ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ ZČU V PLZNI

Řešení přechodných dějů na transformátoru v nástroji LTspice

Cvičení PJS

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

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

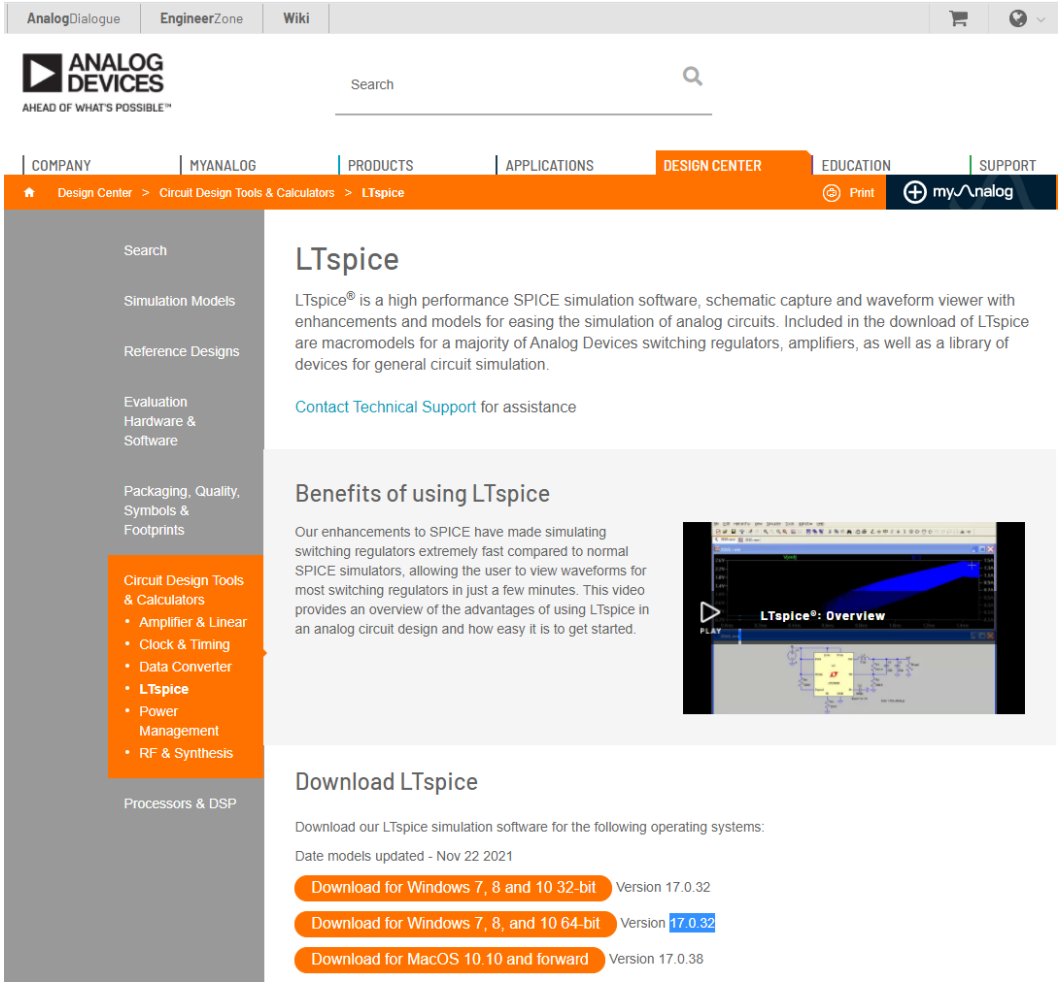
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY

