



ZÁPADOČESKÁ
UNIVERZITA
V PLZNI



Řešení přechodných dějů na transformátoru v nástroji DYNAST – verze pro FreeDOS

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 DYNAST:

<https://home.zcu.cz/~nohac/Dynast/>

Download DYNAST

The current version of DYNAST for Windows is 4.0.1,
February 22nd 2015.

Download

System requirements

- IBM compatible PC computer
- MS Windows 2000/NT/XP/Vista/7/8

Installation instructions

- Download the installation file to a temporary directory
- Run the downloaded installation file
- Follow the instructions of the setup program

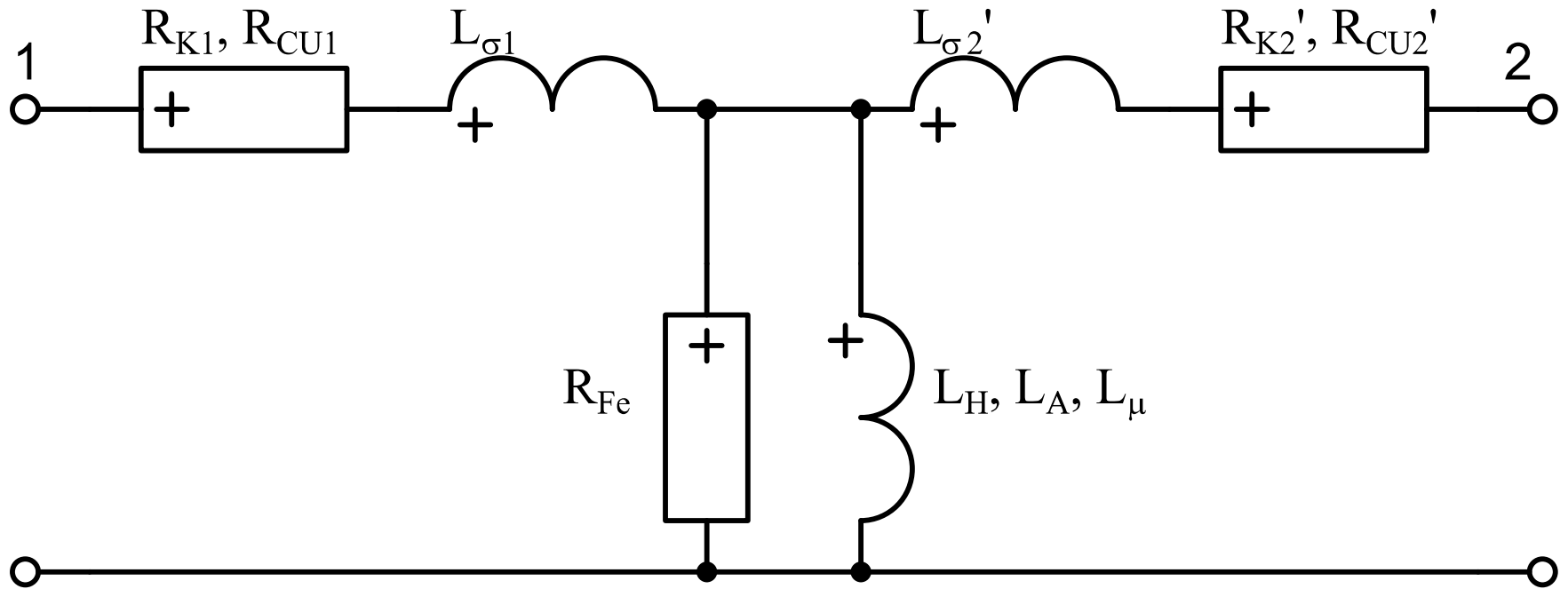
Documentation

- User's Guide for DYNAST

Examples

Re-solvable examples of solved equations and simulated real systems that can be modified and re-submitted just by clicking a button

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

frekv=50 ;

omega=2pi*frekv ;

Rk=(dPkp/100) * (Un12/Snt) ;**

Rk1=Rk/2 ;

Zk=(Ukp/100) * (Un12/Snt) ;**

Xs=sqrt(Zk2-Rk**2) ;**

Ls=Xs/omega ;

Ls1=Ls/2 ;

Gfe=(dP0p/100) * (Snt/Un12) ;**

Rfe=1/Gfe ;

Y0=(I0p/100) * (Snt/Un12) ;**

Xh=1/sqrt(Y02-Gfe**2) ;**

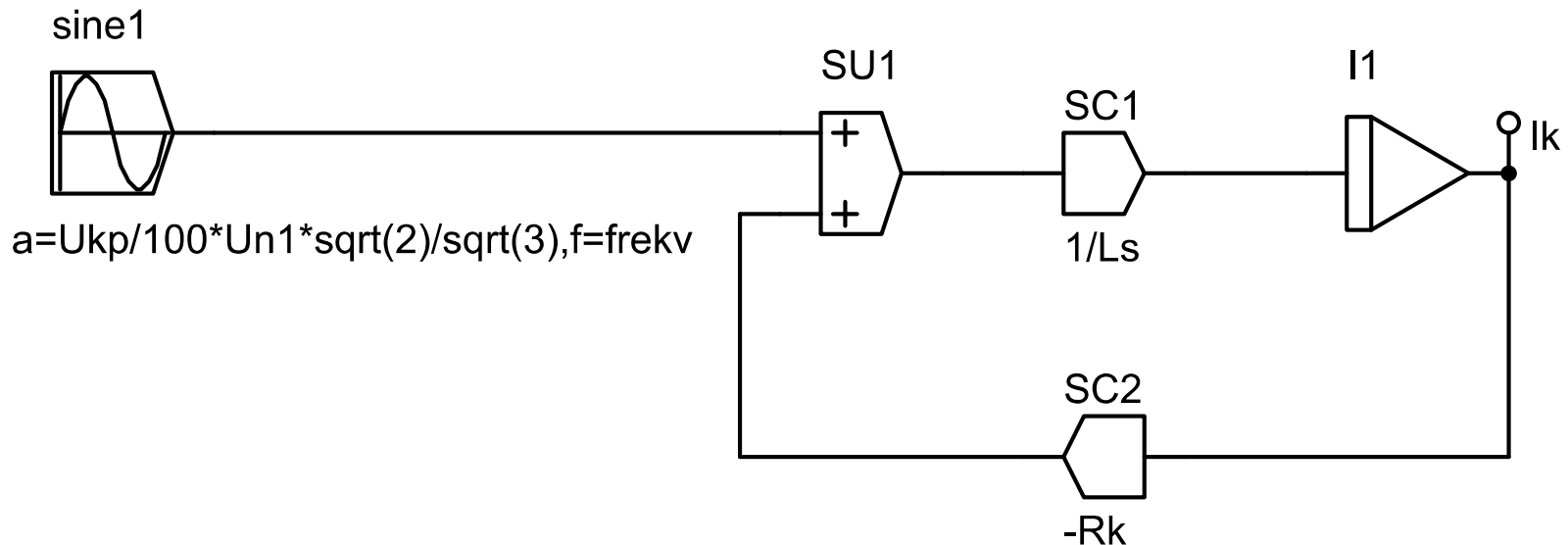
Lh=Xh/omega ;

