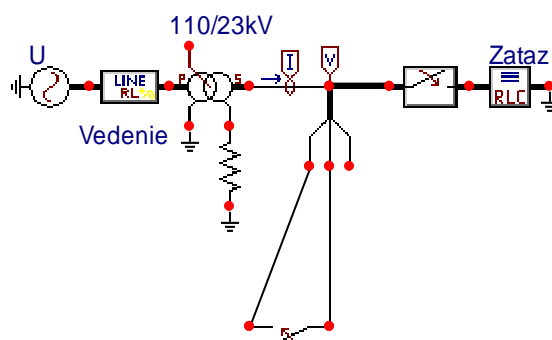


MODELOVANIE V ELEKTROENERGETIKE



Zbierka príkladov I

Dušan Medved'

2012

Modelovanie v elektroenergetike – Zbierka príkladov I

Autor: Ing. Dušan Medved', PhD.

Lektorovali: Ing. Jaroslav Džmura, PhD.
Ing. Marek Hvizdoš, PhD.

© 2012, Ing. Dušan Medved', PhD.

Vydal: Technická univerzita v Košiciach

ISBN 978-80-553-1188-3

**Keď nevieš niečo vysvetliť jednoducho,
asi tomu nerozumieš.**

Albert Einstein

PREDSLOV

S materiálnymi a myšlienkovými konštrukciami a predstavami, ktoré majú charakter modelov a modelovania, sa stretávame od staroveku. Staroveké filozofie vytvárali špekulatívne konštrukcie sveta, ktoré sa viac alebo menej opierali o poznanie skutočnosti a snažili sa vytvárať logicky skĺbené celky. Ako príklad takejto filozofickej konštrukcie je možné uviesť Demokritove predstavy o atómoch, ich tvare a spôsoboch spájania.

V takomto poňatí je obvykle model chudobnejší ako sústava, ktorú modeluje. Pri jeho vytváraní sa zanedbávajú niektoré časti modelovanej sústavy. Model vzniká idealizáciou objektu – výberom tých prvkov, ktoré sú dôležité pre činnosť objektu – pre jeho správanie. Obvykle sa pri modelovaní postupuje tak, aby model správanie originálneho objektu napodobňoval. Preto pri konštrukcii modelu sa zostavuje jeho štruktúra z takých prvkov, o ktorých sa predpokladá, že sú zodpovedné za správanie originálu.

Predmetom tejto publikácie je modelovanie javov elektroenergetiky na počítači v programovom systéme EMTP-ATP. Modelovanie na počítači je najčastejšie matematické modelovanie objektu, na ktorom sa pozoruje určitý jav – správanie objektu.

V praxi sa často používajú programové systémy umožňujúce nielen modelovanie, ale aj zber a spracovanie experimentálnych dát. Výsledky merania aj modelovania sa zobrazujú grafmi na displeji počítača. Tieto vlastnosti má aj systém EMTP-ATP.

Jednou z najväčších výhod počítačových modelov je možnosť simulácie – skúmania modelového javu v rôznych situáciách – s rôznymi kombináciami hodnôt parametrov ovplyvňujúcich správanie objektu, na ktorom sa pozoruje jav.

Publikácia je určená študentom technických univerzít, najmä elektrotechnických fakúlt, ktorí sa stretávajú s potrebou simulácie javov vyskytujúcich sa v elektroenergetike. Je adresovaná tiež užívateľom systému EMTP-ATP a tiež tým, ktorým riešenie problémov počítačového modelovania v elektroenergetike je blízke.

Obsah

Obsah	3
Prvá časť	4
Základy práce v EMTP-ATP	4
1 Ovládacie prvky	5
2 Príklady s jednosmerným zdrojom	7
2.1 Môj prvý obvod	7
2.1.1 Riešenie prechodného deja výpočtom	7
2.1.2 Riešenie prechodného deja programom EMTP-ATP	7
2.2 RL obvod s jednosmerným zdrojom	14
2.3 Test nepresnosti odčítania hodnôt	22
2.4 Jednosmerný obvod s rezistormi	25
3 Jednofázové obvody	31
4 Vypínanie a prerušenie obvodu	126
4.1 Parametre charakterizujúce vypínanie skratového prúdu	126
4.2 Metóda injekcie prúdu pre riešenie zotaveného napätia pri vypínaní obvodu	127
4.2.1 Postupnosť krokov pri zadávaní údajov v programe ATP	128
4.3 Prerušenie indukčného prúdu	140
5 3-fázové obvody	148
6 Analýza poruchových stavov s využitím rôznych modelov transformátorov v programe EMTP-ATP	159
6.1 Analýza poruchových stavov pri skrate na sekundárnej strane transformátora	159
6.1.1 Výpočet parametrov prvkov elektrickej siete	160
6.1.2 Výpočty skratových prúdov	160
6.2 Nastavenie parametrov prvkov elektrického obvodu v EMTP-ATP	162
6.3 Ideálny trojfázový transformátor	162
6.4 Použitie všeobecného dvojvinuťového 3-fázového saturačného transformátora (bez saturácie)	163
6.5 Použitie všeobecného dvojvinuťového 3-fázového saturačného transformátora (so saturáciou)	166
6.6 Použitie transformátora typu BCTRAN	167
6.7 Porovnanie výsledných hodnôt skratových prúdov	168
7 Analýza prepätí v elektrickej sieti	170
8 Transpozícia vedenia	176
9 Trojfázové výkonové meniče	181
9.1 Popis zapojenia	181
10 Káble	192
10.1 Postupnosť krokov pri zadávaní údajov v programe ATP	194
11 Transformátory	198
11.1 Postupnosť krokov pri zadávaní údajov v programe ATP	200
Použitá a odporúčaná literatúra	204

*Ked' hlúpy mlčí,
vyzerá ako múdry.*

Rómske príslovie

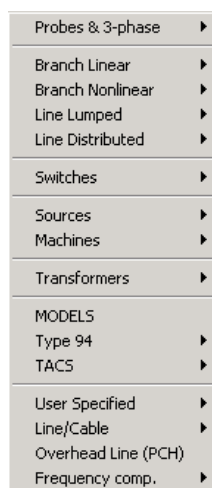
Prvá časť

Základy práce v EMTP-ATP

1 OVLÁDACIE PRVKY

1.1 Priblíženie prostredia ATPDraw verzie 2.0

Výberové menu pre voľbu prvkov obvodu:



