



ZÁPADOČESKÁ
UNIVERZITA
V PLZNI



Řešení přechodných dějů na transformátoru v nástroji GNU Octave

Cvičení PJS

doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D., ZČU, FEL, KEE



ZÁPADOČESKÁ
UNIVERZITA
V PLZNI



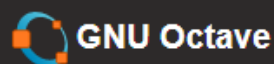
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY
V PLZNI


KATEDRA
ELEKTROENERGETIKY


Výpočet přechodného děje na transformátoru


Pro výpočet přechodného děje zapnutí do stavu nakrátko využít simulační nástroj GNU Octave:


<https://www.gnu.org/software/octave/index>




 About

 Bugs

 Donate

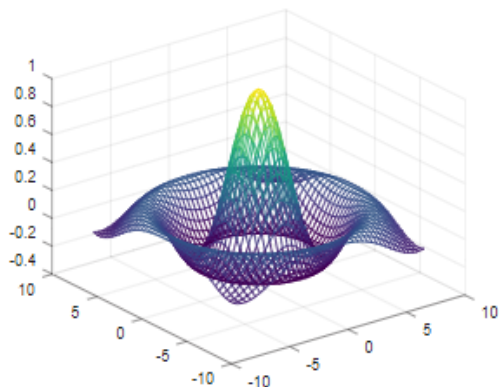
 Download

 Get Involved

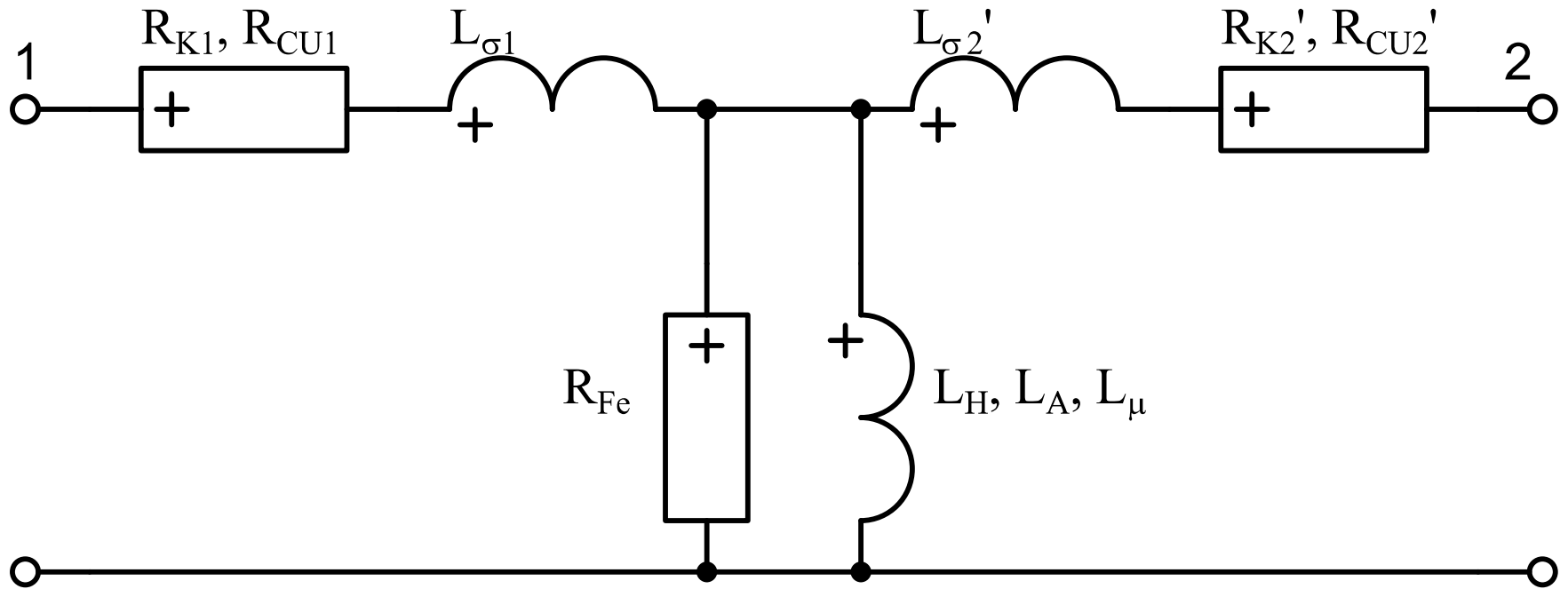


Scientific Programming Language

- Powerful mathematics-oriented syntax with built-in 2D/3D plotting and visualization tools
- Free software, runs on GNU/Linux, macOS, BSD, and Microsoft Windows
- Drop-in compatible with many Matlab scripts