Transformátor nakrátko

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

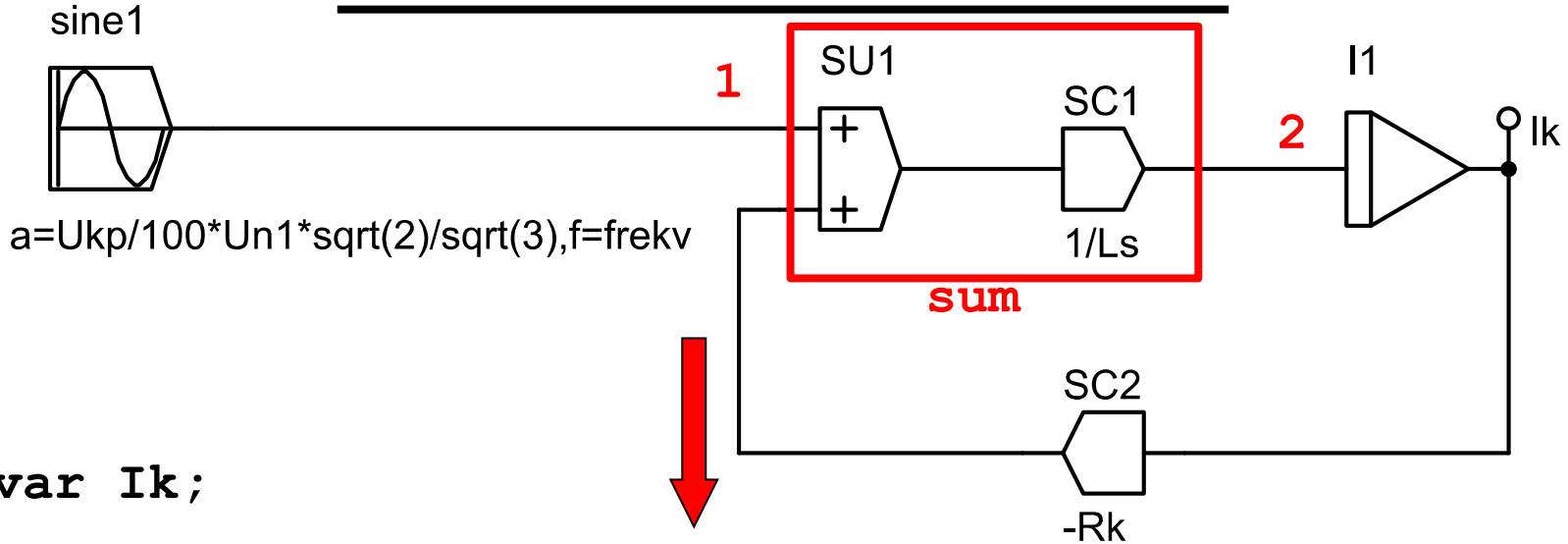
→

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



Zpracování pomocí bloků ala Simulink

Transformátor nakrátko



```
sysvar Ik;
```

```
sine1 > BS 1 =
```

```
Ukp/100*Un1*sqrt(2)/sqrt(3)*SIN(omega*TIME);
```

```
sum > BS 2 = (V.1-V.Ik*Rk)/Ls;
```

```
i1 > BI Ik = V.2;
```

```
*TR;
```

```
TR 0 0.1;
```

```
PRINT(1001) Ik;
```

```
RUN;
```

```
*END;
```

Zpracování pomocí bloků ala Simulink

Transformátor nakrátko

```

C:\USERS\NOHAC\DYNAST\trblok.prb 23:48:00
*: Model transformatoru nakratko
*SYSTEM:

Un1=110;
Un2=22;
Snt=10;
dP0p=0.3;
dPfep=dP0p;
dPkp=1;
dPcup=dPkp;
Ukp=10;
I0p=1;
frekv=50;
omega=2pi*frekv;

: Uypocty parametru nahraniho schematu
Znt=Un1**2/Snt;

Rk=(dPkp/100)*(Un1**2/Snt);
Rk1=Rk/2;
Zk=(Ukp/100)*(Un1**2/Snt);
[<=>]10% of 632 Bytes]
C:\USERS\NOHAC\DYNAST>
F1 Help F2 (Un)Wrap F4 Hex/ASCII/Dump F5 Goto F6 Filter F7 Search

```

```

C:\USERS\NOHAC\DYNAST\trblok.prb 23:48:58
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;

sysvar Ik;

sine1 > BS 1 = Ukp/100*Un1*sqrt(2)/sqrt(3)*SIN(omega*TIME);
sum > BS 2 = (U.1-U.Ik*Rk)/Ls;
i1 > BI Ik = U.2;

*TR;
TR 0 0.1;
PRINT(1001) Ik;
RUN;
*END;
[<=>]1100% of 632 Bytes]
C:\USERS\NOHAC\DYNAST>
F1 Help F2 (Un)Wrap F4 Hex/ASCII/Dump F5 Goto F6 Filter F7 Search

```

```

23:49:31 DYNAST 1.3b
This copy No.012345678 was made exclusively for the use of
ANYBODY WHO WANTS TO USE DYNAST
(C) Any use by anybody else is illegal (C)

Section : TR Input file: C:\USERS\NOHAC\DYNAST\trblok.PRB
Start at: Output file: C:\USERS\NOHAC\DYNAST\trblok.O
+0.000000e+000 Last file:

Solving at Step Order Operation
+4.850000e-002 +1.000000e-004 6 7
+4.860000e-002 +1.000000e-004 6 7

End at: Last event:
+1.000000e-001

Results
TIME IK
+4.820000e-002 +8.244706e-002
+4.830000e-002 +8.340921e-002
+4.840000e-002 +8.430503e-002
+4.850000e-002 +8.513360e-002

Any key: Interrupt Ctrl C: Cancel Space bar: Display ON

