

# Modelování vedení a přechodných jevů v programu DYNAST

Ing. Vladislav Sít'ář, Ph.D.

doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.

# Typy modelů

**Numerické** vs **analytické** řešení poměrů

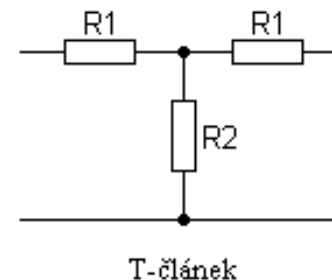
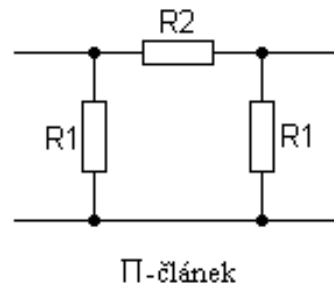
**Soustředěné** vs **rozprostřené** prvky schématu

Náhradní schéma ve **tvaru článku**:  $\Pi$ , T,  $\Gamma_{1,2}$ , Steinmetz

- Vliv na přesnost získaných průběhů simulovaného děje

Výpočty ustálených stavů, tedy efektivních hodnot veličin:

- $\Gamma$  (100 km vzdušné vedení, 25 km kabelové)
- $\Pi$  (300 km vzdušné vedení, 100 km kabelové)
- T (dtto jako  $\Pi$ )
- **Steinmetz** (vzdušné vedení do 500 km, kabelové do 200 km)



# Model využívající provozní parametry

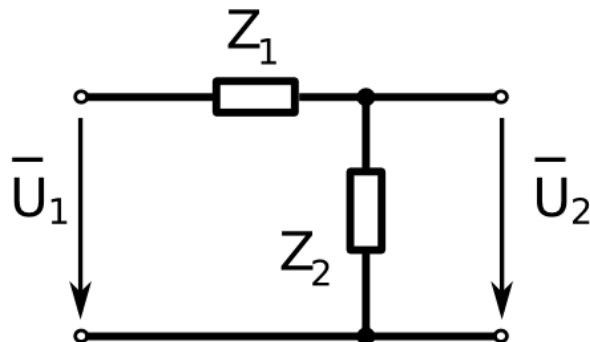
**Provozní parametry:**  $R_p$ ,  $L_p$ ,  $C_p$ ,  $G_p$

+

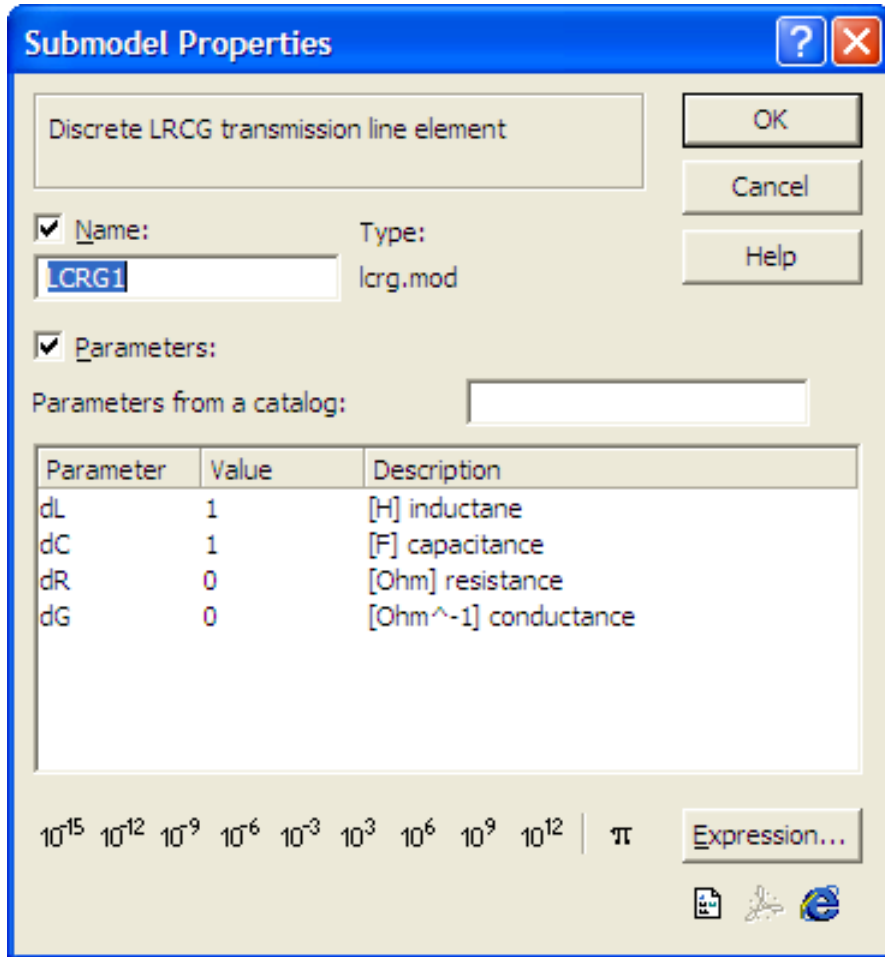
- Uplatnitelné i při neznalosti přesných konstrukčních parametrů
- Vhodné pro simulace ustálených symetrických stavů

-

- Nepřesné výsledky průběhů veličin při nesymetriích i přechodných dějích – nejsou respektovány vzájemné vazby prvků (L, C)



# Model využívající provozní parametry



:: Discrete LRCG transmission line element  
LCRG

A, :: positive terminal of port A

B, :: positive terminal of port B

C/ :: common reference terminal

dL = 1, :: [H] inductance

dC = 1, :: [F] capacitance

dR = 0, :: [Ohm] resistance

dG = 0; :: [Ohm<sup>-1</sup>] conductance

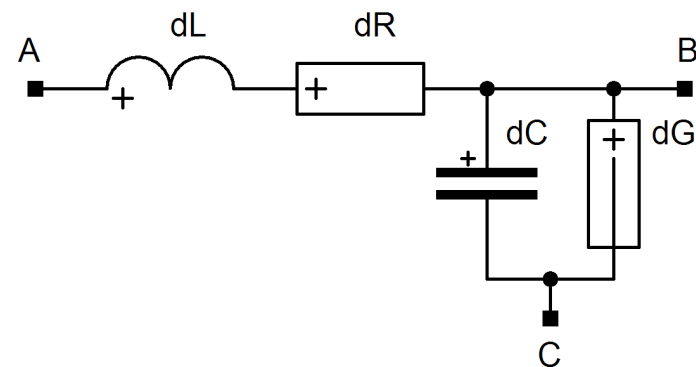
L1 A-B = dL;

R1 - L1 = dR;

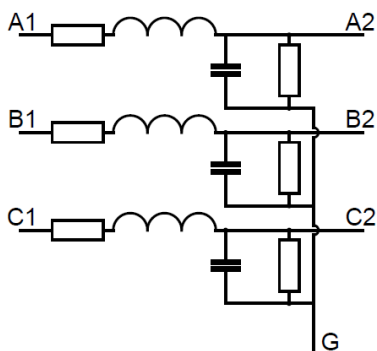
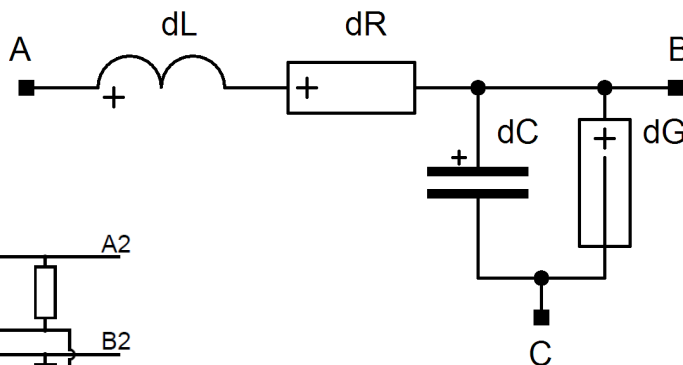
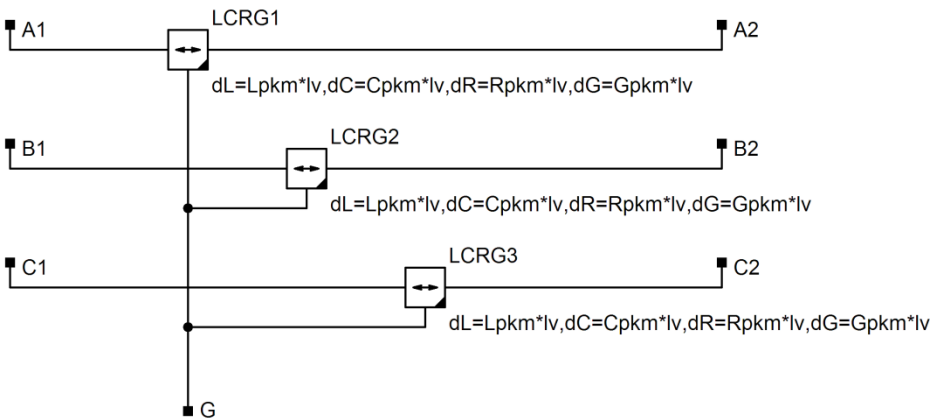
C1 B-C = dC;

G1 B-C = dG;

EO@;



# Model využívající provozní parametry



parametres1 ::

A1,:: input terminal of the phase A

A2,:: output terminal of the phase A

B1,:: input terminal of the phase B

B2,:: output terminal of the phase B

C1,:: input terminal of the phase C

C2,:: output terminal of the phase C

G/:: common reference terminal

Rpkm=0.2, :: [Ohm/km] series resistance per unit length

Gpkm=25n, :: [S/km] shunt leakage conductance per unit length

Lpkm=1m, :: [H/km] operating inductance per unit length

Cpkm=10n, :: [F/km] operating capacitance per unit length

lv=15; :: [km] length of the line

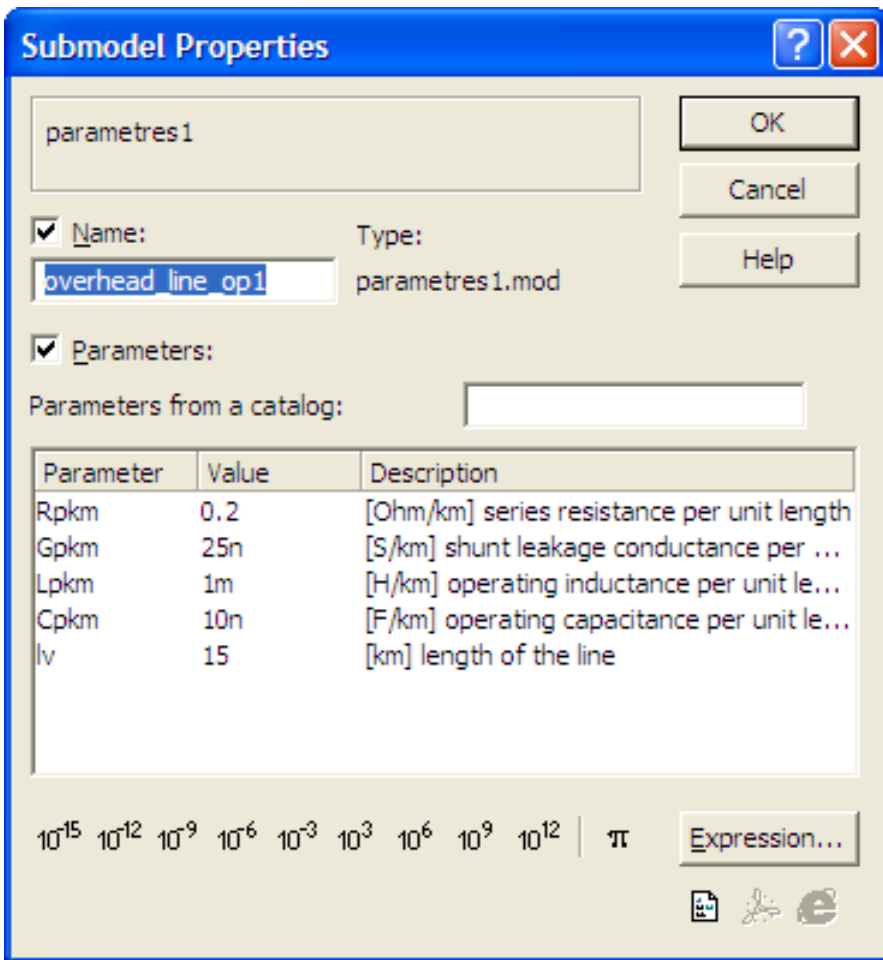
LCRG1 > @lcrg A1,A2,G /  
dL=Lpkm\*lv,dC=Cpkm\*lv,dR=Rpkm\*lv,  
dG=Gpkm\*lv;

LCRG2 > @lcrg B1,B2,G /  
dL=Lpkm\*lv,dC=Cpkm\*lv,dR=Rpkm\*lv,  
dG=Gpkm\*lv;

LCRG3 > @lcrg C1,C2,G /  
dL=Lpkm\*lv,dC=Cpkm\*lv,dR=Rpkm\*lv,  
dG=Gpkm\*lv;

EO@;

# Model využívající provozní parametry



parameters1 ::

A1,:: input terminal of the phase A

A2,:: output terminal of the phase A

B1,:: input terminal of the phase B

B2,:: output terminal of the phase B

C1,:: input terminal of the phase C

C2,:: output terminal of the phase C

G/:: common reference terminal

Rpkm=0.2, :: [Ohm/km] series resistance per unit length

Gpkm=25n, :: [S/km] shunt leakage conductance per unit length

Lpkm=1m, :: [H/km] operating inductance per unit length

Cpkm=10n, :: [F/km] operating capacitance per unit length

lv=15; :: [km] length of the line

LCRG1 > @lcrg A1,A2,G /  
dL=Lpkm\*lv,dC=Cpkm\*lv,dR=Rpkm\*lv,  
dG=Gpkm\*lv;

LCRG2 > @lcrg B1,B2,G /  
dL=Lpkm\*lv,dC=Cpkm\*lv,dR=Rpkm\*lv,  
dG=Gpkm\*lv;

LCRG3 > @lcrg C1,C2,G /  
dL=Lpkm\*lv,dC=Cpkm\*lv,dR=Rpkm\*lv,  
dG=Gpkm\*lv;

EO@;

# Model využívající přepočítané provozní hodnoty parametrů

**Přepočítané provozní parametry:**  $R_p$ ,  $L_v$ ,  $M$ ,  $C_0$ ,  $C_{vz}$ ,  $G_p$

+

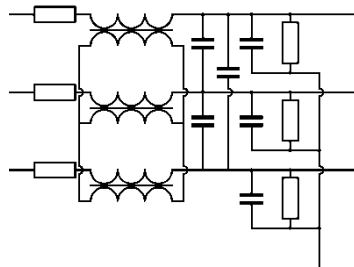
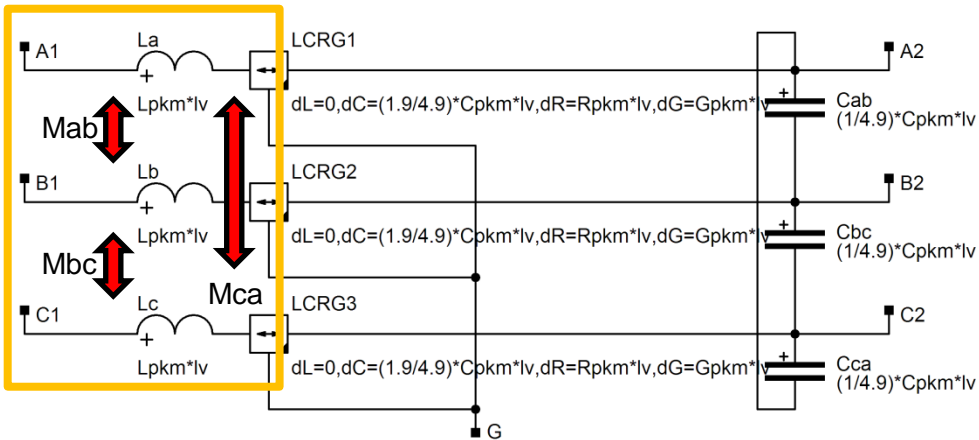
- Poněkud přesnější výsledky simulací nesymetrických ustálených stavů i přechodných dějů
- Důležité pro zjišťování průběhů dílčích veličin na vedení

-

- Nutná znalost alespoň vzájemných poměrů velikostí mezi pasivními veličinami

$$\begin{array}{ll} C_p \rightarrow a \times C_0 & L_p \rightarrow a \times L_v \\ \rightarrow b \times C_{vz} & \rightarrow b \times M \end{array}$$

# Model využívající přepočítané provozní hodnoty parametrů



Model pouze rozšiřující použití  
provozních parametrů

parametres2 ::

- A1, :: input terminal of the phase A
- A2, :: output terminal of the phase A
- B1, :: input terminal of the phase B
- B2, :: output terminal of the phase B
- C1, :: input terminal of the phase C
- C2, :: output terminal of the phase C
- G/ :: common reference terminal
- Rpkm=0.2, :: [Ohm/km] series resistance per unit length
- Gpkm=25n, :: [S/km] shunt leakage conductance per unit length
- Lpkm=1m, :: [H/km] operating inductance per unit length
- Cpkm=10n, :: [F/km] operating capacitance per unit length
- lv=15; :: [km] length of the line

LCRG1 > @lcrG 1,A2,G /  
dL=0,dC=(1.9/4.9)\*Cpkm\*lv,dR=Rpkm\*lv,dG=Gpkm\*lv;

LCRG2 > @lcrG 2,B2,G /  
dL=0,dC=(1.9/4.9)\*Cpkm\*lv,dR=Rpkm\*lv,dG=Gpkm\*lv;

LCRG3 > @lcrG 3,C2,G /  
dL=0,dC=(1.9/4.9)\*Cpkm\*lv,dR=Rpkm\*lv,dG=Gpkm\*lv;

Cab A2-B2 = (1/4.9)\*Cpkm\*lv;

Cbc B2-C2 = (1/4.9)\*Cpkm\*lv;

Cca C2-A2 = (1/4.9)\*Cpkm\*lv;

La A1-1 = Lpkm\*lv;

Lb B1-2 = Lpkm\*lv;

Lc C1-3 = Lpkm\*lv;

Mab La-Lb = Lpkm\*lv;

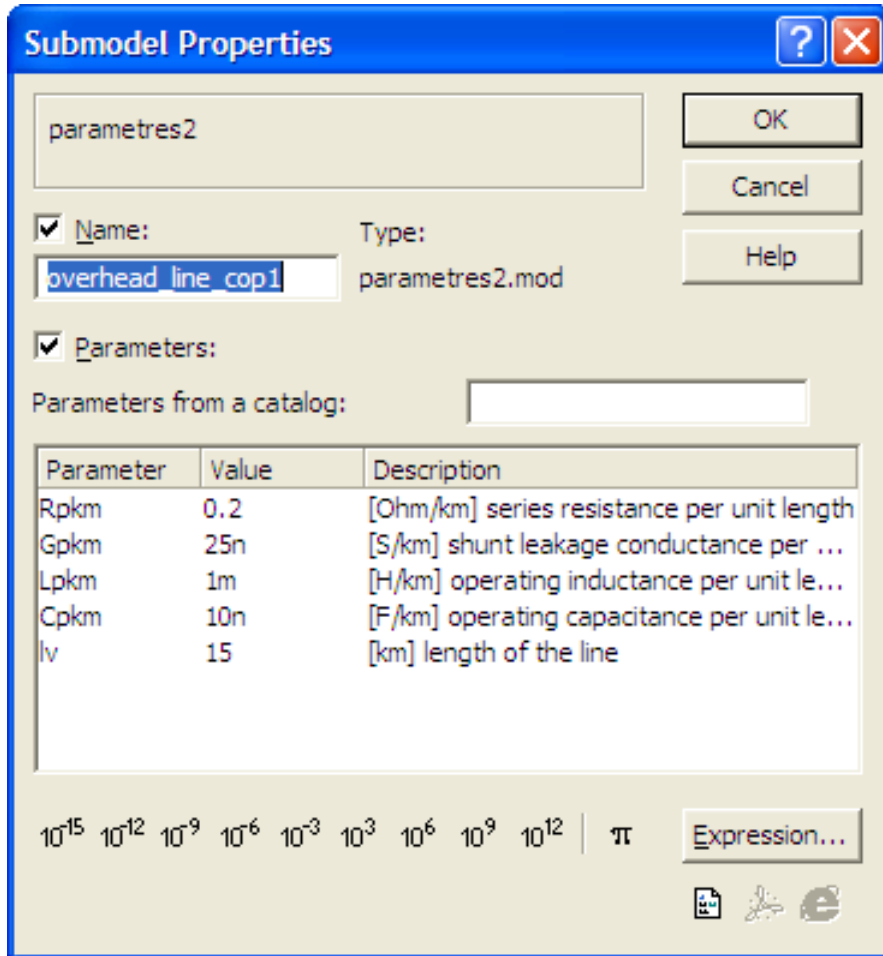
Mbc Lb-Lc = Lpkm\*lv;

Mca Lc-La = Lpkm\*lv;

EO@:



# Model využívající přepočítané provozní hodnoty parametrů



parameters2 ::

A1, :: input terminal of the phase A  
 A2, :: output terminal of the phase A  
 B1, :: input terminal of the phase B  
 B2, :: output terminal of the phase B  
 C1, :: input terminal of the phase C  
 C2, :: output terminal of the phase C  
 G/ :: common reference terminal  
 Rpkm=0.2, :: [Ohm/km] series resistance per unit length  
 Gpkm=25n, :: [S/km] shunt leakage conductance per unit length  
 Lpkm=1m, :: [H/km] operating inductance per unit length  
 Cpkm=10n, :: [F/km] operating capacitance per unit length  
 lv=15; :: [km] length of the line

