ZÁPADOČESKÁ
UNIVERZITA
V PLZNI

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
ZČU V PLZNI

Řešení přechodných dějů na transformátoru v nástroji Open Modelica

Cvičení PJS

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

ZÁPADOČESKÁ
UNIVERZITA
V PLZNI

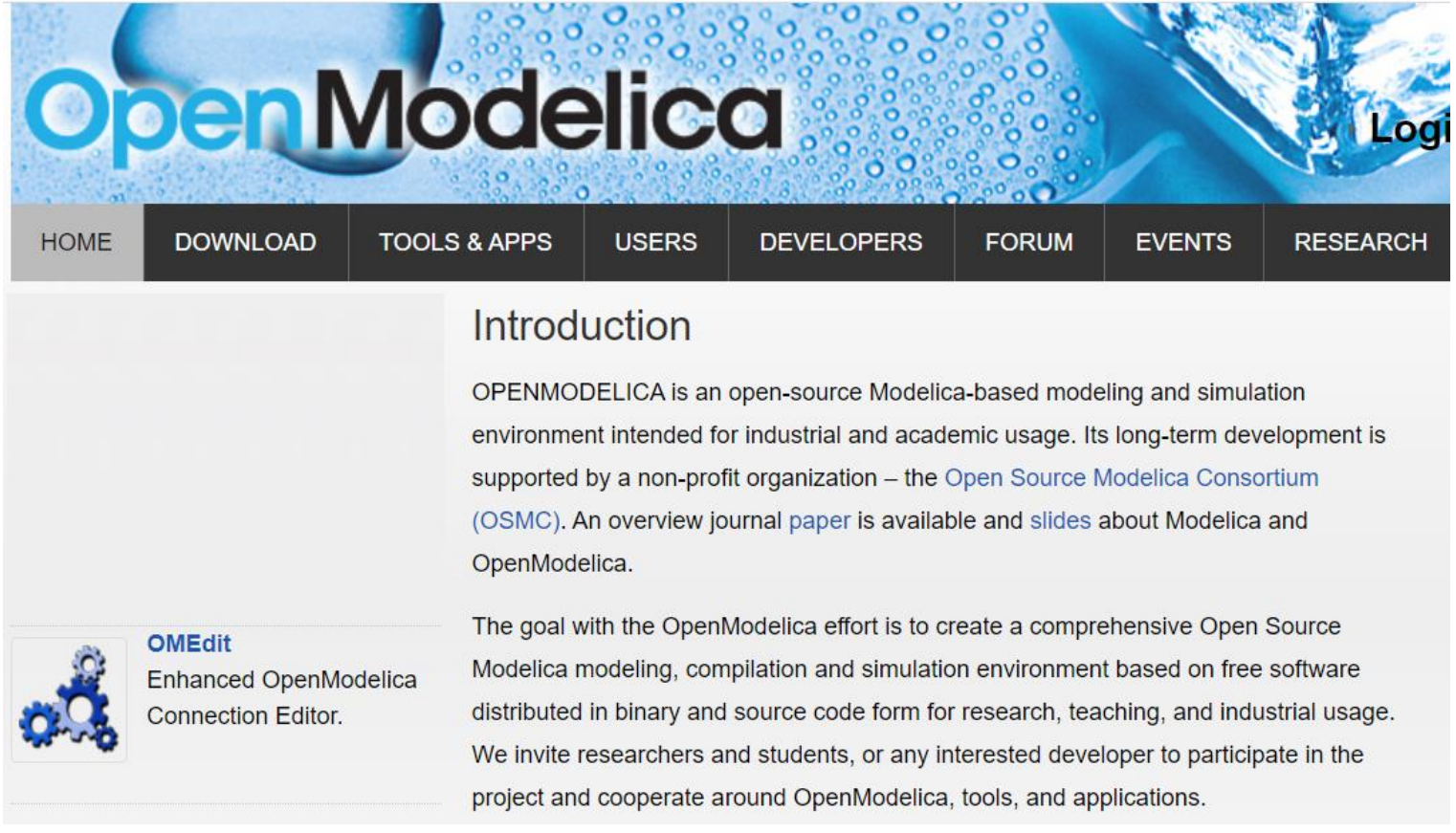
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY
V PLZNI

KATEDRA
ELEKTROENERGETIKY

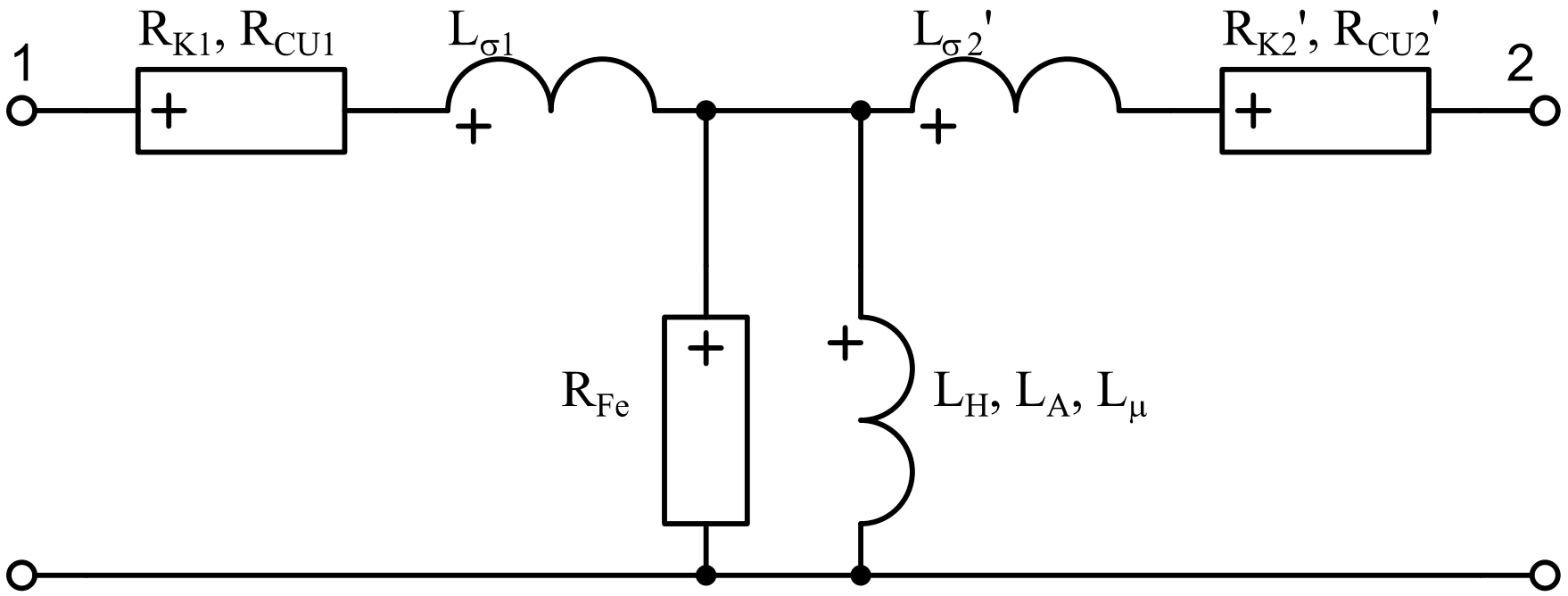
Výpočet přechodného děje na transformátoru

Pro výpočet přechodného děje zapnutí do stavu nakrátko využit simulační nástroj OpenModelica a prostředí OMEdit:

https://openmodelica.org/



Náhradní schéma transformátoru



Parametry transformátoru

$u_K = 10\,\%$

$i_0 = 1\,\%$

$U_{N1} = 110\ kV$

$U_{N2} = 22\ kV$

$S_{NT} = 10\ MVA$

$\Delta P_0 = 0.3\,\%$

$\Delta P_K = 1.0\,\%$

```
Ukp=10;
I0p=1;
Un1=110;
Un2=22;
Snt=10;

dP0p=0.3;
dPkp=1;
```