```

```

C:\USERS\NOHAC\DYNAST\trblok.o 23:53:48
*TR;

Number of equations : 3
Number of nodes : 3

#### SECONDS USED UP BY SECTION SYS : .00
TR 0 0.1;
PRINT(1001) Ik;
RUN;

MODEL TRANSFORMATORU NAKRATKO

X ... TIME
1 ... IK

X 1
0.00000E+00 0.00000E+00
1.00000E-04 3.67851E-05
[<=>]12% of 33,575 Bytes]
C:\USERS\NOHAC\DYNAST>
F1 Help F2 (Un)Wrap F4 Hex/ASCII/Dump F5 Goto F6 Filter F7 Search

```

Zpracování pomocí bloků ala Simulink

Transformátor nakrátko

File Graf Variables Options 19-11-21 23:49:44

Parametry

Nazev souboru: trblok.0 * TIME
Typ dat: Dynast X IK
Pocet zaznamu: 1001
Pocet velicin: 2

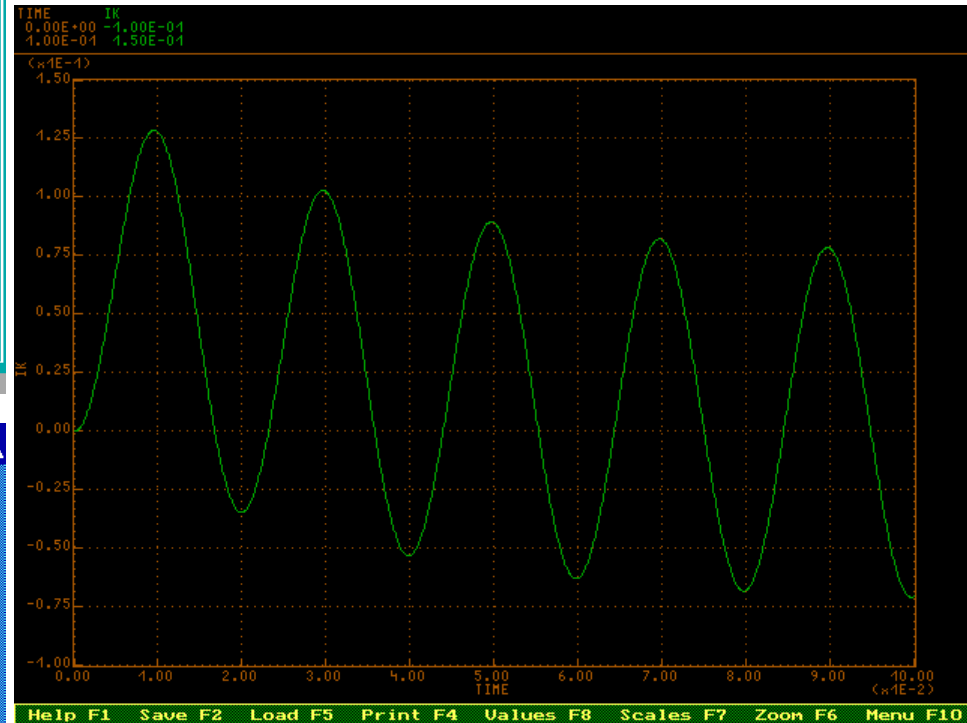
Oznaceni leve osy Y: Zahlavi grafu: Ano
Oznaceni prave osy Y: Oznaceni osy X: Ano
Deleni osy X: 10 Logar. meritko: Ne
Deleni osy Y: 10 Zaokrouhleni mer.: Ano
 Spolecne meritko: Ne

GRAFICKÉ OKNO:
Levy okraj: 40 Graficky rezim: UGA 640x480 16 Barev
Pravy okraj: 599
Horni okraj: 50
Dolni okraj: 439

Ovladac tiskarny: GRAFIMPL
Mod tisku: 9-120

GRAF U_1.1 katedra aplikovane elektroniky ZCU Plzen

Alt-X Exit F1 Help F3 Open F9 Paint Alt-F5 Swap F10 Menu 428808



C:\USERS\NOHAC\DYNAST\trblok.o 23:54:02

```
9.93000E-02 -7.04832E-02
9.94000E-02 -7.07352E-02
9.95000E-02 -7.09142E-02
9.96000E-02 -7.10200E-02
9.97000E-02 -7.10526E-02
9.98000E-02 -7.10119E-02
9.99000E-02 -7.08980E-02
1.00000E-01 -7.07109E-02
```

TR STATISTICS : 110 STEPS, 1 REJECTED STEPS, 119 ITERATIONS

ORDER	1	2	3	4	5	6
STEPS	4	8	7	4	3	84

SECONDS USED UP BY SECTION TR : 1.65
*END;

TOTAL SECONDS USED UP BY DYNAST : 1.65
PROGRAM DYNAST EXITED AT : 23:51:28

[<=>][100% of 33793 bytes]

C:\USERS\NOHAC\DYNAST>

F1 Help F2 (Un)Wrap F4 Hex/ASCII/Dump F5 Goto F6 Filter F7 Search

Zpracování pomocí bloků ala Simulink

Transformátor nakrátko

Řešení implicitní numerickou metodou bez zanedbání L_H :

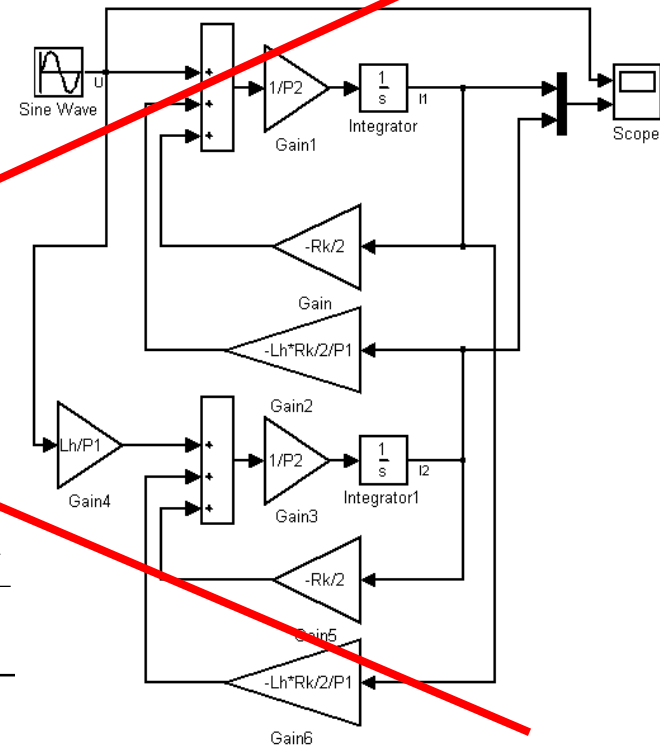
$$\frac{L_\sigma}{2} \frac{di_1}{dt} + i_1 \cdot \frac{R_K}{2} + L_h \frac{di_1}{dt} - L_h \frac{di_2}{dt} = \frac{u_K [\%]}{100} U_m \sin(\omega \cdot t)$$