LCRG1 > @lcr1 1,A2,G / dL=0,dC=(1.9/4.9)\*Cpkm\*lv,dR=Rpkm\*lv,  
 dG=Gpkm\*lv;

LCRG2 > @lcr2 2,B2,G / dL=0,dC=(1.9/4.9)\*Cpkm\*lv,dR=Rpkm\*lv,  
 dG=Gpkm\*lv;

LCRG3 > @lcr3 3,C2,G / dL=0,dC=(1.9/4.9)\*Cpkm\*lv,dR=Rpkm\*lv,  
 dG=Gpkm\*lv;

Cab A2-B2 = (1/4.9)\*Cpkm\*lv;

Cbc B2-C2 = (1/4.9)\*Cpkm\*lv;

Cca C2-A2 = (1/4.9)\*Cpkm\*lv;

La A1-1 = Lpkm\*lv;

Lb B1-2 = Lpkm\*lv;

Lc C1-3 = Lpkm\*lv;

Mab La-Lb = Lpkm\*lv;

Mbc Lb-Lc = Lpkm\*lv;

Mca Lc-La = Lpkm\*lv;

EO@;

# Model využívající střední hodnoty parametrů

**Střední hodnoty parametrů:**  $R_p$ ,  $L_v$ ,  $M$ ,  $C_0$ ,  $C_{vz}$ ,  $G_p$

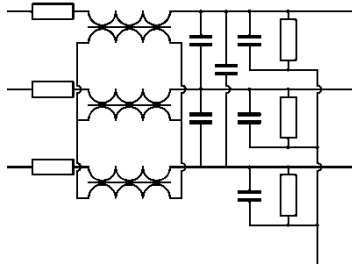
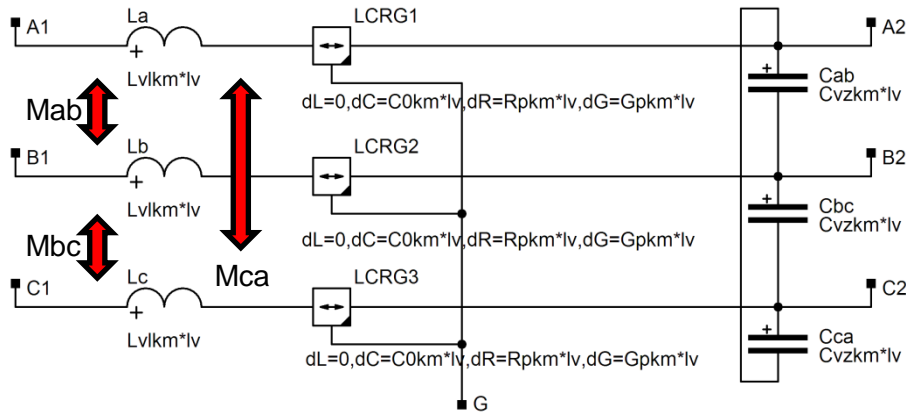
+

- Přesnější výsledky simulací nesymetrických ustálených stavů i přechodných dějů
- Důležité pro zjišťování průběhů dílčích veličin na vedení

-

- Nutná znalost alespoň všech středních pasivních parametrů

# Model využívající střední hodnoty parametrů



parametres3 ::

- A1, :: input terminal of the phase A
- A2, :: output terminal of the phase A
- B1, :: input terminal of the phase B
- B2, :: output terminal of the phase B
- C1, :: input terminal of the phase C
- C2, :: output terminal of the phase C
- G/ :: common reference terminal

- Rpkm = 0.2, :: [Ohm/km] series operating resistance
- Gpkm = 25n, :: [S/km] shunt leakage operating conductance
- Lvlkm = 2m, :: [H/km] the middle value of self-inductance
- Mvzkm = 1m, :: [H/km] the middle value of mutual inductance
- C0km = 10n, :: [F/km] the middle earth capacitance
- Cvzkm = 4n, :: [F/km] the middle value of capacitance
- lv = 15; :: [km] length of the line

LCRG1 > @lcr1 1,A2,G / dL=0,dC=**C0km\*lv**,dR=Rpkm\*lv,  
dG=Gpkm\*lv;

LCRG2 > @lcr2 2,B2,G / dL=0,dC=**C0km\*lv**,dR=Rpkm\*lv,  
dG=Gpkm\*lv;

LCRG3 > @lcr3 3,C2,G / dL=0,dC=**C0km\*lv**,dR=Rpkm\*lv,  
dG=Gpkm\*lv;

Cab A2-B2 = **Cvzkm\*lv**;

Cbc B2-C2 = **Cvzkm\*lv**;

Cca C2-A2 = **Cvzkm\*lv**;

La A1-1 = **Lvlkm\*lv**;

Lb B1-2 = **Lvlkm\*lv**;

Lc C1-3 = **Lvlkm\*lv**;

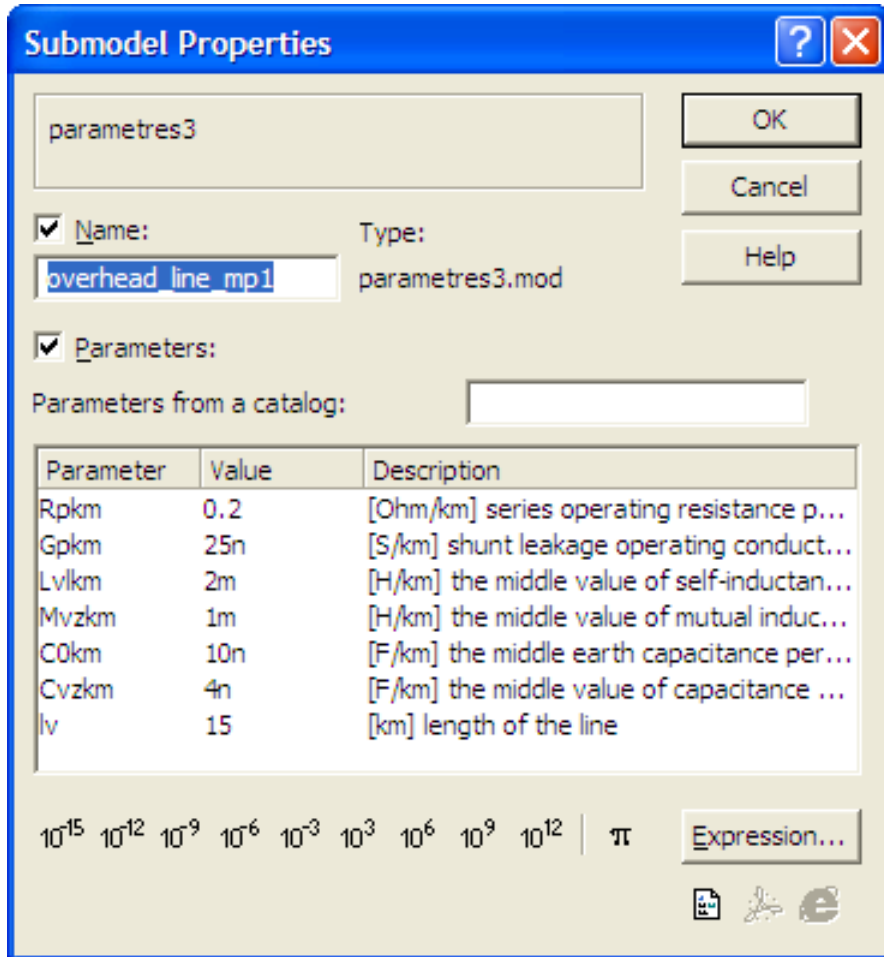
Mab La-Lb = **Mvzkm\*lv**;

Mbc Lb-Lc = **Mvzkm\*lv**;

Mca Lc-La = **Mvzkm\*lv**;

EO@;

# Model využívající střední hodnoty parametrů



parameters3 ::

A1, :: input terminal of the phase A  
 A2, :: output terminal of the phase A  
 B1, :: input terminal of the phase B  
 B2, :: output terminal of the phase B  
 C1, :: input terminal of the phase C  
 C2, :: output terminal of the phase C  
 G/ :: common reference terminal

Rpkm = 0.2, :: [Ohm/km] series operating resistance  
 Gpkm = 25n, :: [S/km] shunt leakage operating conductance  
 Lvlkm = 2m, :: [H/km] the middle value of self-inductance  
 Mvzkm = 1m, :: [H/km] the middle value of mutual inductance  
 C0km = 10n, :: [F/km] the middle earth capacitance  
 Cvzkm = 4n, :: [F/km] the middle value of capacitance  
 lv = 15; :: [km] length of the line

LCRG1 > @lcrG 1,A2,G / dL=0,dC=C0km\*lv,dR=Rpkm\*lv,  
 dG=Gpkm\*lv;

LCRG2 > @lcrG 2,B2,G / dL=0,dC=C0km\*lv,dR=Rpkm\*lv,  
 dG=Gpkm\*lv;

LCRG3 > @lcrG 3,C2,G / dL=0,dC=C0km\*lv,dR=Rpkm\*lv,  
 dG=Gpkm\*lv;

Cab A2-B2 = Cvzkm\*lv;

Cbc B2-C2 = Cvzkm\*lv;

Cca C2-A2 = Cvzkm\*lv;

La A1-1 = Lvlkm\*lv;

Lb B1-2 = Lvlkm\*lv;

Lc C1-3 = Lvlkm\*lv;

Mab La-Lb = Mvzkm\*lv;

Mbc Lb-Lc = Mvzkm\*lv;

Mca Lc-La = Mvzkm\*lv;

EO@;

# Model využívající detailní hodnoty parametrů pro každou fázi

## Individuální fázové a mezifázové parametry:

$R_p, L_{va}, L_{vb}, L_{vc}, M_{ab}, M_{bc}, M_{ca}, C_{0a}, C_{0b}, C_{0c}, C_{vzab}, C_{vzbc}, C_{vzca}, G_p$

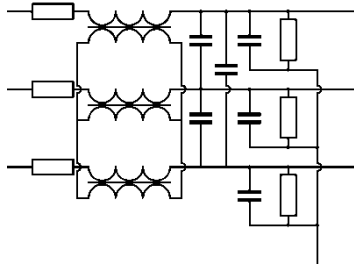
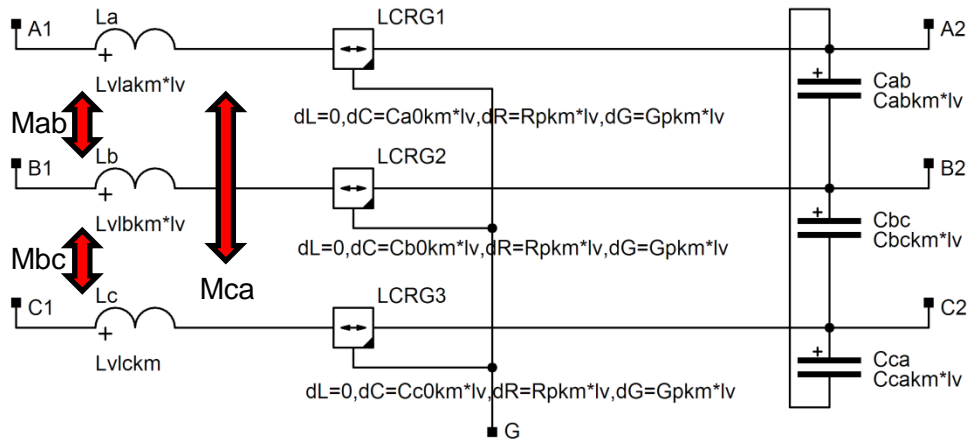
+

- Nejpřesnější výsledky simulací nesymetrických ustálených stavů i přechodných dějů
- Důležité pro zjišťování průběhů dílčích veličin na vedení

-

- Nutná znalost všech individuálních pasivních parametrů

# Model využívající detailní hodnoty pro každou fázi



parametres4 ::

A1, :: input terminal of the phase A

A2, :: output terminal of the phase A

B1, :: input terminal of the phase B

B2, :: output terminal of the phase B

C1, :: input terminal of the phase C

C2, :: output terminal of the phase C

G/ :: common reference terminal

$Rpkm = 0.2$ , :: [Ohm/km] series resistance

$Gpkm = 25n$ , :: [S/km] shunt leakage conductance

$Lvlakm = 2.3m$ , :: [H/km] self-inductance phase A

$Lvlbkm = 2.3m$ , :: [H/km] self-inductance phase B

$Lvlckm = 2.3m$ , :: [H/km] self-inductance phase C

$Mabkm = 1.5m$ , :: [H/km] mutual inductance phases A and B

$Mbckm = 1.5m$ , :: [H/km] mutual inductance phases B and C

$Mcakm = 1.5m$ , :: [H/km] mutual inductance phases C and A

$Ca0km = 4.2n$ , :: [F/km] earth capacitance phase A

$Cb0km = 4.2n$ , :: [F/km] earth capacitance phase B

$Cc0km = 4.2n$ , :: [F/km] earth capacitance phase C

$Cabkm = 2n$ , :: [F/km] capacitance phases A and B

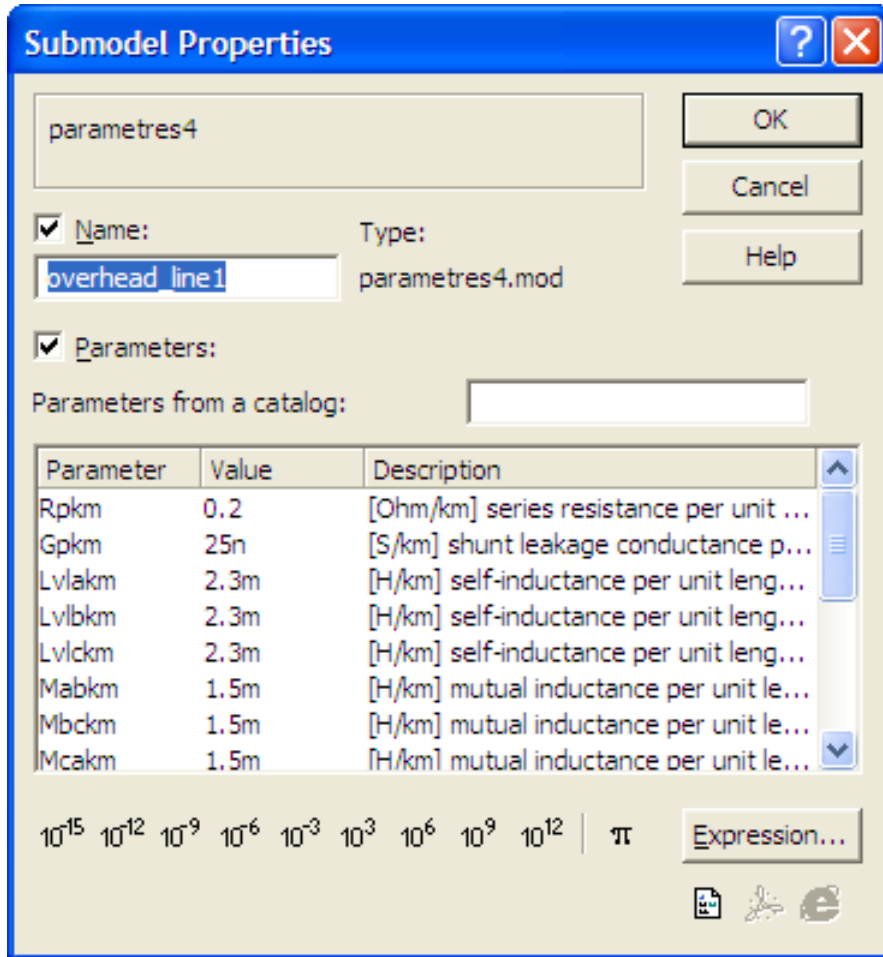
$Cbckm = 2n$ , :: [F/km] capacitance phases B and C

$Ccakm = 2n$ , :: [F/km] capacitance phases C and A

$lv = 20$ ; :: [km] length of the line

...

# Model využívající detailní hodnoty pro každou fázi



parameters4 ::

A1, :: input terminal of the phase A

A2, :: output terminal of the phase A

B1, :: input terminal of the phase B

B2, :: output terminal of the phase B

C1, :: input terminal of the phase C

C2, :: output terminal of the phase C

G/ :: common reference terminal

Rpkm = 0.2, :: [Ohm/km] series resistance

Gpkm = 25n, :: [S/km] shunt leakage conductance

Lvlakm = 2.3m, :: [H/km] self-inductance phase A

Lvlbkm = 2.3m, :: [H/km] self-inductance phase B

Lvlckm = 2.3m, :: [H/km] self-inductance phase C

Mabkm = 1.5m, :: [H/km] mutual inductance phases A and B

Mbckm = 1.5m, :: [H/km] mutual inductance phases B and C

Mcakm = 1.5m, :: [H/km] mutual inductance phases C and A

Ca0km = 4.2n, :: [F/km] earth capacitance phase A

Cb0km = 4.2n, :: [F/km] earth capacitance phase B

Cc0km = 4.2n, :: [F/km] earth capacitance phase C

Cabkm = 2n, :: [F/km] capacitance phases A and B

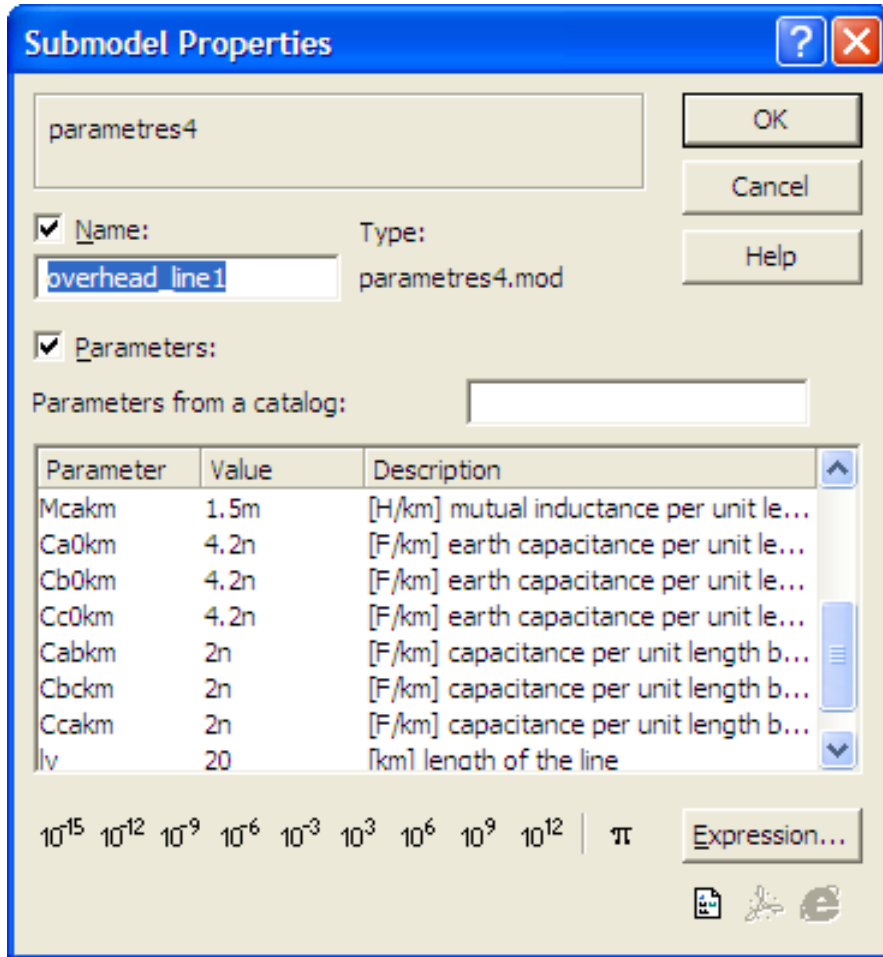
Cbckm = 2n, :: [F/km] capacitance phases B and C

Ccakm = 2n, :: [F/km] capacitance phases C and A

lv = 20; :: [km] length of the line

...

# Model využívající detailní hodnoty pro každou fázi



...