Obr. 1.1 Ponuka pre voľbu prvkov v obvode

Probes & 3-phase

Sú predovšetkým napät'ové, prúdové a ďalšie sondy

Branch Linear

Lineárne vetvy obvodu – rezistory, indukory, kapacitory, RLC obvody

Branch Nonlinear

Nelineárne vetvy obvodu

Lines/Cables

Modely vzdušných vedení a káblov (π -článok)

Modely vedení s rozloženými parametrami (transponované a netransponované)

Switches

Spínače – časovo alebo napät'ovo riadené a polovodičové súčiastky

Sources

Zdroje – jednosmerné, striedavé a ďalšie

Machines

Sroje (synchronne, univerzálne, jednosmerné)

Transformers

Transformátory

Models

Užívateľ má možnosť si vytvoriť vlastný model v jazyku ATP

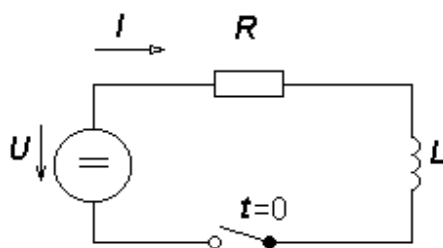
TACS

Využitie procedúry TACS (Transient Analysis of Control Systems)

2 PRÍKLADY S JEDNOSMERNÝM ZDROJOM

2.1 Môj prvý obvod

Vyskúšajte si prácu s programom EMTP-ATP pri riešení jednoduchého obvodu R - L a porovnajte si ho s výpočtom podľa teórie obvodov. Riešme prechodný dej pripojenia sériového R - L obvodu k jednosmernému zdroju. Sú dané hodnoty $R = 10 \Omega$, $L = 20 \text{ mH}$ a napätie zdroja $U = 10 \text{ V}$. Schéma zapojenia je na obr. 2.1.



Obr. 2.1 Schéma zapojenia obvodu

2.1.1 Riešenie prechodného deja výpočtom

Podľa 2. Kirchoffovho zákona platí pre obvod rovnica:

$$L \cdot \frac{di}{dt} + R \cdot i = U \quad (2.1)$$

Využitím Laplaceovej transformácie bude platiť:

$$L \cdot p \cdot I(p) - L \cdot i(0_+) + R \cdot I(p) = \frac{U}{p} \quad (2.2)$$

Keďže pred zopnutím spínača nepretiekal obvodom žiadny prúd, bude $i(0_+) = 0$. Pre určenie časovej závislosti priebehu prúdu po zopnutí spínača sa použije veta o rozklade.

$$I(p) = \frac{U}{p \cdot (R + L \cdot p)} \quad (2.3)$$

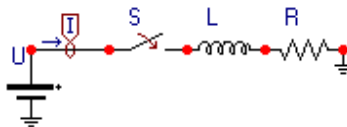
$$i(t) = \frac{U}{R} \cdot \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t} \right) = i' + i'' \quad (2.4)$$

kde i' je ustálená zložka a i'' prechodná zložka.

2.1.2 Riešenie prechodného deja programom EMTP-ATP

V prostredí grafického preprocesora ATPDraw nakreslite schému podľa obr. 2.2. Stlačením pravého tlačidla myši na ploche okna si vyberáte základné prvky obvodu, skladáte ich k sebe a stlačením ľavého tlačidla mimo objekt fixujete jeho polohu (je nutné chvíľu podržať tlačidlo myši a až tak posúvať jednotlivý prvok na dané miesto). Červená kresba objektu signalizuje, že ešte neboli zadané hodnoty v objekte. To sa uskutoční v dialógovom okne, ktoré je možné otvoriť stlačením pravého tlačidla myši na zvolenom objekte.

Manipulácia s uzlami sa uskutočňuje kliknutím pravého tlačidla myši na daný uzol, kde sa zvolí „**Ground**“, pokiaľ chce užívateľ uzol uzemniť alebo „**Display**“, pokiaľ chce užívateľ zobraziť jeho označenie na pracovnej ploche.



Obr. 2.2 Schéma zapojenia obvodu v ATPDraw

Napätie 10 V sa zapíše v tabuľke zdroja do **Amp**.

DATA	VALUE
U/I	0
Amp	10
Tsta	-1
Tsto	1

NODE	PHASE	NAME
DC	1	XX0001

Group No: 0 Label: U

Comment:

Hide
 Lock

OK Cancel Help

Obr. 2.3 Vstupné okno pre vkladanie údajov v ATPDraw

Pri prúdovej sonde sa potvrdí voľba jednej fázy.

Phases

1
 3

A
 B
 C

OK Help

Obr. 2.4 Vstupné okno pre vkladanie údajov v ATPDraw

Na časovom spínači sa nastaví v **T-op** hodnota 0.02 (ako oddeľovací znak je nutné používať bodku).

DATA	VALUE
T-cl	-1
T-op	0.02
Imar	0

NODE	PHASE	NAME
SWF	1	XX0002
SWT	1	XX0003

Group No: 0 Label: S

Comment:

Output

Current
 Voltage
 Curr&Volt
 Power&Energy

Hide
 Lock

OK Cancel Help

Obr. 2.5 Vstupné okno pre vkladanie údajov v ATPDraw

Pri induktore bude do **L** zadaná hodnota 20 (predvolené nastavenie je zadávanie hodnoty indukčnosti jednotkách milihenry (mH), nie v základných jednotkách henry (H)).