Náhradní schéma transformátoru



Parametry transformátoru

$$u_K = 10 \%$$

$$i_0 = 1 \%$$

$$U_{N1} = 110 \text{ kV}$$

$$U_{N2} = 22 \text{ kV}$$

$$S_{NT} = 10 \text{ MVA}$$

$$\Delta P_0 = 0.3 \%$$

$$\Delta P_K = 1.0 \%$$

$$U_{kp} = 10 ;$$

$$I_0p = 1 ;$$

$$U_{n1} = 110 ;$$

$$U_{n2} = 22 ;$$

$$S_{nt} = 10 ;$$

$$dP_0p = 0.3 ;$$

$$dP_{kp} = 1 ;$$

Parametry transformátoru

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

$$R_K = r_K Z_{NT} = \frac{\Delta p_{K\%}}{100} \cdot \frac{U_{N1}^2}{S_{NT}}$$

$$R_{K1} = \frac{R_K}{2}$$

$$Z_K = z_K Z_{NT} = \frac{u_{K\%}}{100} \cdot \frac{U_{N1}^2}{S_{NT}}$$

$$X_\sigma = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2}$$

$$L_\sigma = \frac{X_\sigma}{\omega} \quad L_{\sigma 1} = \frac{L_\sigma}{2}$$

$$G_{Fe} = g_{Fe} Y_{NT} = \frac{\Delta p_{0\%}}{100} \cdot \frac{S_{NT}}{U_{N1}^2}$$

$$R_{Fe} = G_{Fe}^{-1}$$

$$Y_0 = y_0 Y_{NT} = \frac{i_{0\%}}{100} \cdot \frac{S_{NT}}{U_{N1}^2}$$

$$X_H = \left(\sqrt{Y_0^2 - G_{Fe}^2} \right)^{-1} \quad L_H = \frac{X_H}{\omega}$$

frekv=50;

omega=2*pi*frekv;

Rk= (dPkp/100) * (Un1^2/Snt) ;

Rk1=Rk/2 ;

Zk= (Ukp/100) * (Un1^2/Snt) ;

Xs=sqrt (Zk^2-Rk^2) ;

Ls=Xs/omega ;

Ls1=Ls/2 ;

Gfe= (dP0p/100) * (Snt/Un1^2) ;

Rfe=1/Gfe ;

Y0= (I0p/100) * (Snt/Un1^2) ;

Xh=1/sqrt (Y0^2-Gfe^2) ;

Lh=Xh/omega ;