LCRG1 > @lcrG 1,A2,G / dL=0,dC=Ca0km\*lv,dR=Rpkm\*lv,  
dG=Gpkm\*lv;

LCRG2 > @lcrG 2,B2,G / dL=0,dC=Cb0km\*lv,dR=Rpkm\*lv,  
dG=Gpkm\*lv;

LCRG3 > @lcrG 3,C2,G / dL=0,dC=Cc0km\*lv,dR=Rpkm\*lv,  
dG=Gpkm\*lv;

Cca C2-A2 = Ccakm\*lv;

Cab A2-B2 = Cabkm\*lv;

Cbc B2-C2 = Cbckm\*lv;

La A1-1 = Lvlakm\*lv;

Lb B1-2 = Lvlbkm\*lv;

Lc C1-3 = Lvlckm\*lv;

Mab La-Lb=Mabkm\*lv;

Mbc Lb-Lc=Mbckm\*lv;

Mca Lc-La=Mcakm\*lv;

EO@;



# Model využívající detailní hodnoty pro každou fázi

A1, :: input terminal of the phase A  
A2, :: output terminal of the phase A  
B1, :: input terminal of the phase B  
B2, :: output terminal of the phase B  
C1, :: input terminal of the phase C  
C2, :: output terminal of the phase C  
G/ :: common reference terminal  
Rpkm = 0.2, :: [Ohm/km] series resistance per unit length  
Gpkm = 25n, :: [S/km] shunt leakage conductance per unit length  
Lvlakm = 2.3m, :: [H/km] self-inductance per unit length for phase A  
Lvlbkm = 2.3m, :: [H/km] self-inductance per unit length for phase B  
Lvlckm = 2.3m, :: [H/km] self-inductance per unit length for phase C  
Mabkm = 1.5m, :: [H/km] mutual inductance per unit length between phases A and B  
Mbckm = 1.5m, :: [H/km] mutual inductance per unit length between phases B and C  
Mcakm = 1.5m, :: [H/km] mutual inductance per unit length between phases C and A  
Ca0km = 4.2n, :: [F/km] earth capacitance per unit length for phase A  
Cb0km = 4.2n, :: [F/km] earth capacitance per unit length for phase B

Cc0km = 4.2n, :: [F/km] earth capacitance per unit length for phase C  
Cabkm = 2n, :: [F/km] capacitance per unit length between phases A and B  
Cbckm = 2n, :: [F/km] capacitance per unit length between phases B and C  
Ccakm = 2n, :: [F/km] capacitance per unit length between phases C and A  
lv = 20; :: [km] length of the line  
LCRG1 > @lcrG1,A2,G/dL=0,dC=Ca0km\*lv,dR=Rpkm\*lv,dG=Gpkm\*lv;  
LCRG2 > @lcrG2,B2,G/dL=0,dC=Cb0km\*lv,dR=Rpkm\*lv,dG=Gpkm\*lv;  
LCRG3 > @lcrG3,C2,G/dL=0,dC=Cc0km\*lv,dR=Rpkm\*lv,dG=Gpkm\*lv;  
Cca C2-A2 = Ccakm\*lv;  
Cab A2-B2 = Cabkm\*lv;  
Cbc B2-C2 = Cbckm\*lv;  
La A1-1 = Lvlakm\*lv;  
Lb B1-2 = Lvlbkm\*lv;  
Lc C1-3 = Lvlckm\*lv;  
Mab La-Lb=Mabkm\*lv;  
Mbc Lb-Lc=Mbckm\*lv;  
Mca Lc-La=Mcakm\*lv;  
EO@;

# Model využívající střední konstrukční parametry

**Konstrukční parametry:**  $d_s$ ,  $h_s$ ,  $r_v$ ,  $R_p$ ,  $G_p$

+

- Přesnější výsledky simulací nesymetrických ustálených stavů i přechodných dějů
- Důležité pro zjišťování průběhů dílčích veličin na vedení

-

- Nutná znalost alespoň středních rozměrových parametrů (určených geometrií)

# Model využívající detailní konstrukční parametry

**Individuální konstrukční parametry:**  $d_{ab}$ ,  $d_{bc}$ ,  $d_{ca}$ ,  $h_a$ ,  $h_b$ ,  $h_c$ ,  $r_v$ ,  $R_p$ ,  $G_p$

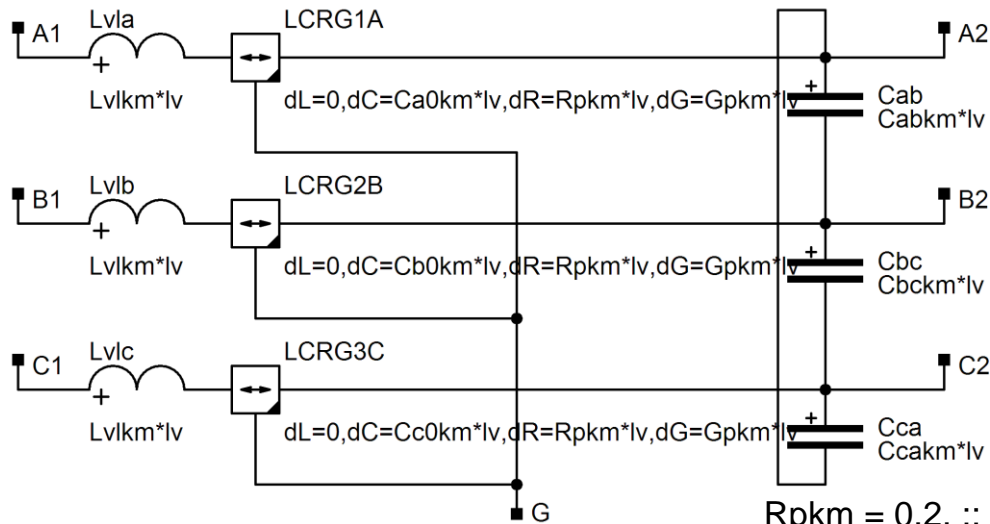
+

- Nejpřesnější výsledky simulací nesymetrických ustálených stavů i přechodných dějů
- Důležité pro zjišťování průběhů dílčích veličin na vedení

-

- Nutná znalost všech rozměrových parametrů (určených geometrií)

# Model využívající konstrukční parametry



construction2 ::

A1, :: input terminal of the phase A

A2, :: output terminal of the phase A

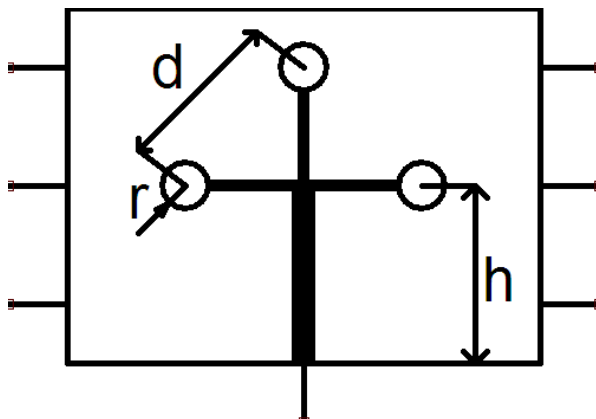
B1, :: input terminal of the phase B

B2, :: output terminal of the phase B

C1, :: input terminal of the phase C

C2, :: output terminal of the phase C

G/ :: common reference terminal



$R_{pkm} = 0.2$ , :: [Ohm/km] series resistance per unit length

$G_{pkm} = 25n$ , :: [S/km] shunt leakage conductance per unit length

$h_a = 10$ , :: [m] height of the suspension point of the phase conductor A

$h_b = 10$ , :: [m] height of the suspension point of the phase conductor B

$h_c = 10$ , :: [m] height of the suspension point of the phase conductor C

$d_{ab} = 1.5$ , :: [m] conductors distance between phases A and B

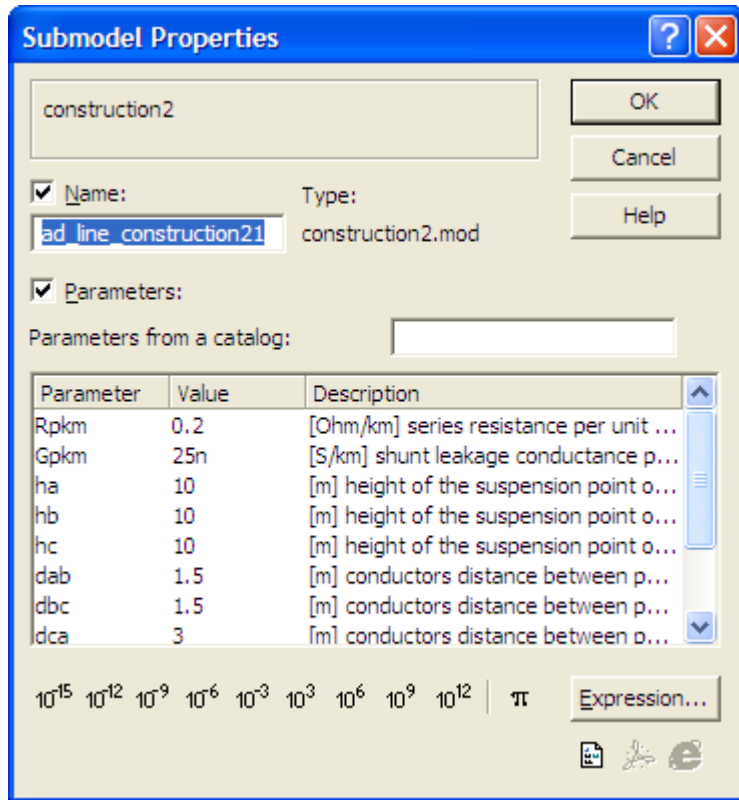
$d_{bc} = 1.5$ , :: [m] conductors distance between phases B and C

$d_{ca} = 3$ , :: [m] conductors distance between phases C and A

$r = 0.01$ , :: [m] conductor radius

$lv = 15$ ; :: [km] length of the line

# Model využívající konstrukční parametry



construction2 ::

A1, :: input terminal of the phase A

A2, :: output terminal of the phase A

B1, :: input terminal of the phase B

B2, :: output terminal of the phase B

C1, :: input terminal of the phase C

C2, :: output terminal of the phase C

G/ :: common reference terminal

Rpkm = 0.2, :: [Ohm/km] series resistance per unit length

Gpkm = 25n, :: [S/km] shunt leakage conductance per unit length

ha=10, :: [m] height of the suspension point of the phase conductor A

hb=10, :: [m] height of the suspension point of the phase conductor B

hc=10, :: [m] height of the suspension point of the phase conductor C

dab=1.5, :: [m] conductors distance between phases A and B

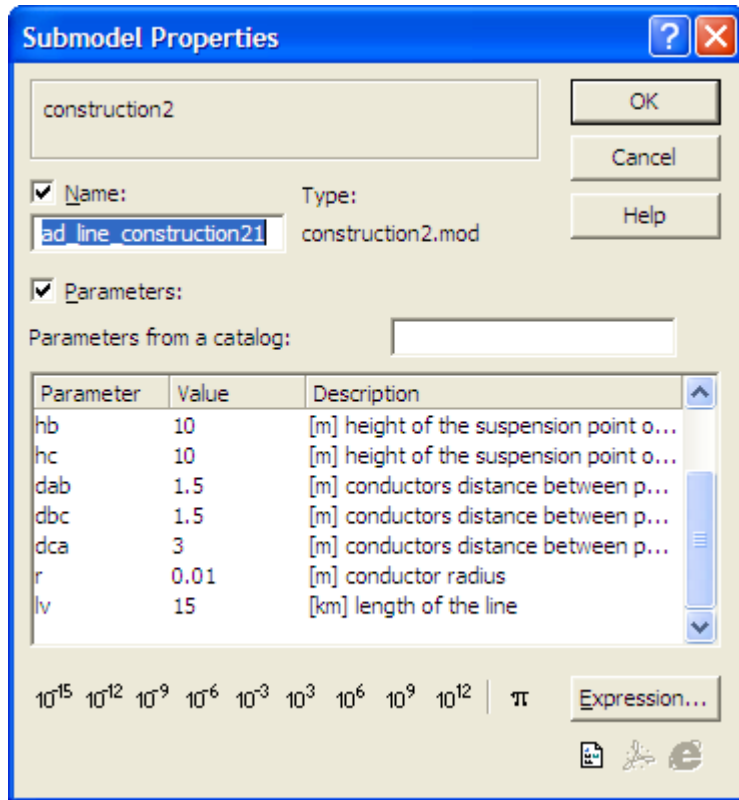
dbc=1.5, :: [m] conductors distance between phases B and C

dca=3, :: [m] conductors distance between phases C and A

r=0.01, :: [m] conductor radius

lv=15; :: [km] length of the line

# Model využívající konstrukční parametry



construction2 ::

A1, :: input terminal of the phase A

A2, :: output terminal of the phase A

B1, :: input terminal of the phase B

B2, :: output terminal of the phase B

C1, :: input terminal of the phase C

C2, :: output terminal of the phase C

G/ :: common reference terminal

Rpkm = 0.2, :: [Ohm/km] series resistance per unit length

Gpkm = 25n, :: [S/km] shunt leakage conductance per unit length

ha=10, :: [m] height of the suspension point of the phase conductor A

hb=10, :: [m] height of the suspension point of the phase conductor B

hc=10, :: [m] height of the suspension point of the phase conductor C

dab=1.5, :: [m] conductors distance between phases A and B

dbc=1.5, :: [m] conductors distance between phases B and C

dca=3, :: [m] conductors distance between phases C and A

r=0.01, :: [m] conductor radius

lv=15; :: [km] length of the line

# Model využívající konstrukční parametry

$Lvl_{km} = (0.46 \cdot \log_{10}(2E3/r) - 0.15) \cdot 1e-3;$   
 $Mab_{km} = (0.46 \cdot \log_{10}(2E3/dab) - 0.2) \cdot 1e-3;$   
 $Mbck_{km} = (0.46 \cdot \log_{10}(2E3/dbc) - 0.2) \cdot 1e-3;$   
 $Mcak_{km} = (0.46 \cdot \log_{10}(2E3/dca) - 0.2) \cdot 1e-3;$   
 $q11 = 41.3E6 \cdot \log_{10}(2 \cdot ha/r);$   
 $q22 = 41.3E6 \cdot \log_{10}(2 \cdot hb/r);$   
 $q33 = 41.3E6 \cdot \log_{10}(2 \cdot hc/r);$   
 $q12 = 41.3E6 \cdot \log_{10}(\sqrt{4 \cdot ha \cdot hb + dab^2})/dab;$   
 $q23 = 41.3E6 \cdot \log_{10}(\sqrt{4 \cdot hb \cdot hc + dbc^2})/dbc;$   
 $q31 = 41.3E6 \cdot \log_{10}(\sqrt{4 \cdot hc \cdot ha + dca^2})/dca;$   
 $det = (q11 \cdot q22 \cdot q33 + q12 \cdot q23 \cdot q31 + q31 \cdot q12 \cdot q23 - q22 \cdot q31^2 - q11 \cdot q23^2 - q33 \cdot q12^2);$

$iq11 = (q22 \cdot q33 - q23^2)/det;$   
 $iq12 = -(q12 \cdot q33 - q31 \cdot q23)/det;$   
 $iq13 = (q12 \cdot q23 - q31 \cdot q22)/det;$   
 $iq22 = (q11 \cdot q33 - q31^2)/det;$   
 $iq23 = -(q11 \cdot q23 - q31 \cdot q12)/det;$   
 $iq33 = (q11 \cdot q22 - q12^2)/det;$

$Ca0_{km} = (iq11 + iq12 + iq13);$   
 $Cb0_{km} = (iq12 + iq22 + iq23);$   
 $Cc0_{km} = (iq31 + iq23 + iq33);$

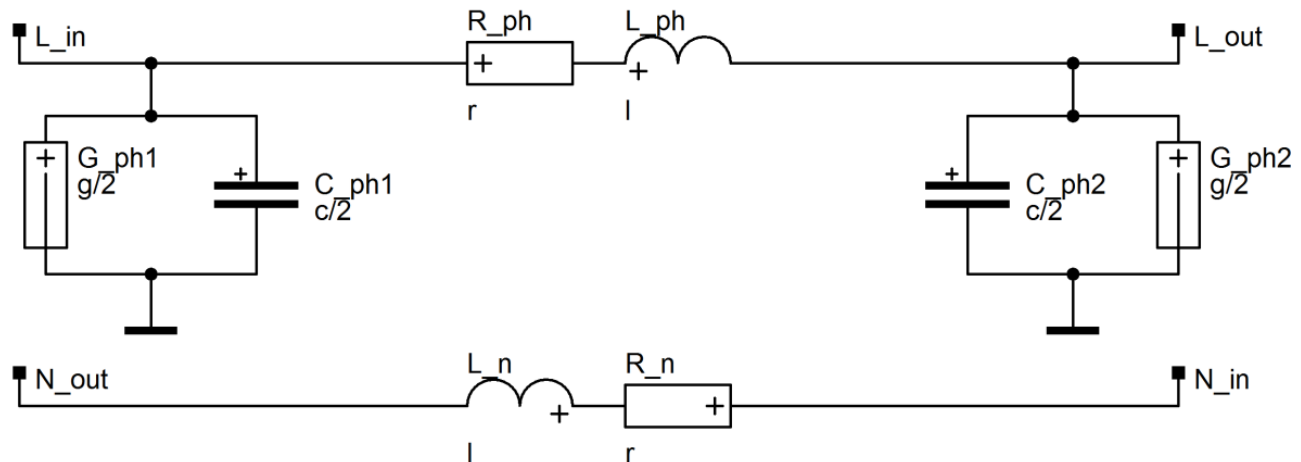
$Cab_{km} = -iq12;$   
 $Cbck_{km} = -iq23;$   
 $Ccak_{km} = -iq13;$

LCRG1A > @lcrG 1,A2,G / dL=0,dC=Ca0<sub>km</sub>\*lv,dR=R<sub>pkm</sub>\*lv,  
dG=G<sub>pkm</sub>\*lv;  
LCRG2B > @lcrG 2,B2,G / dL=0,dC=Cb0<sub>km</sub>\*lv,dR=R<sub>pkm</sub>\*lv,  
dG=G<sub>pkm</sub>\*lv;  
LCRG3C > @lcrG 3,C2,G / dL=0,dC=Cc0<sub>km</sub>\*lv,dR=R<sub>pkm</sub>\*lv,  
dG=G<sub>pkm</sub>\*lv;

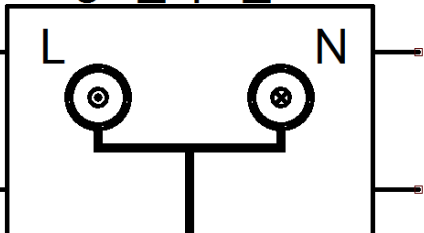
$Cab_{A2-B2} = Cab_{km} \cdot lv;$   
 $Cbc_{B2-C2} = Cbck_{km} \cdot lv;$   
 $Cca_{C2-A2} = Ccak_{km} \cdot lv;$   
 $Lv1a_{A1-1} = Lvl_{km} \cdot lv;$   
 $Lv1b_{B1-2} = Lvl_{km} \cdot lv;$   
 $Lv1c_{C1-3} = Lvl_{km} \cdot lv;$   
 $Mab_{Lv1a-Lv1b} = Mab_{km} \cdot lv;$   
 $Mbc_{Lv1b-Lv1c} = Mbck_{km} \cdot lv;$   
 $Mca_{Lv1c-Lv1a} = Mcak_{km} \cdot lv;$   
EO@;

# Jednofázové vedení

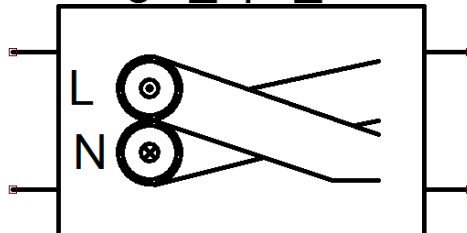
- Respektování *fázového* i zpětného / *středního vodiče*
- Pro dvojité jednofázové vedení respektování dvou středních vodičů
- *Standardní výpočet pasivních parametrů*
- Implementace vlivu *kapacity zpětného vodiče* do kapacity fázového vodiče



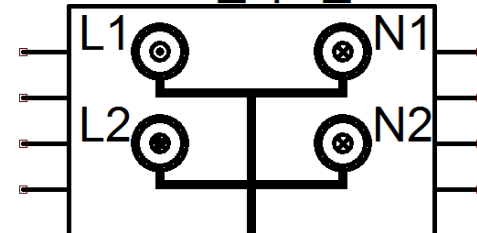
Single\_1ph\_line1???



Single\_1ph\_line2???



Double\_1ph\_line???





# Vnitřní struktura modelu jednofázového vedení

## Připojovací terminály:

L\_in,           :: input phase terminal  
L\_out,           :: output phase terminal  
N\_in,           :: input neutral terminal  
N\_out/           :: output neutral terminal

## Vkládané parametry:

S = 10,           :: [mm<sup>2</sup>] conductor cross-section  
ti = 2,           :: [mm] insulation thickness  
eps = 2.5,        :: [-] insulation relativ permittivity  
lv = 100,         :: [m] length of the line  
lph\_n = 0.5,     :: [m] distance between phase and neutral  
                  conductors  
h = 5,            :: [m] phase conductor heigh above ground  
ro = 0.0265,     :: [uOhm.m] conductor resistivity at 20°C  
rog = 100,        :: [Ohm.m] ground resistivity  
t = 20,           :: [°C] actual temperature  
alpha = 0.00429, :: [K<sup>-1</sup>] temperature coefficient of  
                  resistance  
ro\_in = 1e13; :: [Ohm.m] insulation resistivity

## Pomocné interní výpočty:

r\_con=((S/1PI)\*\*0.5)\*1e-3;  
ro\_real=ro\*(1+alpha\*(t-20));  
r=ro\_real\*lv/S;  
Dg=79.5\*rog\*\*0.5;  
l=(0.46\*log10(Dg/(r\_con\*0.78)))\*lv\*1e-6;  
mph\_n=0.46\*log10(Dg/lph\_n)\*lv\*1e-6;  
ri=r\_con+ti\*1e-3;  
b=((2\*h)\*\*2+(lph\_n\*\*2))\*\*0.5;  
alpha11=log((2\*h/ri)\*(ri/r\_con)\*\*(1/eps))/(2PI\*8.854e-12);  
alpha12=log(b/lph\_n)/(2PI\*8.854e-12);  
c=(1/(alpha11-alpha12))\*lv;  
r\_in=(1/((2PI)/(ro\_in)))\*log(ri/r\_con);  
g=(1/r\_in)\*lv;

## Přiřazení vypočítaných hodnot pasivním prvkům ve schématu:

R\_ph L\_in-L\_out = r;  
R\_n N\_in-N\_out = r;  
L\_ph - R\_ph = l;  
L\_n - R\_n = l;  
M L\_ph - L\_n = mph\_n;  
C\_ph1 L\_in = c/2;  
C\_ph2 L\_out = c/2;  
G\_ph1 L\_in = g/2;  
G\_ph2 L\_out = g/2;

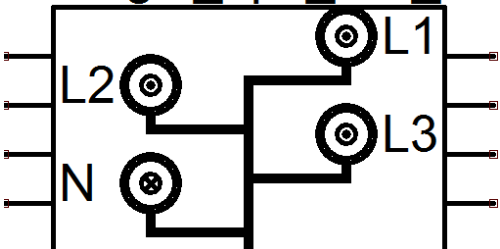
# Trojfázová vedení NN

- Respektování *fázových* i zpětného / *středního vodiče*
- *Standardní výpočet pasivních parametrů*
- Implementace vlivu *kapacity a indukčnosti zpětného vodiče*

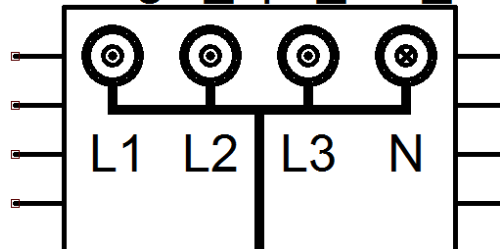
*vodiče* do fázových vodičů, nelze tedy využít pro šíření vlnových dějů po zemním laně.

$$\overline{L}_{\text{mod}} = \begin{bmatrix} L_1 - \frac{L_{1z}^2}{L_{zz}} & L_{12} - \frac{L_{1z} \cdot L_{2z}}{L_{zz}} & L_{13} - \frac{L_{1z} \cdot L_{3z}}{L_{zz}} \\ L_{21} - \frac{L_{2z} \cdot L_{1z}}{L_{zz}} & L_2 - \frac{L_{2z}^2}{L_{zz}} & L_{23} - \frac{L_{2z} \cdot L_{3z}}{L_{zz}} \\ L_{31} - \frac{L_{3z} \cdot L_{1z}}{L_{zz}} & L_{32} - \frac{L_{3z} \cdot L_{2z}}{L_{zz}} & L_3 - \frac{L_{3z}^2}{L_{zz}} \end{bmatrix}$$

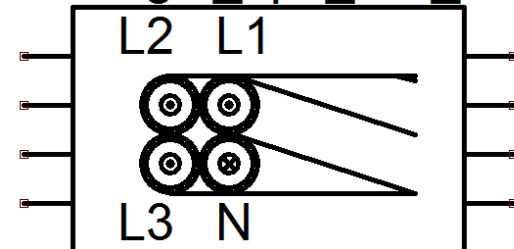
Single\_3ph\_line 1??