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

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

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

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



Transformátor nakrátko

Řešení implicitní numerickou metodou bez zanedbání L_H :

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

$$U_t = U_k / 100 * U_m * \sin(\Omega * TIME) ;$$

$$0 = L_s / 2 * V_D . I_1 + I_1 * R_k / 2 + L_h * V_D . I_1 - L_h * V_D . I_2 - U_t ;$$

$$0 = -L_h * V_D . I_1 + L_h * V_D . I_2 + L_s / 2 * V_D . I_2 + I_2 * R_k / 2 ;$$

Zpracování pomocí soustavy implicitních diferenciálních rovnic

Transformátor nakrátko

Řešení implicitní numerickou metodou bez zanedbání L_H :

```
File Edit Search Paragraph Block Misc Options
*SYSTEM:
SYSVAR I1, I2;

: Obecné parametry
Un=110E3;
Um=Un/sqrt(3)*sqrt(2);
f=50;
Omega=2pi*f;

: Parametry transformatoru
Sn=10E6;

: Nasledujici parametry zadany v procentech
Uk=10;
I0=1;
dPk=1;
dP0=0.3;
dPcu=dPk;
dPfe=dP0;

1:1 [042] (+) <<
```

```
File Edit Search Paragraph Block Misc Options
: Odvozene parametry nahradniho schematu
Rk=(dPk/100)*(Un*Un/Sn);
Zk=(Uk/100)*(Un*Un/Sn);
Xs=sqrt(Zk*Zk-Rk*Rk);
Ls=Xs/Omega;
Gfe=(dP0/100)*(Sn/(Un*Un));
Rfe=1/Gfe;
Yg=(I0/100)*(Sn/(Un*Un));
Xh=1/sqrt(Yg*Yg-Gfe*Gfe);
Lh=Xh/Omega;

Ut=Uk/100*Um*sin(Omega*TIME);

: 0=Ls/2*I1'+I1*Rk/2+Lh*I1'-Lh*I2'-Ut;
: 0=-Lh*I1'+Lh*I2'+Ls/2*I2'+I2*Rk/2;
0=Ls/2*UD.I1+I1*Rk/2+Lh*UD.I1-Lh*UD.I2-Ut;
0=-Lh*UD.I1+Lh*UD.I2+Ls/2*UD.I2+I2*Rk/2;

deltaI=I1-I2;

21:1 [000] (+) <<
```

```
File Edit Search Paragraph Block Misc Options
*TR:
TR 0 0.1;
PRINT(10001) I1, I2, Ut, deltaI;
INIT I1=0, I2=0;
RUN;
*END;

41:1 [000] (+) <<
```

0:32:52 DYNAST 1.3b

This copy No.012345678 was made exclusively for the use of ANYBODY WHO WANTS TO USE DYNAST
(C) Any use by anybody else is illegal (C)

Section : TR Input file: C:\USERS\NOHAC\DYNAST\trrov.PRB
Start at: Output file: C:\USERS\NOHAC\DYNAST\trrov.D
+0.000000e+000 Last file:

Solving at	Step	Order	Operation
+1.486000e-002	+1.000000e-005	5	7
+1.487000e-002	+1.000000e-005	5	7

End at: Last event:
+1.000000e-001

Results

TIME	I1	I2	UT	DELTA I
+2.485000e-002	+3.772734e+001	+3.769360e+001	+8.971492e+003	+3.374584e-002
+2.486000e-002	+3.794974e+001	+3.791588e+001	+8.972777e+003	+3.385700e-002
+2.486000e-002	+3.794974e+001	+3.791588e+001	+8.972777e+003	+3.385700e-002
+2.487000e-002	+3.817209e+001	+3.813812e+001	+8.973973e+003	+3.396817e-002

Any key: Interrupt Ctrl C: Cancel Space bar: Display OFF

Zpracování pomocí soustavy implicitních diferenciálních rovnic

Transformátor nakrátko

Řešení implicitní numerickou metodou bez zanedbání L_H :

The screenshot shows a software interface with a menu bar (File, Graf, Variables, Options) and a status bar (20-11-21 00:33:18). The main window is titled "Parametry" and contains the following text:

Nazev souboru: trrov.0
Typ dat: Dynast
Pocet zaznamu: 10001
Pocet velicin: 5

Oznaceni leve osy Y:
Oznaceni prave osy []
Deleni osy X:
Deleni osy Y:

GRAFIČKÉ OKNO:
Levy okraj: 40
Pravy okraj: 599
Horni okraj: 50
Dolni okraj: 439

Ovladac tiskarny: GRAFIMPL
Mod tisku: 9-120

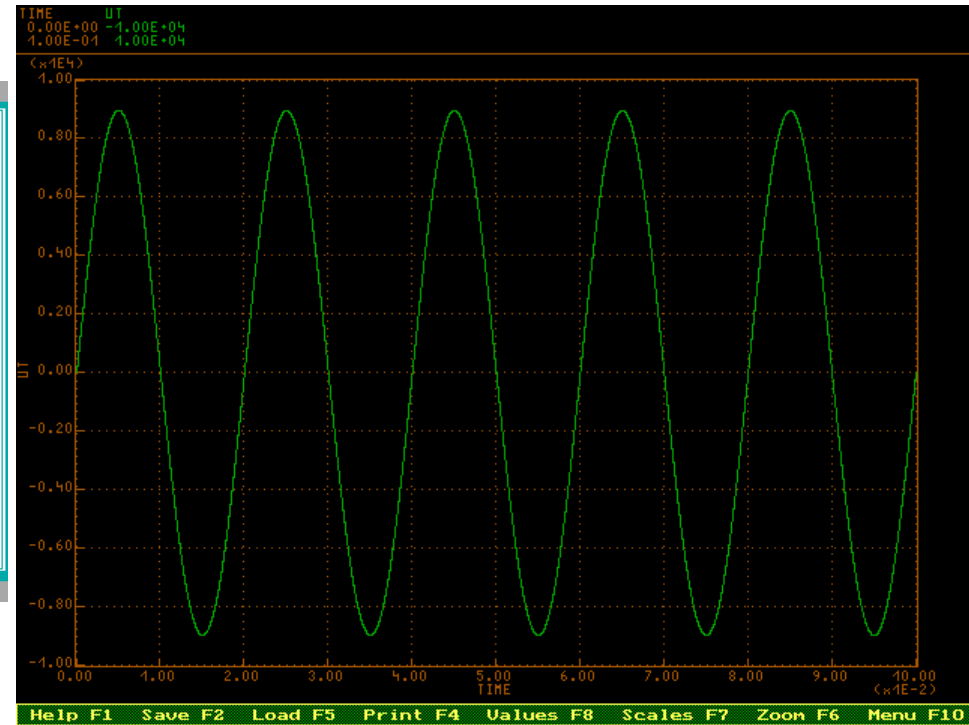
GRAF U_1.1 katedra aplikovane elektroniky ZCU Plzen