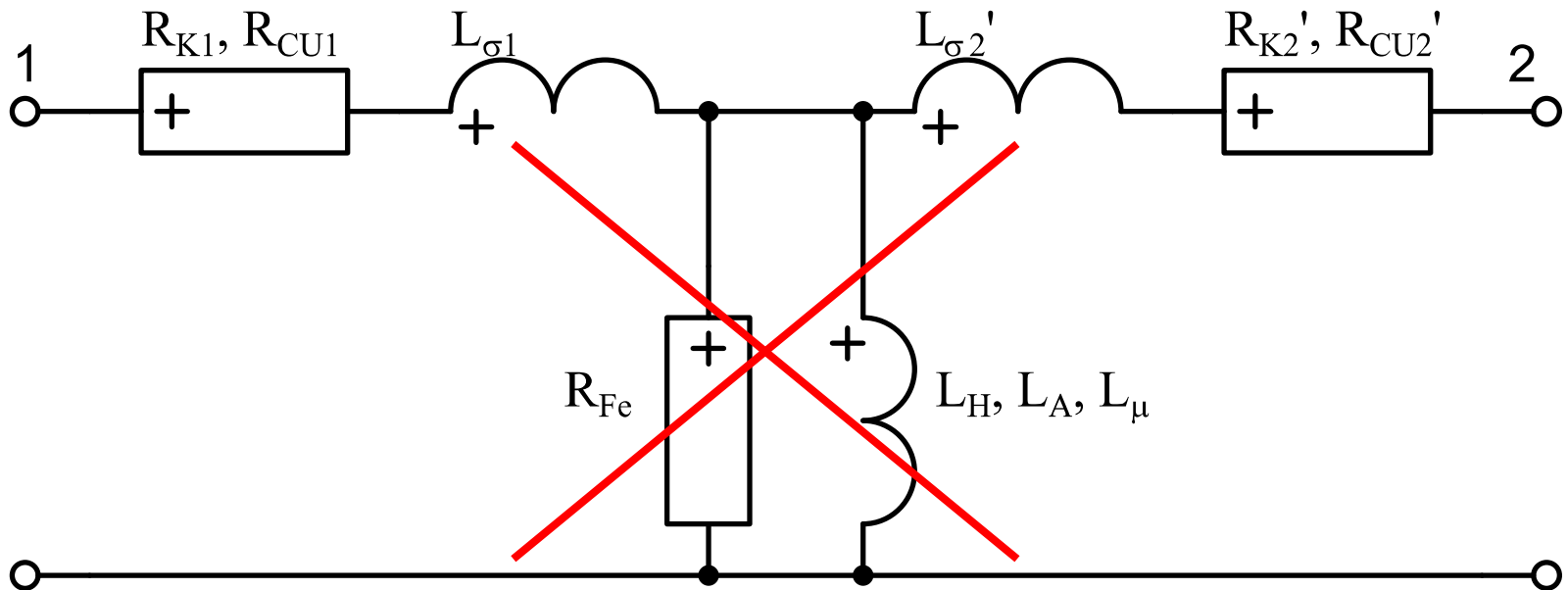
Transformátor nakrátko

Řešení numerickou metodou se zanedbáním příčné části:

$$L_{\sigma} \frac{di_K}{dt} + i_K \cdot R_K = \frac{u_K [\%]}{100} U_m \sin(\omega \cdot t) \quad U_m = \frac{U_n}{\sqrt{3}} \sqrt{2}$$



$$\frac{di_K}{dt} = \frac{\frac{u_K [\%]}{100} U_m \sin(\omega \cdot t) - i_K \cdot R_K}{L_{\sigma}}$$



Transformátor nakrátko

Řešení numerickou metodou se zanedbáním příčné části:

$$L_{\sigma} \frac{di_K}{dt} + i_K \cdot R_K = \frac{u_K [\%]}{100} U_m \sin(\omega \cdot t) \quad U_m = \frac{U_n}{\sqrt{3}} \sqrt{2}$$



$$\frac{di_K}{dt} = \frac{\frac{u_K [\%]}{100} U_m \sin(\omega \cdot t) - i_K \cdot R_K}{L_{\sigma}}$$

% Reseni prubehu proudu nakratko numerickou metodou

```
f1kcc = @(t,y) [(Un1/sqrt(3)*sqrt(2)*Ukp/100*sin(omega*t) -y*Rk)/Ls];
```

```
tspan = 0 : 0.0001 : 0.1;
```

```
y0 = 0;
```

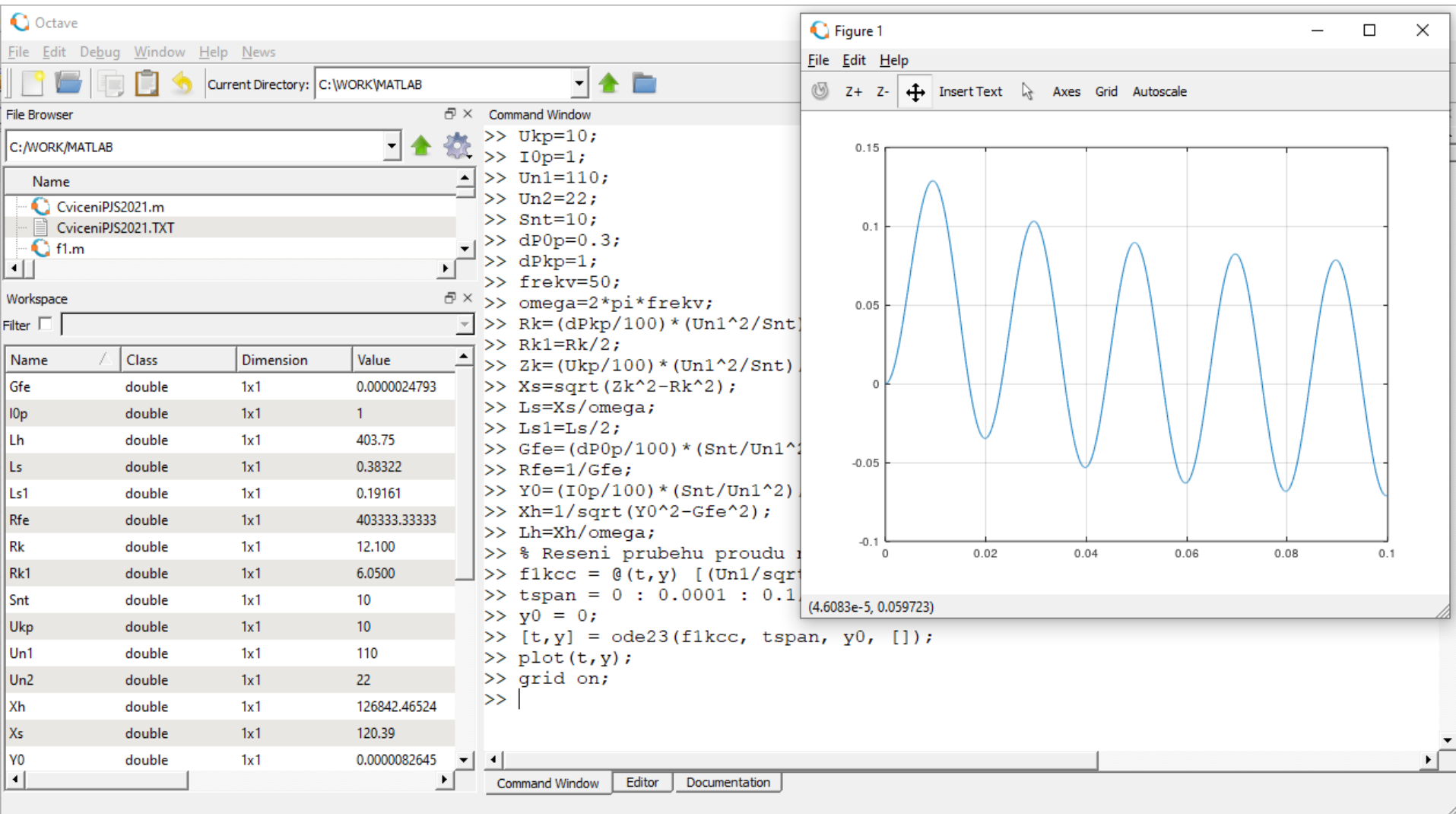
```
[t,y] = ode23(f1kcc, tspan, y0, []);
```

```
plot(t,y);
```

```
grid on;
```