Parametry transformátoru

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

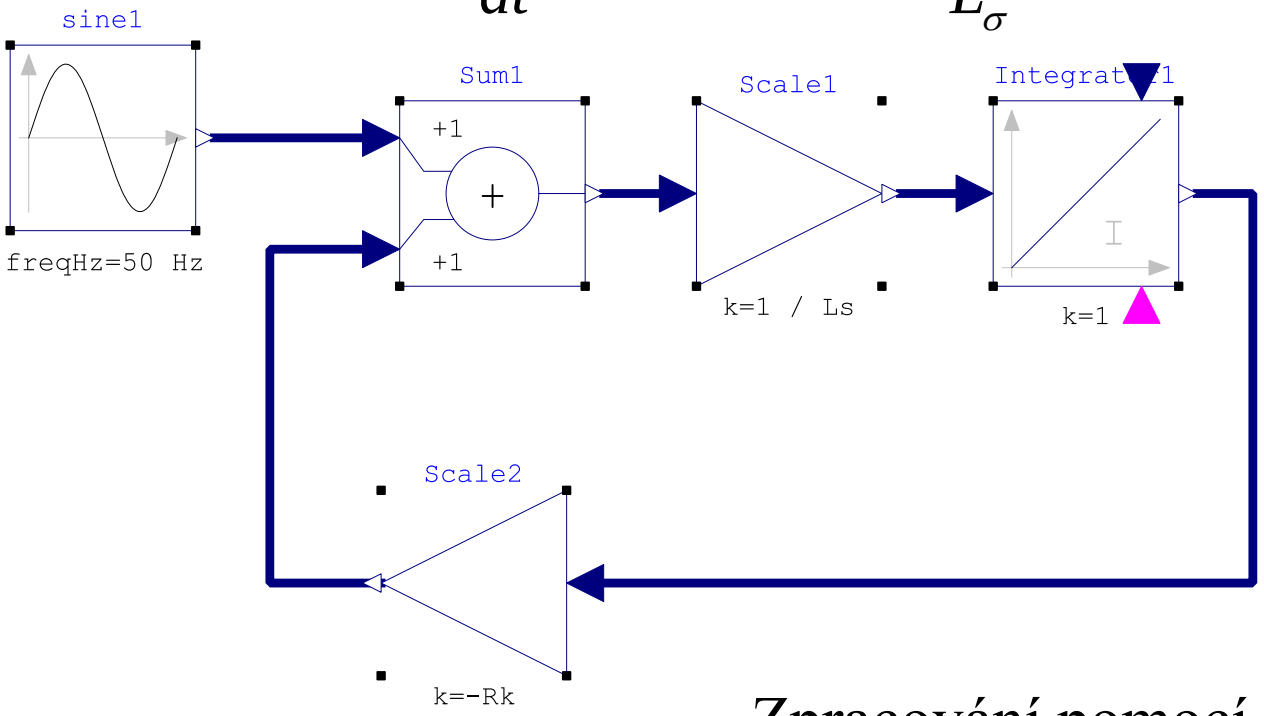
```
frekv=50;
omega=2*pi*frekv;

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

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

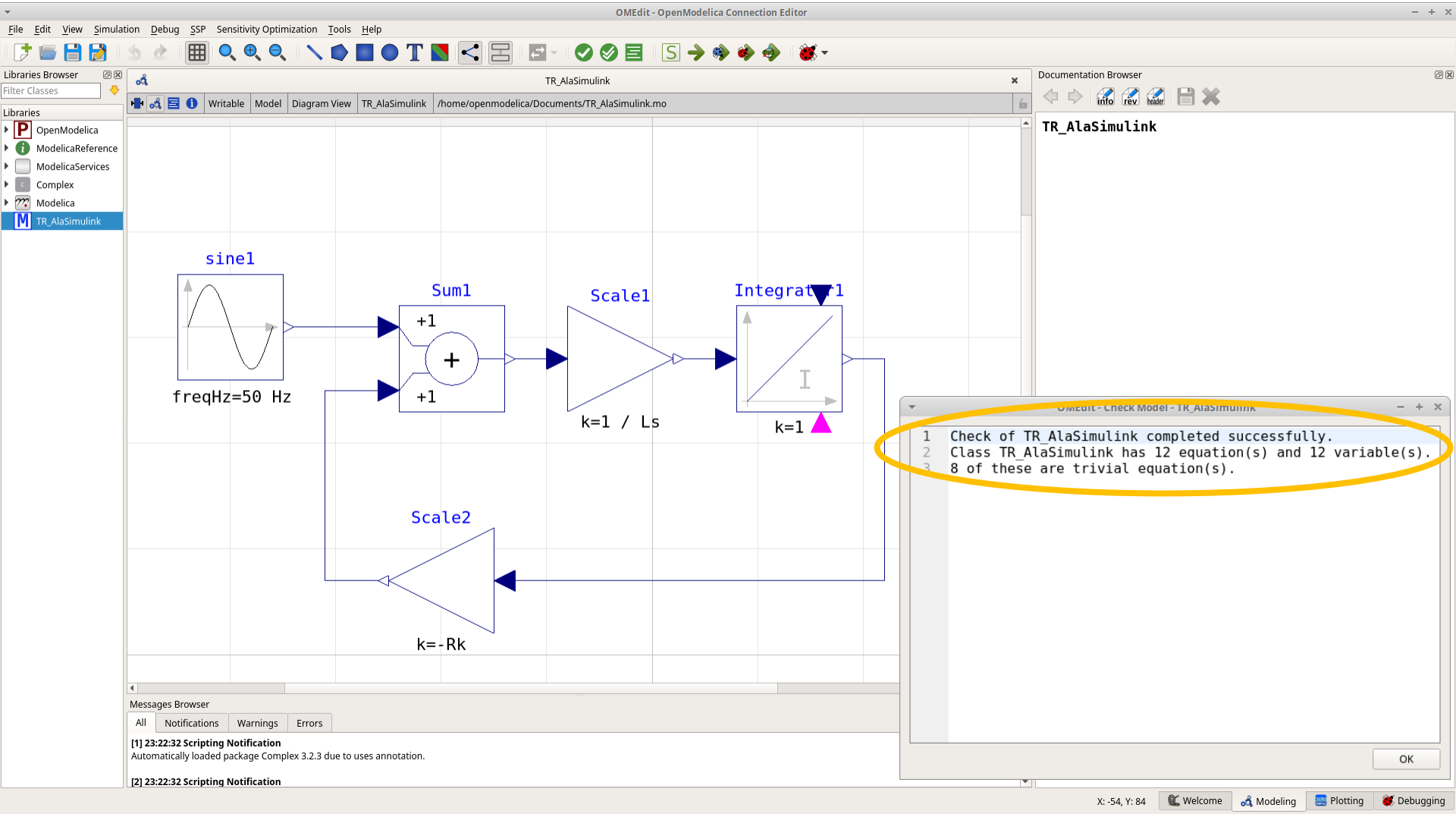
$$U_m = \frac{U_n}{\sqrt{3}} \sqrt{2}$$

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



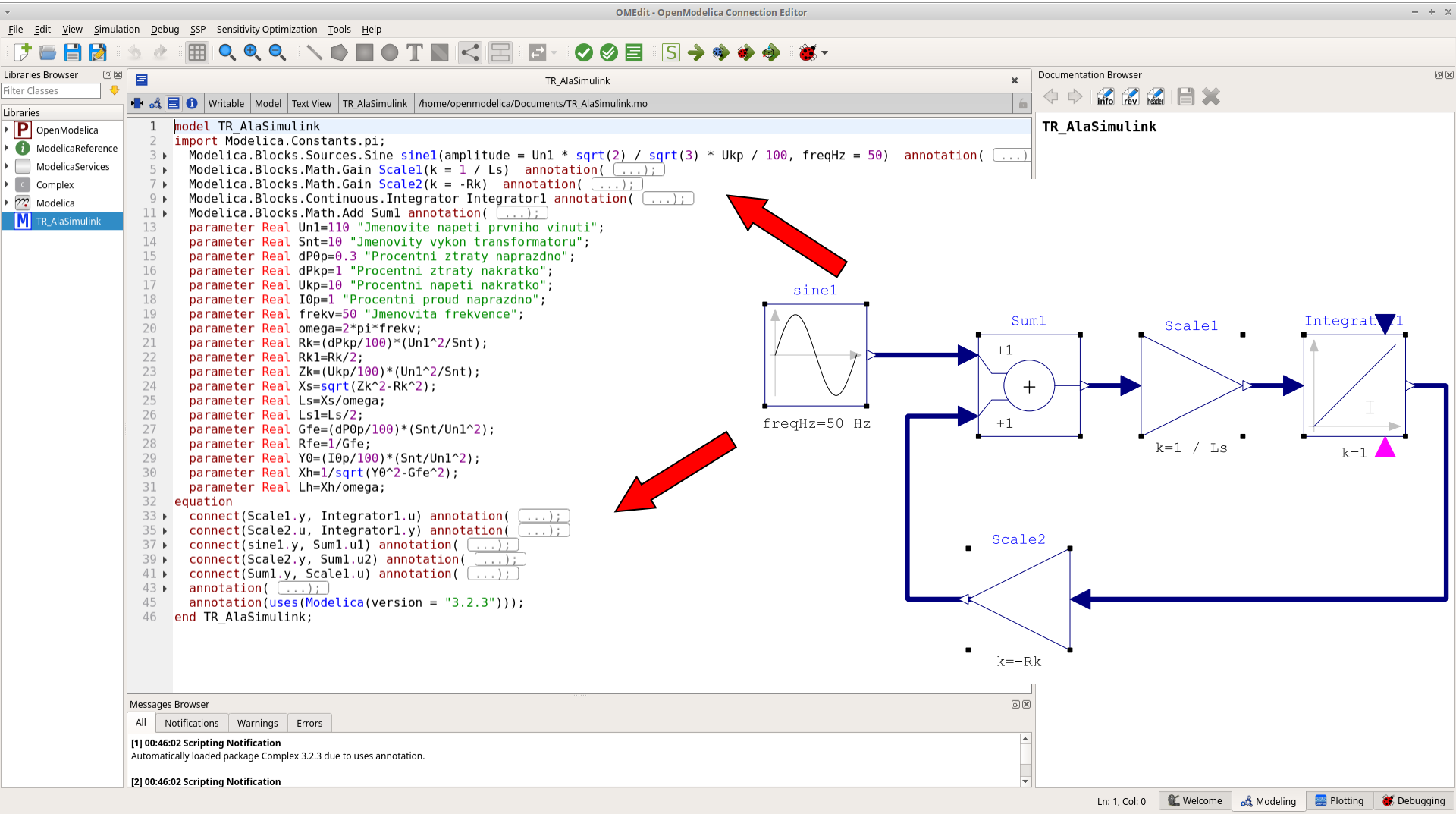
Zpracování pomocí bloků ala Simulink

Transformátor nakrátko



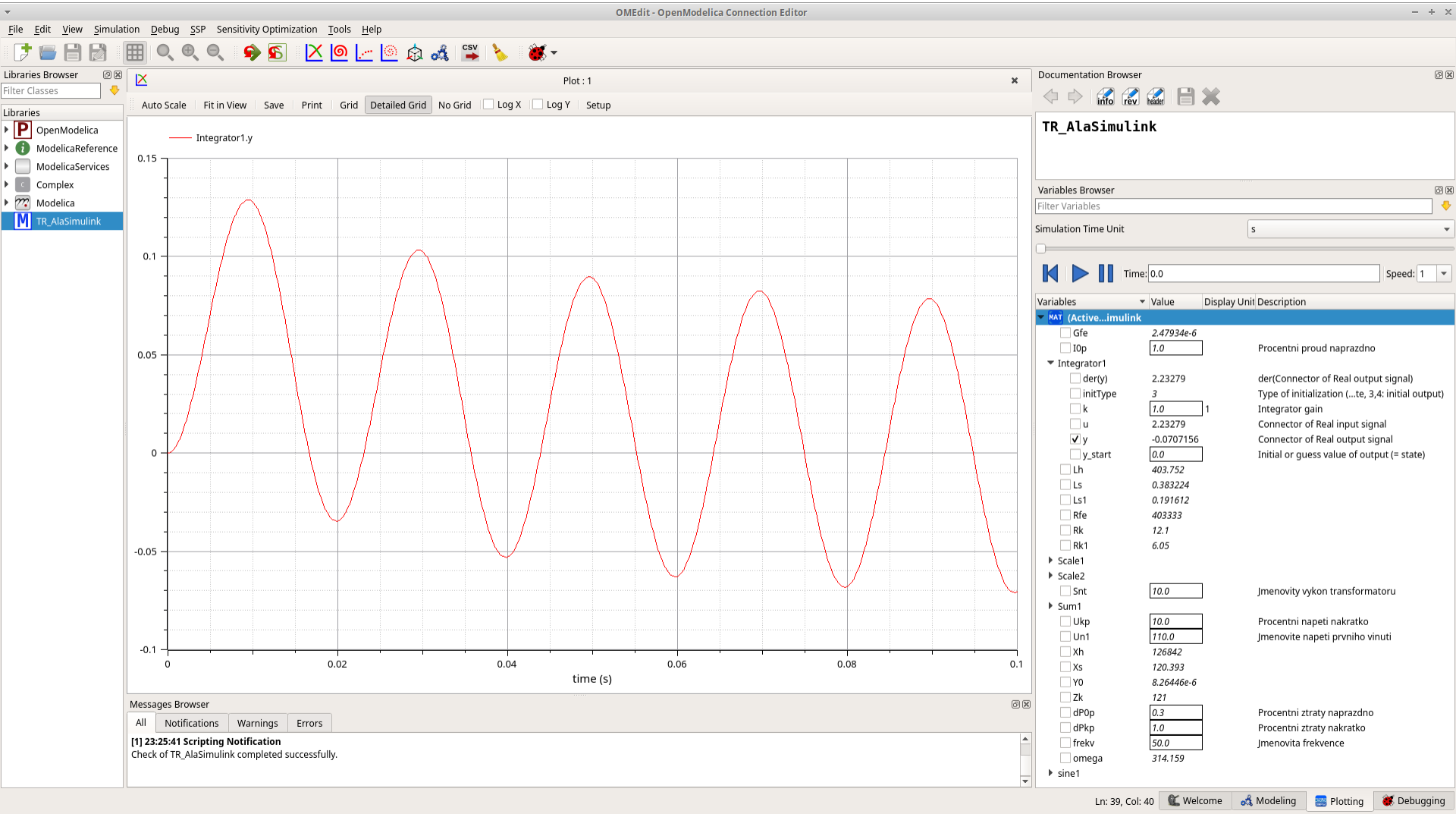
Zpracování pomocí bloků ala Simulink

Transformátor nakrátko



Zpracování pomocí bloků ala Simulink

Transformátor nakrátko