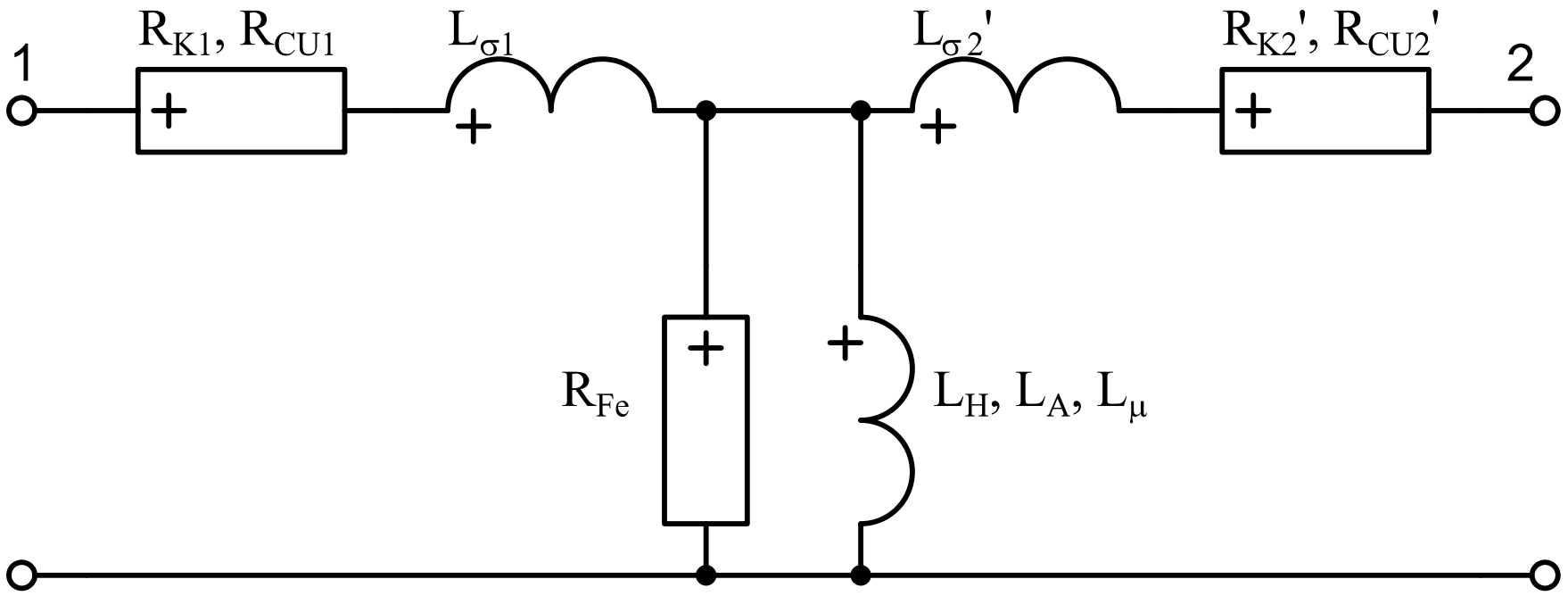
Výpočet přechodného děje na transformátoru

Pro výpočet ustáleného harmonického stavu nakrátko využit simulační nástroj LTspice:

https://www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html



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;
```

Parametry transformátoru

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

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

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

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

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

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

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

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

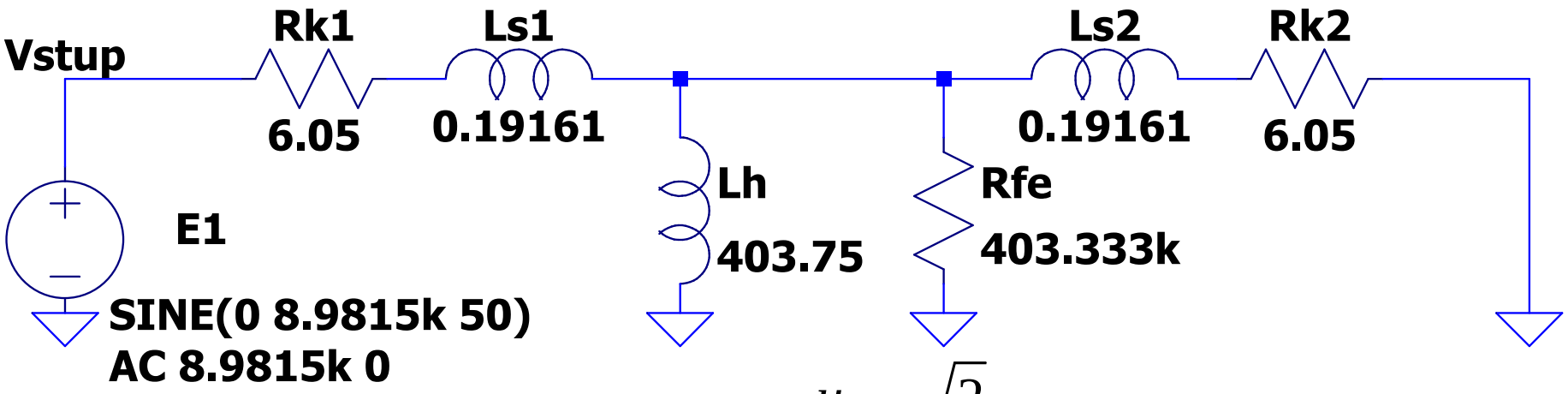
$$Y_0 = y_0 Y_{NT} = \frac{i_{0\%}}{100} \cdot \frac{S_{NT}}{U_{N1}^{\ 2}}$$

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

```
frekv =  50
omega =  314.16

Rk =  12.100
Rk1 =  6.0500
Zk =  121
Xs =  120.39
Ls =  0.38322
Ls1 =  0.19161

Gfe =  0.0000024793
Rfe =  403333.33333
Y0 =  0.0000082645
Xh =  126842.46524
Lh =  403.75
```

Transformátor nakrátko

Řešení s kompletní topologií:



$$U_{KM} = U_{N1} \frac{u_K}{100} \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$$

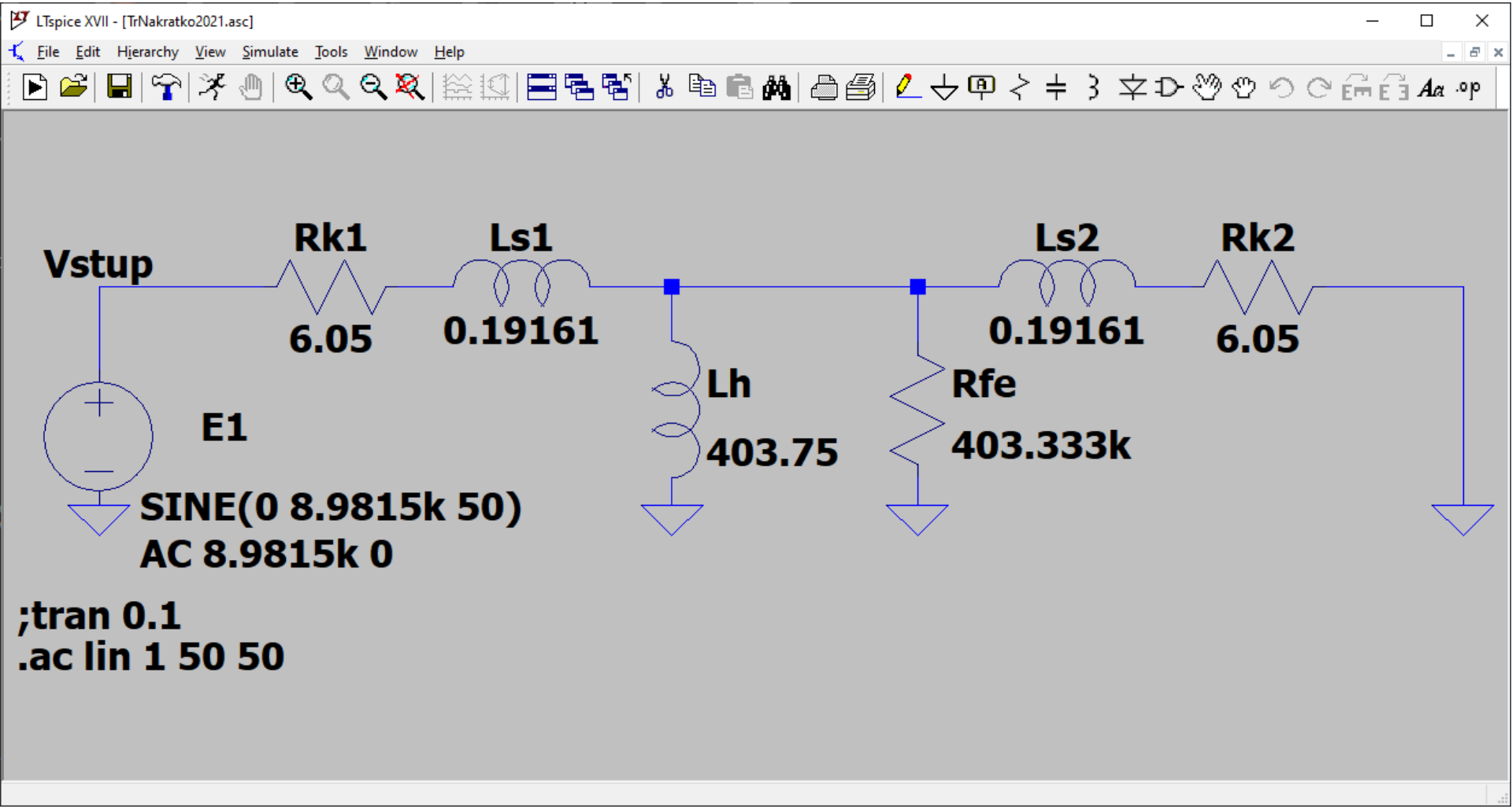
```
Ukm=Un1*Ukp/100/sqrt(3)*sqrt(2)
Ukm =   8.9815
```