Zpracování pomocí integrační metody pro ODE

Transformátor nakrátko



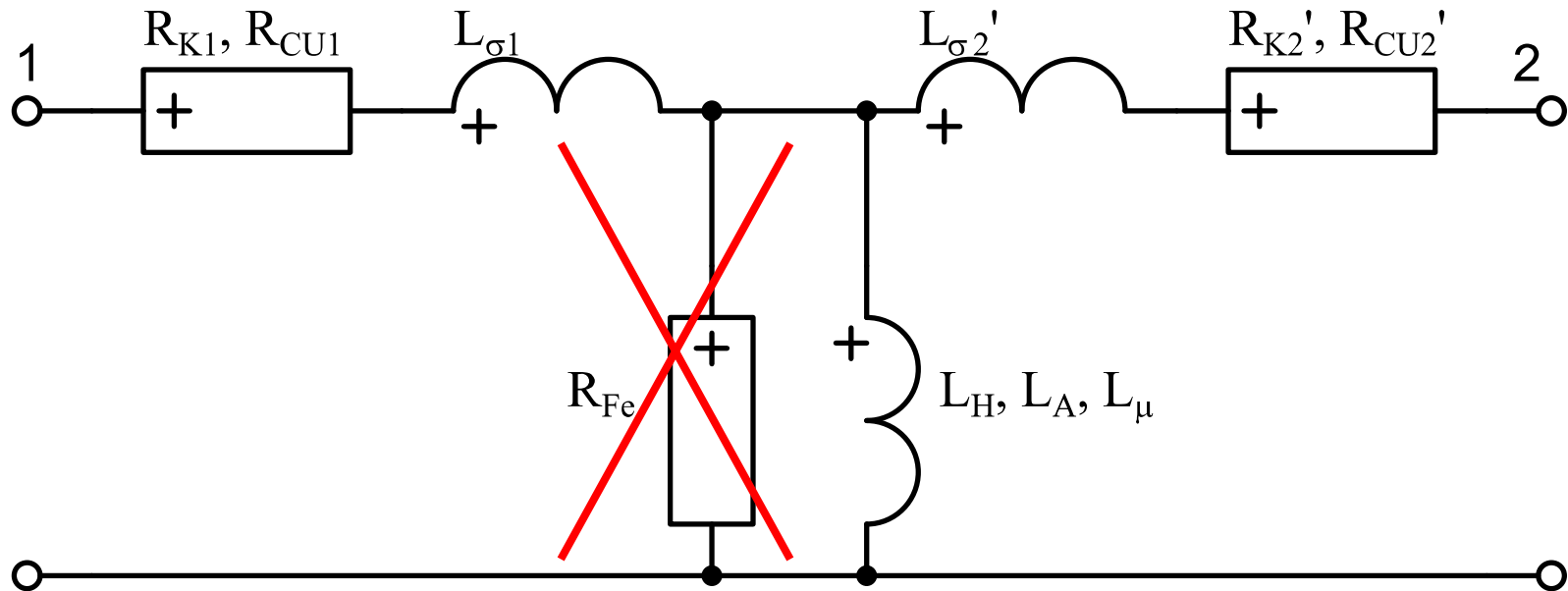
Zpracování pomocí integrační metody pro ODE