Zpracování pomocí bloků ala Simulink

Transformátor nakrátko

Řešení implicitní numerickou metodou bez zanedbání L_H:

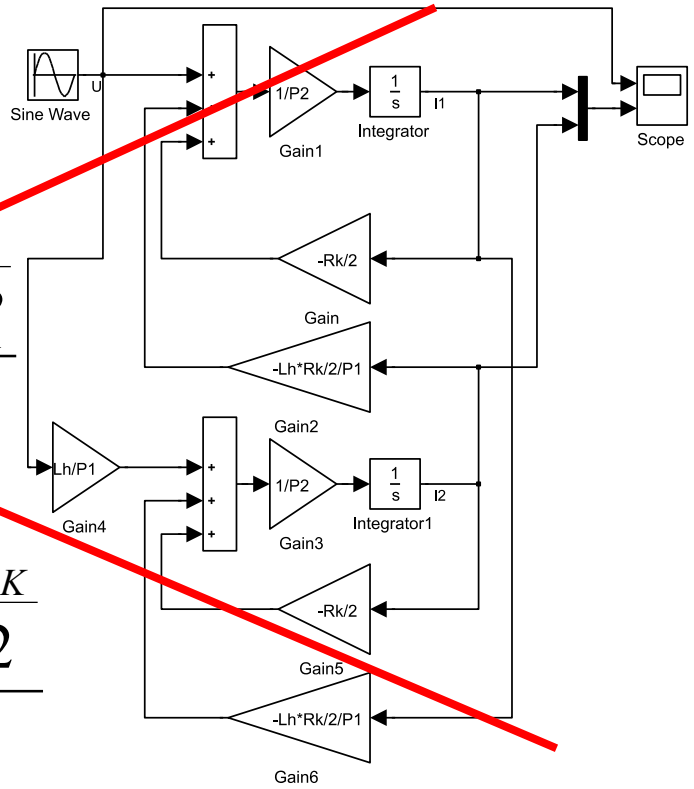
$$\frac{L_\sigma}{2}\frac{di_1}{dt} + i_1 \cdot \frac{R_K}{2} + L_h \frac{di_1}{dt} - L_h \frac{di_2}{dt} = \frac{u_K[\%]}{100} U_m \sin(\omega \cdot t)$$

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

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

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

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



Transformátor nakrátko

Řešení implicitní numerickou metodou bez zanedbání L_H:

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