Single\_3ph\_line 2??



Single\_3ph\_line 3??

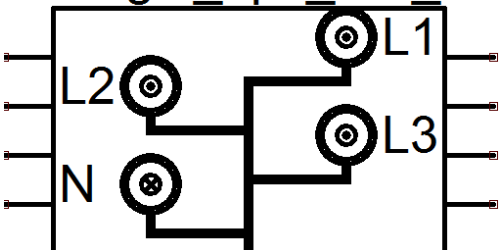


# Trojfázová vedení NN

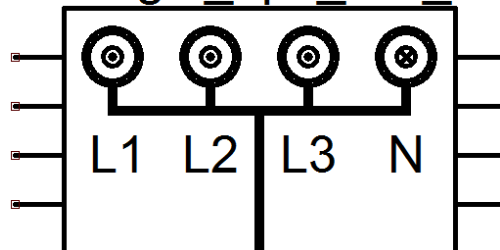
- Respektování *fázových* i zpětného / *středního vodiče*
- *Standardní výpočet pasivních parametrů*
- Implementace vlivu *kapacity a indukčnosti zpětného vodiče* do fázových vodičů

$$\overline{\delta} = \begin{bmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & \delta_{13} & \delta_{1z} \\ \delta_{21} & \delta_{22} & \delta_{23} & \delta_{2z} \\ \delta_{31} & \delta_{32} & \delta_{33} & \delta_{3z} \\ \delta_{z1} & \delta_{z2} & \delta_{z3} & \delta_{zz} \end{bmatrix} \rightarrow \overline{\delta}_{\text{mod}} = \begin{bmatrix} \delta_{11} - \frac{\delta_{1z}^2}{\delta_{zz}} & \delta_{12} - \frac{\delta_{1z} \cdot \delta_{2z}}{\delta_{zz}} & \delta_{13} - \frac{\delta_{1z} \cdot \delta_{3z}}{\delta_{zz}} \\ \delta_{21} - \frac{\delta_{2z} \cdot \delta_{1z}}{\delta_{zz}} & \delta_{22} - \frac{\delta_{2z}^2}{\delta_{zz}} & \delta_{23} - \frac{\delta_{2z} \cdot \delta_{3z}}{\delta_{zz}} \\ \delta_{31} - \frac{\delta_{3z} \cdot \delta_{1z}}{\delta_{zz}} & \delta_{32} - \frac{\delta_{3z} \cdot \delta_{2z}}{\delta_{zz}} & \delta_{33} - \frac{\delta_{3z}^2}{\delta_{zz}} \end{bmatrix}$$

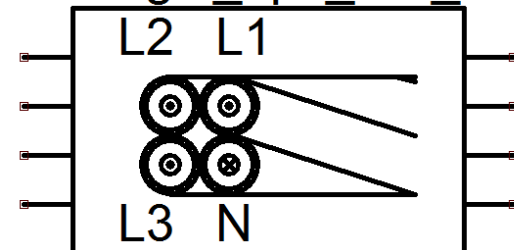
Single\_3ph\_line 1??



Single\_3ph\_line 2??



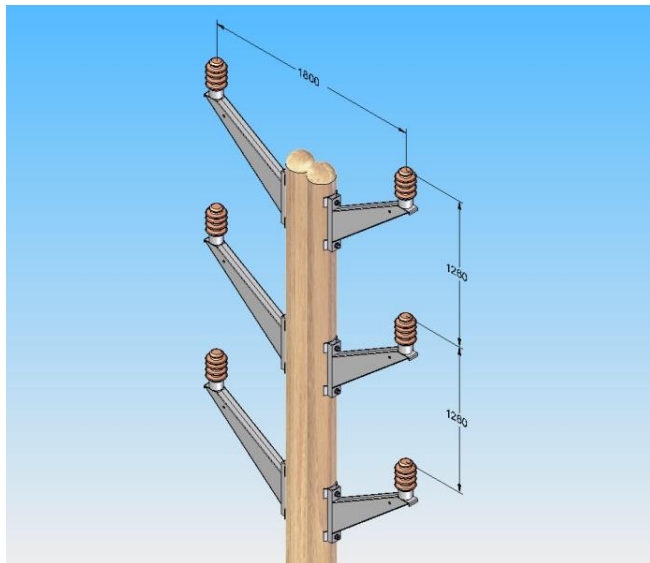
Single\_3ph\_line 3??



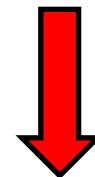
# Dvojitá vedení

- Vedení VN, VN+ZL, VN izolované vodiče, VN a VVN, VVN+2ZL
- V rámci DYNASTu je **problematický výpočet kapacit !**

**Potřebná inverzní matice**



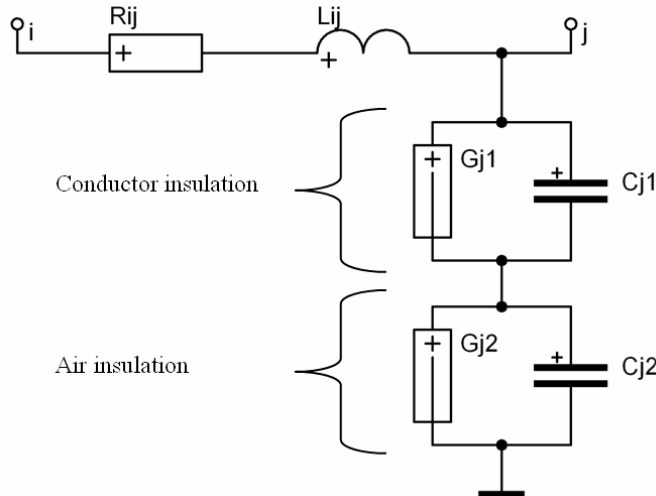
$$\bar{\delta} = \begin{bmatrix} \delta_{aa} & \delta_{ab} & \delta_{ac} & \delta_{aA} & \delta_{aB} & \delta_{aC} \\ \delta_{ba} & \delta_{bb} & \delta_{bc} & \delta_{bA} & \delta_{bB} & \delta_{bC} \\ \delta_{ca} & \delta_{cb} & \delta_{cc} & \delta_{cA} & \delta_{cB} & \delta_{cC} \\ \delta_{Aa} & \delta_{Ab} & \delta_{Ac} & \delta_{AA} & \delta_{AB} & \delta_{AC} \\ \delta_{Ba} & \delta_{Bb} & \delta_{Bc} & \delta_{BA} & \delta_{BB} & \delta_{BC} \\ \delta_{Ca} & \delta_{Cb} & \delta_{Cc} & \delta_{CA} & \delta_{CB} & \delta_{CC} \end{bmatrix}$$



**Hledání alternativního řešení**

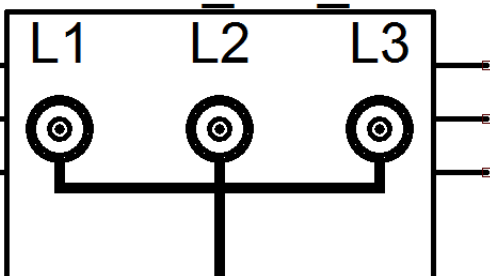
# Vedení VN a venkovní izolované vodiče

- Uvažování jen *fázových vodičů*
- *Standardní výpočet pasivních parametrů* pro vedení z holých vodičů
- Pro výpočet izolovaných vodičů nutné *respektovat jejich izolaci*

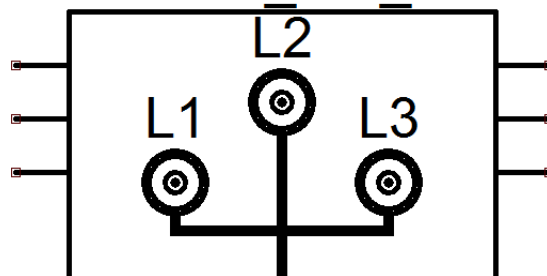


Vliv na příčné kapacity a svod

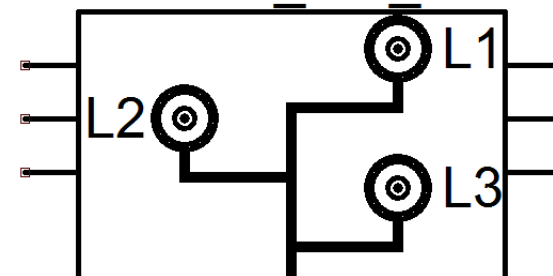
Isolated line 1??



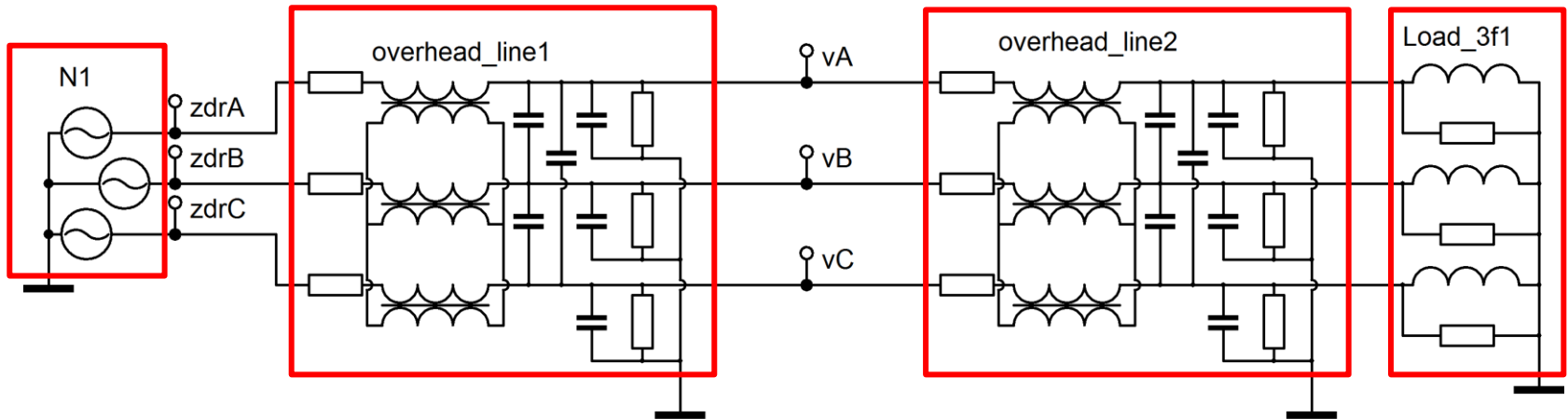
Isolated line 2??



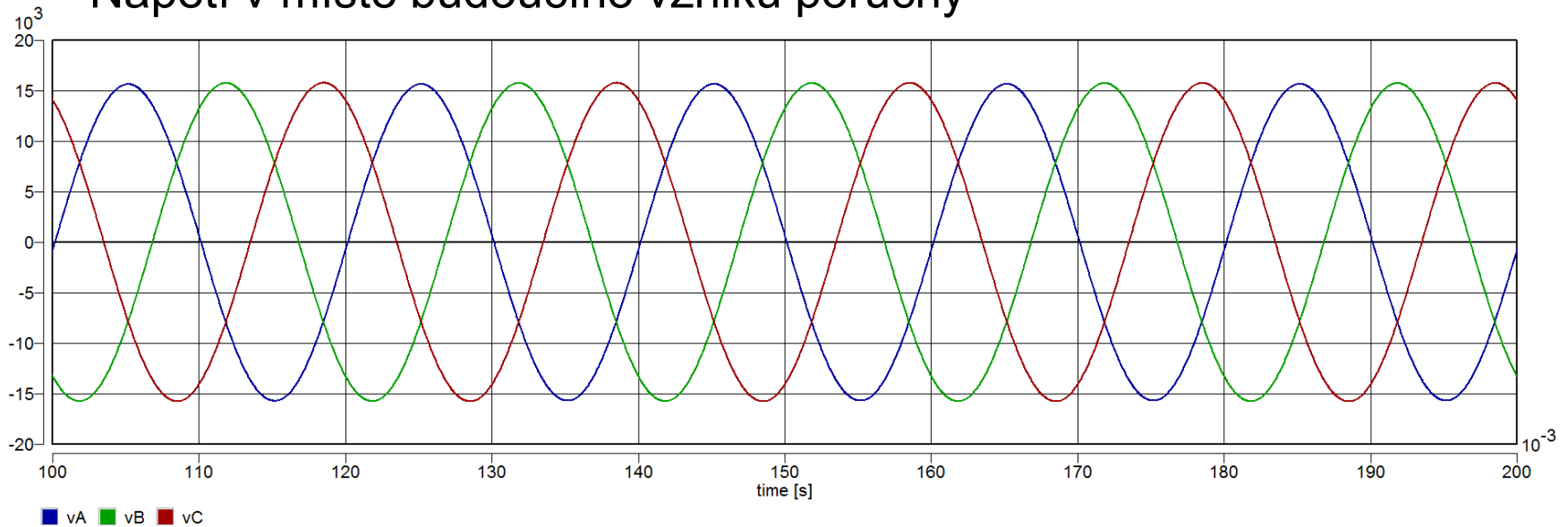
Isolated line 3??



# Názorný modelový obvod účinně uzemněné soustavy

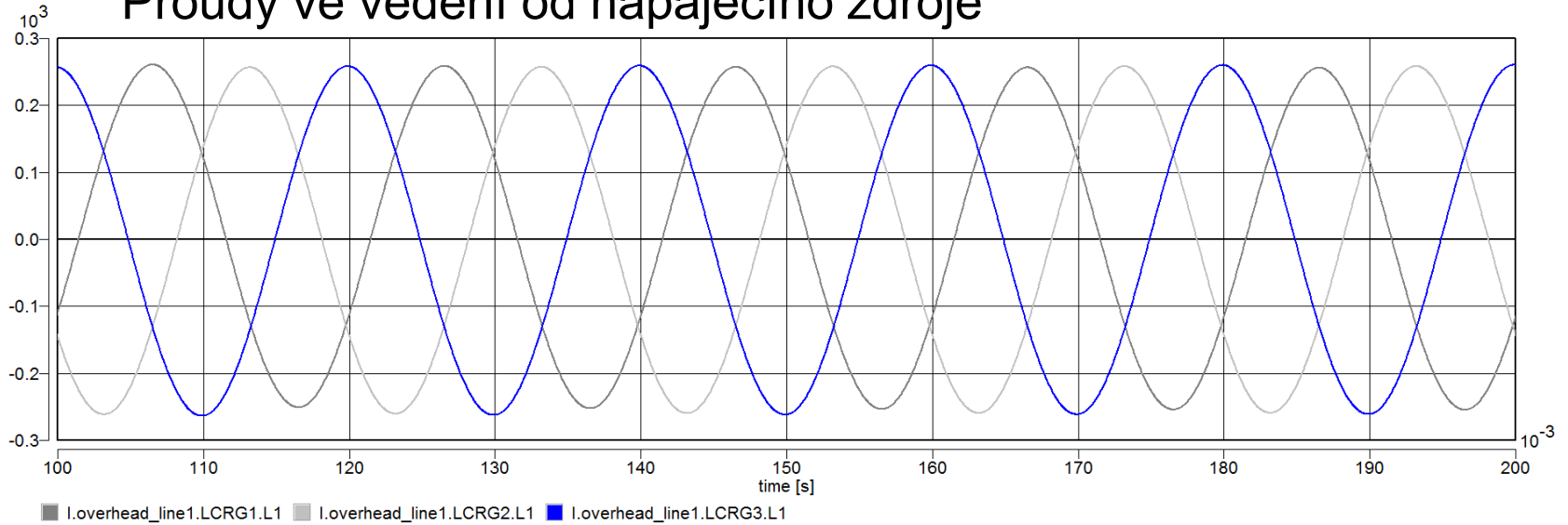


## Napětí v místě budoucího vzniku poruchy

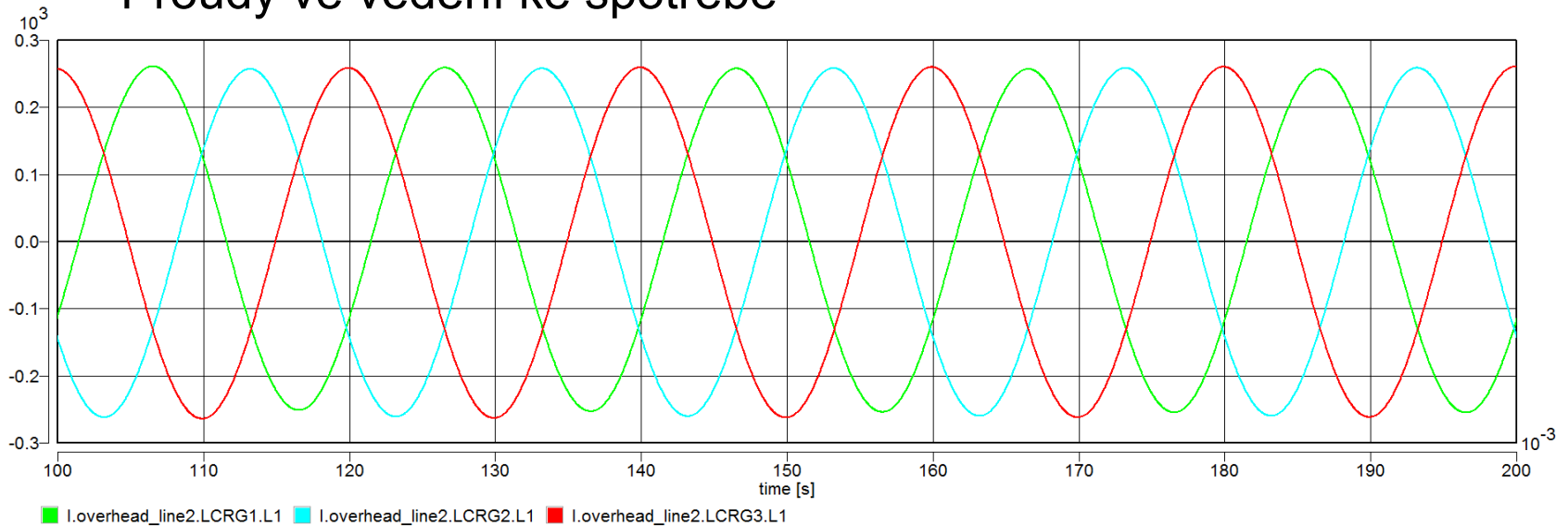


# Ustálený stav

## Proudy ve vedení od napájecího zdroje



## Proudy ve vedení ke spotřebě



# Vnitřní struktura textového souboru modelového schématu

```
*SYSTEM;
```

```
N1 > @mains3 0,zdrA,zdrB,zdrC / Vef=22000/sqrt(3);
```

```
Load_3f1 > @Load3f1 2,3,4,0 / P=9500,Q=3200,Un=22;
```

```
overhead_line1 > @parametres4 zdrA,vA,zdrB,vB,zdrC,vC,0 / &real_parametres.typ2_95AlFe3;
```

```
overhead_line2 > @parametres4 vA,2,vB,3,vC,4,0 / &real_parametres.typ2_95AlFe3,lv=30;
```

```
*TR;
```

```
TR 0 2;
```

```
PRINT(15001)
```

```
vA, vB, vC,
```

```
zdrA,zdrB,zdrC,
```

```
I.overhead_line1.LCRG1.R1,
```

```
I.overhead_line1.LCRG2.R1,
```

```
I.overhead_line1.LCRG3.R1,
```

```
I.overhead_line2.LCRG1.R1,
```

```
I.overhead_line2.LCRG2.R1,
```

```
I.overhead_line2.LCRG3.R1,
```

```
V.1;
```

```
RUN;
```

```
*END;
```