Transformátor nakrátko

Řešení numerickou metodou bez zanedbání L_H :

$$\frac{L_\sigma}{2} \frac{di_1}{dt} + i_1 \cdot \frac{R_K}{2} + L_h \frac{di_1}{dt} - L_h \frac{di_2}{dt} = \frac{u_K [\%]}{100} U_m \sin(\omega \cdot t)$$

$$-L_h \frac{di_1}{dt} + L_h \frac{di_2}{dt} + \frac{L_\sigma}{2} \frac{di_2}{dt} + i_2 \cdot \frac{R_K}{2} = 0 \quad \rightarrow$$



Transformátor nakrátko

Řešení numerickou metodou bez zanedbání L_H :

$$\frac{L_\sigma}{2} \frac{di_1}{dt} + i_1 \cdot \frac{R_K}{2} + L_h \frac{di_1}{dt} - L_h \frac{di_2}{dt} = \frac{u_K [\%]}{100} U_m \sin(\omega \cdot t)$$
$$- L_h \frac{di_1}{dt} + L_h \frac{di_2}{dt} + \frac{L_\sigma}{2} \frac{di_2}{dt} + i_2 \cdot \frac{R_K}{2} = 0 \quad \rightarrow$$

$$P_1 = \frac{L_\sigma}{2} + L_h \quad P_2 = \frac{L_\sigma}{2} + L_h - \frac{L_h^2}{P_1}$$

$$\frac{di_1}{dt} = \frac{\frac{u_K [\%]}{100} U_m \sin(\omega \cdot t) - i_1 \cdot \frac{R_K}{2} - L_h \cdot i_2 \cdot \frac{R_K}{2} \cdot \frac{1}{P_1}}{P_2}$$

$$\frac{di_2}{dt} = \frac{\frac{L_h \cdot \frac{u_K [\%]}{100} U_m \sin(\omega \cdot t)}{P_1} - \frac{L_h \cdot i_1 \cdot \frac{R_K}{2}}{P_1} - i_2 \cdot \frac{R_K}{2}}{P_2}$$

Transformátor nakrátko

$$P_1 = \frac{L_\sigma}{2} + L_h$$

$$P_2 = \frac{L_\sigma}{2} + L_h - \frac{L_h^2}{P_1}$$

$$\frac{di_1}{dt} = \frac{\frac{u_K[\%]}{100} U_m \sin(\omega \cdot t) - i_1 \cdot \frac{R_K}{2} - L_h \cdot i_2 \frac{R_K}{2} \cdot \frac{1}{P_1}}{P_2}$$

$$\frac{di_2}{dt} = \frac{\frac{L_h \cdot u_K[\%]}{100} U_m \sin(\omega \cdot t) - \frac{L_h \cdot i_1 \cdot \frac{R_K}{2}}{P_1} - i_2 \frac{R_K}{2}}{P_2}$$



```
function ydot = f2(t,y)
```

```
Un1=110;
```

```
Ukp=10;
```

```
Um=Un1/sqrt(3)*sqrt(2);
```

```
omega=314.16;
```

```
Rk = 12.100;
```

```
Ls = 0.38322;
```

```
Lh = 403.75;
```

```
pom1=Ls/2+Lh;
```

```
pom2=Ls/2+Lh-Lh^2/pom1;
```

```
ydot=zeros(2,1);
```

```
ydot(1)=(Ukp/100*Um*sin(omega*t)-y(1)*Rk/2-Lh*y(2)*Rk/2/pom1)/pom2;
```

```
ydot(2)=(Lh*Ukp/100*Um*sin(omega*t)/pom1-Lh*y(1)*Rk/2/pom1-y(2)*Rk/2)/pom2;
```

```
tspan = 0 : 0.0001 : 0.1;
```

```
y0 = [0; 0];
```

```
[t,y] = ode23(@f2, tspan, y0, []);
```