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

Ls1*der(i1) + Rk1*i1 + Lh*der(i1) -

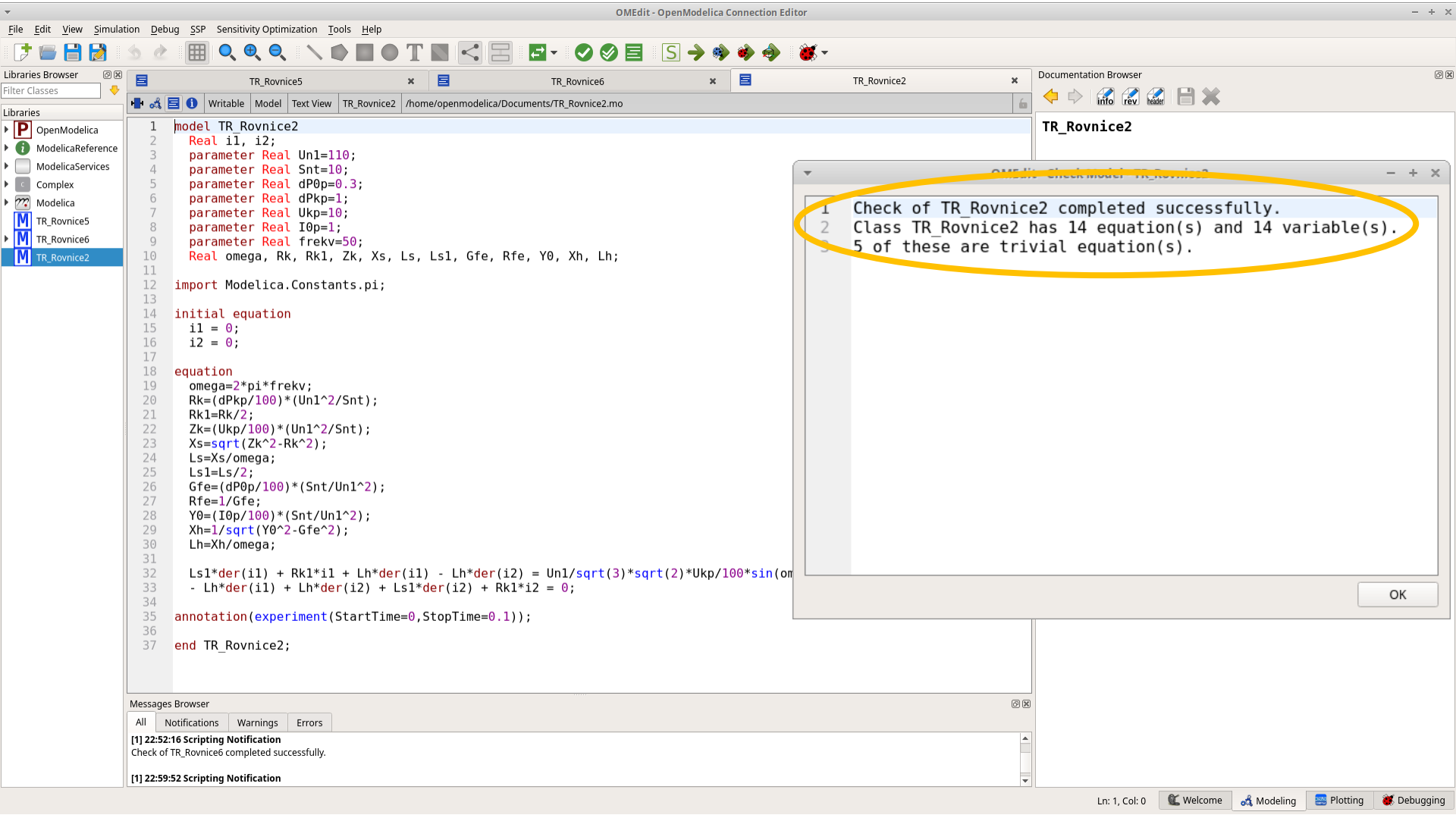
Lh*der(i2) = Un1/sqrt(3)*sqrt(2)*Ukp/100*sin(omega*time);

- Lh*der(i1) + Lh*der(i2) + Ls1*der(i2) + Rk1*i2 = 0;

Zpracování pomocí soustavy implicitních diferenciálních rovnic

Transformátor nakrátko

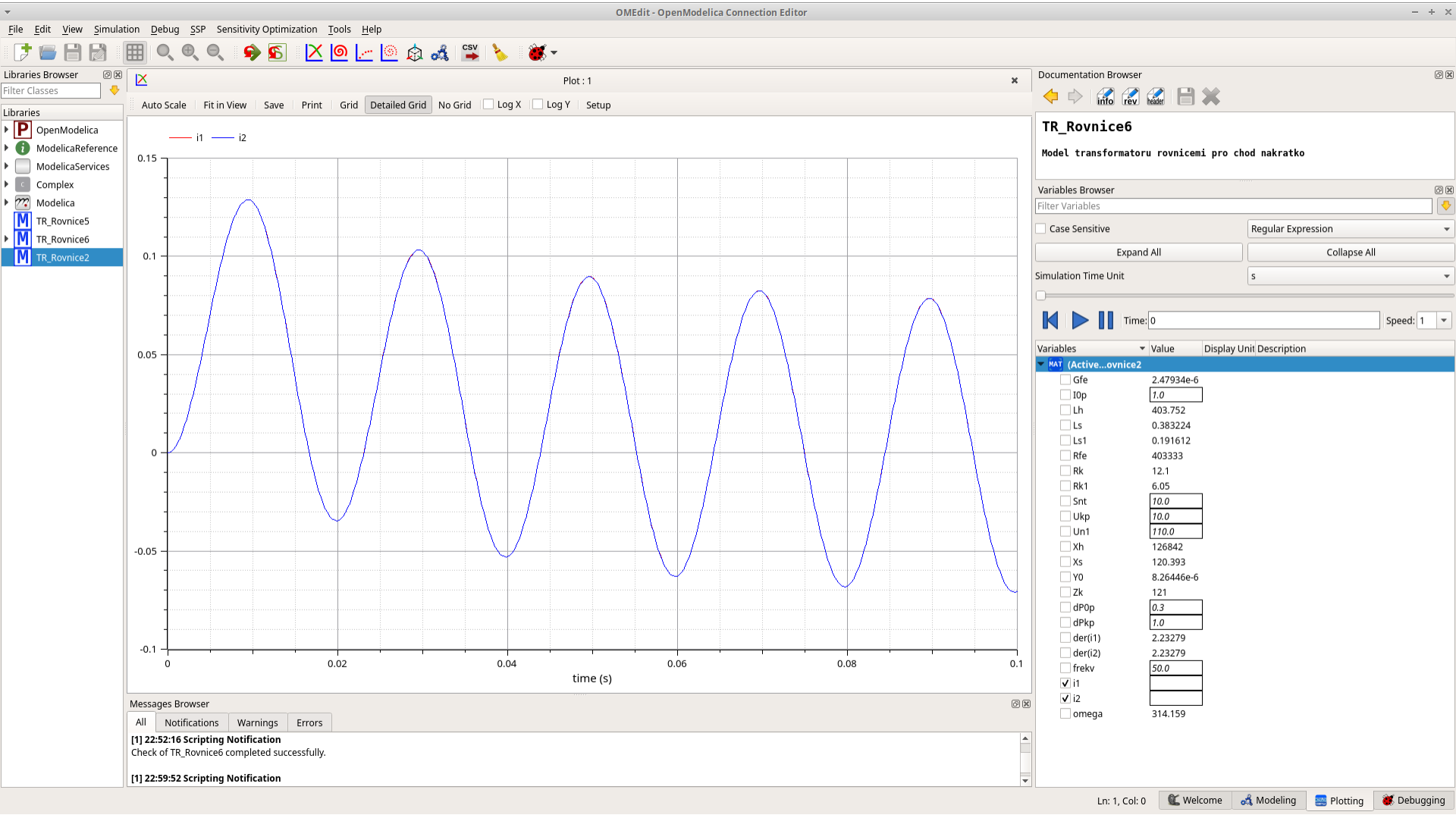
Řešení implicitní numerickou metodou bez zanedbání L_H:



Zpracování pomocí soustavy implicitních diferenciálních rovnic

Transformátor nakrátko

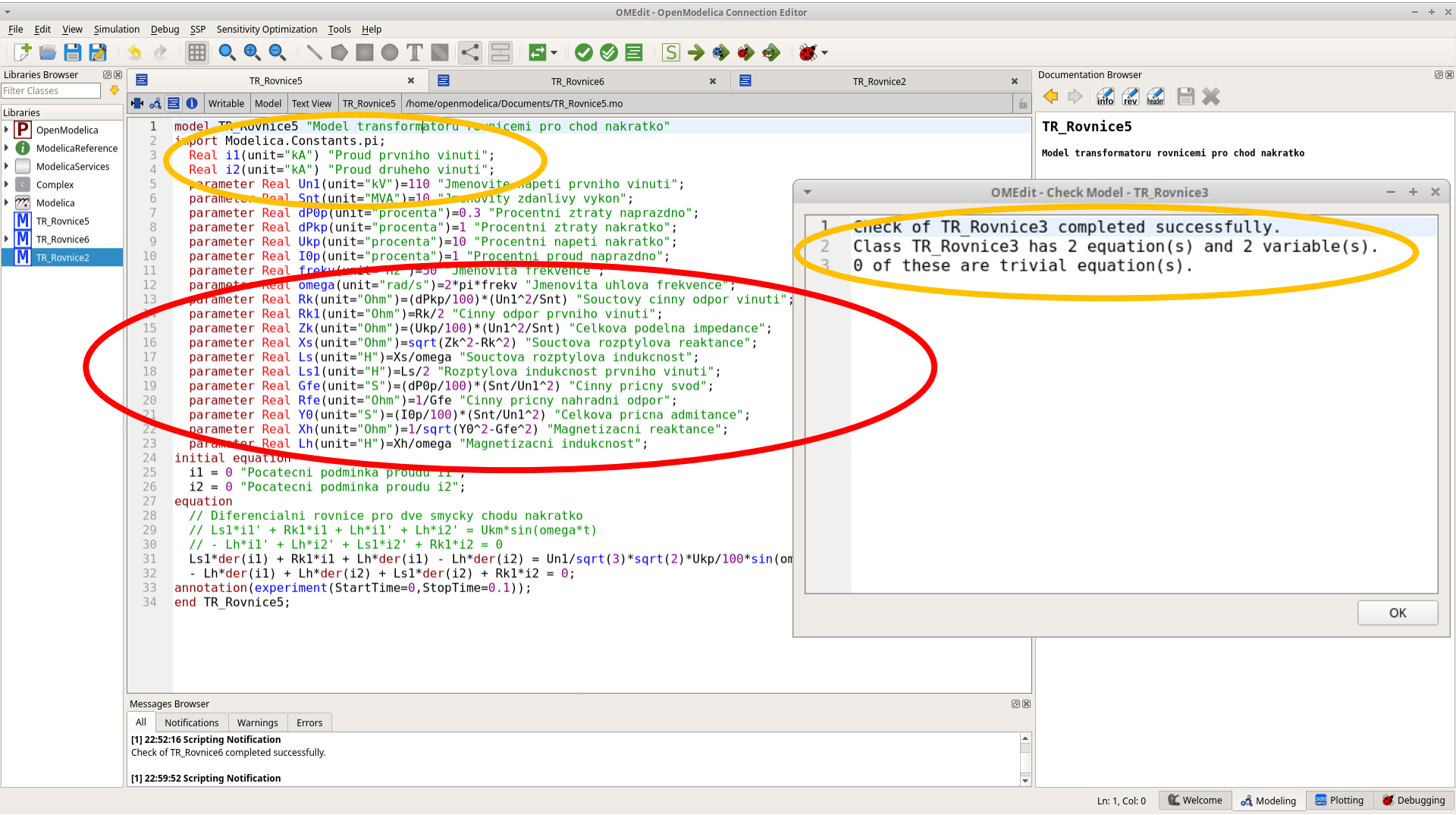
Řešení implicitní numerickou metodou bez zanedbání L_H:



Zpracování pomocí soustavy implicitních diferenciálních rovnic