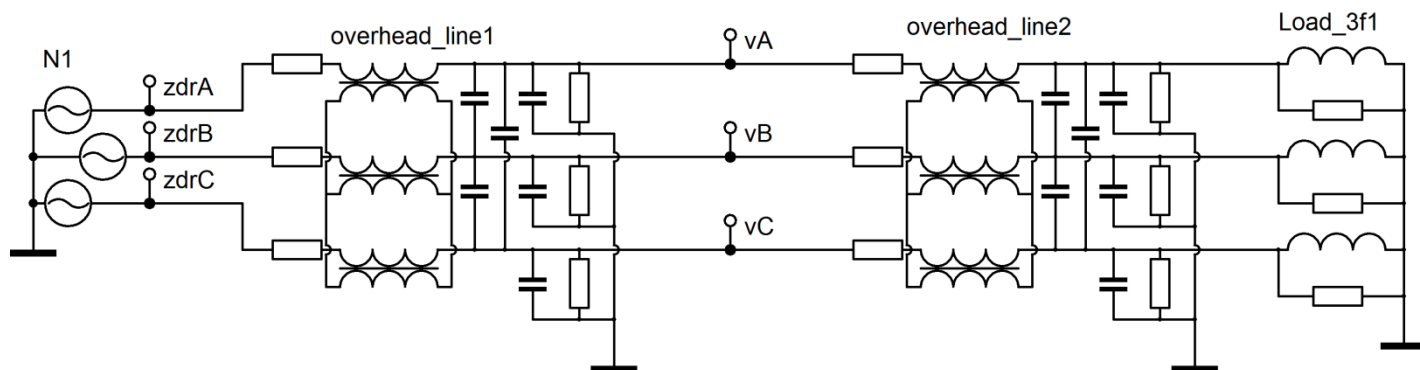
Prvky ve schématu a jejich parametry – přednastavené plus změně



Zvolené veličiny pro grafický výstup

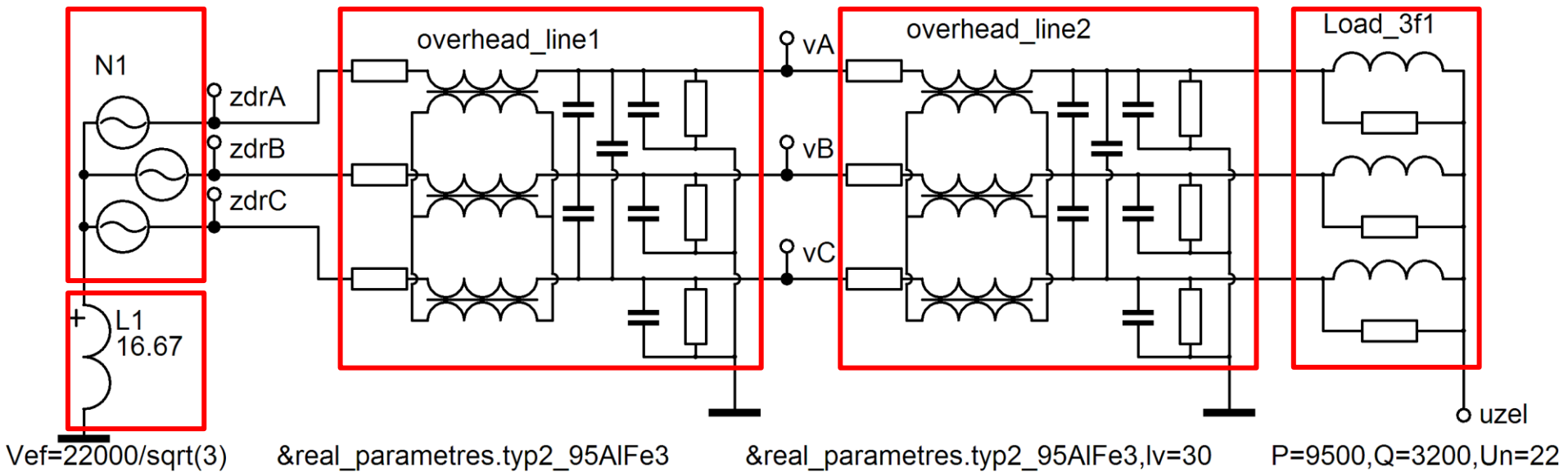


Volba analýzy, doba výpočtu a počet bodů pro výpočet vykreslení průběhů





# Názorný modelový obvod pro zemní spojení



# Vnitřní struktura textového souboru modelového schématu

\*SYSTEM;

L1 1 = 16.67;

N1 > @mains3 1,zdrA,zdrB,zdrC / Vef=22000/sqrt(3);

Load\_3f1 > @Load3f1 2,3,4,uzel / P=9500,Q=3200,Un=22;

overhead\_line1 > @parametres4 zdrA,vA,zdrB,vB,zdrC,vC,0 / &real\_parametres.typ2\_95AlFe3;

overhead\_line2 > @parametres4 vA,2,vB,3,vC,4,0 / &real\_parametres.typ2\_95AlFe3,lv=30;

\*TR;

TR 0 2;

PRINT(15001)

vA, vB, vC,

zdrA,zdrB,zdrC,

I.overhead\_line1.LCRG1.R1,

I.overhead\_line1.LCRG2.R1,

I.overhead\_line1.LCRG3.R1,

I.overhead\_line2.LCRG1.R1,

I.overhead\_line2.LCRG2.R1,

I.overhead\_line2.LCRG3.R1,

V.1, I.L1;

RUN;

\*END;



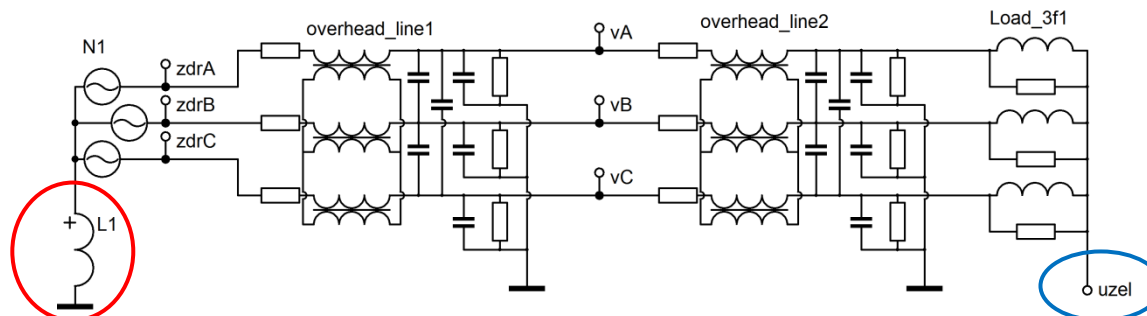
Prvky ve schématu a jejich parametry – přednastavené plus změněné



Zvolené veličiny pro grafický výstup



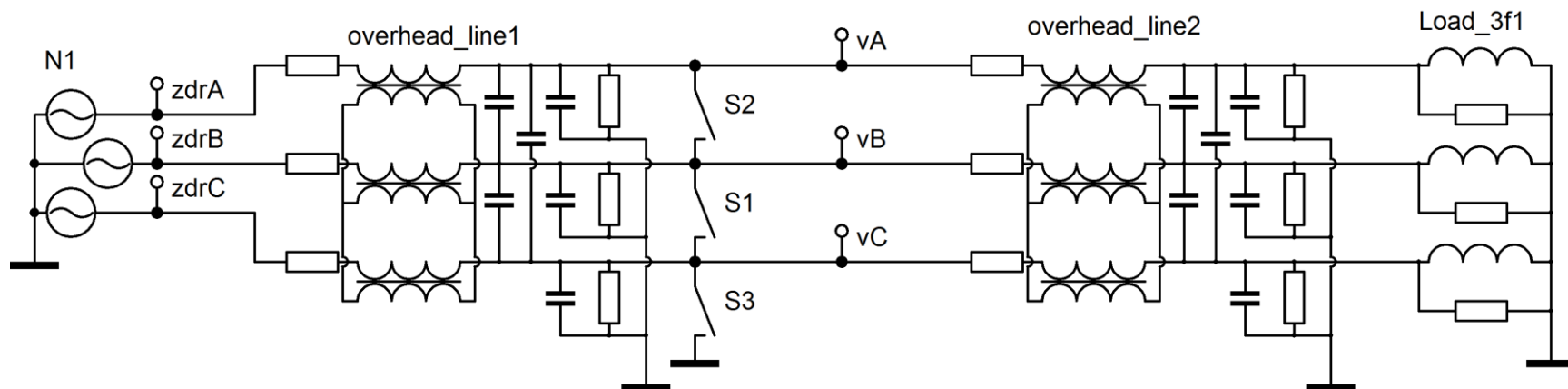
Volba analýzy, doba výpočtu a počet bodů pro výpočet vykreslení průběhů



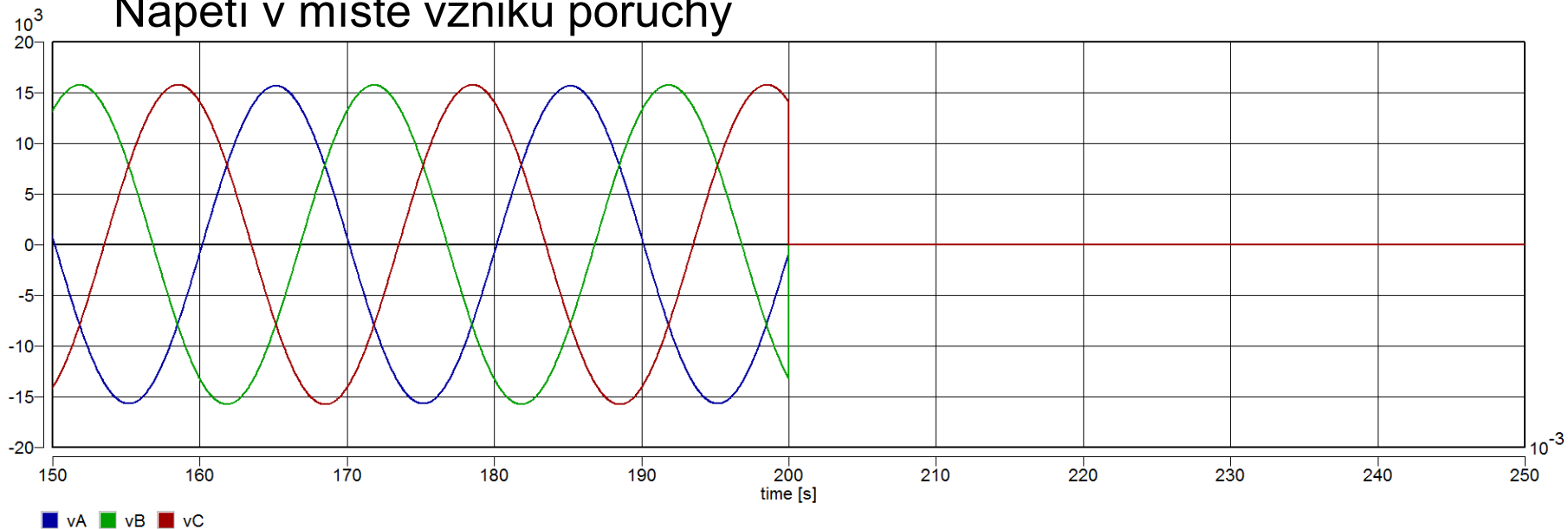
# Poruchové stavy

- 3f symetrická porucha
- 2f porucha izolovaná, zemní
- 1f porucha - reálné a provozní parametry
- zemní spojení bez a s přetržením vodiče

# Třífázová symetrická porucha



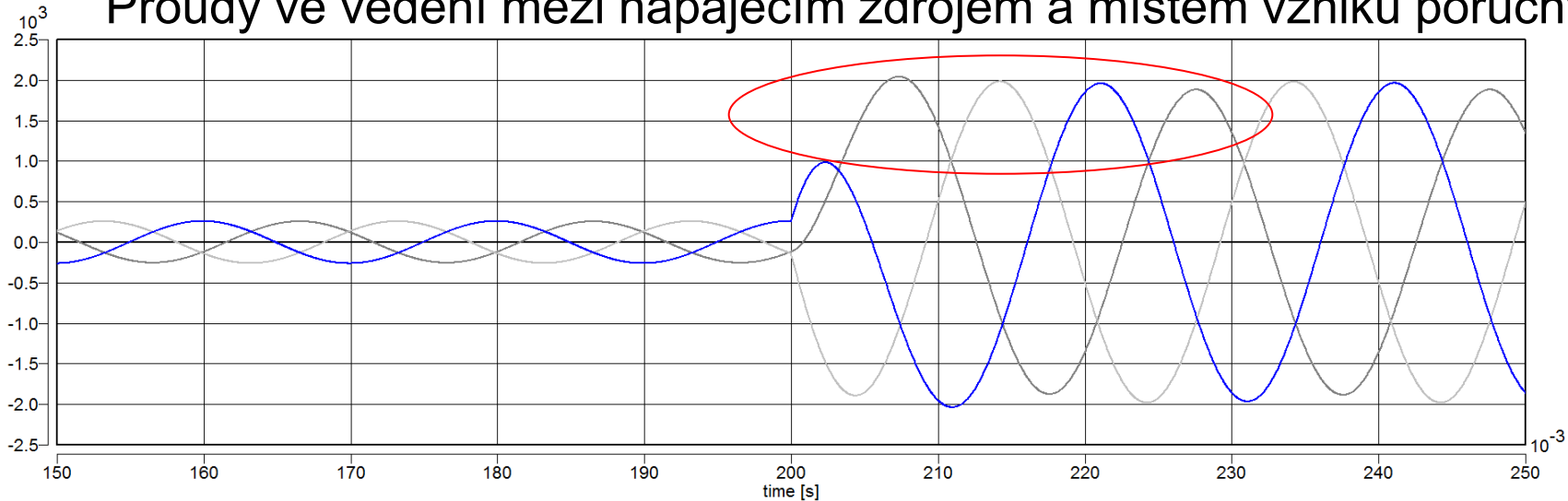
## Napětí v místě vzniku poruchy



Platí pro účinně uzemněné soustavy

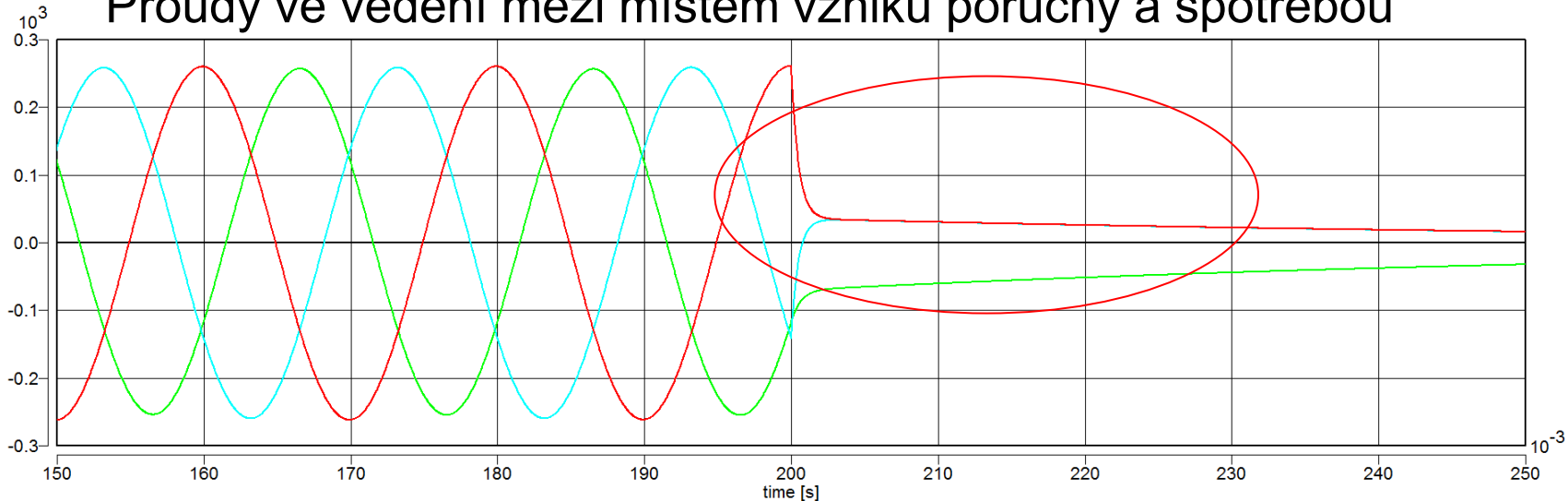
# Třífázová symetrická porucha

Proudy ve vedení mezi napájecím zdrojem a místem vzniku poruchy



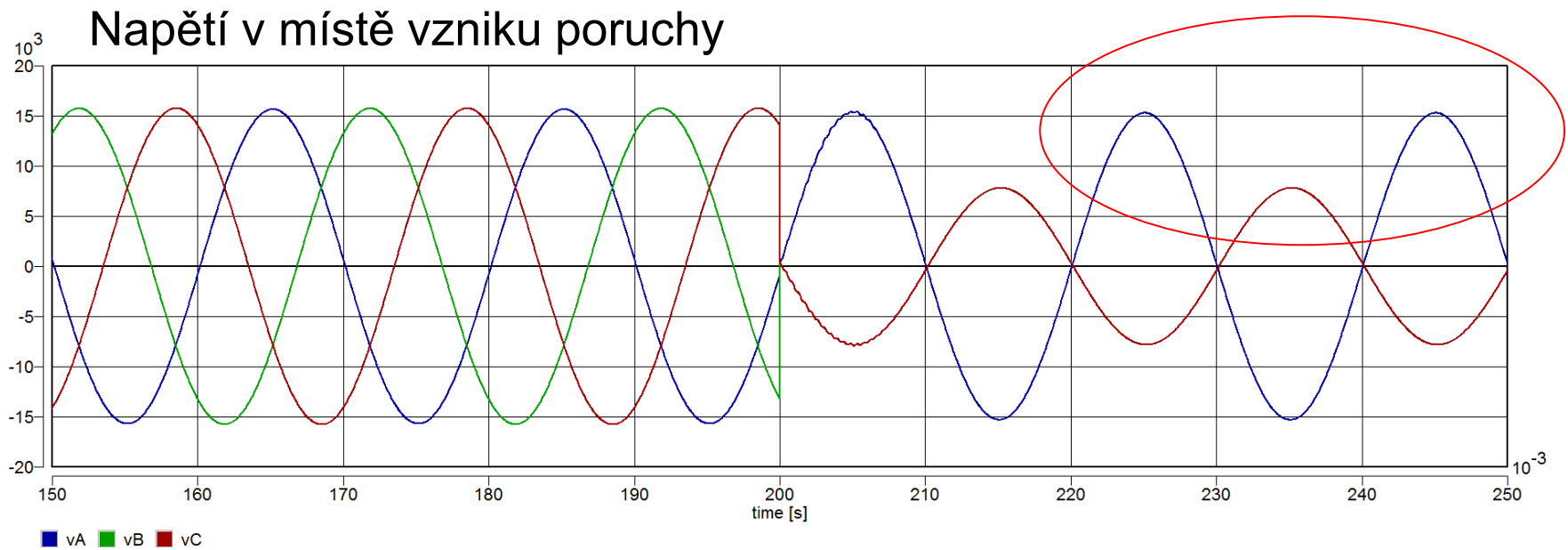
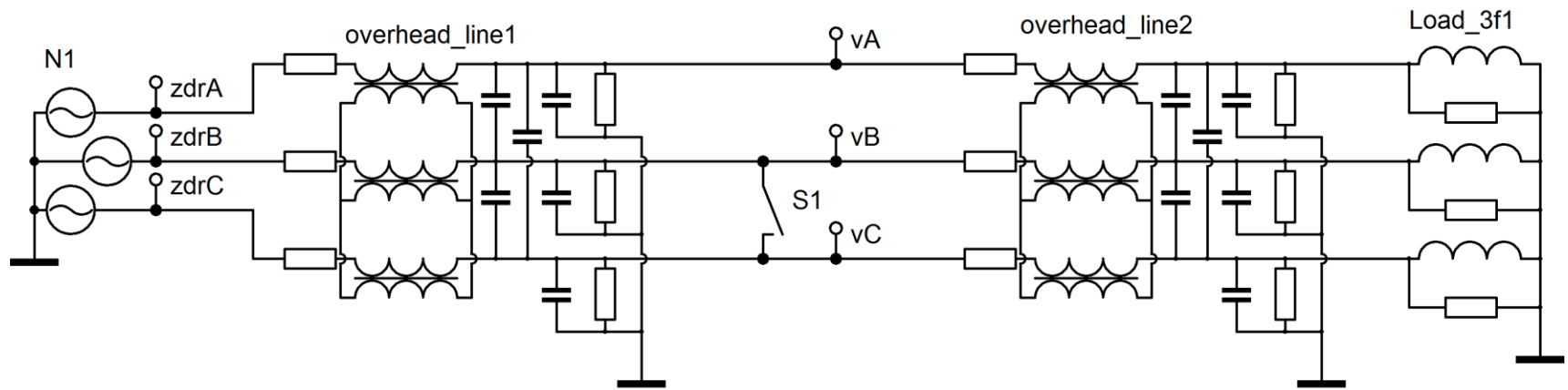
■ I.overhead\_line1.LCRG1.L1 ■ I.overhead\_line1.LCRG2.L1 ■ I.overhead\_line1.LCRG3.L1