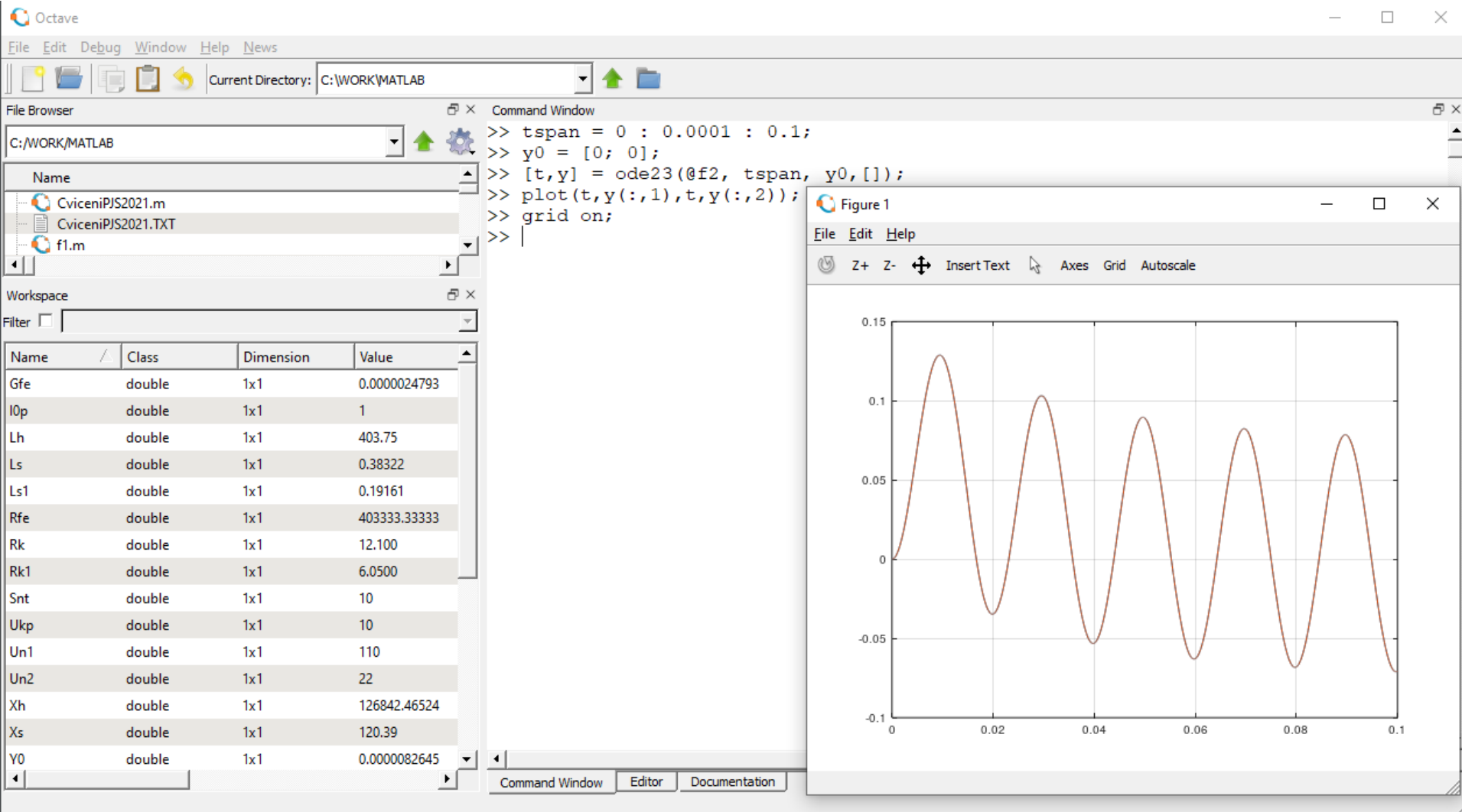
```
plot(t,y(:,1),t,y(:,2));
```

```
grid on;
```