Transformátor nakrátko

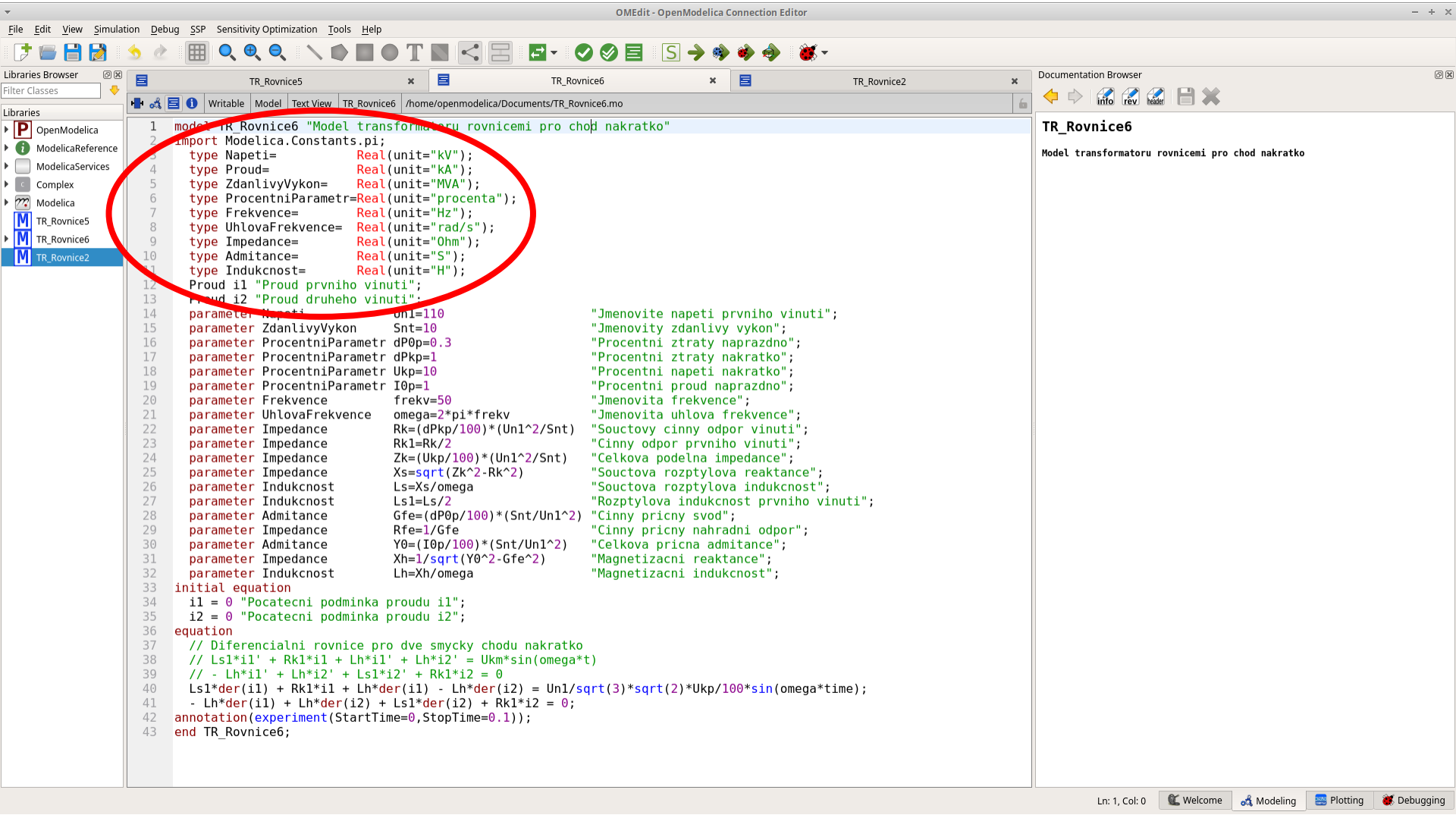
Řešení implicitní numerickou metodou bez zanedbání L_H:



Zpracování pomocí soustavy implicitních diferenciálních rovnic

Transformátor nakrátko

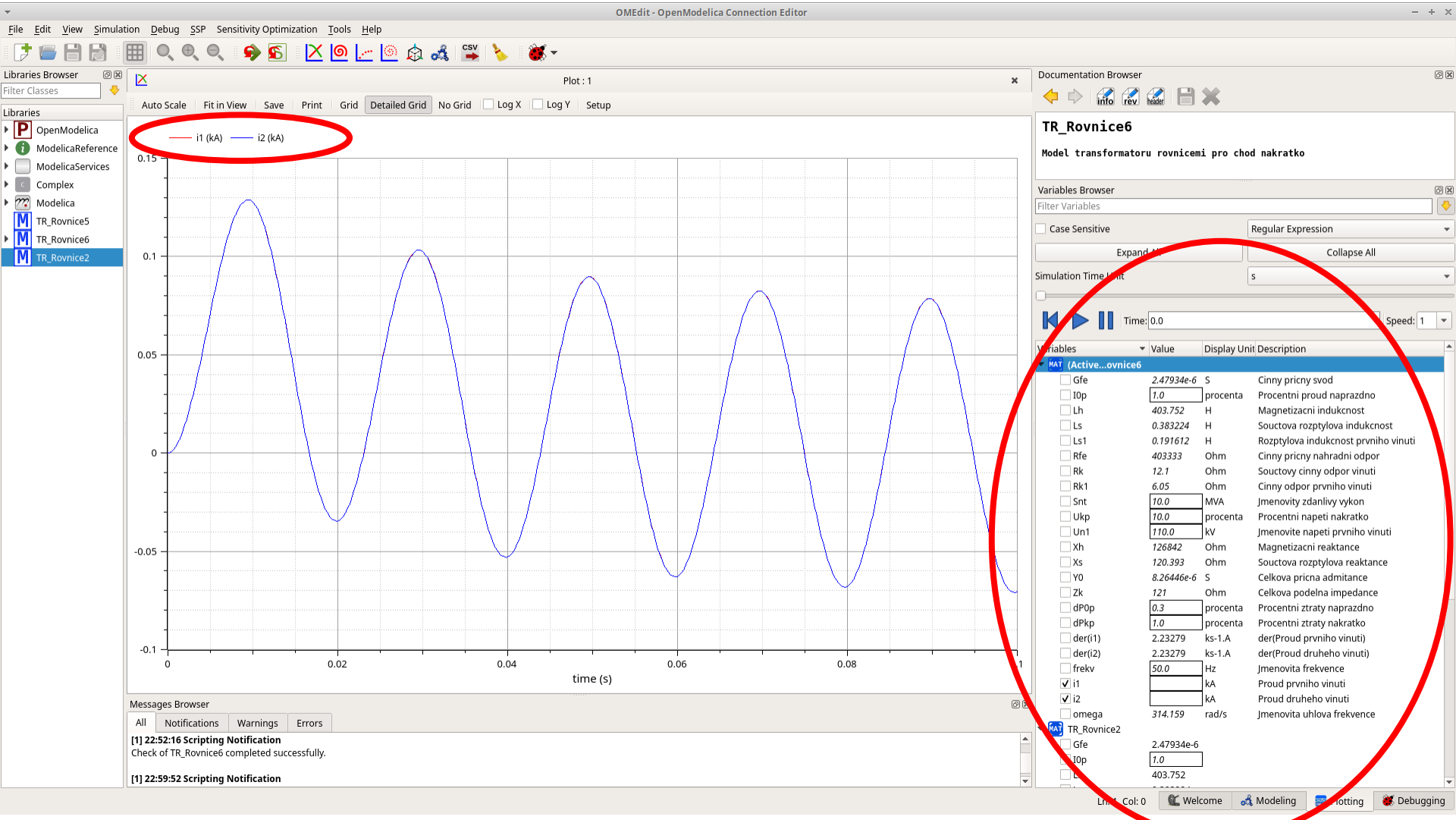
Řešení implicitní numerickou metodou bez zanedbání L_H:



Zpracování pomocí soustavy implicitních diferenciálních rovnic

Transformátor nakrátko

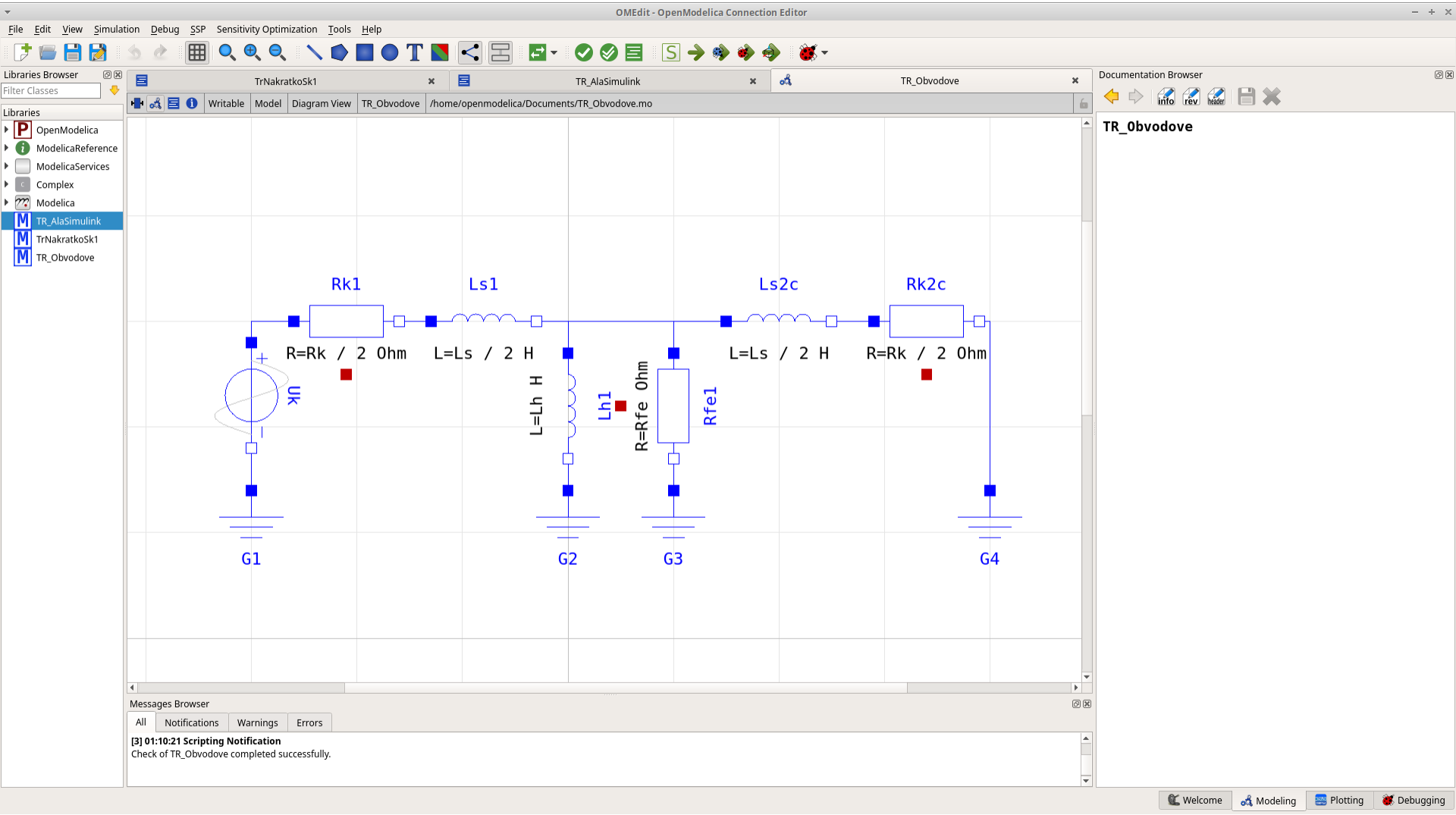
Řešení implicitní numerickou metodou bez zanedbání L_H:



Zpracování pomocí soustavy implicitních diferenciálních rovnic

Transformátor nakrátko

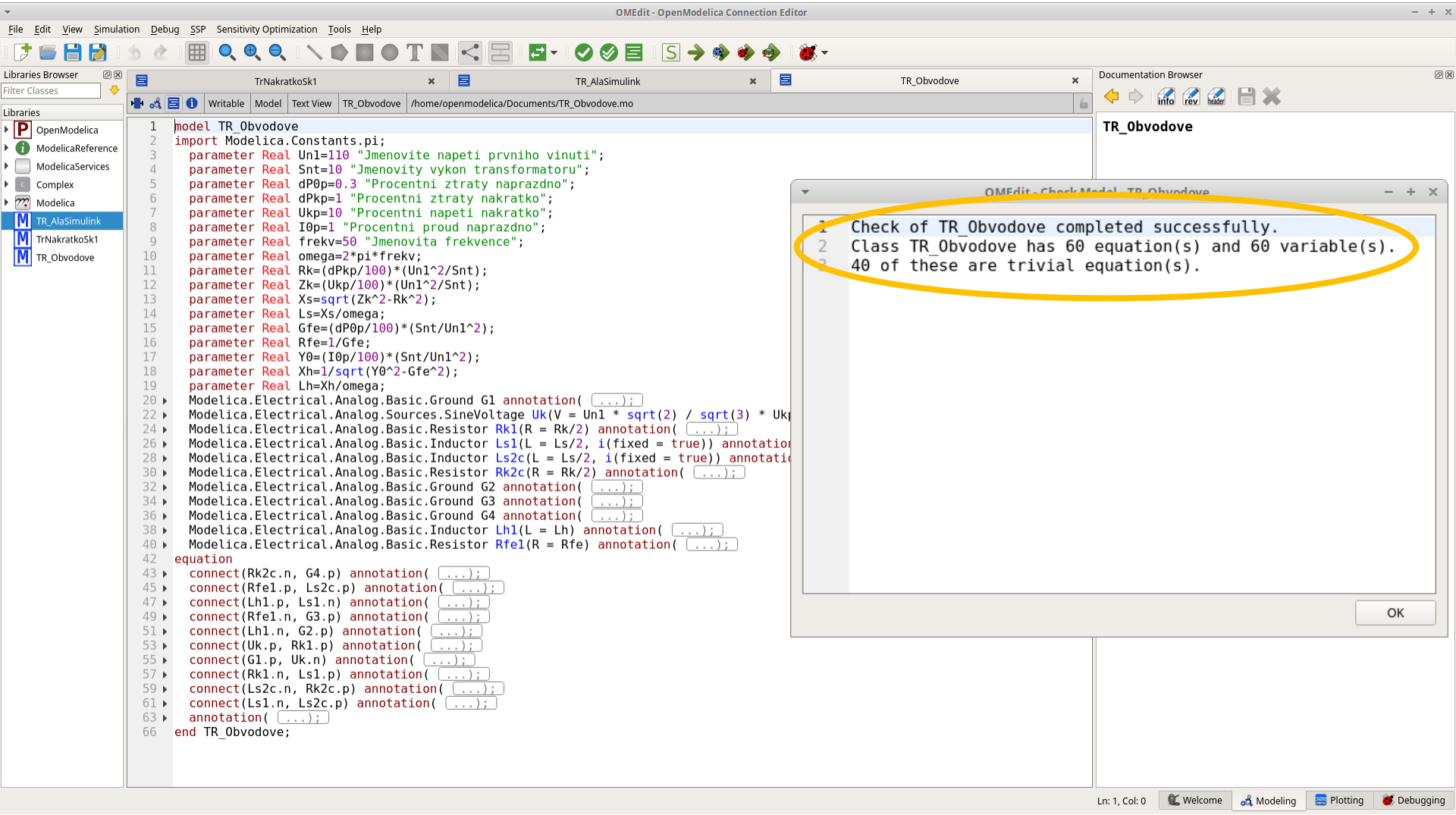