Proudy ve vedení mezi místem vzniku poruchy a spotřebou



■ I.overhead\_line2.LCRG1.L1 ■ I.overhead\_line2.LCRG2.L1 ■ I.overhead\_line2.LCRG3.L1

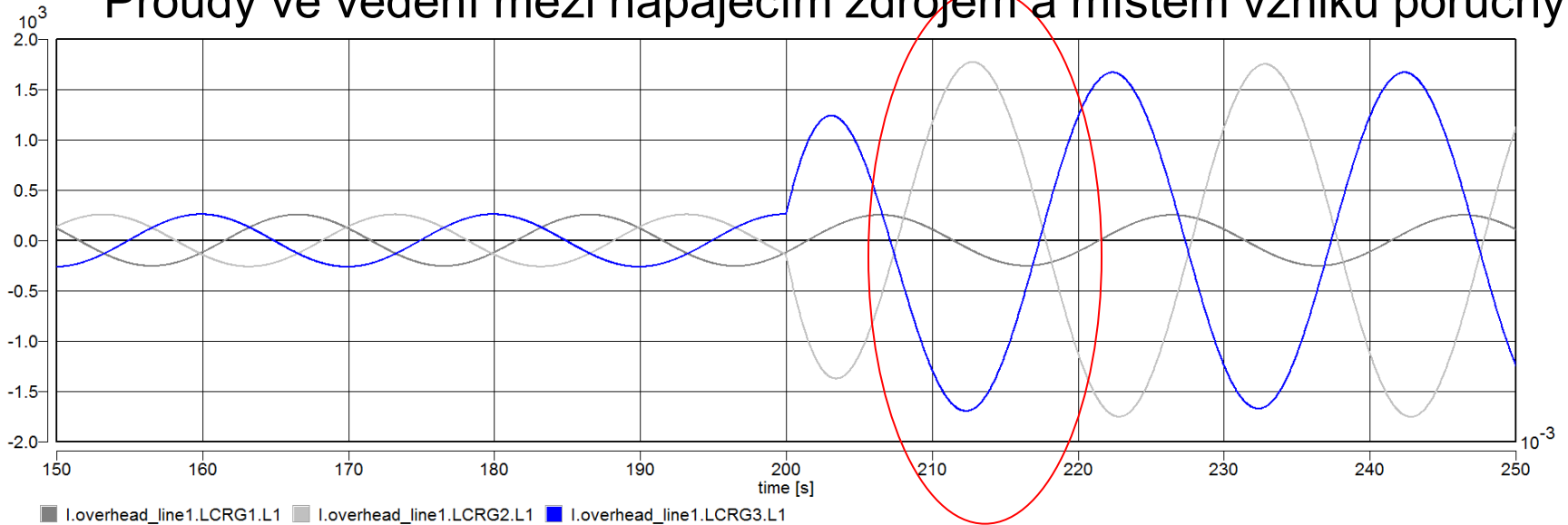
# Dvoufázová izolovaná porucha



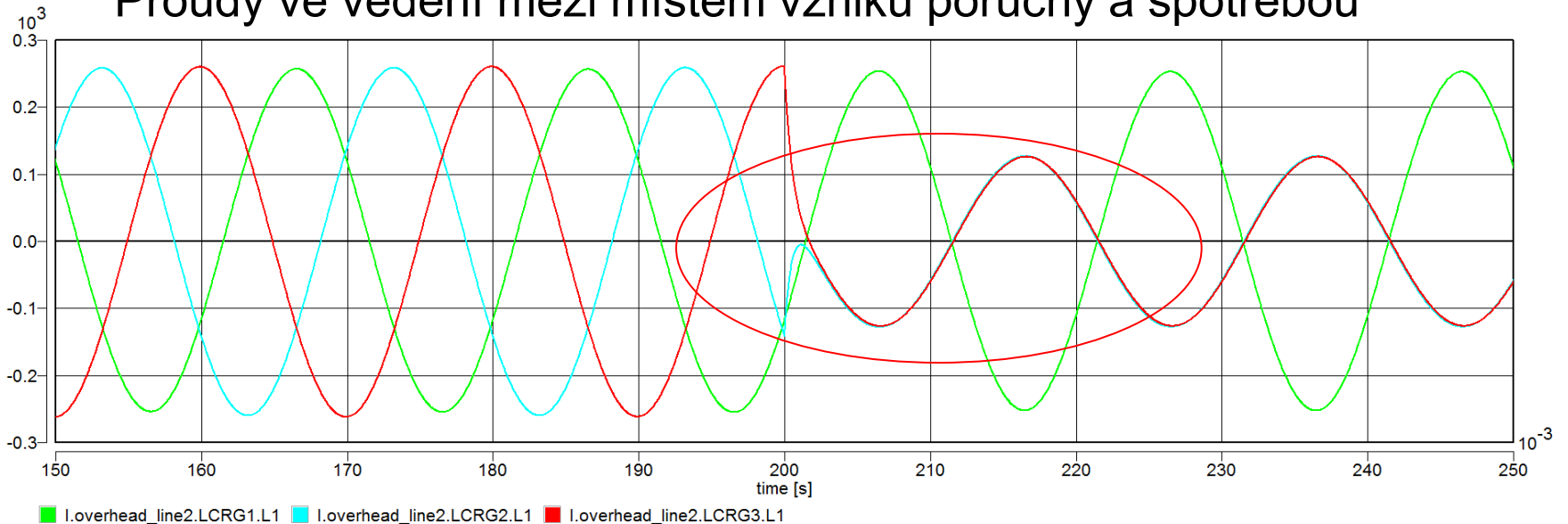
Platí pro účinně uzemněné soustavy

# Dvoufázová izolovaná porucha

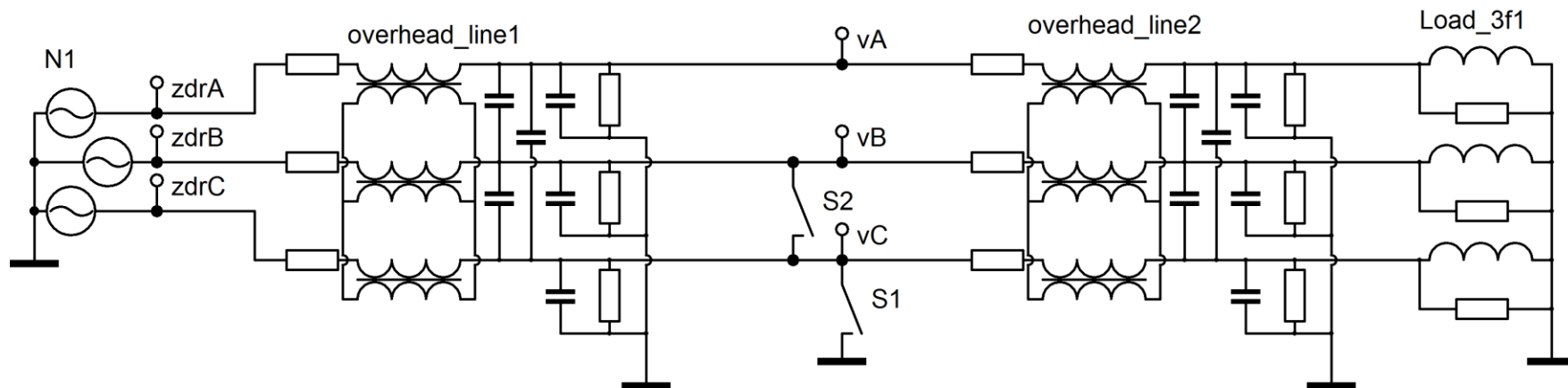
Proudy ve vedení mezi napájecím zdrojem a místem vzniku poruchy



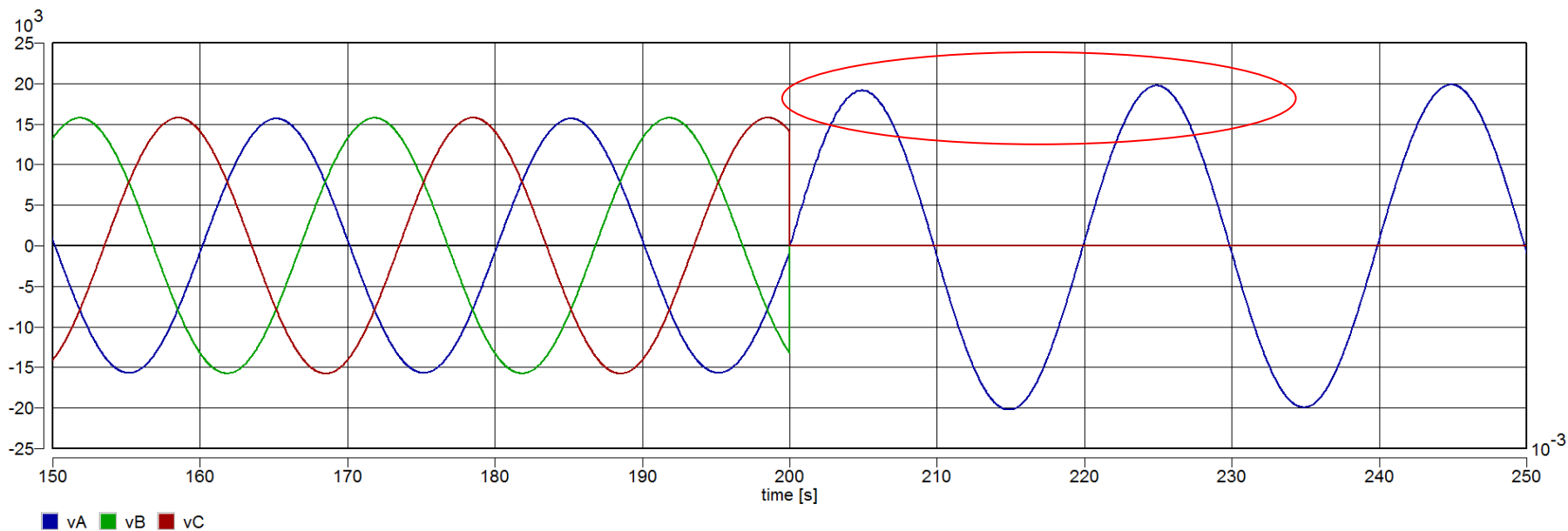
Proudy ve vedení mezi místem vzniku poruchy a spotřebou



# Dvoufázová zemní porucha



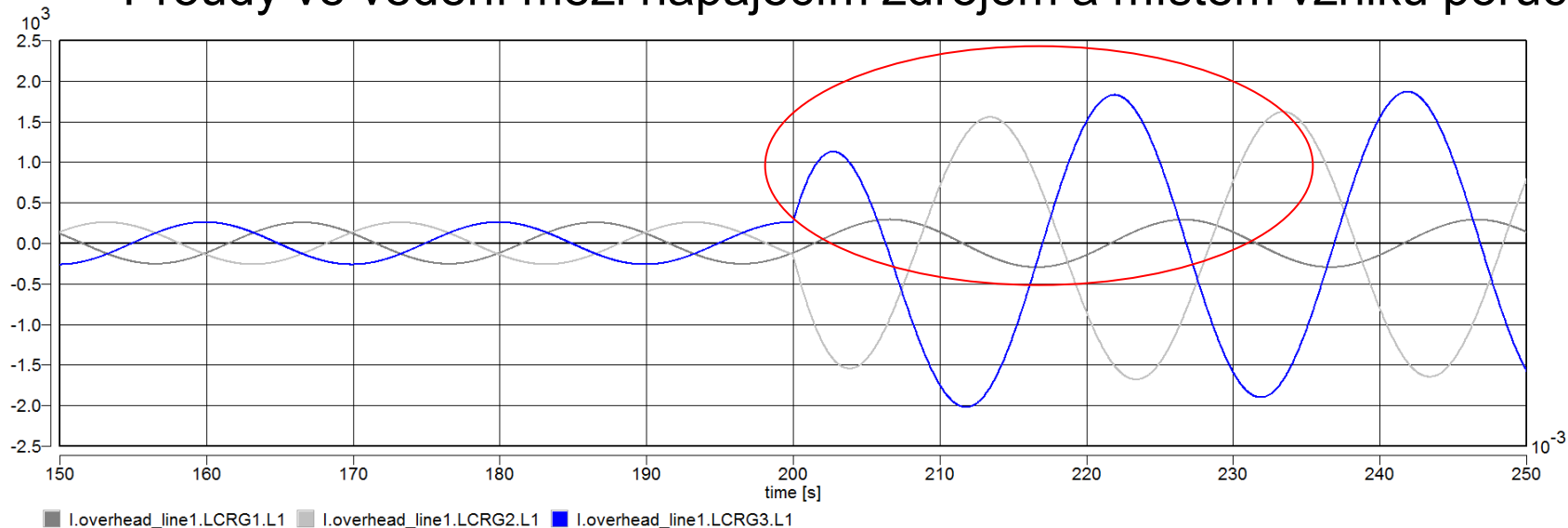
Napětí v místě vzniku poruchy



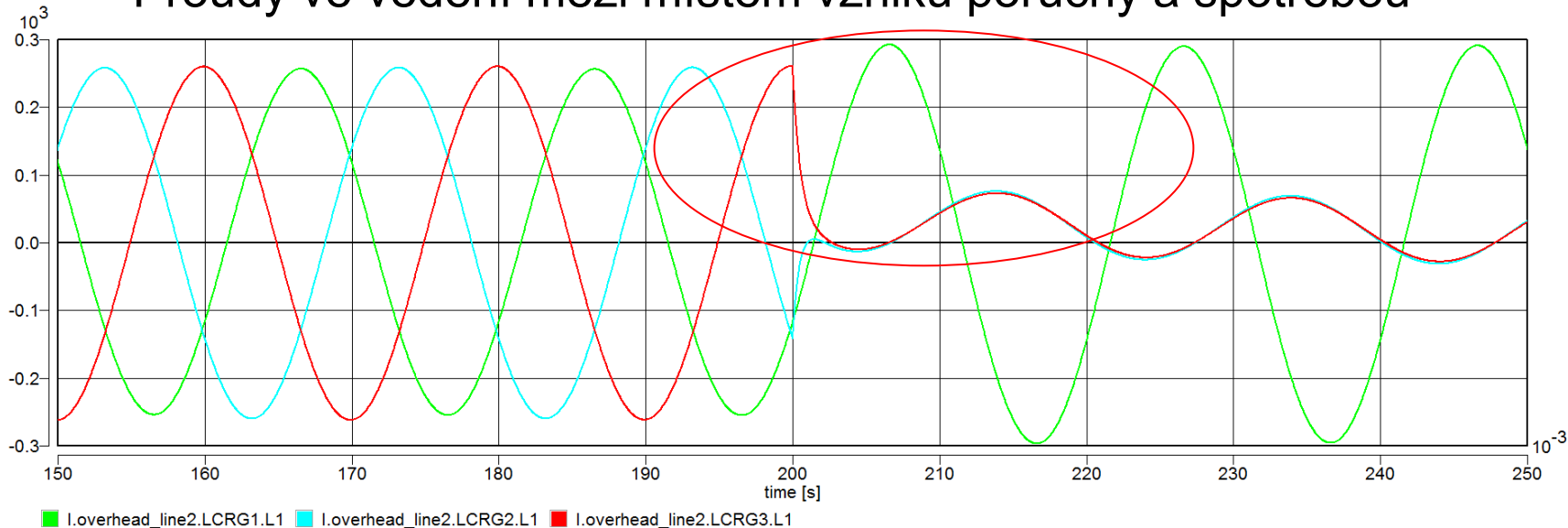


# Dvoufázová zemní porucha

Proudy ve vedení mezi napájecím zdrojem a místem vzniku poruchy



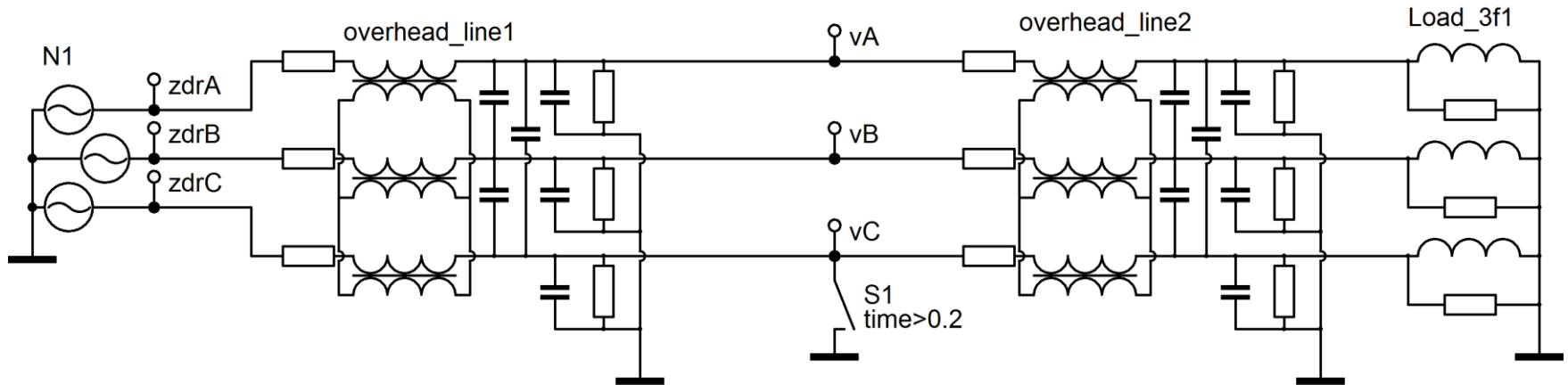
Proudy ve vedení mezi místem vzniku poruchy a spotřebou



# Jednofázová porucha

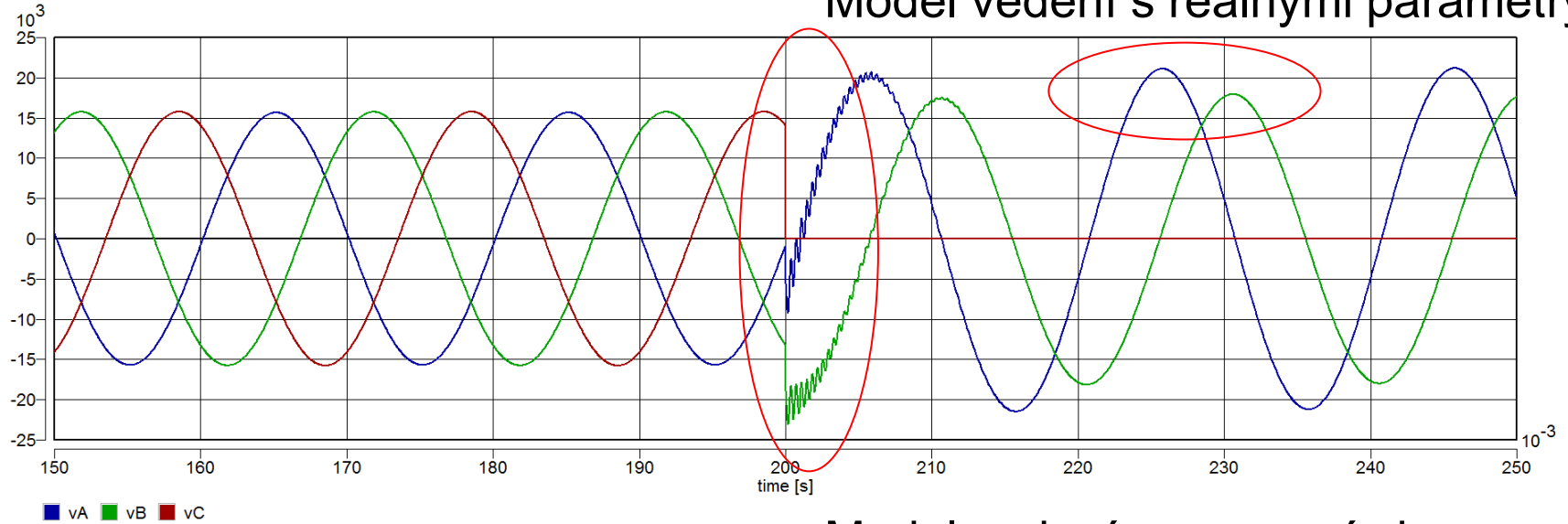
Porovnání modelu vedení s reálnými parametry a s provozními parametry.

Simulace uvažovány nejprve pro soustavu přímo (účinně) uzemněnou.

