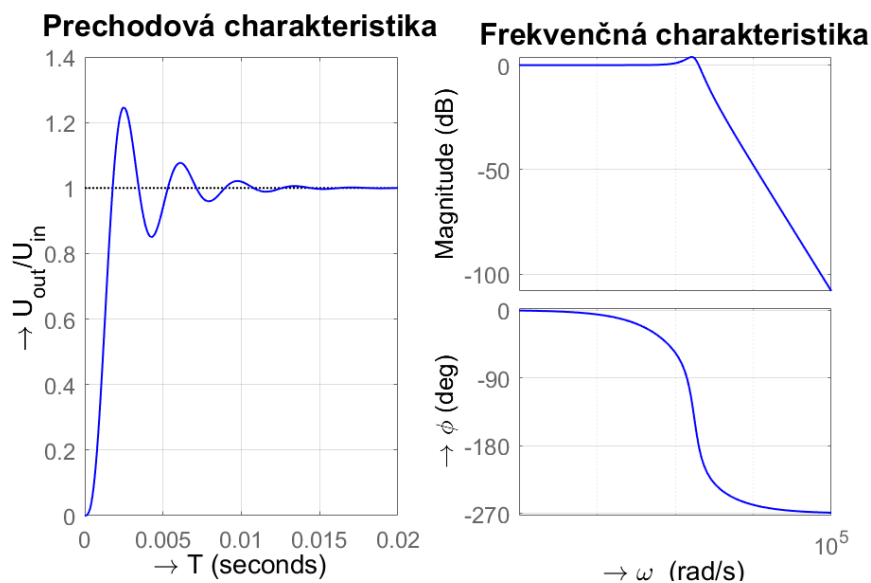
```

```

b = 30
a=sym2poly(men); % vracia numerické hodnoty koeficientov symb.polynómu a(s)
                  a = 0.0000    0.0000    0.2000    30.0000
F=tf(b,a)        % Výsledná TF v numerickom MATLABe
F =
              30
-----
1e-07 s^3 + 3e-05 s^2 + 0.2 s + 30
F=tf(b/a(end),a/a(end)) % TF upravená pre a0=1 (normovanie)
F =
              1
-----
3.333e-09 s^3 + 1e-06 s^2 + 0.006667 s + 1