Alt-X Exit F1 Help F3 Open F9 Paint Alt-F5 Swap F10 Menu 427800

A dialog box titled "Variables" is open, showing a table of variables and their axes:

Jmeno	osa Y	osa X
TIME	[]	()
I1	[]	()
I2	[]	()
UT	[X]	()
DELTA I	[]	()

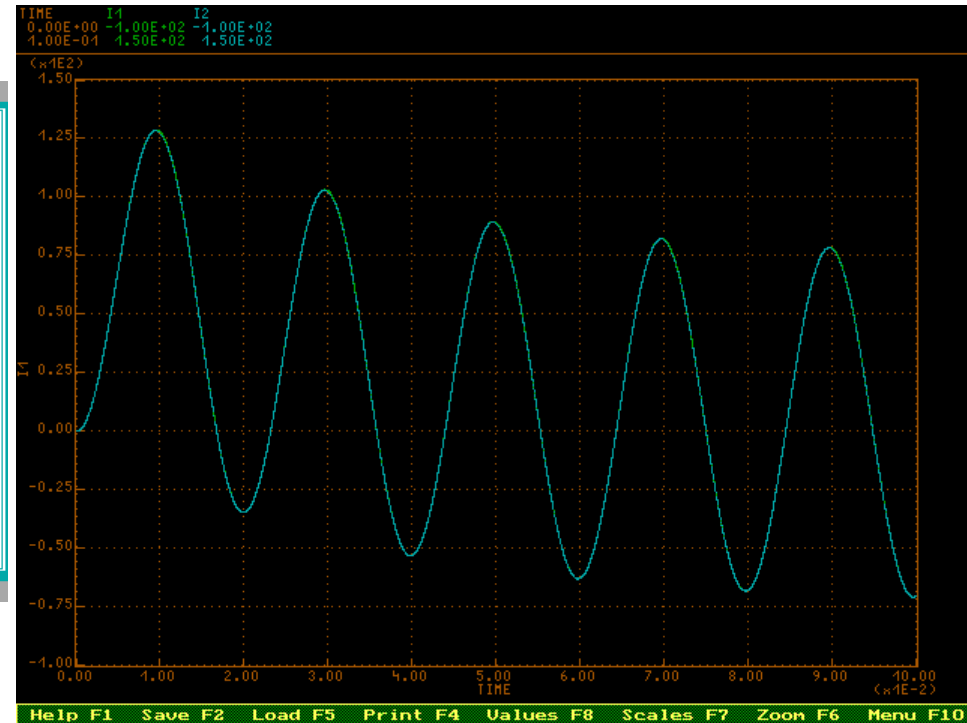
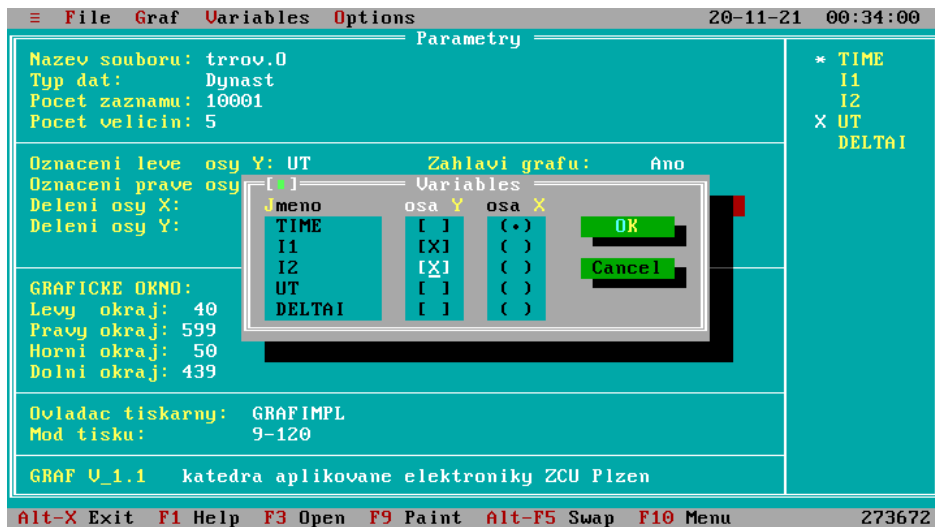
Buttons "OK" and "Cancel" are visible in the dialog box.