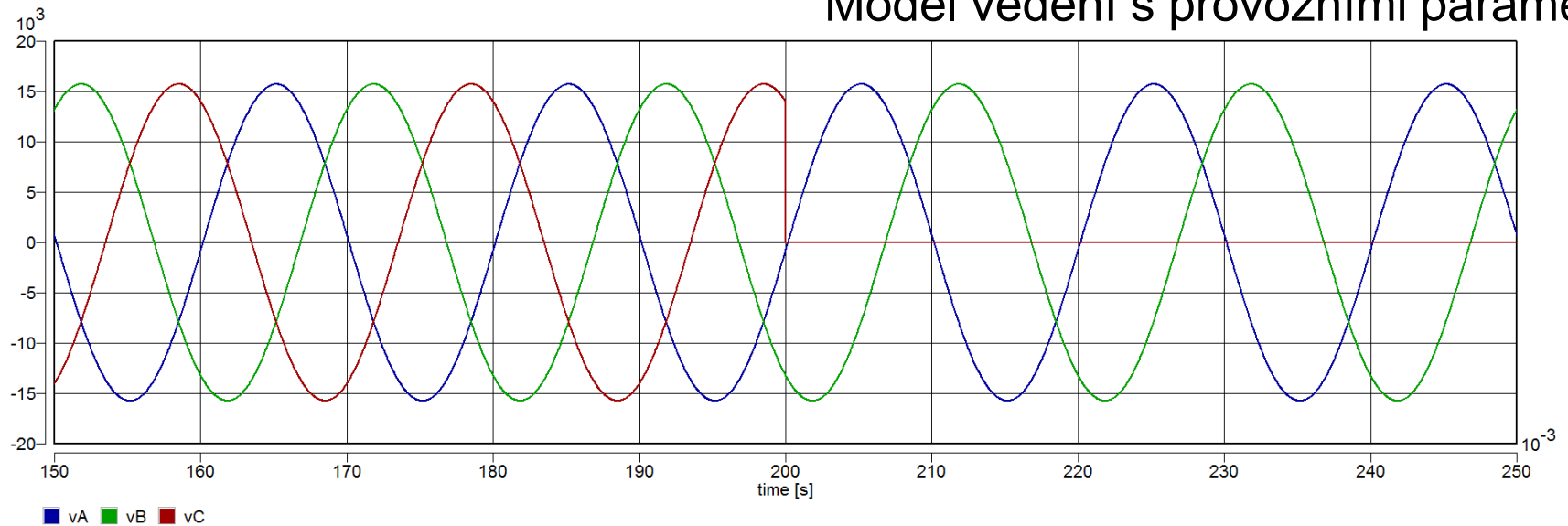


# Jednofázová porucha

## Model vedení s reálnými parametry

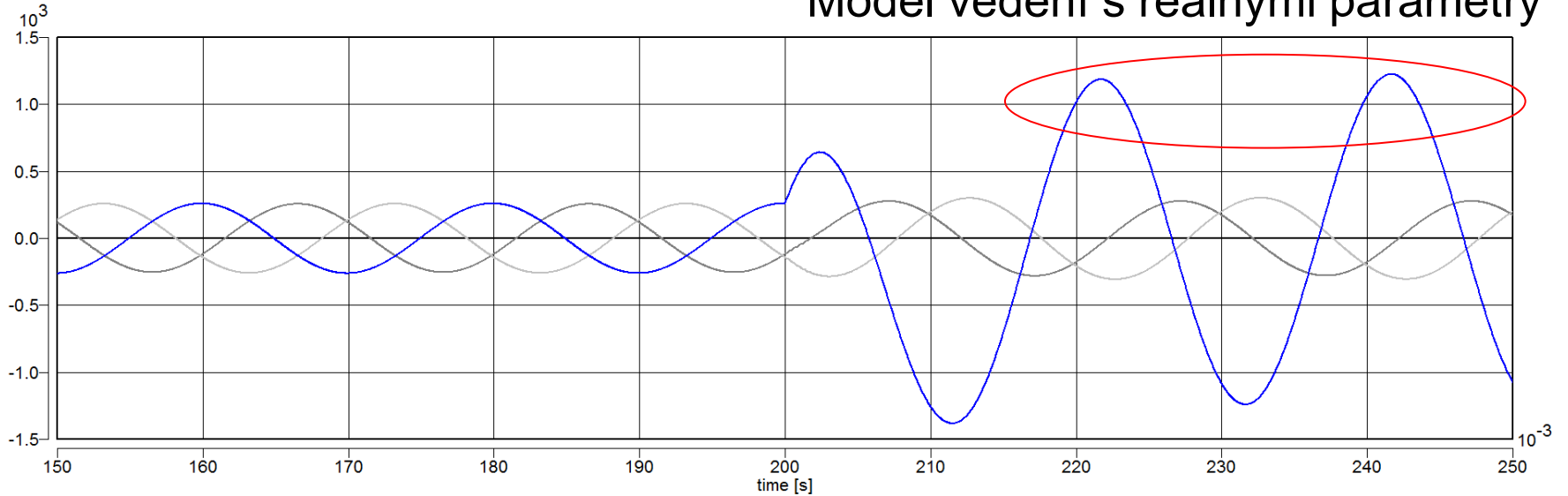


## Model vedení s provozními parametry

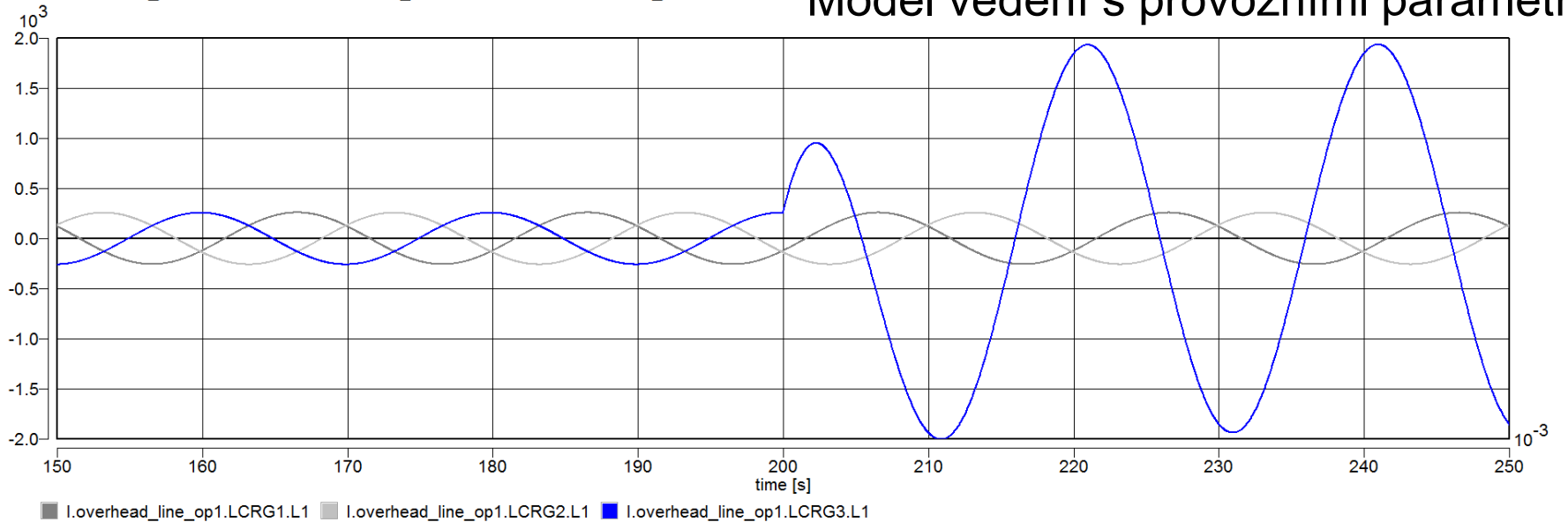


# Jednofázová porucha

## Model vedení s reálnými parametry

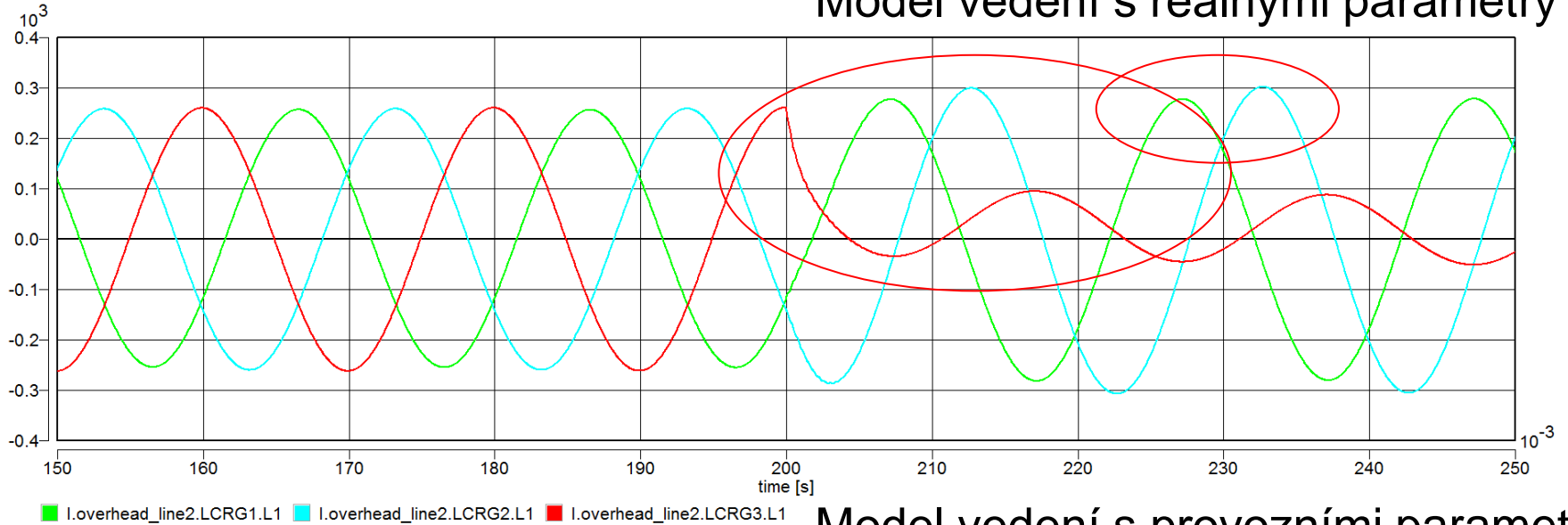


## Model vedení s provozními parametry

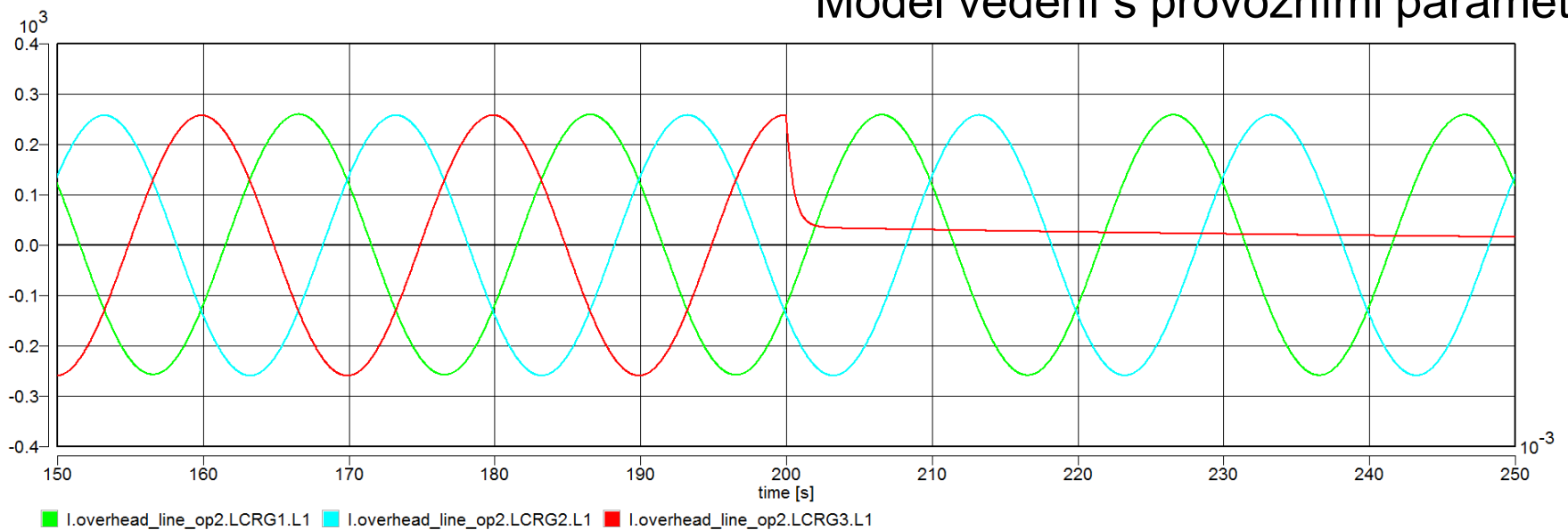


# Jednofázová porucha

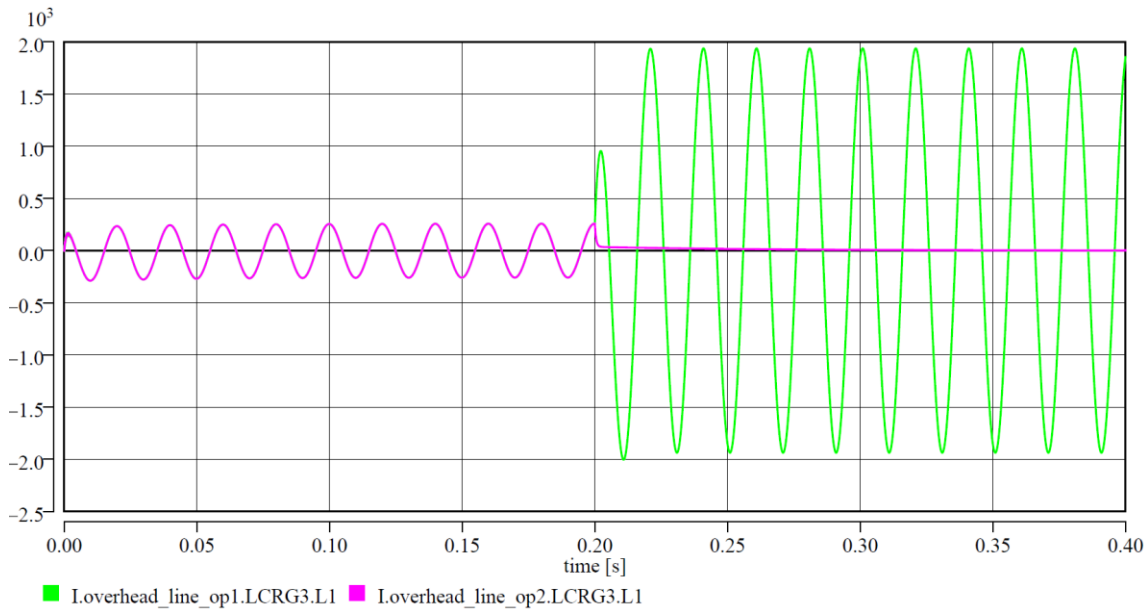
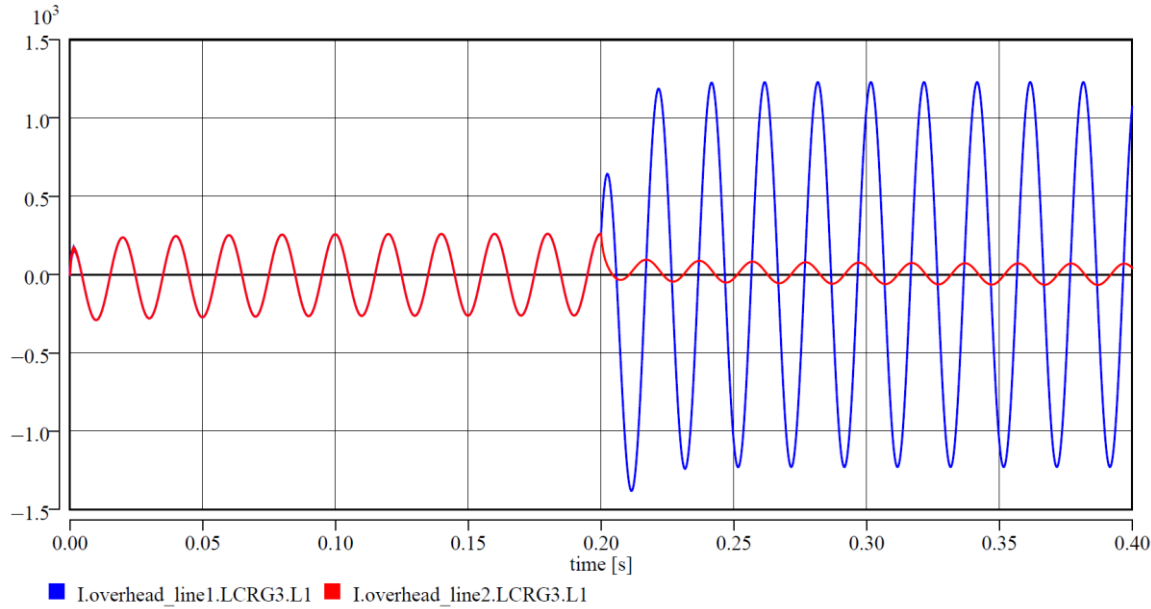
## Model vedení s reálnými parametry