```
Rk1 =   6.0500
Ls1 =   0.19161
Gfe =   0.0000024793
Rfe =   403333.33333
Lh =   403.75
```

Zpracování pomocí obvodového schéma

Transformátor nakrátko

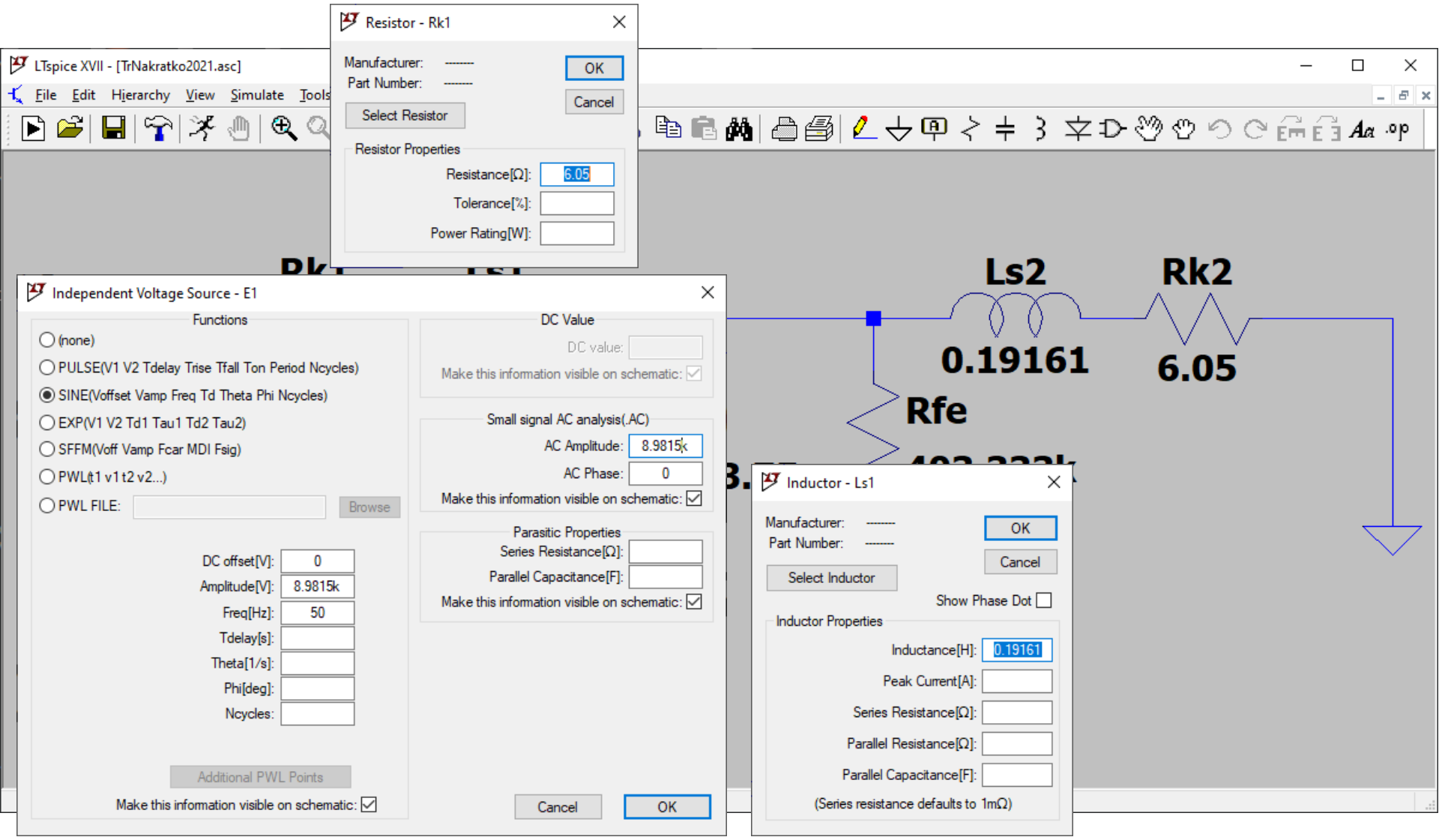
Řešení s kompletní topologií:



Zpracování pomocí obvodového schéma

Transformátor nakrátko

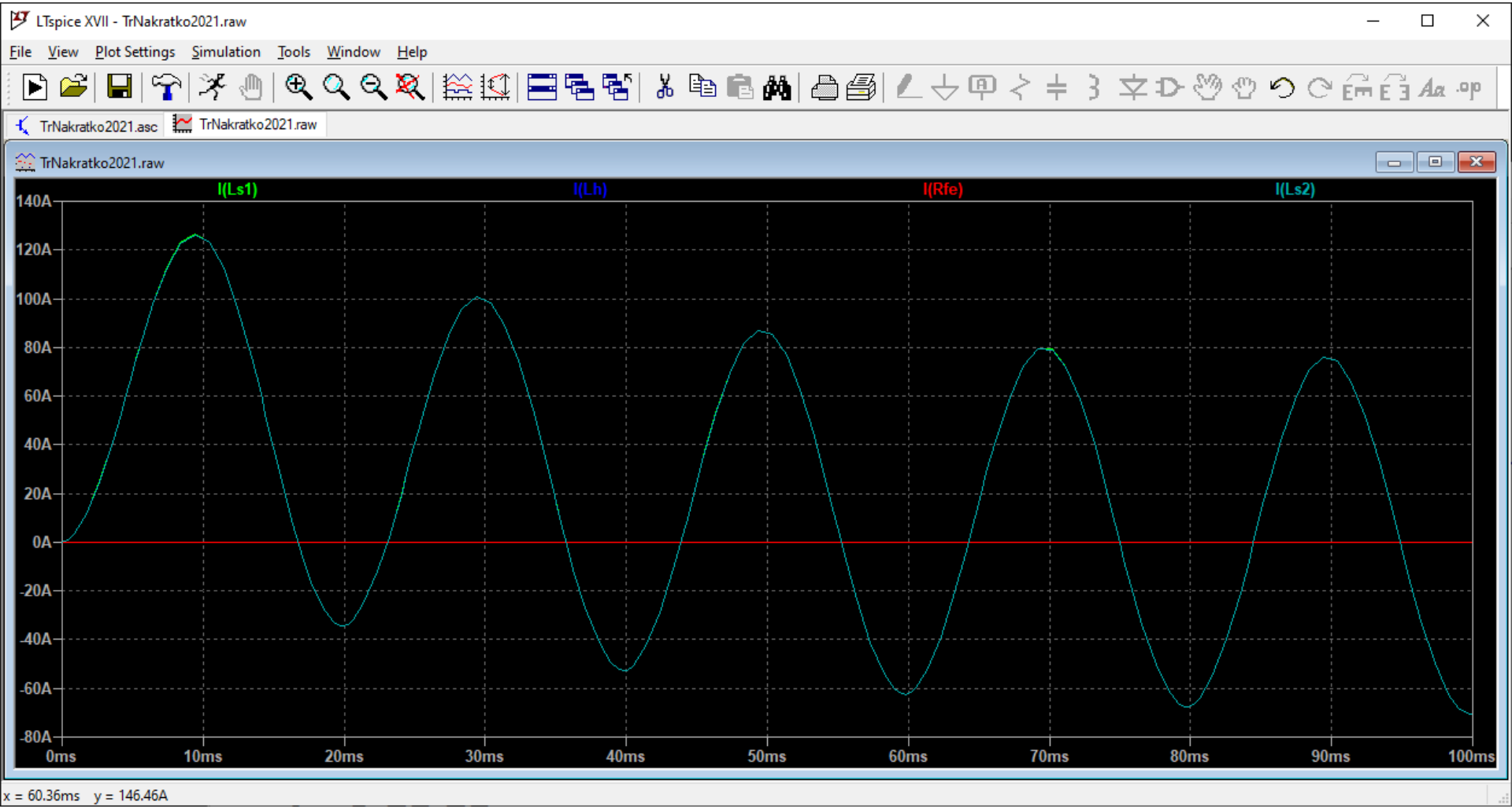