Zpracování pomocí soustavy implicitních diferenciálních rovnic

Transformátor nakrátko

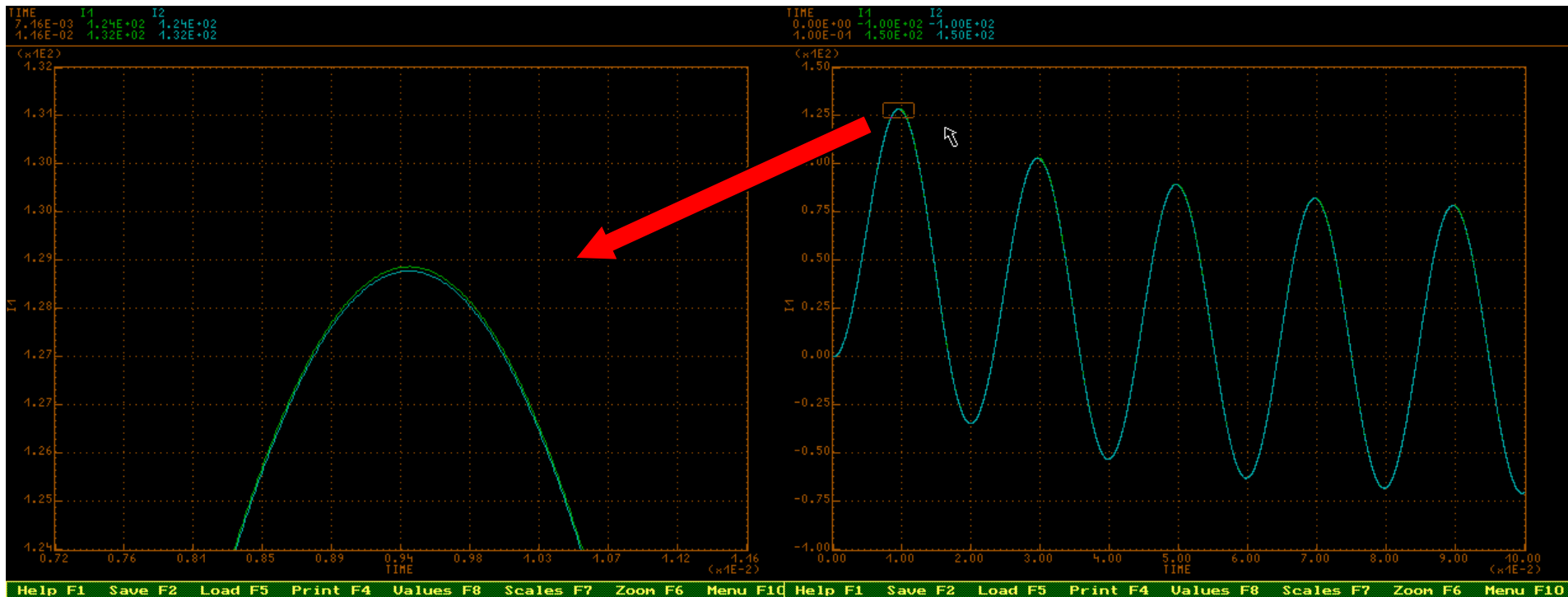
Řešení implicitní numerickou metodou bez zanedbání L_H :



Zpracování pomocí soustavy implicitních diferenciálních rovnic

Transformátor nakrátko

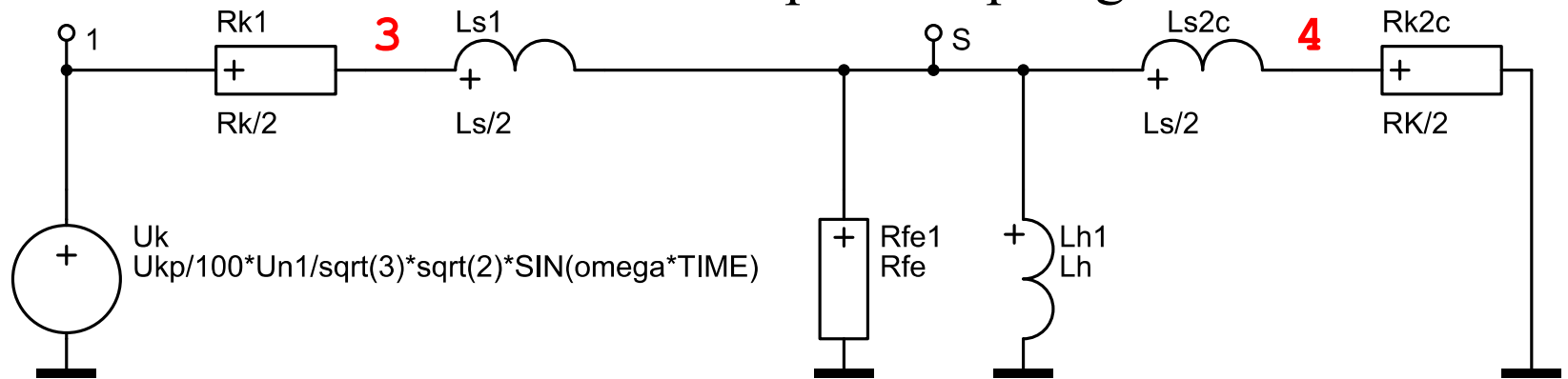
Řešení implicitní numerickou metodou bez zanedbání L_H :



Zpracování pomocí soustavy implicitních diferenciálních rovnic

Transformátor nakrátko

Řešení numerickou metodou s kompletní topologií:



Rfe1 S = Rfe;

Rk1 1-3 = Rk/2;

Rk2c 4 = RK/2;

Lh1 S = Lh;

Ls1 3-S = Ls/2;

Ls2c S-4 = Ls/2;

Uk > E 1 = Ukp/100*Un1/sqrt(3)*sqrt(2)*SIN(omega*TIME);
*TR;

TR 0 0.1;

PRINT(1001) V.1, S, I.Ls1, I.Ls2c, I.Lh1, I.Rfe1;

RUN;

*END;

Zpracování pomocí obvodového schéma

Transformátor nakrátko

Řešení numerickou metodou s kompletní topologií:

```
C:\USERS\NOHAC\DYNAST\trobv2.prb 23:06:53
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;

Rfe1 S = Rfe;
Rk1 1-3 = Rk/2;
Rk2c 4 = Rk/2;
Lh1 S = Lh;
Ls1 3-S = Ls/2;
Ls2c S-4 = Ls/2;
Uk > E 1 = Ukp/100*Un1*sqrt(2)/sqrt(3)*SIN(omega*TIME);

*TR;
TR 0 0.1;
PRINT(1001) U.1, S, I.Ls1, I.Ls2c, I.Lh1, I.Rfe1;
RUN;
*END;

[<=>][100% of 641 Bytes]
C:\USERS\NOHAC\DYNAST>
```

```
23: 7:32 D Y N A S T 1.3b
This copy No.012345678 was made exclusively for the use of
ANYBODY WHO WANTS TO USE DYNAST
(C) Any use by anybody else is illegal (C)

Section : TR      Input file: C:\USERS\NOHAC\DYNAST\trobv2.PRB
Start at:          Output file: C:\USERS\NOHAC\DYNAST\trobv2.0
+0.000000e+000    Last file:


```

Solving at	Step	Order	Operation
+3.930000e-002	+1.000000e-004	6	7
+3.940000e-002	+1.000000e-004	6	7

```
End at :          Last event:
+1.000000e-001