Zpracování pomocí integrační metody pro ODE

Transformátor nakrátko

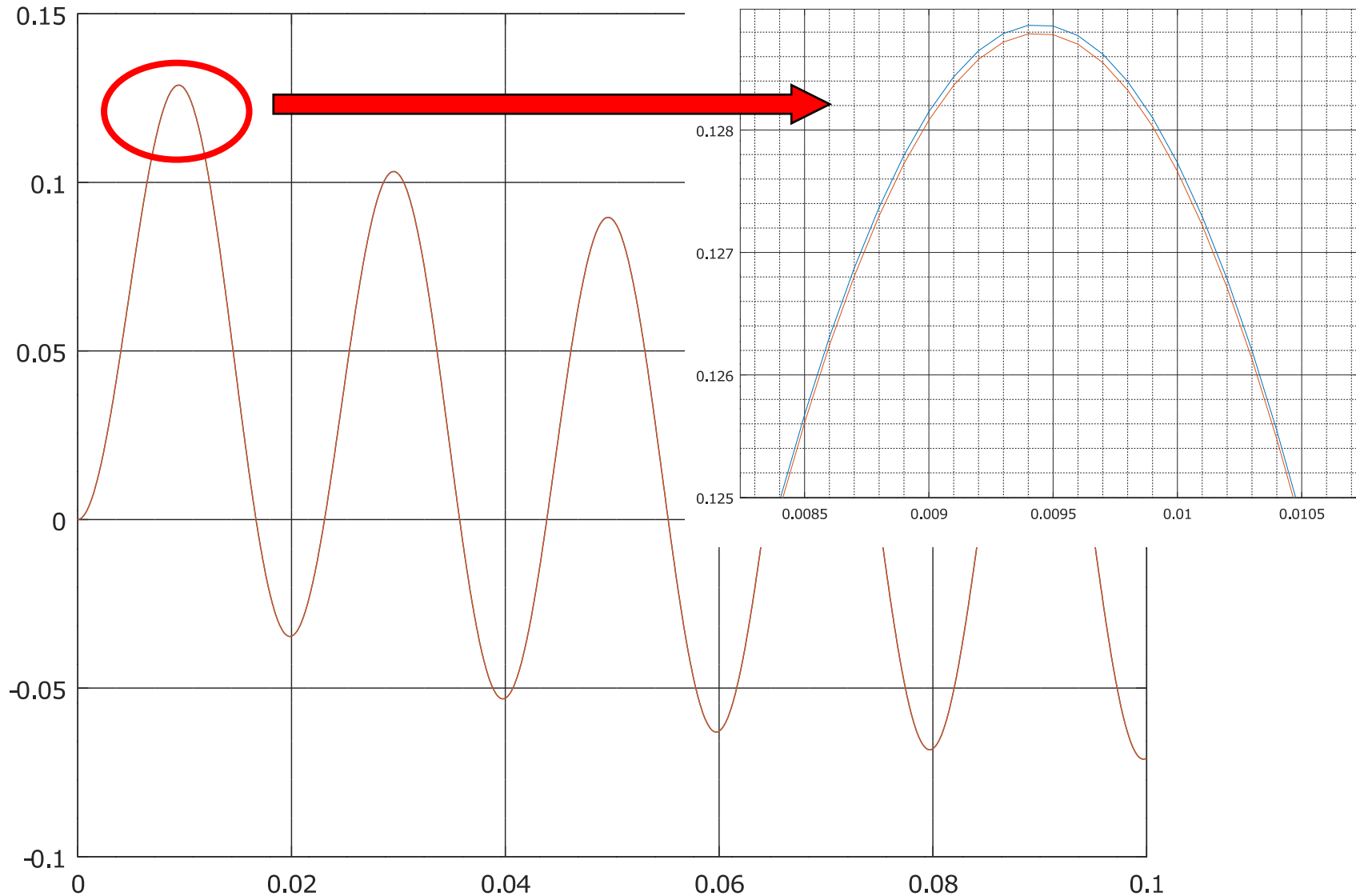
Řešení numerickou metodou bez zanedbání L_H :



Zpracování pomocí integrační metody pro ODE

Transformátor nakrátko

Řešení numerickou metodou bez zanedbání L_H :



Zpracování pomocí integrační metody pro ODE

Transformátor nakrátko

Řešení implicitní numerickou metodou bez zanedbání L_H :

$$\frac{L_\sigma}{2} \frac{di_1}{dt} + i_1 \cdot \frac{R_K}{2} + L_h \frac{di_1}{dt} - L_h \frac{di_2}{dt} = \frac{u_K [\%]}{100} U_m \sin(\omega \cdot t)$$

$$-L_h \frac{di_1}{dt} + L_h \frac{di_2}{dt} + \frac{L_\sigma}{2} \frac{di_2}{dt} + i_2 \cdot \frac{R_K}{2} = 0 \quad \rightarrow$$

$$P_1 = \frac{L_\sigma}{2} + L_h \qquad P_2 = \frac{L_\sigma}{2} + L_h - \frac{L_h^2}{P_1}$$

$$\frac{di_1}{dt} = \frac{\frac{u_K [\%]}{100} U_m \sin(\omega \cdot t) - i_1 \cdot \frac{R_K}{2} - L_h \cdot i_2 \cdot \frac{R_K}{2} \cdot \frac{1}{P_1}}{P_2}$$

$$\frac{di_2}{dt} = \frac{\frac{L_h \cdot \frac{u_K [\%]}{100} U_m \sin(\omega \cdot t)}{P_1} - \frac{L_h \cdot i_1 \cdot \frac{R_K}{2}}{P_1} - i_2 \cdot \frac{R_K}{2}}{P_2}$$

Transformátor nakrátko

Řešení implicitní numerickou metodou bez zanedbání L_H :

$$L_{\sigma 1} \frac{di_1}{dt} + i_1 \cdot R_{K1} + L_h \frac{di_1}{dt} - L_h \frac{di_2}{dt} = U_{km} \sin(\omega \cdot t)$$