DATA	VALUE
L	20

NODE	PHASE	NAME
From	1	XX0003
To	1	XX0005

Group No: 0 Label: L

Comment:

Output

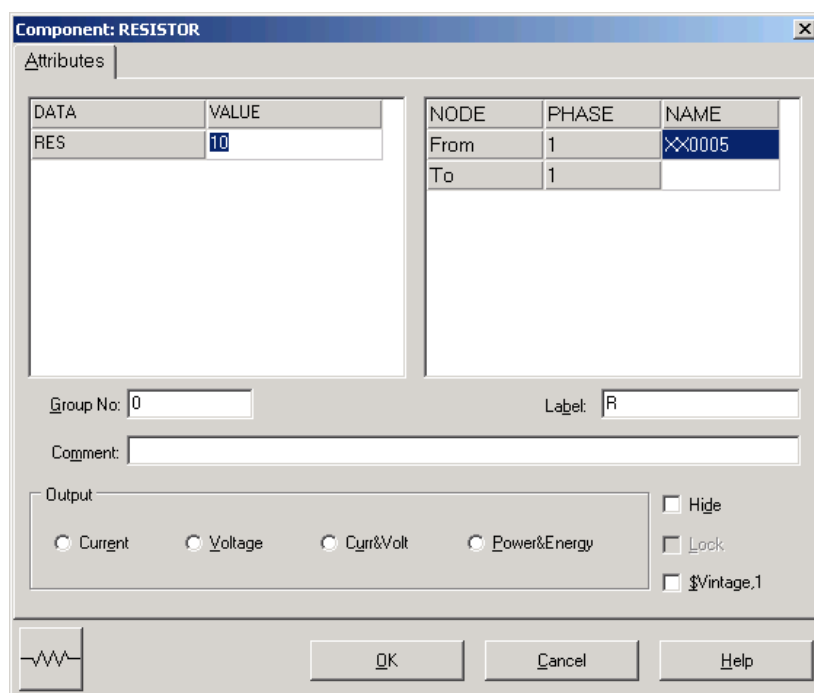
Current
 Voltage
 Curr&Volt
 Power&Energy

Hide
 Lock
 Vintage,1

OK Cancel Help

Obr. 2.6 Vstupné okno pre vkladanie údajov v ATPDraw

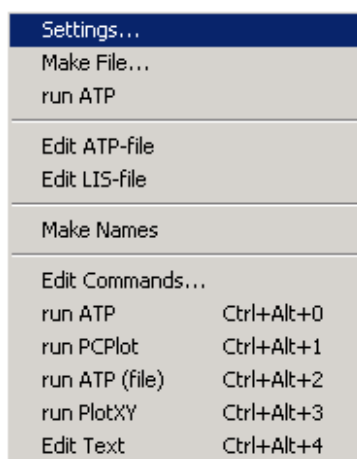
Pri rezistore bude do **RES** zapísaná hodnota 10.



Obr. 2.7 Vstupné okno pre vkladanie údajov v ATPDraw

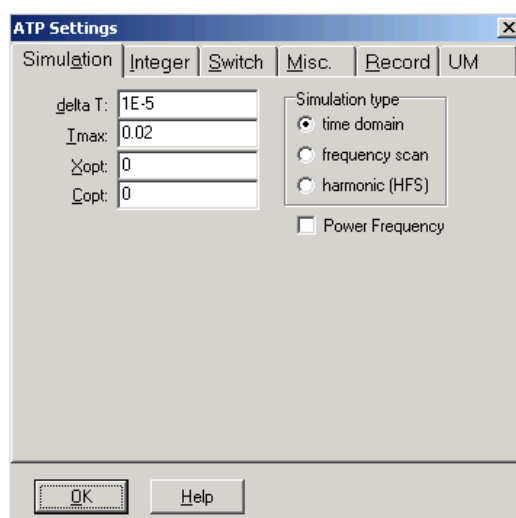
Ostatné hodnoty je možné ponechať nezmenené. Bližšie vysvetlenie ich významu sa zobrazí po stlačení tlačidla „**help**“ v dialógovom okne. Podrobnejší návod obsahuje Rule Book k programu EMTP-ATP.

Pre simuláciu prechodného deja sa musia nastaviť podmienky simulácie voľbou **ATP Settings** a **Simulation**.

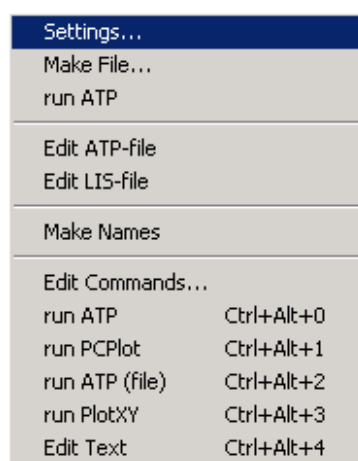


Obr. 2.8 Výberové menu pre vkladanie údajov v ATPDraw

Zadá sa krok výpočtu **delta T** 10^{-5} s a doba výpočtu **T max** 20 ms.



Obr. 2.9 Dialógové okno ATP / Settings



Obr. 2.10 Výberové menu pre vkladanie údajov v ATPDraw

Pričom pre hodnoty X_{opt} a C_{opt} platí:

Pre X_{opt} :

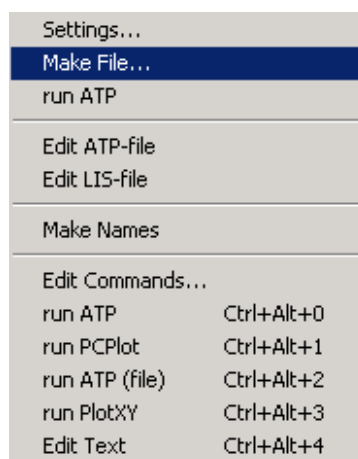
- hodnota induktora bude charakterizovaná indukčnosťou (mH), pokiaľ bude $X_{opt} = 0$,
- hodnota induktora bude charakterizovaná reaktanciou (W), pokiaľ bude X_{opt} = nastavenej frekvencii.

Pre C_{opt} :

- hodnota kapacitora bude charakterizovaná kapacitou (mF), pokiaľ bude $C_{opt} = 0$,
- hodnota kapacitora bude charakterizovaná susceptanciou (mS), pokiaľ bude C_{opt} = nastavenej frekvencii.

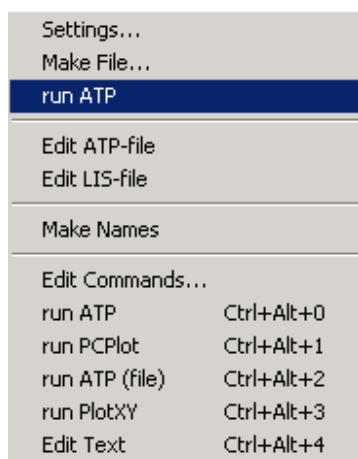
Takto vytvorená schéma sa uloží príkazom CTRL-S so zvoleným názvom, napr. zapRL. Vznikne súbor s príponou *.adp, ktorý sa nachádza v podadresári Project preprocesora ATPDraw. Je vhodné, ak je to možné, používať názvy súborov bez diakritiky, nutné je nepoužívať v názve súboru medzery a je dobré obmedziť dĺžku názvu súboru na max. 8 znakov.