```

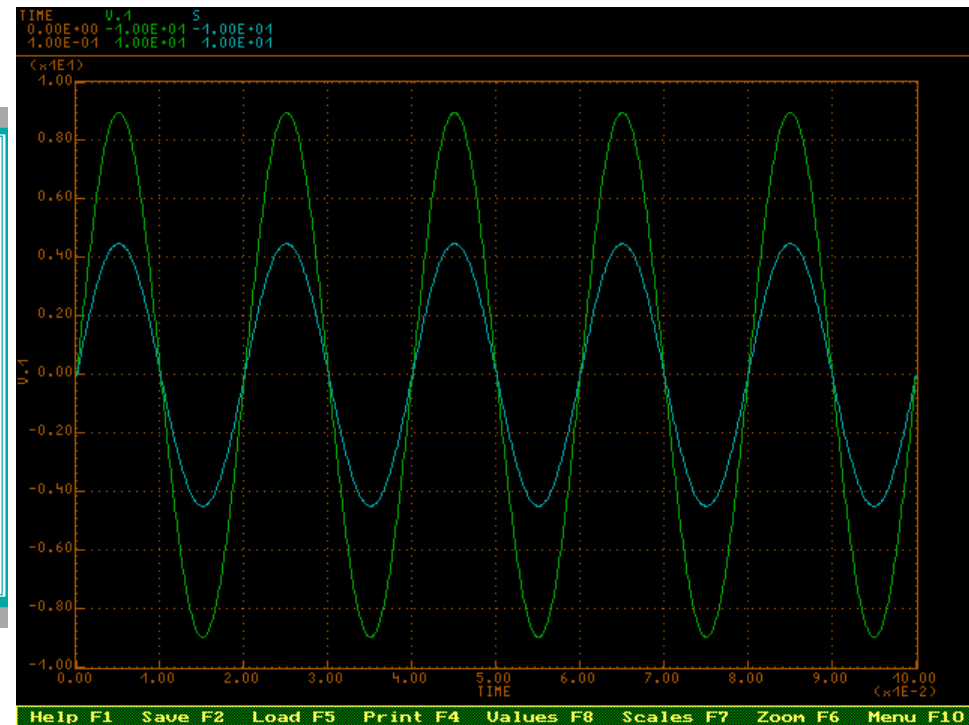
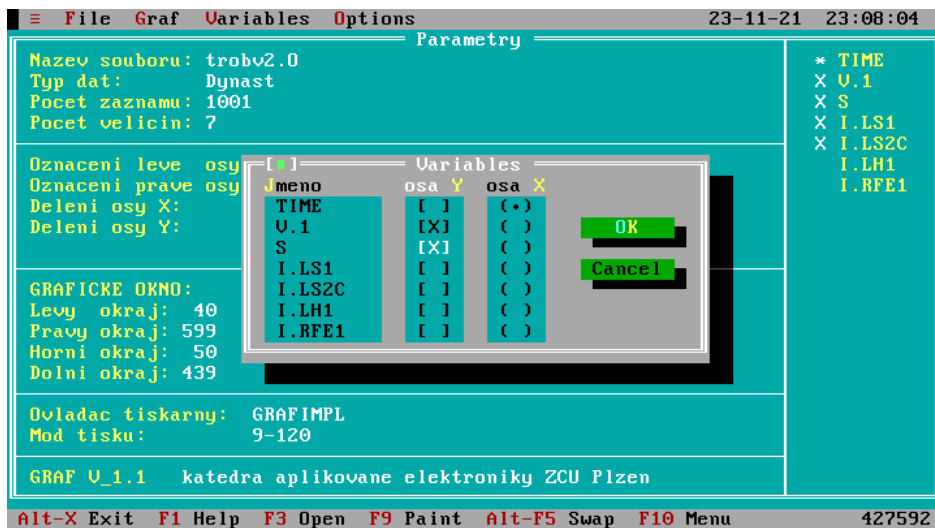
TIME	R e s u l t s			
	U.1 I.LH1	S I.RFE1	I.LS1	I.LS2C
+3.940000e-002	+8.196398e-007	-2.429054e-006	-1.682977e+000	-8.416132e-001
	+5.943900e-007	-2.086644e-006	-5.266345e-002	-5.266195e-002

```
Any key: Interrupt      Ctrl C: Cancel      Space bar: Display ON
```

Zpracování pomocí obvodového schéma

Transformátor nakrátko

Řešení numerickou metodou s kompletní topologií:



Zpracování pomocí obvodového schéma

Transformátor nakrátko

Řešení numerickou metodou s kompletní topologií:

File Graf Variables Options 23-11-21 23:10:56

Parametry

Nazev souboru: trobu2.0
Typ dat: Dynast
Pocet zaznamu: 1001
Pocet velicin: 7

Oznaceni leve osy
Oznaceni prave osy
Deleni osy X:
Deleni osy Y:

Jmeno	osa Y	osa X
TIME	[]	(*)
U.1	[]	()
S	[]	()
I.LS1	[X]	()
I.LS2C	[X]	()
I.LH1	[X]	()
I.RFE1	[X]	()