$$U_{km} = \frac{u_K [\%]}{100} U_m$$

$$-L_h \frac{di_1}{dt} + L_h \frac{di_2}{dt} + L_{\sigma 1} \frac{di_2}{dt} + i_2 \cdot R_{K1} = 0 \quad \rightarrow$$

```
Ukm=Ukp/100*Un1/sqrt(3)*sqrt(2);
tspan = 0 : 0.0001 : 0.1;
y0 = [0; 0];
yp0 = [0; 0];

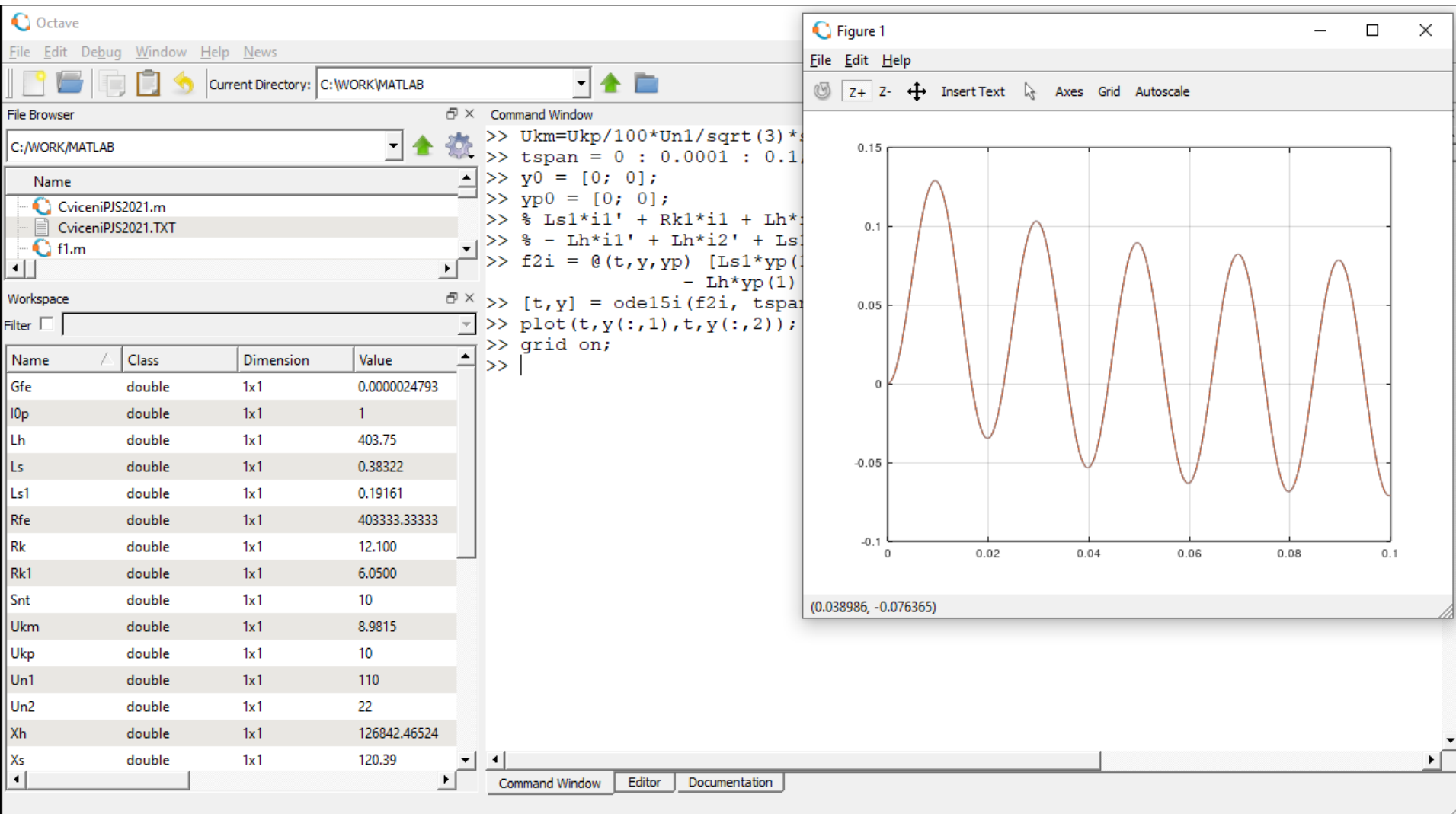
% Ls1*i1' + Rk1*i1 + Lh*i1' + Lh*i2' = Ukm*sin(omega*t)
% - Lh*i1' + Lh*i2' + Ls1*i2' + Rk1*i2 = 0
f2i = @(t,y,yp) [Ls1*yp(1) + Rk1*y(1) + Lh*yp(1) - Lh*yp(2) - Ukm*sin(omega*t)
                - Lh*yp(1) + Lh*yp(2) + Ls1*yp(2) + Rk1*y(2)];
[t,y] = ode15i(f2i, tspan, y0, yp0);

plot(t,y(:,1),t,y(:,2));
grid on;
```

Zpracování pomocí soustavy implicitních diferenciálních rovnic

Transformátor nakrátko

Řešení implicitní numerickou metodou bez zanedbání L_H :



Zpracování pomocí soustavy implicitních diferenciálních rovnic