Príkazom **Make File** v hornom menu **ATP** sa vytvorí v podadresári ATP dátový súbor pre ATP s rovnakým názvom s príponou *.atp (teda zapRL.atp).



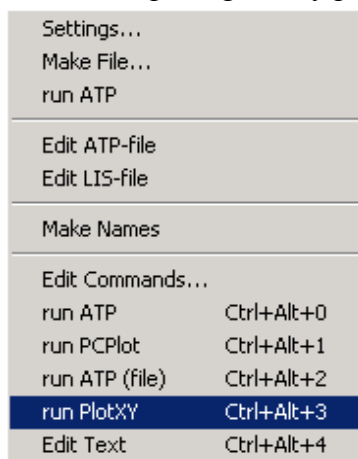
Obr. 2.11 Výberové menu pre vkladanie údajov v ATPDraw

Príkazom **run ATP** v hornom menu **ATP** sa spustí výpočet v programe ATP, ktorého výsledkom sú súbory s príponou *.lis a *.pl4. Súbor *.lis je výstupný dátový súbor a rovnako ako súbor *.atp dajú sa prezerať z prostredia ATPDraw voľbou **ATP Edit**.



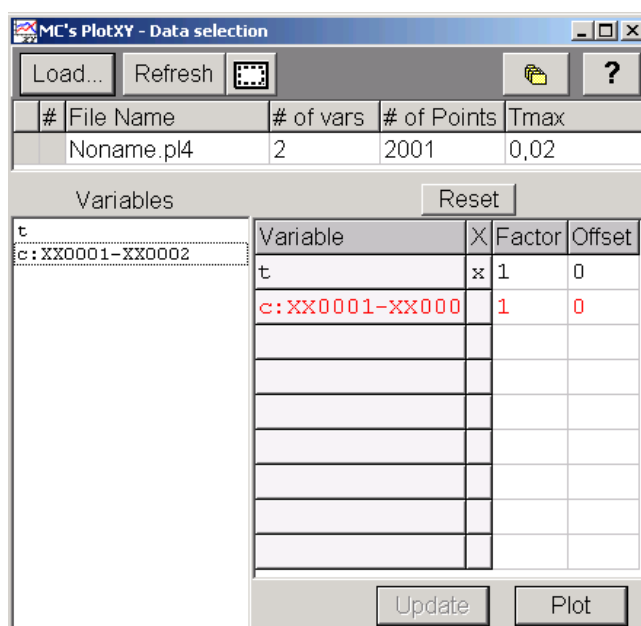
Obr. 2.12 Výberové menu pre vkladanie údajov v ATPDraw

Súbory s príponou *.pl4 sú komprimované grafické dáta, ktoré je možné prezerať niektorým z grafických postprocesorov, ako napríklad PlotXY. Stále v prostredí ATPDraw sa voľbou z horného menu **ATP run PlotXY** spustí grafický postprocesor



Obr. 2.13 Výberové menu pre vkladanie údajov v ATPDraw

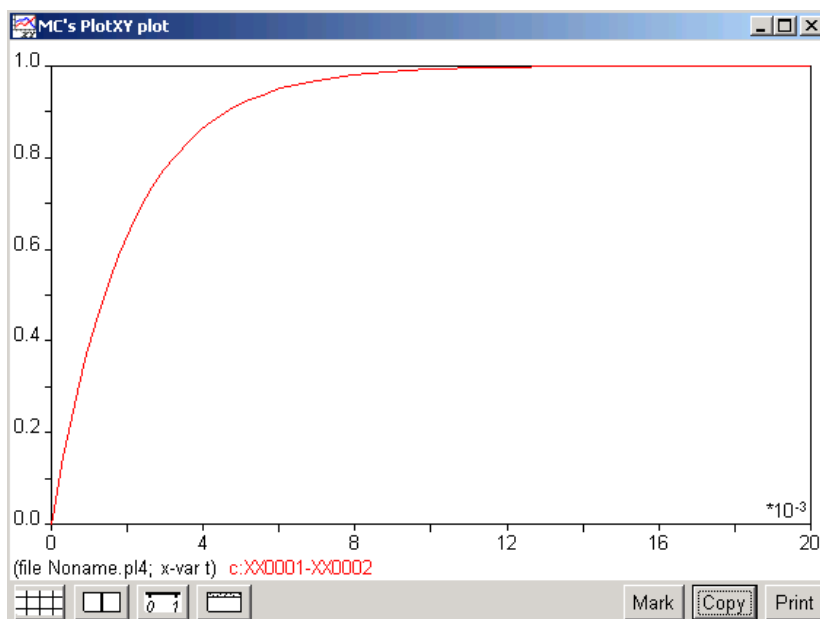
a v ňom je s označením c : XX0001-XX0002 (čísla uzlov XX môžu byť odlišné ako v tomto príklade) uvedený požadovaný priebeh prúdu. Stlačením ľavého tlačidla myši sa priebeh preniesie do zvolených hodnôt k zobrazeniu a stlačením tlačidla **Plot** sa zobrazí.



Obr. 2.14 Dialógové okno programu PlotXY pre vykreslenie priebehov

Stlačením tlačidla **Copy** sa závislosť uloží do pamäti a je ju možné vložiť napríklad do súboru Word.

Ako je vidieť z tohto stručného návodu, je možné uskutočňovať činnosti spojené s programom ATP priamo z prostredia ATPDraw. Uvedený príklad poskytol postup, ktorý je spoločný pre väčšinu prípadov riešených programom. Detailnejšie vysvetlenie ďalších možností programu si môže čitateľ pozrieť napr. v Rule Book k programu EMTP-ATP.