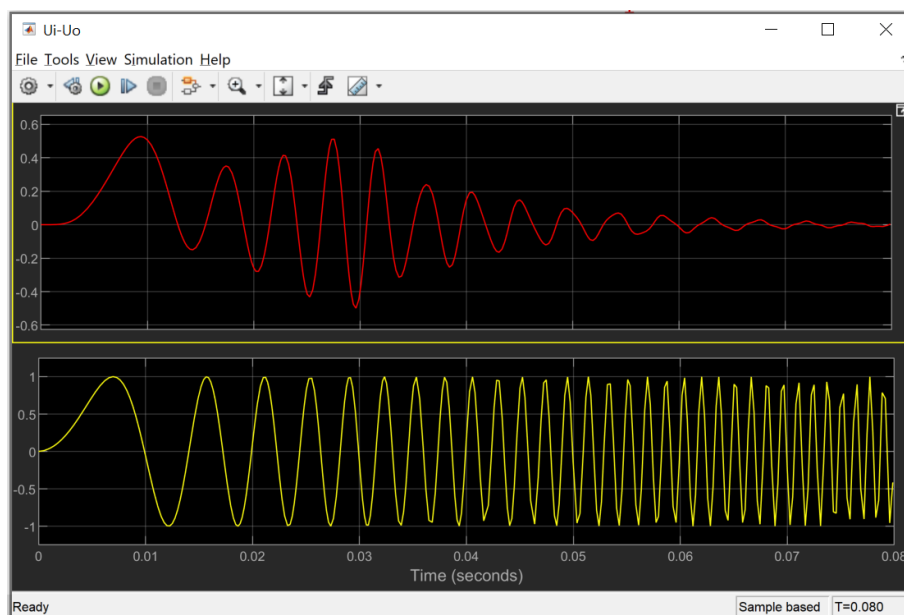
```

Grafické výstupy

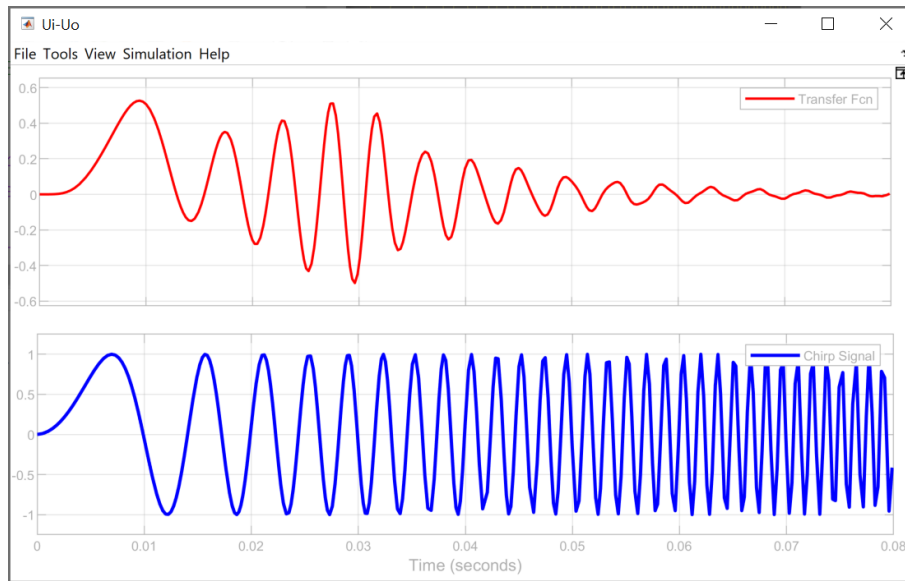


Simulácia obvodu: harmonický signál s lineárne narastajúcou frekvenciou vstupného napätia

Pôvodná obrazovka v bloku Scope

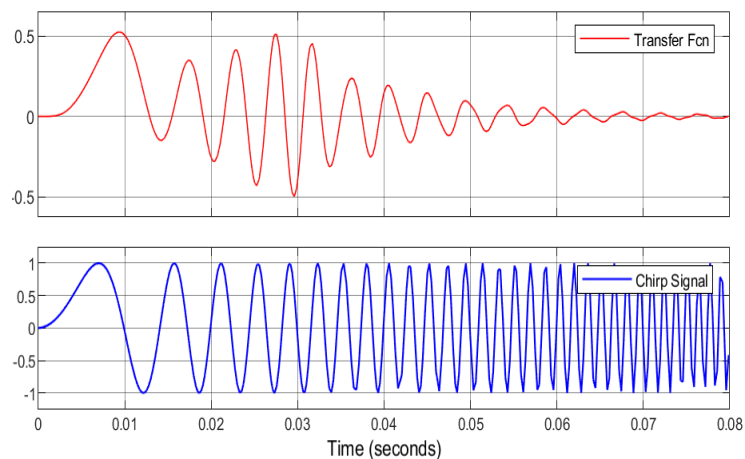


Po nastavení parametrov bloku Scope



Obrázok skopírovaný do Wordu:

(možno uložiť ako Fig – v bloku Scope File/Print to Figure a potom upravovať popisy, veľkosti a hrúbky čiar pomocou Prospecty Inspector)



Poznámka

Pre metódu uzlových napätí možno použiť ten istý program s malými modifikáciami pri zadávaní parametrov a výpočte uzlových napätí

Domáca úloha

1. Vyriešiť podobným postupom obvod pre svoje zadanie metódami MSP a MUN.
Ako výstup zatiaľ stačí iba PrCh a LFCH
2. Odvodiť simulačnú schému v Simulinku.
Na vstup dať jednotkový skok. Výsledok musí byť taký istý ako prechodová charakteristika.