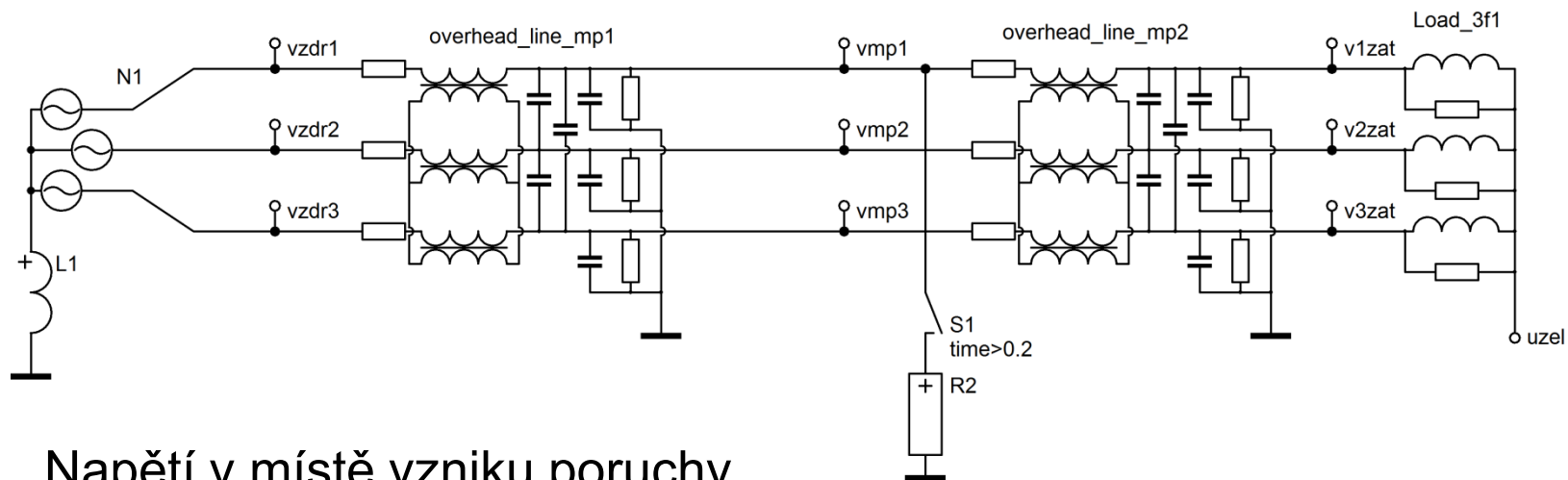
## Model vedení s provozními parametry



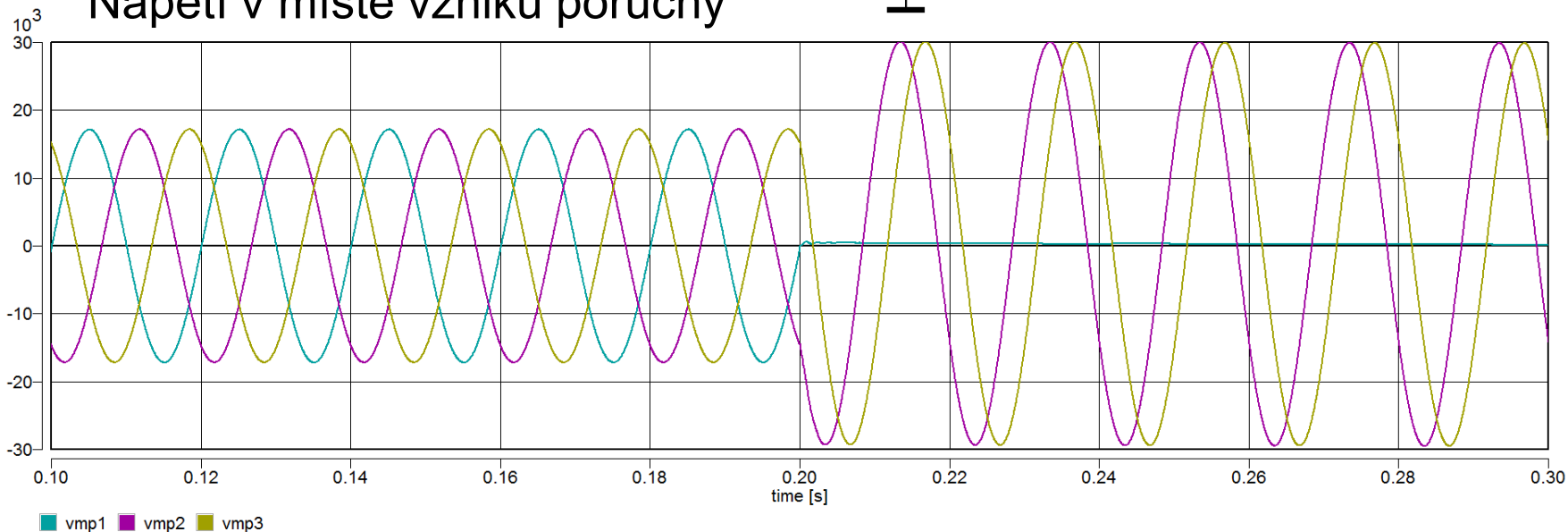
# Jednofázová porucha



# Zemní spojení

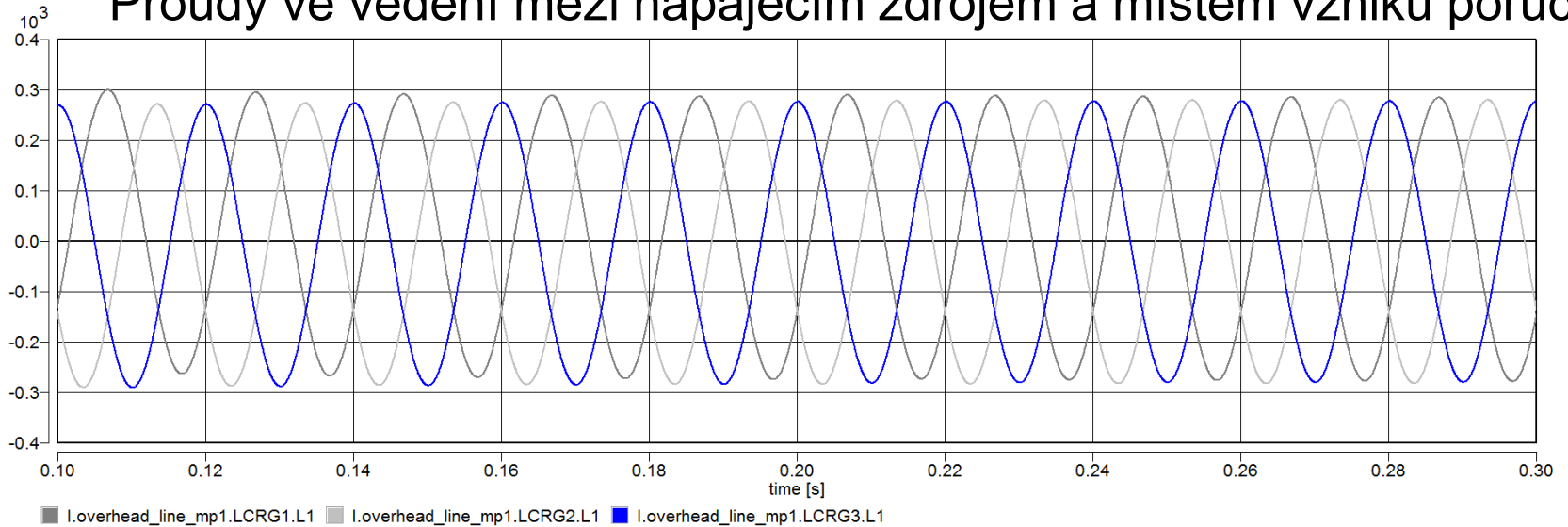


## Napětí v místě vzniku poruchy

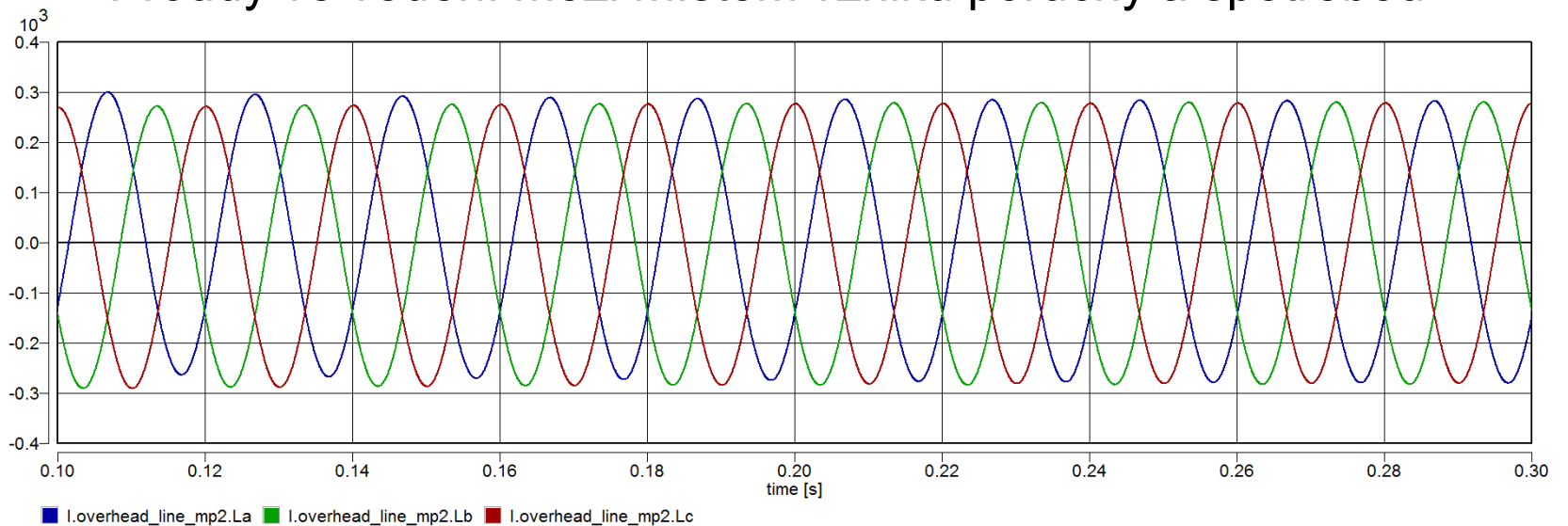


# Zemní spojení

Proudy ve vedení mezi napájecím zdrojem a místem vzniku poruchy



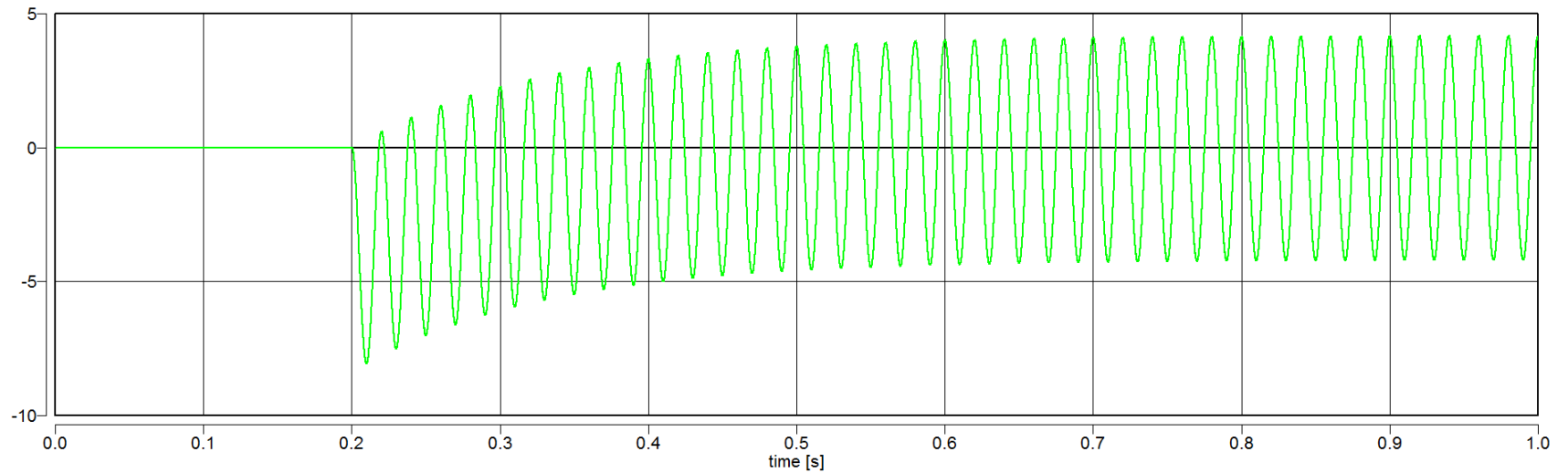
Proudy ve vedení mezi místem vzniku poruchy a spotřebou





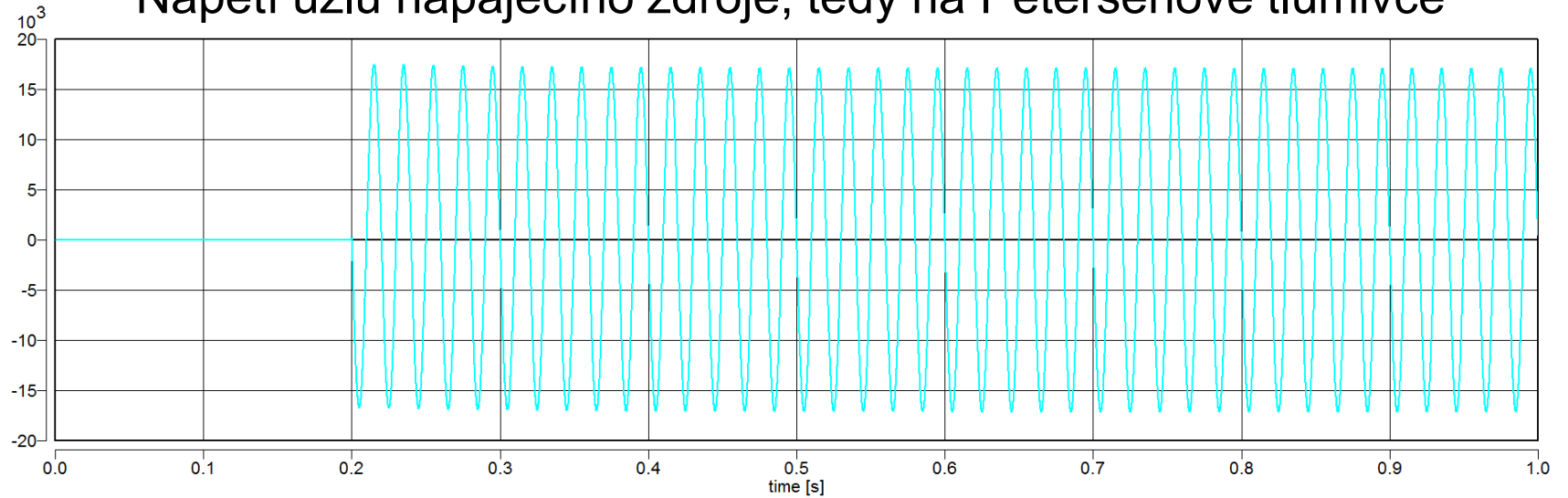
# Zemní spojení

## Proud Petersenovou tlumivkou



I.L1

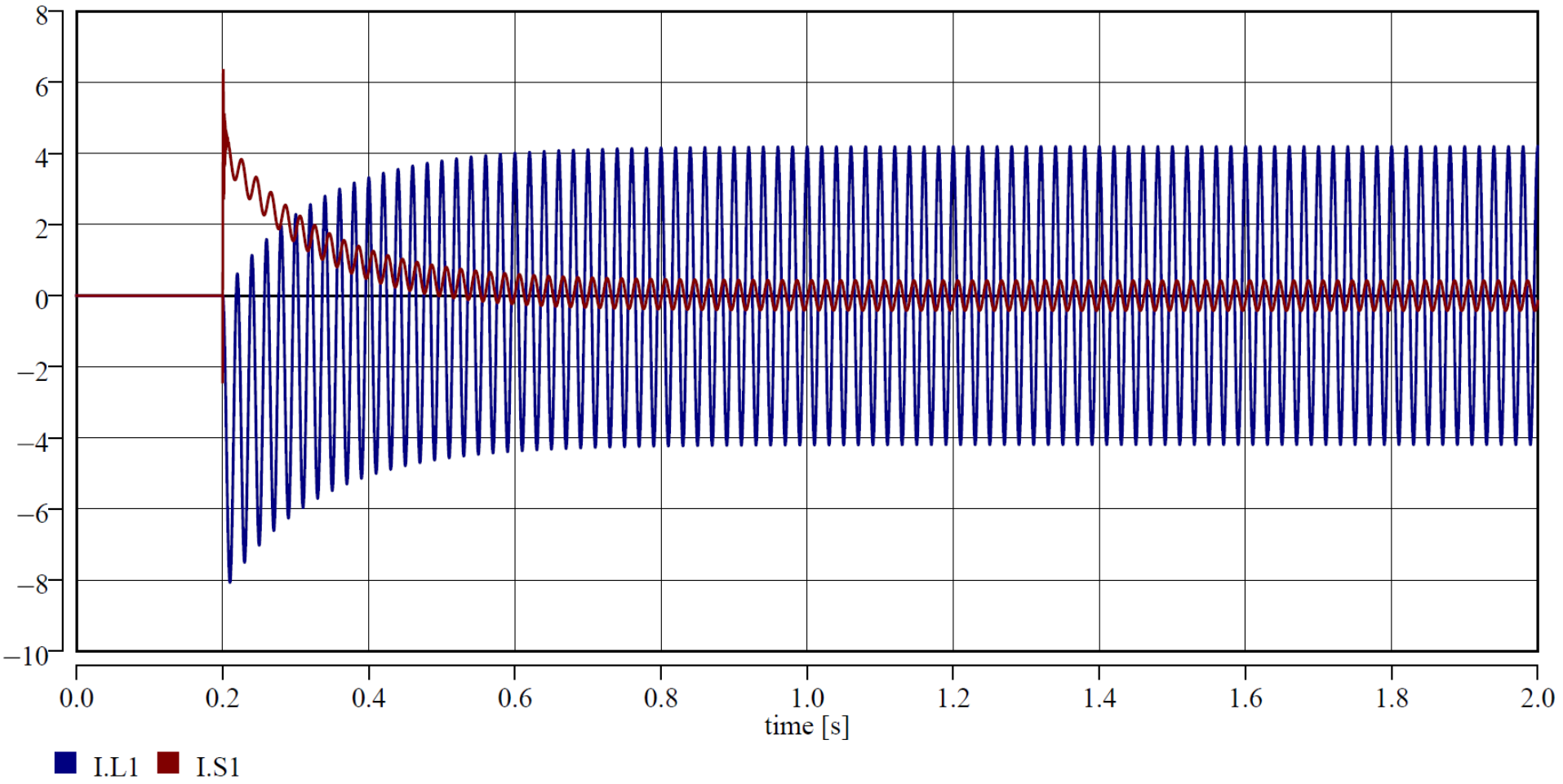
## Napětí uzlu napájecího zdroje, tedy na Petersenově tlumivce



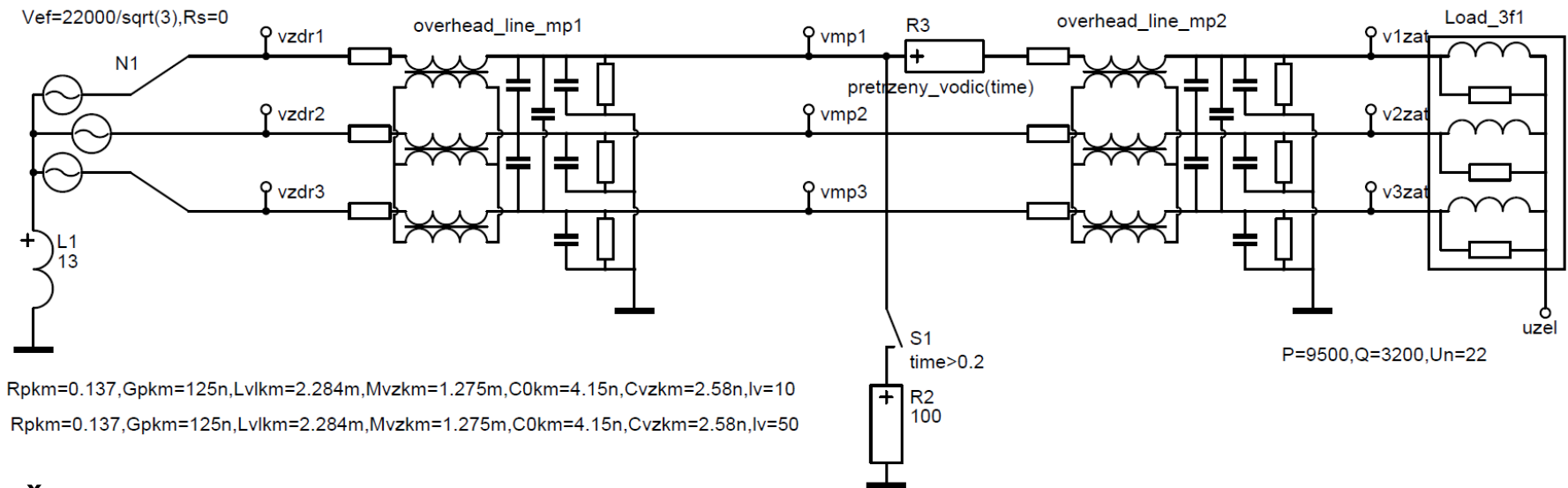
V.2

# Zemní spojení

Proud Petersenovou tlumivkou a proud v místě vzniku poruchy



# Zemní spojení s přetržením vodiče



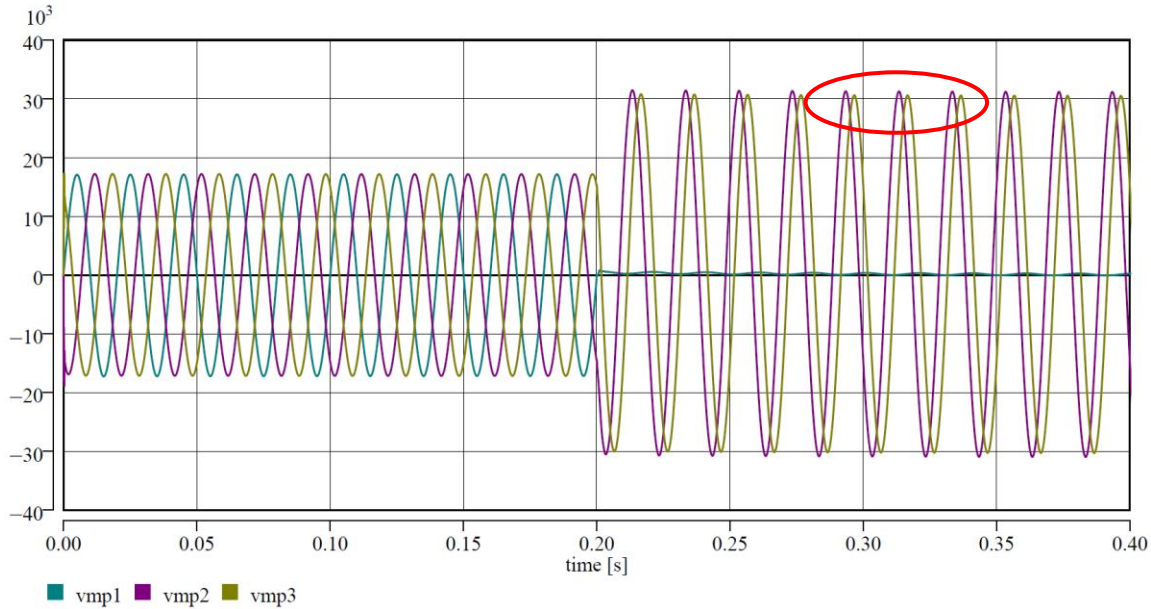
Časový průběh velikosti rezistoru R3:

pretrzeny\_vodic /TAB/

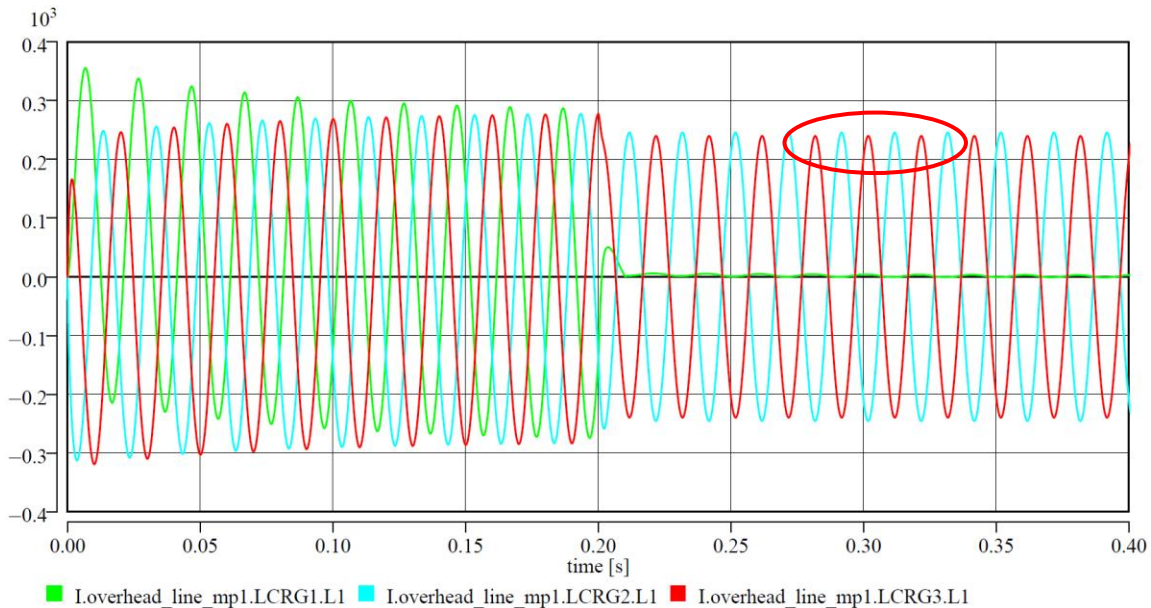
0.1,	0,
0.2,	0,
0.21,	1k,
0.22,	1ME,
0.23,	1G,
0.24,	1T,
0.25,	1T;

$R3 \text{ vmp1-2} = \text{pretrzeny\_vodic}(\text{time});$

# Zemní spojení s přetržením vodiče



Napětí v místě vzniku poruchy



Proudy ve vedení mezi napájecím zdrojem a místem vzniku poruchy

# Zemní spojení s přetržením vodiče

Proud Petersenovou tlumivkou a proud v místě vzniku poruchy