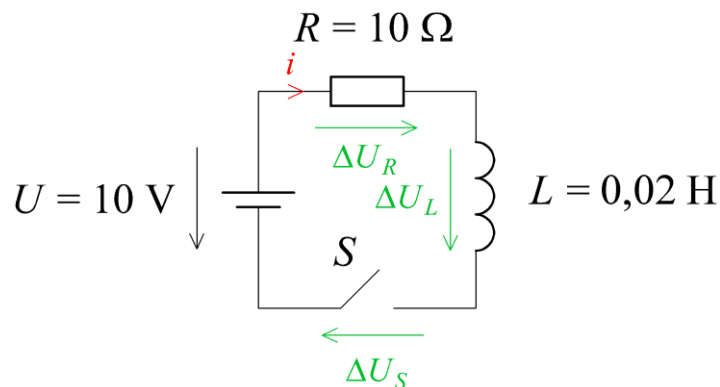


Obr. 2.15 Priebeh prúdu vo vyššie uvedenom obvode

2.2 RL obvod s jednosmerným zdrojom

Príklad

Podľa schémy zapojenia na obr. 2.16 zistíte úbytky napätí na jednotlivých pasívnych prvkoch obvodu (rezistor, cievka, vypínač) a prúd v obvode v čase $t = 0,0005$ s, ak sú dané parametre prvkov obvodu: $R = 10 \Omega$, $L = 20$ mH a napätie zdroja $U = 10$ V. Spínač S sa zopne v čase $t = 0$ s a vráti späť do vypnutého stavu v čase $t = 0,02$ s.

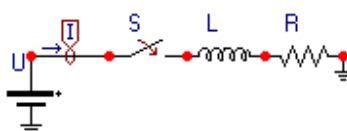


Obr. 2.16 Schéma zapojenia

Riešenie:

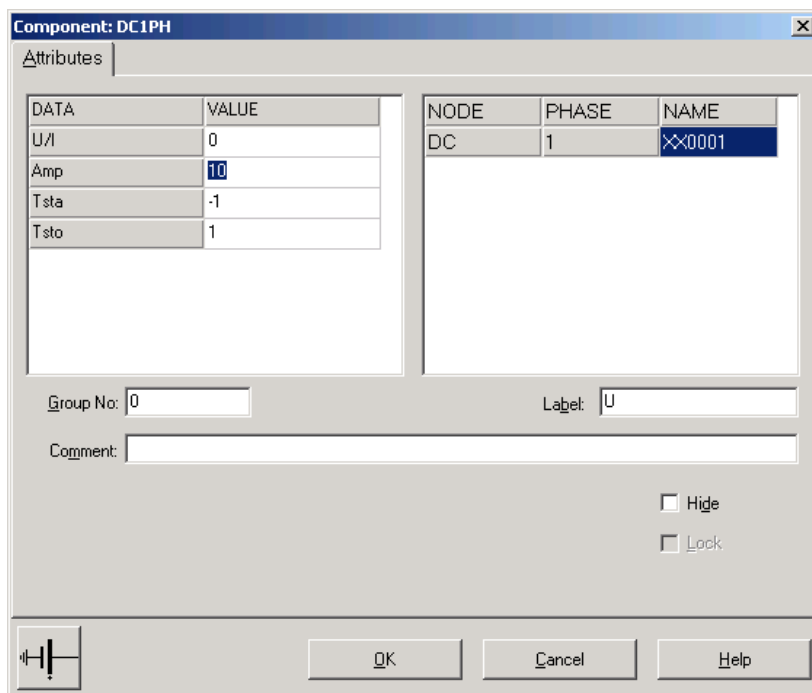
V prostredí grafického preprocesora ATPDraw sa zostaví elektrická schéma podľa obr. 2.17. Je nutné dodržať smer toku danej veličiny (v našom prípade prúdu) a to otočením prvku v správnom smere (smer šípky na ampérmetri udáva smer odčítania danej veličiny). Tento smer prúdu sa zvolil v korešpondencii so schémou na obr. 2.16, v inom prípade toto otočenie nie je nevyhnutné.

Na napäťovom zdroji $U1$ sa nastaví v položke **Amp** hodnota 10 a v položke **Tsta** na hodnotu -1 a **Tsto** na hodnotu 1, čo má za následok stály napäťový zdroj. V položke **Type of source** sa ponechá voľba **Voltage**.



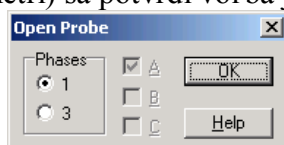
Obr. 2.17 Schéma zapojenia obvodu v ATPDraw

Napätie 10 V sa zapíše v tabuľke zdroja do položky **Amp**.



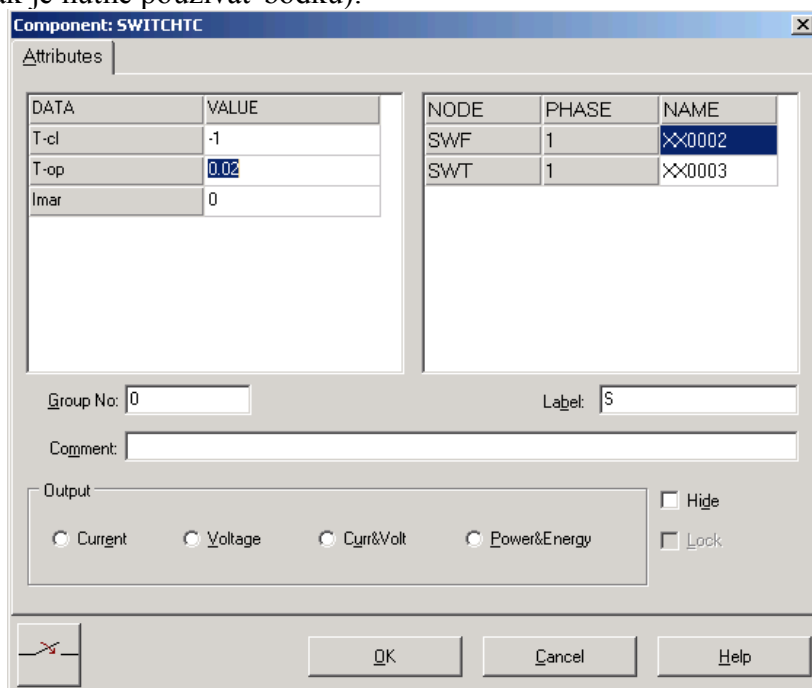
Obr. 2.18 Nastavenie parametrov pre napätový zdroj U

Na prúdovej sonde (ampérmetri) sa potvrdí voľba jednej fázy.