Řešení s kompletní topologií:



Zpracování pomocí obvodového schéma

Transformátor nakrátko

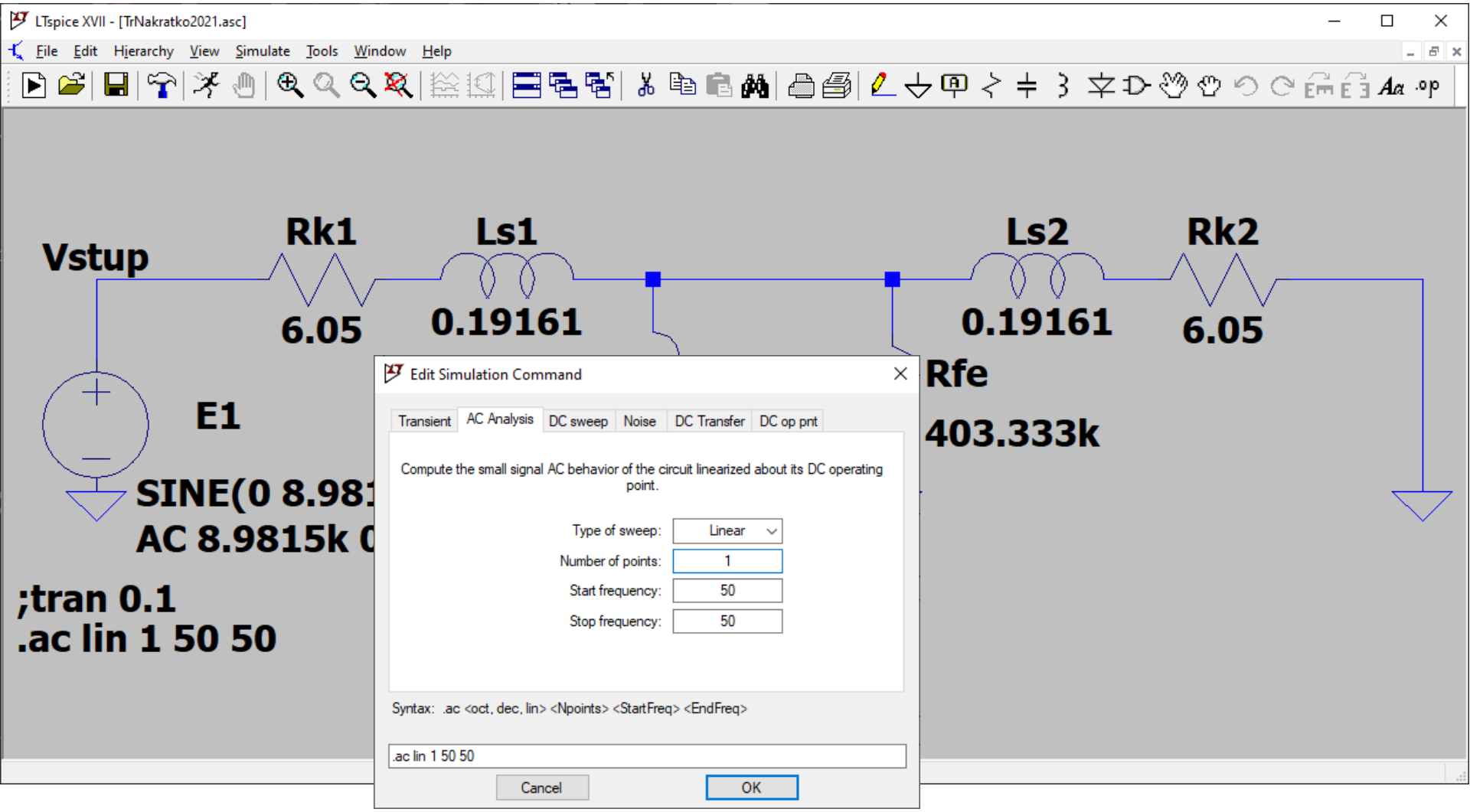
Řešení s kompletní topologií:



Zpracování pomocí obvodového schéma

Transformátor nakrátko

Řešení ustáleného stavu nakrátko s kompletní topologií:



Zpracování pomocí obvodového schéma a frekvenční analýzy

Transformátor nakrátko

Řešení ustáleného stavu nakrátko s kompletní topologií:

$$I_N = \frac{S_{NT}}{\sqrt{3} \cdot U_{N1}}$$

$$I_{KM} = I_N \cdot \sqrt{2}$$

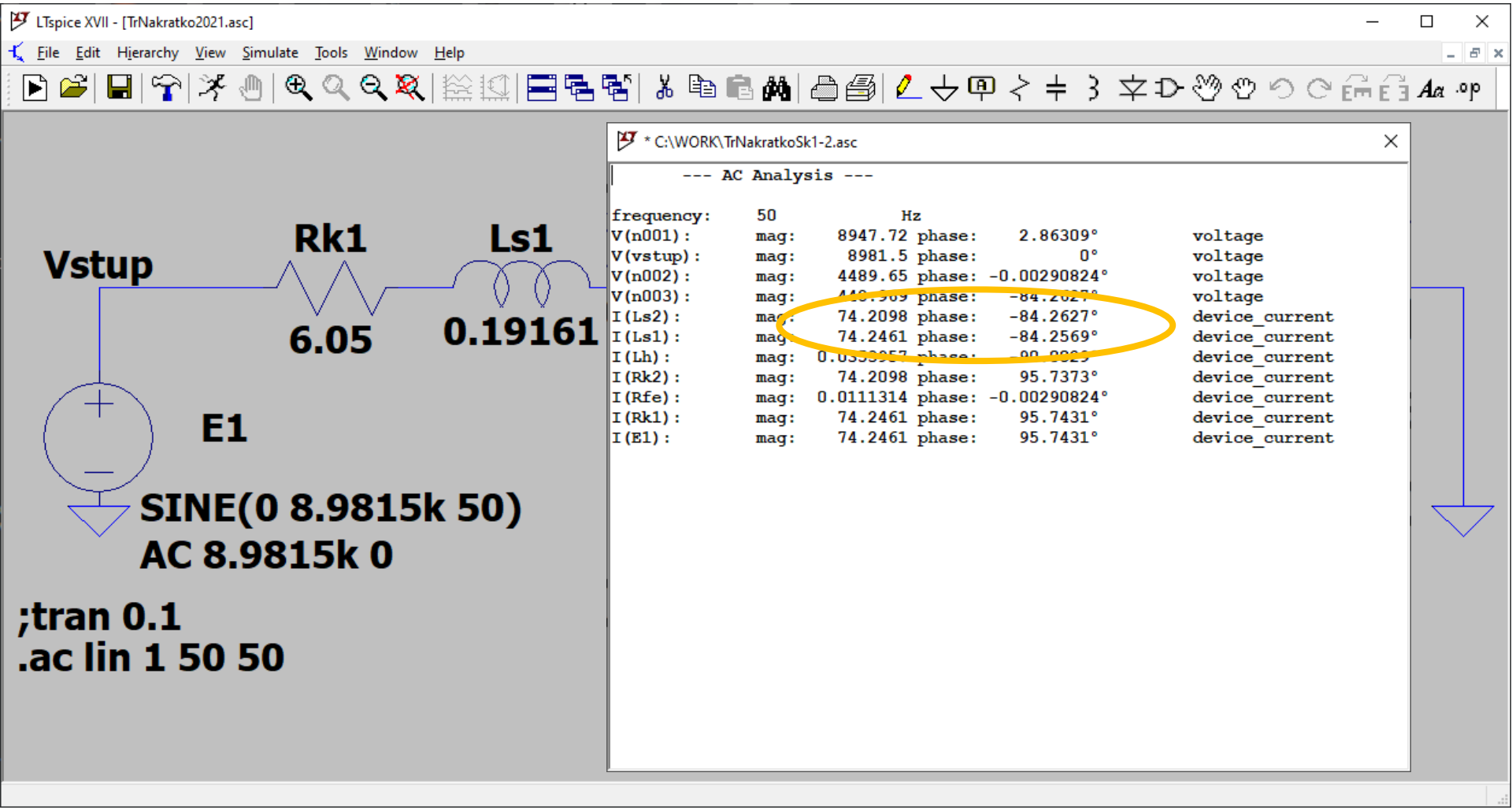
$$\Psi_K = \arctan\left(\frac{X_\sigma}{R_K}\right)$$

$$\Psi_{K\,rad} = -\frac{\Psi_K}{\pi} 180$$

```
In=Snt/Un1/sqrt(3)

In =  0.052486

Ikm=In*sqrt(2)

Ikm =  0.074227

PsiK=atan(Xs/Rk)

PsiK =  1.4706

PsiKrad= - PsiK/pi*180

PsiKrad = -84.261
```

Transformátor nakrátko

Řešení ustáleného stavu nakrátko s kompletní topologií:



Zpracování pomocí obvodového schéma a frekvenční analýzy