Řešení numerickou metodou s kompletní topologií:



Zpracování pomocí obvodového schéma

Transformátor nakrátko

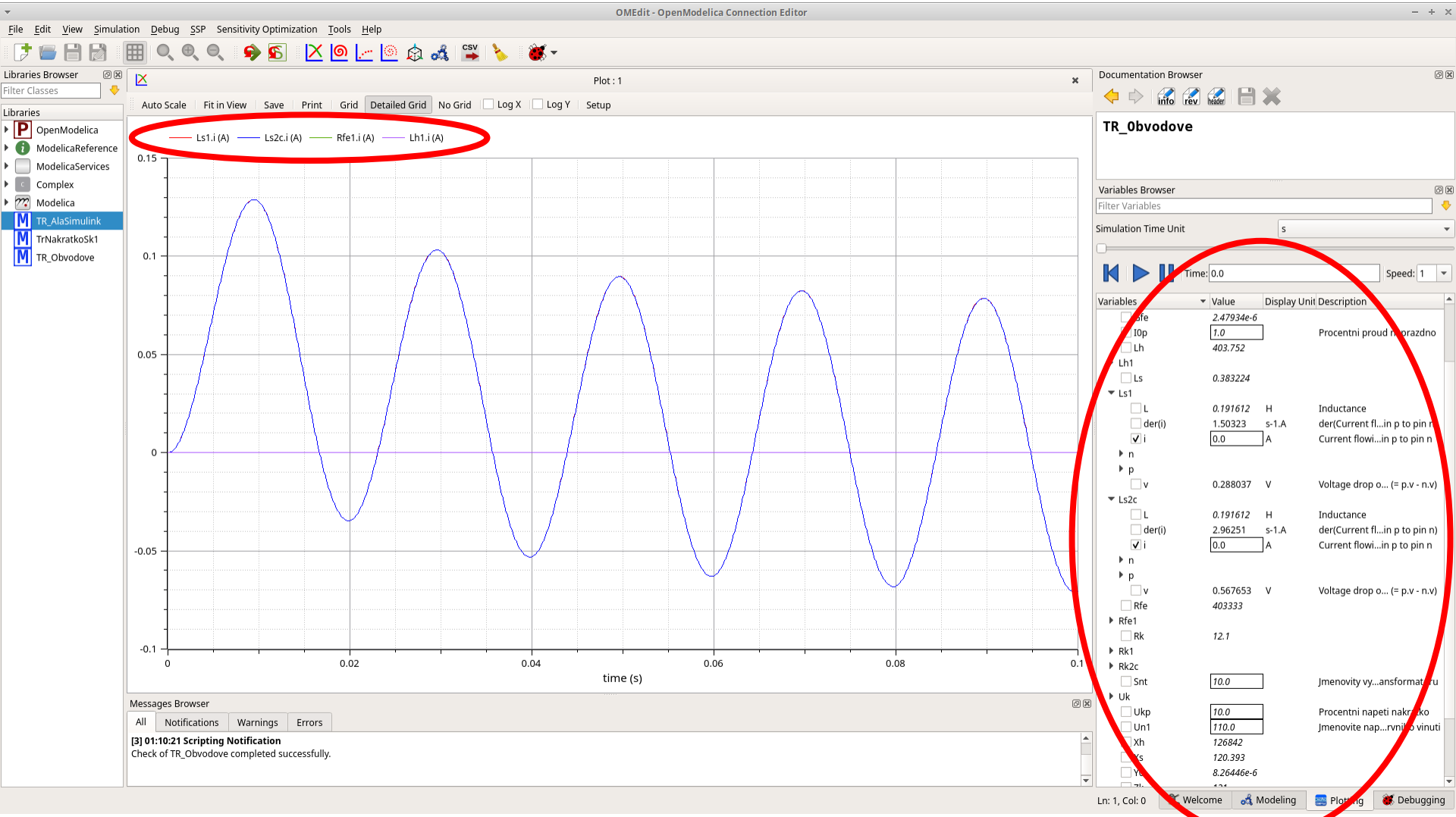
Řešení numerickou metodou s kompletní topologií:



Zpracování pomocí obvodového schéma

Transformátor nakrátko

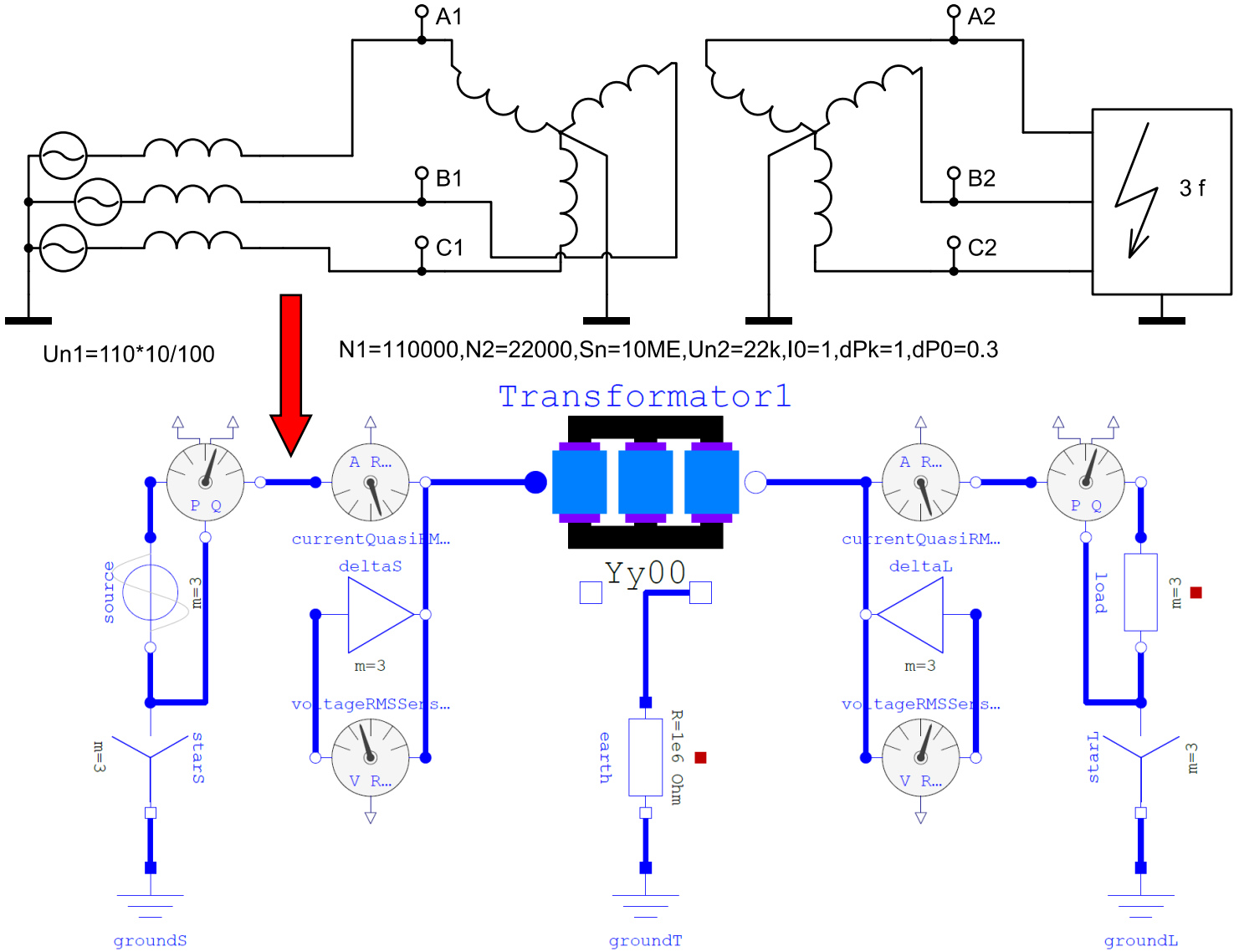
Řešení numerickou metodou s kompletní topologií:



Zpracování pomocí obvodového schéma

Transformátor nakrátko

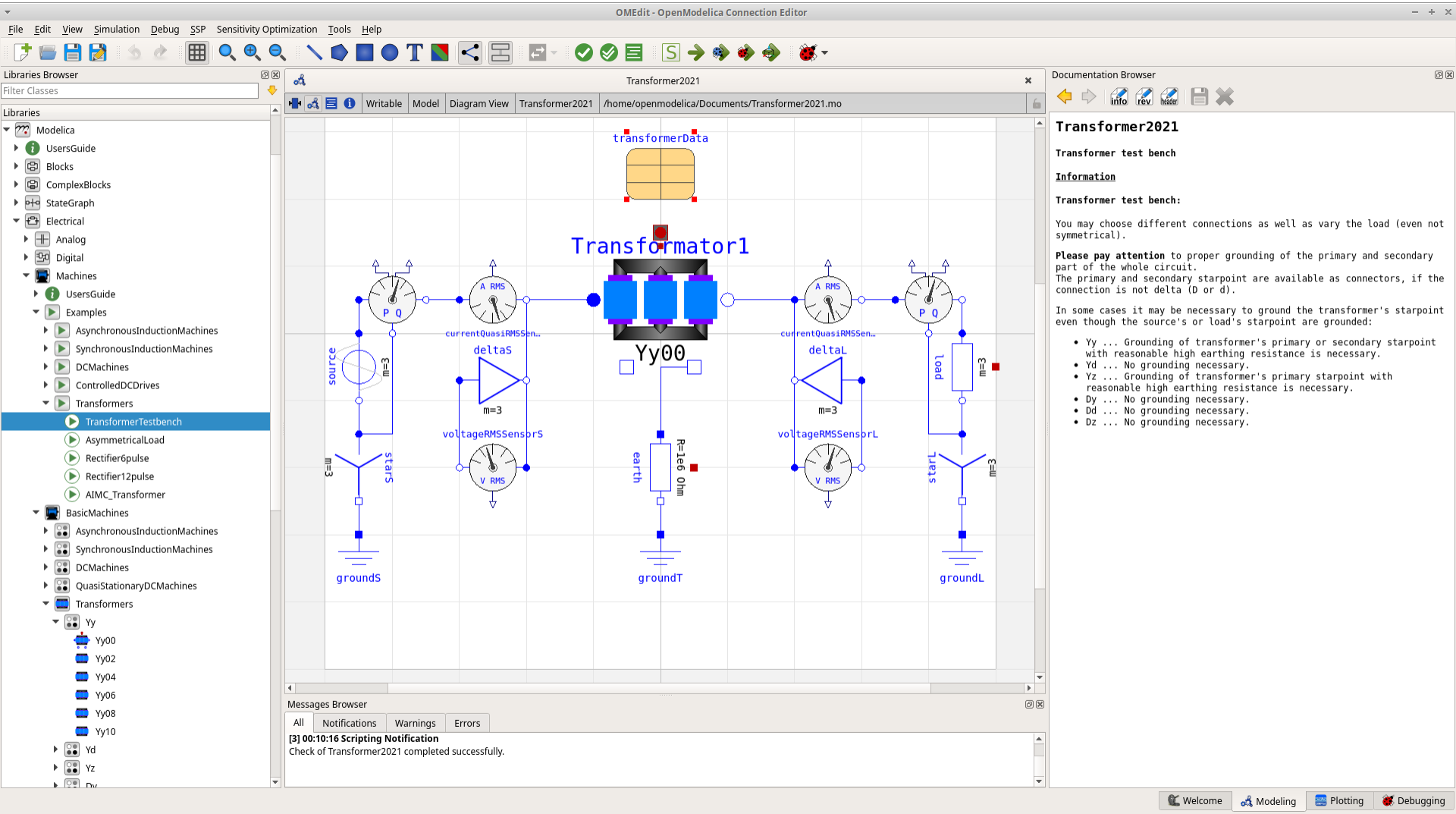
Řešení numerickou metodou 3f varianty topologie:



Zpracování pomocí obvodového schéma a knihovny Electrical/Machines

Transformátor nakrátko

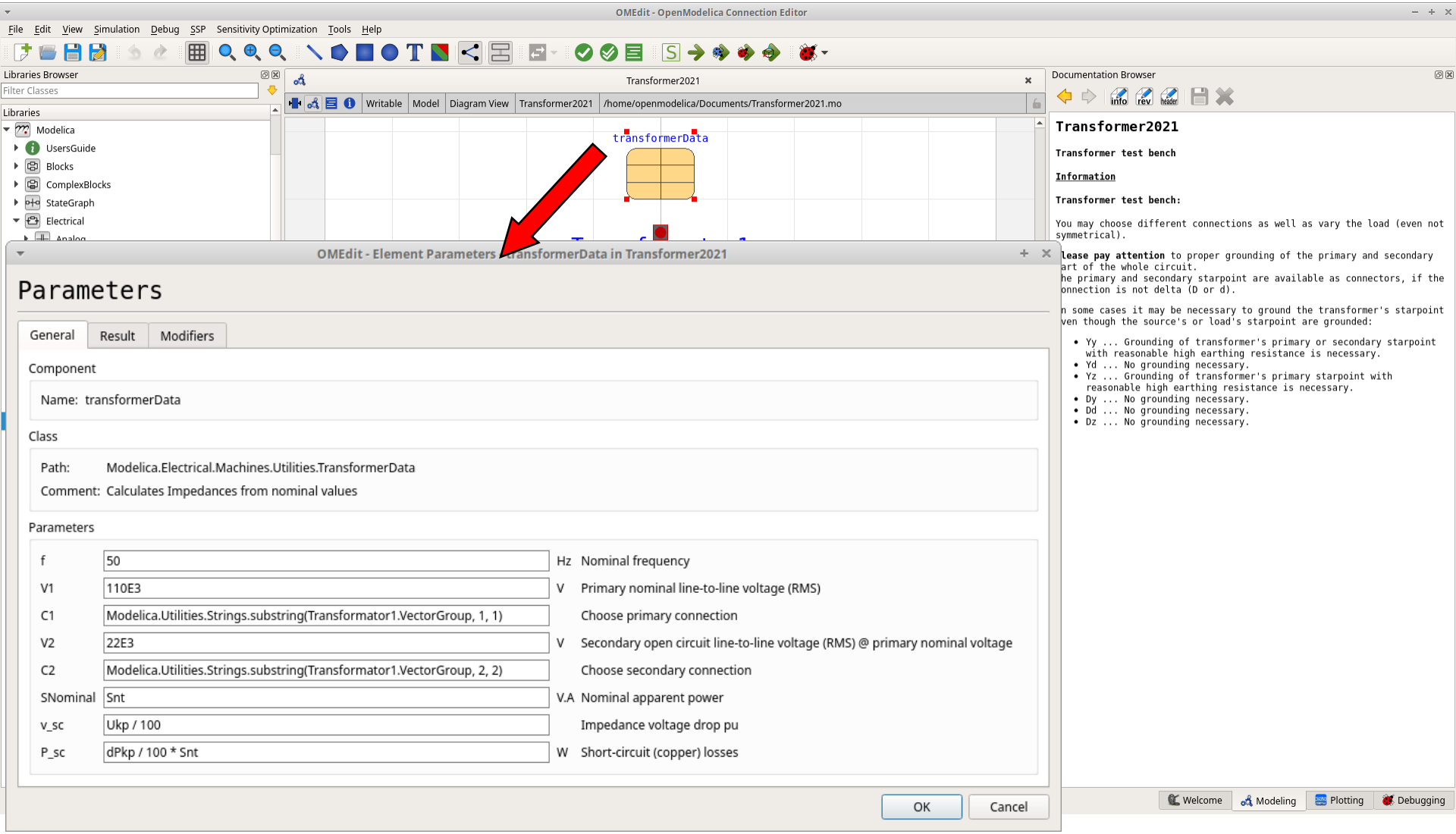
Řešení numerickou metodou 3f varianty topologie:



Zpracování pomocí obvodového schéma a knihovny Electrical/Machines

Transformátor nakrátko

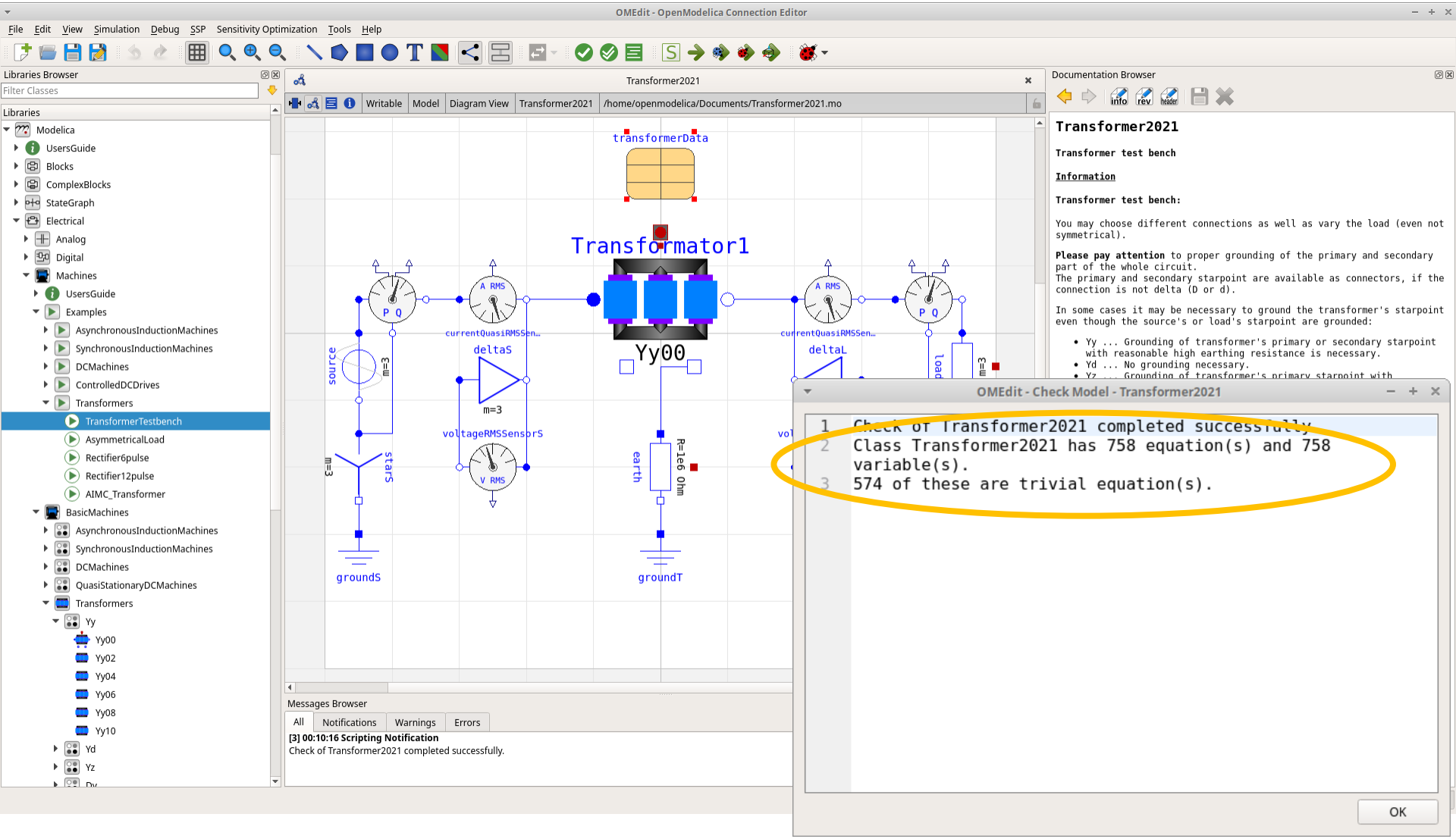
Řešení numerickou metodou 3f varianty topologie:



Zpracování pomocí obvodového schéma a knihovny Electrical/Machines

Transformátor nakrátko

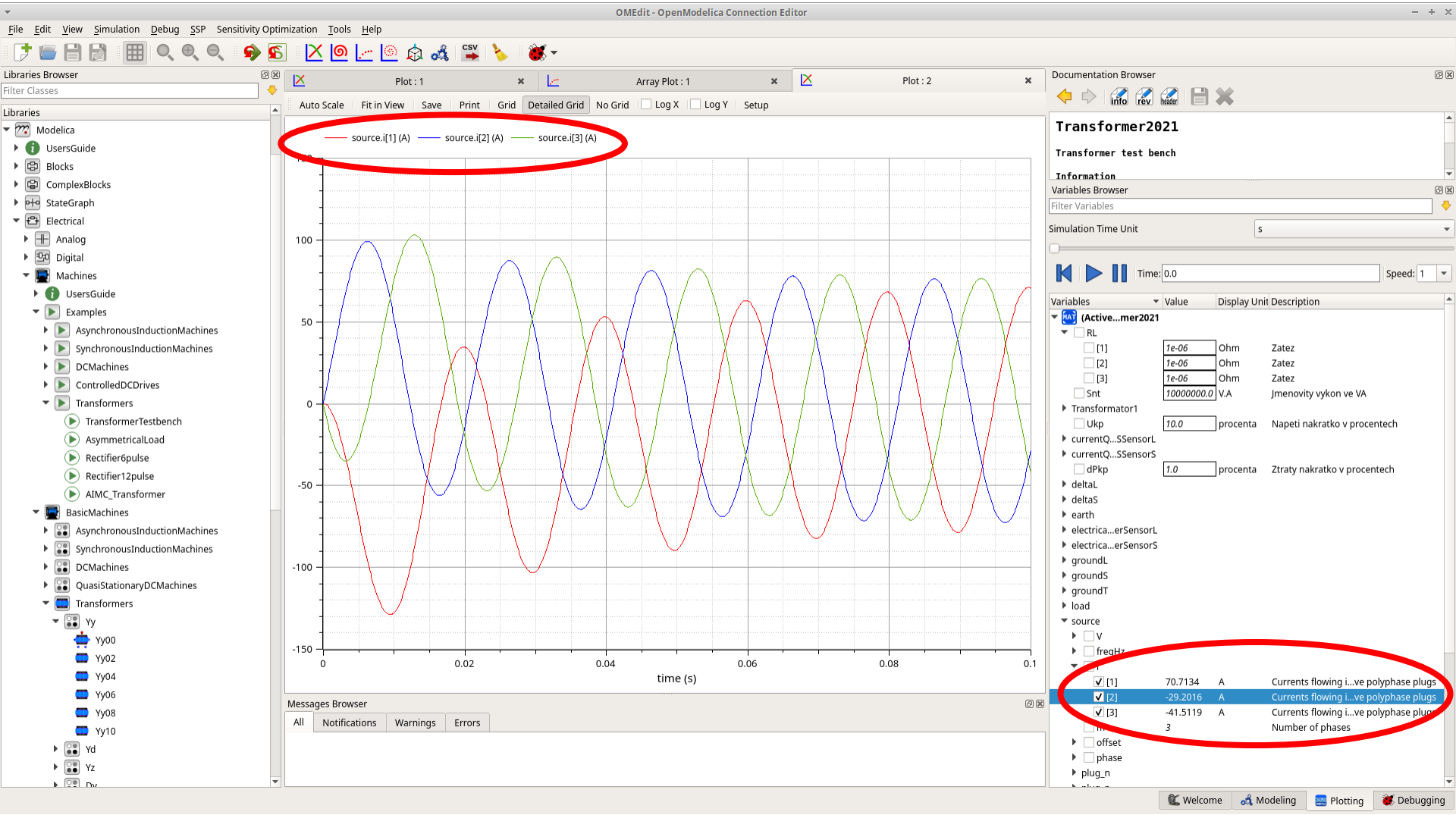
Řešení numerickou metodou 3f varianty topologie:



Zpracování pomocí obvodového schéma a knihovny Electrical/Machines

Transformátor nakrátko

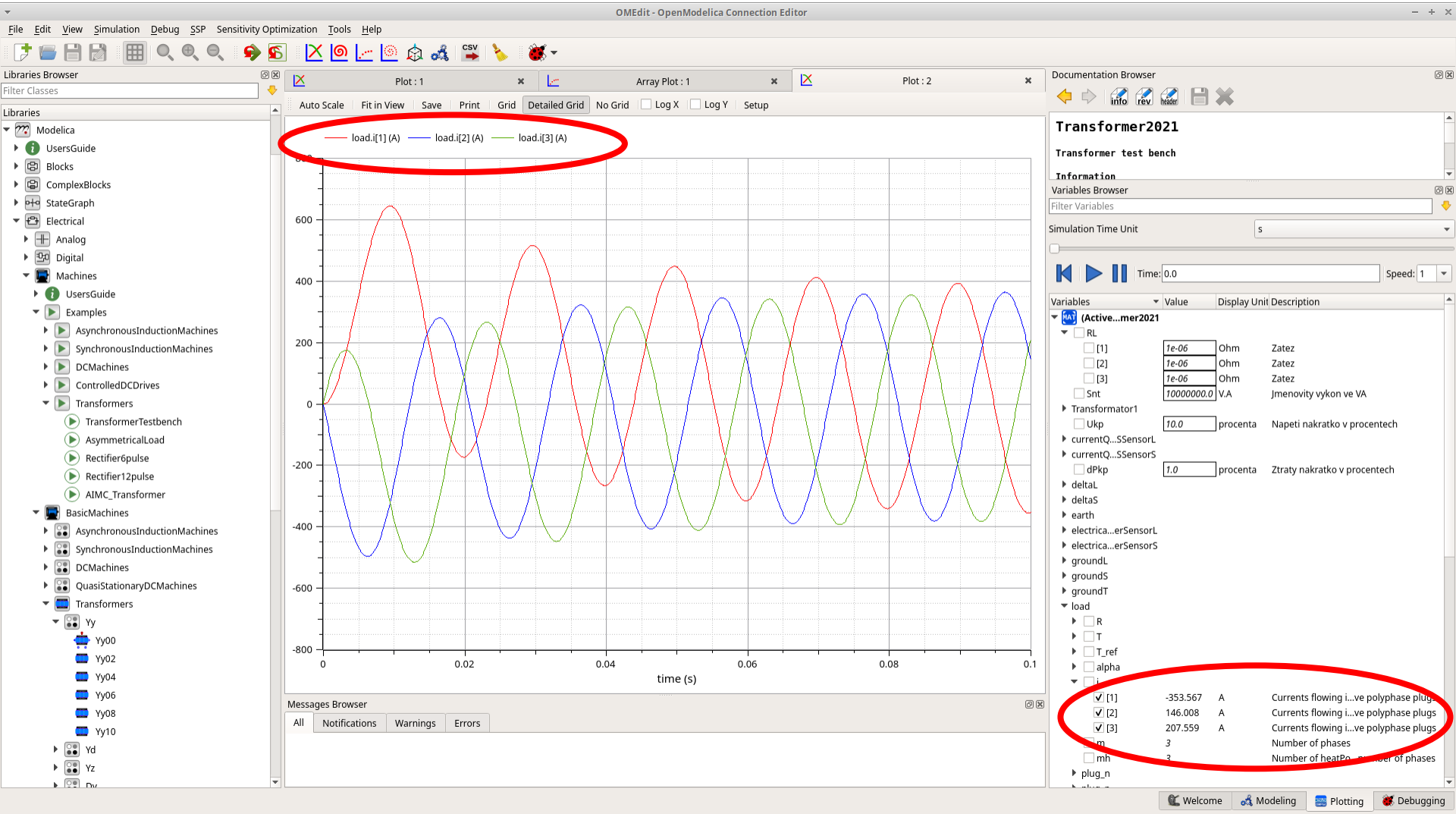
Řešení numerickou metodou 3f varianty topologie:



Zpracování pomocí obvodového schéma a knihovny Electrical/Machines

Transformátor nakrátko