Obr. 2.19 Nastavenie parametrov ampérmetra

Na časovom spínači sa nastaví v **T-cl** hodnota -1 a v **T-op** hodnota 0.02 (ako oddeľovací znak je nutné používať bodku).



Obr. 2.20 Nastavenie parametrov vypínača

Pri induktore bude do **L** zadaná hodnota 20 (predvolené nastavenie je v mH (mili henry), nie v H).

DATA	VALUE
L	20

NODE	PHASE	NAME
From	1	XX0003
To	1	XX0005

Group No: 0 Label: L

Comment:

Output

Current Voltage Curr&Volt Power&Energy

Hide Lock \$Vintage,1

Obr. 2.21 Nastavenie parametrov cievky

Pri rezistore bude do **RES** zapísaná hodnota 10.

DATA	VALUE
RES	10

NODE	PHASE	NAME
From	1	XX0005
To	1	

Group No: 0 Label: R

Comment:

Output

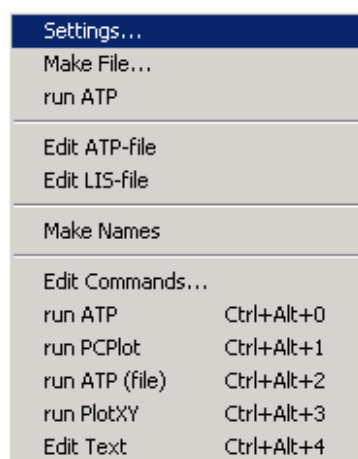
Current Voltage Curr&Volt Power&Energy

Hide Lock \$Vintage,1

Obr. 2.22 Nastavenie parametrov rezistora

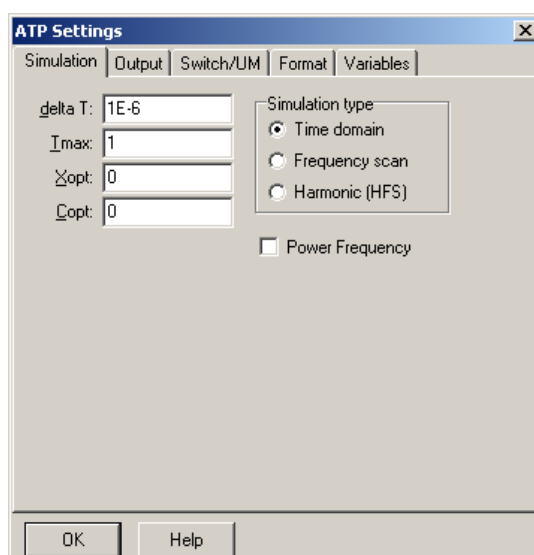
Ostatné hodnoty je možné ponechať nezmenené. Bližšie vysvetlenie ich významu sa zobrazí po stlačení tlačidla „**help**“ v aktuálnom okne prvku. Podrobnejší návod obsahuje Rule Book k programu EMTP-ATP.

Pre simuláciu prechodného deja sa musia nastaviť podmienky simulácie voľbou **ATP Settings** a **Simulation**.



Obr. 2.23 ATP – Settings

Zadá sa krok výpočtu **delta T** $1E-6$ s a doba výpočtu **T max** 1 s.



Obr. 2.24 Dialógové okno Settings – Simulation

Pričom pre hodnoty Xopt a Copt platí:

Pre Xopt:

- hodnota induktora bude charakterizovaná indukčnosťou (mH), pokiaľ bude Xopt = 0,
- hodnota induktora bude charakterizovaná reaktanciou (W), pokiaľ bude Xopt = nastavenej frekvencii.

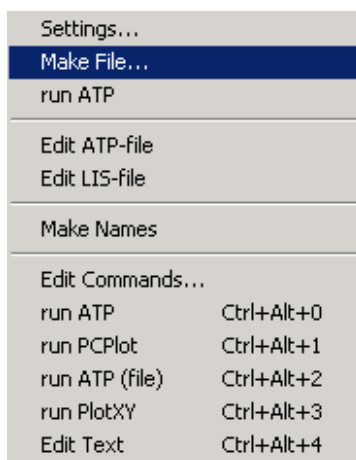
Pre Copt:

- hodnota kapacitora bude charakterizovaná kapacitou (mF), pokiaľ bude Copt = 0,
- hodnota kapacitora bude charakterizovaná susceptanciou (mS), pokiaľ bude Copt = nastavenej frekvencii.

Takto vytvorená schéma sa uloží príkazom CTRL-S so zvoleným názvom, napr. zapRL. Vznikne súbor s príponou *.adp, ktorý sa nachádza v podadresári Project preprocesora

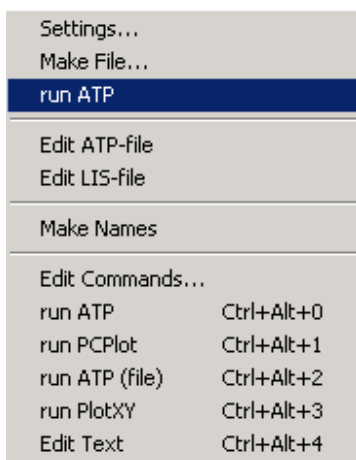
ATPDraw. Je nutné používať názvy súborov bez diakritiky, a nepoužívať v názve súboru medzery a je dobré obmedziť dĺžku názvu súboru na max. 8 znakov (pre nižšie verzie).

Príkazom **Make File ...** v hornom menu **ATP** sa vytvorí v podadresári ATP dátový súbor pre ATP s rovnakým názvom s príponou *.atp (teda zapRL.atp).



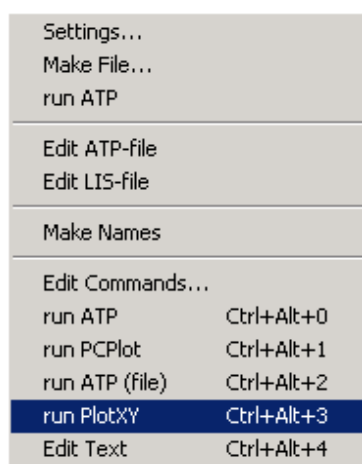
Obr. 2.25 ATP – Make File...