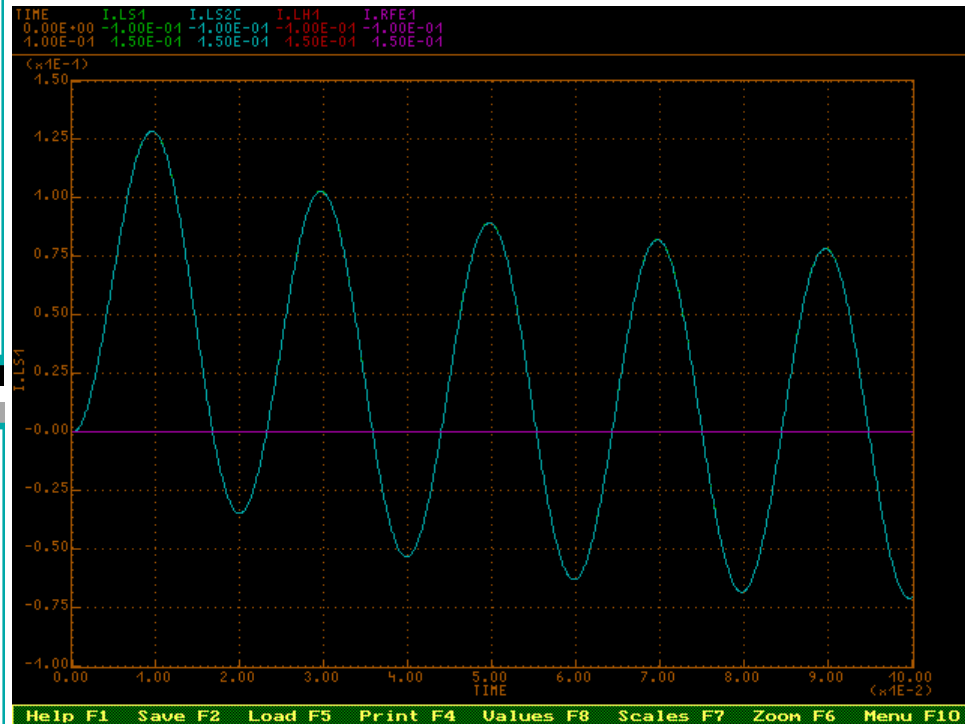
OK
Cancel

GRAFIGKE OKNO:
Levy okraj: 40
Pravy okraj: 599
Horni okraj: 50
Dolni okraj: 439

Ovladac tiskarny: GRAFIMPL
Mod tisku: 9-120

GRAF U_1.1 katedra aplikovane elektroniky ZCU Plzen

Alt-X Exit F1 Help F3 Open F9 Paint Alt-F5 Swap F10 Menu 273464



File Graf Variables Options 23-11-21 23:12:37

Parametry

Nazev souboru: trobu2.0
Typ dat: Dynast
Pocet zaznamu: 1001
Pocet velicin: 7

Oznaceni l
Oznaceni p
Deleni osy
Deleni osy

Velicina	Minimum	Maximum
TIME	0.00000E+00	1.00000E-01
U.1	-1.00000E+01	1.00000E+01
S	-5.00000E+00	5.00000E+00
I.LS1	-1.00000E-01	1.50000E-01
I.LS2C	-1.00000E-01	1.50000E-01
I.LH1	-1.00000E-01	1.50000E-01
I.RFE1	-1.00000E-01	1.50000E-01

OK
Restore
Round
Cancel

GRAFIGKE O
Levy okra
Pravy okra
Horni okra
Dolni okraj: 439

Ovladac tiskarny: GRAFIMPL
Mod tisku: 9-120

GRAF U_1.1 katedra aplikovane elektroniky ZCU Plzen

Alt-X Exit F1 Help F3 Open F9 Paint Alt-F5 Swap F10 Menu 272792

Zpracování pomocí obvodového schéma

Transformátor nakrátko

Řešení numerickou metodou s kompletní topologií:

File Graf Variables Options 23-11-21 23:14:49

Parametry

Nazev souboru: trobv2.0
Typ dat: Dynast
Pocet zaznamu: 1001
Pocet velicin: 7

Oznaceni leve osy
Oznaceni prave osy
Deleni osy X:
Deleni osy Y:

Jmeno	osa Y	osa X
TIME	[]	(*)
U.1	[]	()
S	[]	()
I.LS1	[]	()
I.LS2C	[]	()
I.LH1	[X]	()
I.RFE1	[X]	()

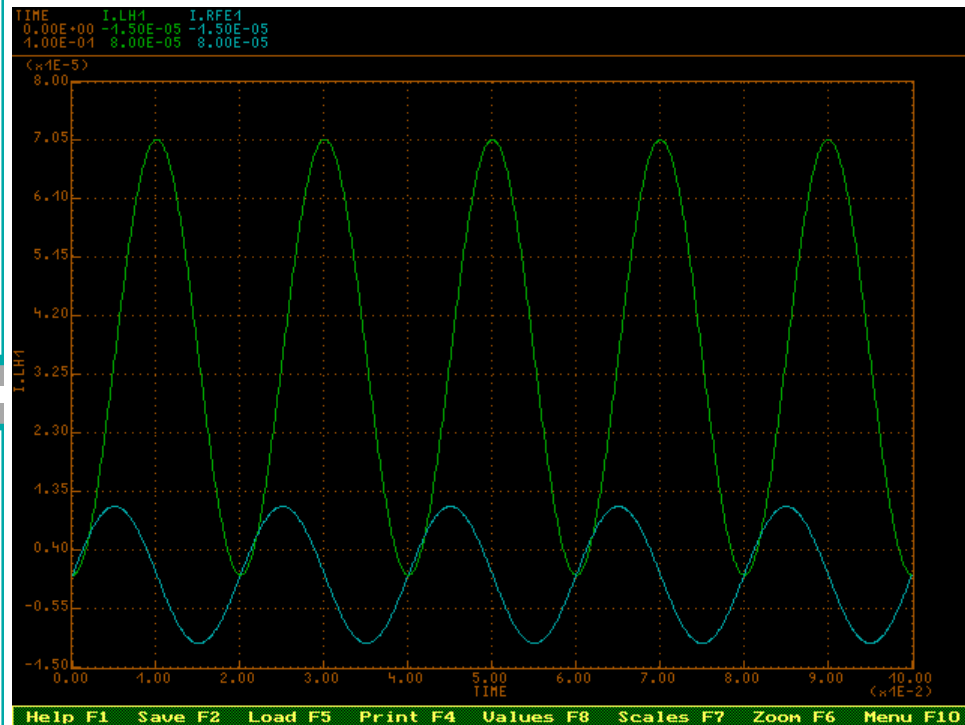
OK
Cancel

GRAFICKE OKNO:
Levy okraj: 40
Pravy okraj: 599
Horni okraj: 50
Dolni okraj: 439

Ovladac tiskarny: GRAFIMPL
Mod tisku: 9-120

GRAF U_1.1 katedra aplikovane elektroniky ZCU Plzen

Alt-X Exit F1 Help F3 Open F9 Paint Alt-F5 Swap F10 Menu 273464



File Graf Variables Options 23-11-21 23:18:39

Parametry

Nazev souboru: trobv2.0
Typ dat: Dynast
Pocet zaznamu: 1001
Pocet velicin: 7

Oznaceni l
Oznaceni p
Deleni osy
Deleni osy

Velicina	Minimum	Maximum
TIME	0.00000E+00	1.00000E-01
U.1	-1.00000E+01	1.00000E+01
S	-5.00000E+00	5.00000E+00
I.LS1	-1.00000E-01	1.50000E-01
I.LS2C	-1.00000E-01	1.50000E-01
I.LH1	-1.50000E-05	8.00000E-05
I.RFE1	-1.50000E-05	8.00000E-05

OK
Restore
Round
Cancel

GRAFICKE O
Levy okra
Pravy okra
Horni okra
Dolni okraj: 439

Ovladac tiskarny: GRAFIMPL
Mod tisku: 9-120

GRAF U_1.1 katedra aplikovane elektroniky ZCU Plzen

Alt-X Exit F1 Help F3 Open F9 Paint Alt-F5 Swap F10 Menu 272792

Zpracování pomocí obvodového schéma