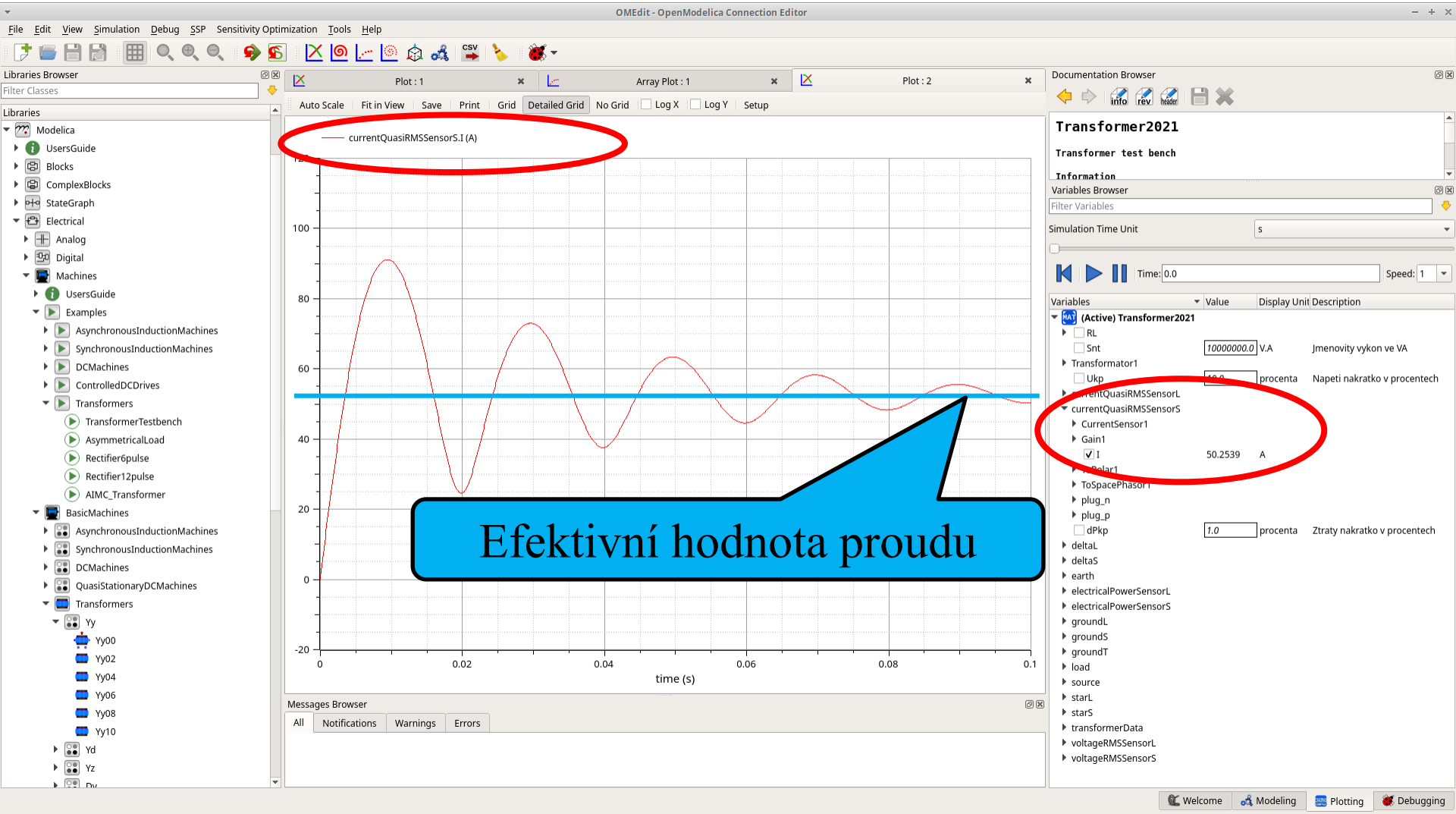
Řešení numerickou metodou 3f varianty topologie:



Zpracování pomocí obvodového schéma a knihovny Electrical/Machines

Transformátor nakrátko

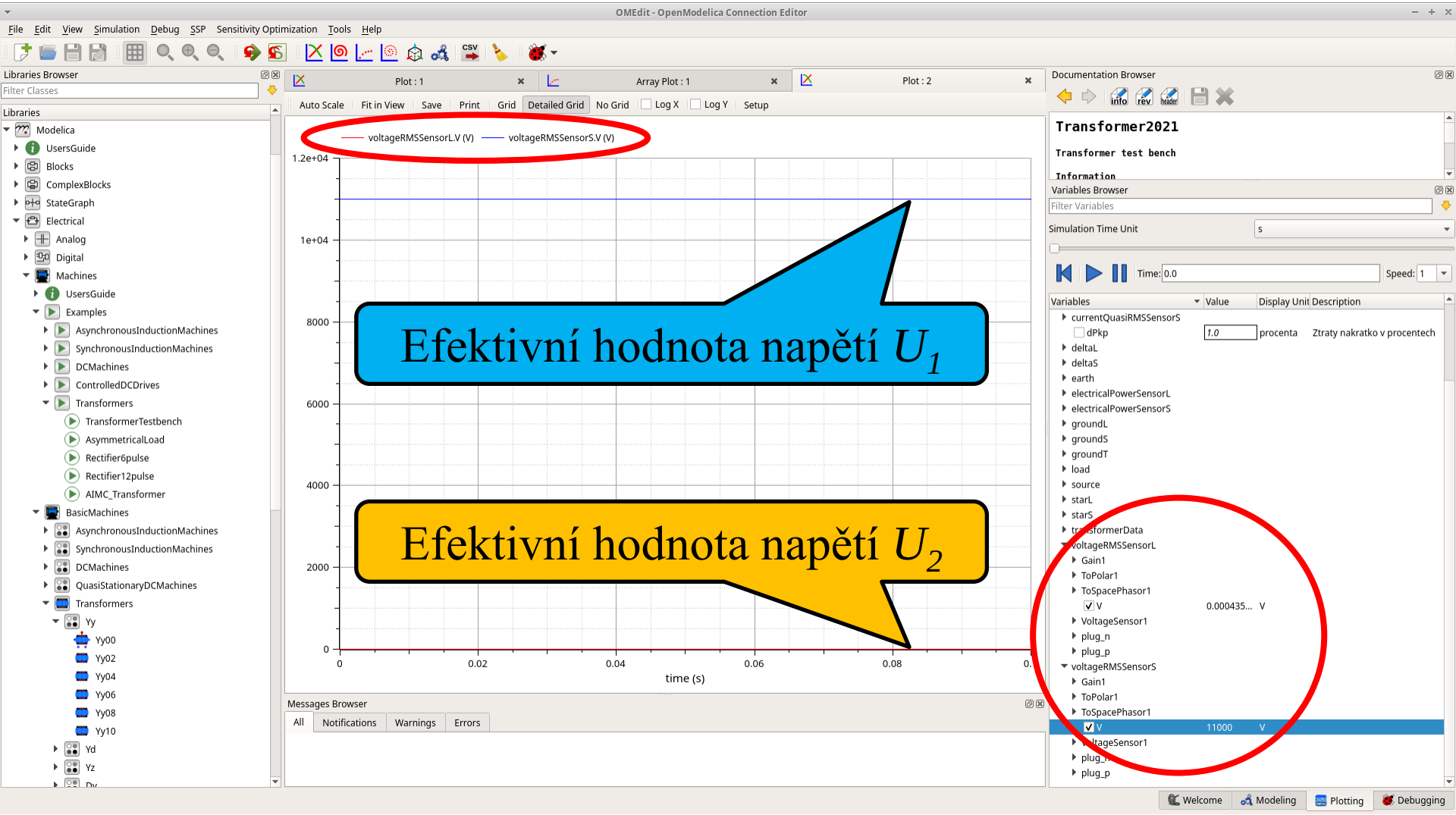
Řešení numerickou metodou 3f varianty topologie:



Zpracování pomocí obvodového schéma a knihovny Electrical/Machines

Transformátor nakrátko

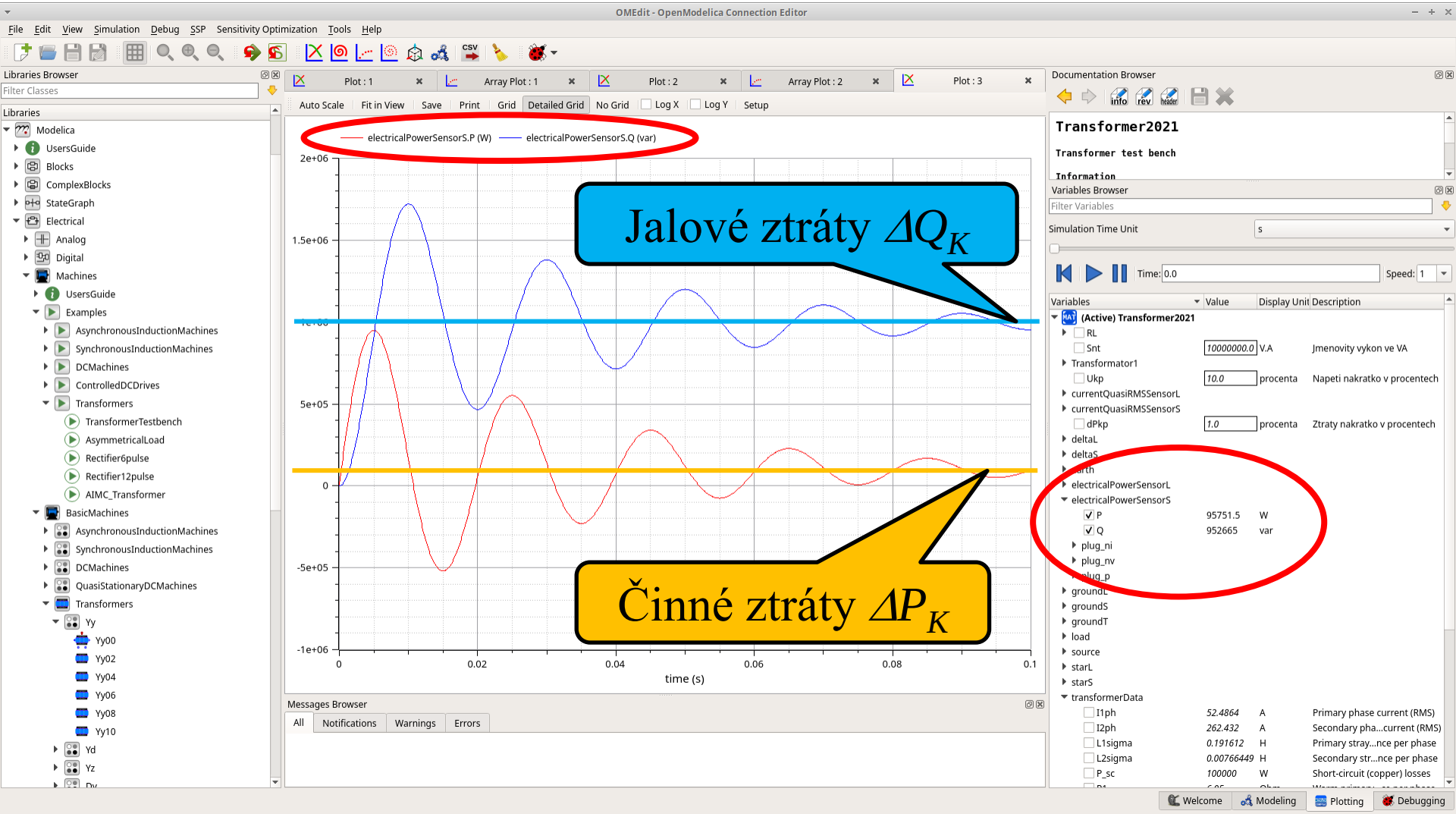
Řešení numerickou metodou 3f varianty topologie:



Zpracování pomocí obvodového schéma a knihovny Electrical/Machines

Transformátor nakrátko

Řešení numerickou metodou 3f varianty topologie:



Zpracování pomocí obvodového schéma a knihovny Electrical/Machines