Príkazom **run ATP** v hornom menu **ATP** sa spustí výpočet v programe ATP, ktorého výsledkom sú súbory s príponou *.lis a *.pl4. Súbor *.lis je výstupný dátový súbor a rovnako ako súbor *.atp dajú sa prezerať z prostredia ATPDraw voľbou **ATP Edit**.



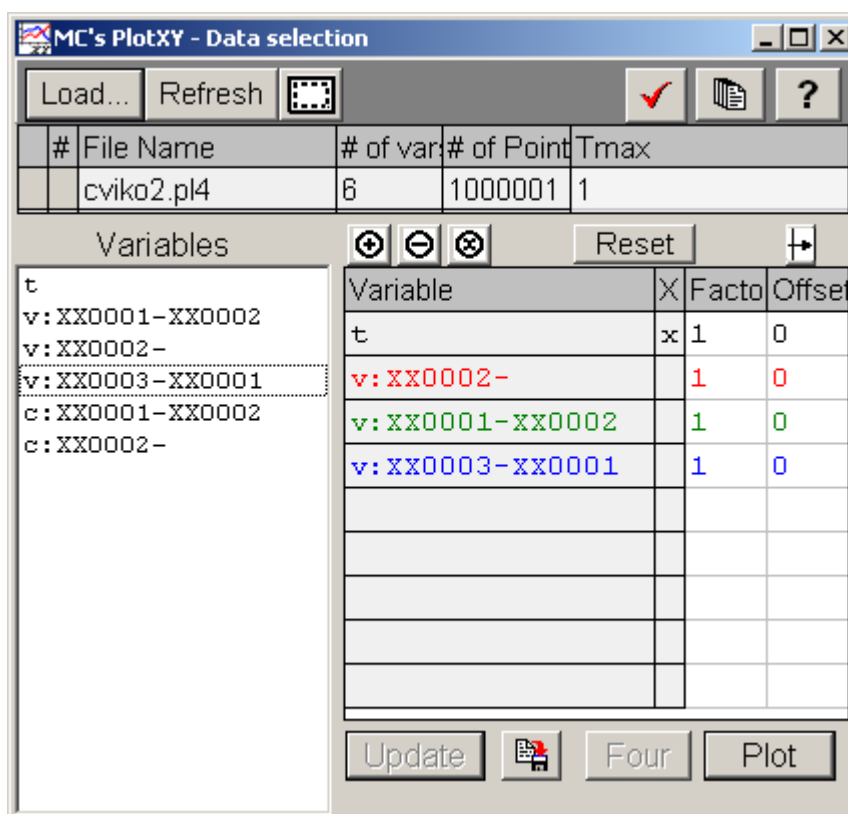
Obr. 2.26 ATP – Run ATP

Súbory s príponou *.pl4 sú komprimované grafické dáta, ktoré je možné prezerať niektorým z grafických postprocesorov, ako napríklad PlotXY. Stále v prostredí ATPDraw sa voľbou z horného menu **ATP run PlotXY** spustí grafický postprocesor



Obr. 2.27 ATP – run PlotXY

A v ňom je s označením $v: XX0001-XX0002$ uvedený požadovaný priebeh úbytku napätia U_L , $v: XX0003-XX0001$ priebeh úbytku napätia U_S a $v: XX0002-$ priebeh úbytku napätia U_R . Stlačením ľavého tlačidla myši sa dané priebehy označia pre zobrazenie a stlačením tlačidla **Plot** sa následne zobrazia. *Poznámka:* čísla uzlov môžu byť odlišné, v závislosti od zapojenia obvodu a nemusia korešpondovať s týmto číslovaním!

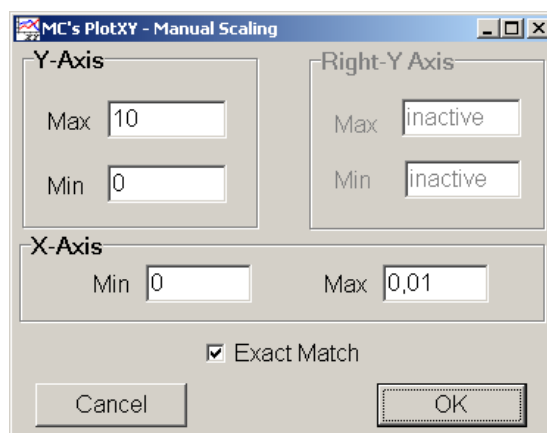


Obr. 2.28 Dialógové okno programu PlotXY pre vykreslenie priebehov

V okne PlotXY stlačíme tlačidlo Manual Scale v spodnom menu tlačidiel tohto okna (tretie zľava) (obr. 2.29) a následne v okne Manual Scaling zadáme minimálne a maximálne hranice pre zobrazenie priebehov. Nám postačuje jedna perióda, teda v X-Axis **Max** nastavíme hodnotu 0,01 (obr. 2.30) a potvrdíme tlačidlom **OK**. (*Poznámka:* desatinnú čiarku v okne Manual Scaling vkladáme ako čiarku, nie bodku).



Obr. 2.29 Tlačidlo Manual Scale



Obr. 2.30 Okno Manual Scaling

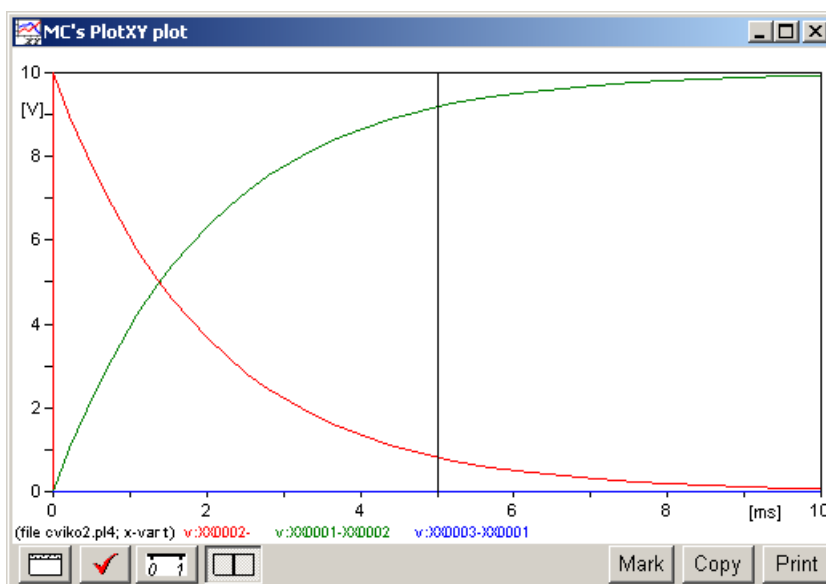
V okne PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor v spodnom menu tlačidiel tohto okna (štvrté zľava) (obr. 2.31) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde. Tu zistíme korešpondujúcu zhodu v amplitúde a fázovom natočení, t.j. čase prechodu veličiny nulou.



Obr. 2.31 Tlačidlo Show Cursor

Values
File cviko2.pl4
5,0000E-03
0,82106
9,1789
0
<input type="checkbox"/> Interpolation

Obr. 2.32 Zobrazenie hodnôt úbytkov napätí v čase $t = 0,005$ s



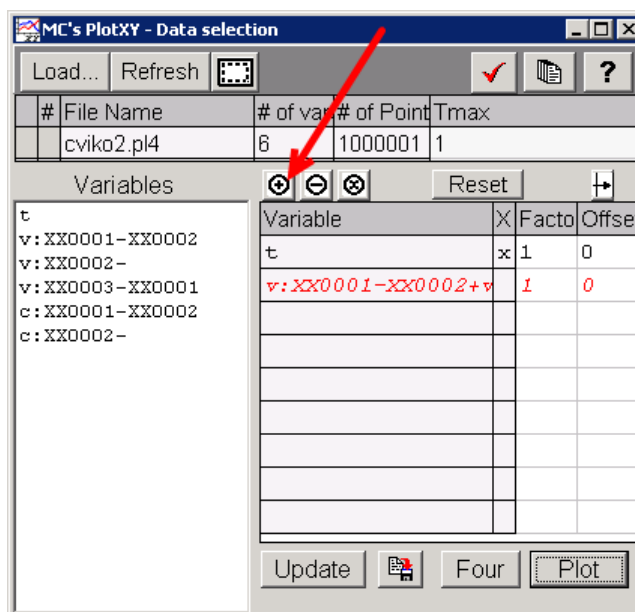
Obr. 18 Priebehy úbytkov napätí U_R , U_L , U_S

Obr. 2.33 Priebehy úbytkov napätí U_R , U_L , U_S

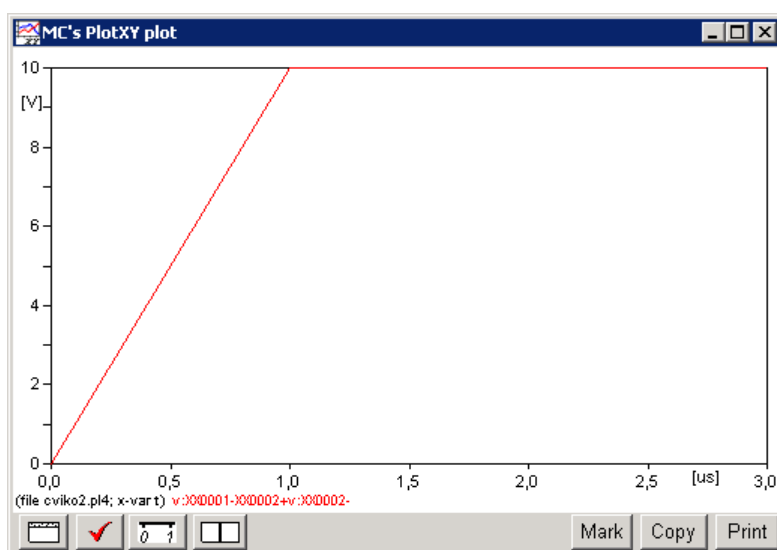
Z daných priebehov odčítaných z obr. 2.32 a obr. 2.33 je vidieť, že v čase $t = 0,005$ platí: $U_L(0,005) = 0,82106$ V, $U_R(0,005) = 9,1789$ V, $U_S(0,005) = 0$ V.

Úbytok napätia na spínači môžeme získať aj sčítaním zvyšných úbytkov napätí na pasívnych prvkoch v obvode a porovnaním s napätím zdroja:

Stlačíme tlačidlo sčítania dvoch priebehov (obr. 2.34) a následne vyberieme z okna premenných (Variables) dva priebehy (v tomto prípade sú to priebehy napätia na rezistore a cievke: $v: XX0001-XX0002$ a $v: XX0002-$). Po stlačení tlačidla **Plot** sa zobrazí sčítaný priebeh (obr. 2.35). Z tohto priebehu, po vhodnom priblížení, je vidieť, že spínač nie je spotrebiteľom elektrickej energie a teda nie je na ňom úbytok napätia. Podobne je z tohto grafu vidieť, že v čase $t \in \langle 0, 1 \mu\text{s} \rangle$ priebeh napätia je lineárne rastúci a nenadobúda maximálnu hodnotu napät'ového zdroja (10 V) hneď od času pripojenia, ale po určitom čase. Tento úsek je vymedzený časovým krokom (**deltaT**), ktorý sme nastavili voľbou ATP – Settings – Simulation na $1 \mu\text{s}$. Teda, hodnoty z 1. iterácie (deltaT ; t.j. $t \in \langle 0, 1 \mu\text{s} \rangle$) nie sú správne a musíme odčítavať z grafu až v čase $t \geq \text{deltaT}$.



Obr. 2.34 Tlačidlo sčítania dvoch priebehov v okne PlotXY

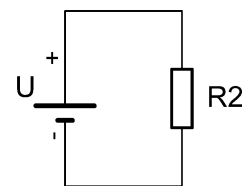


Obr. 2.35 Priebeh sčítaných úbytkov napätí

2.3 Test nepresnosti odčítania hodnôt

Príklad

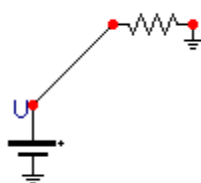
Podľa schémy zapojenia na obr. 2.36 určte prostredníctvom ATPDraw prúd prechádzajúci rezistorom a úbytok napätia na tomto rezistore v čase $t=10$ s, ak napätie jednosmerného zdroja je 10 V, odpor rezistora 2Ω .



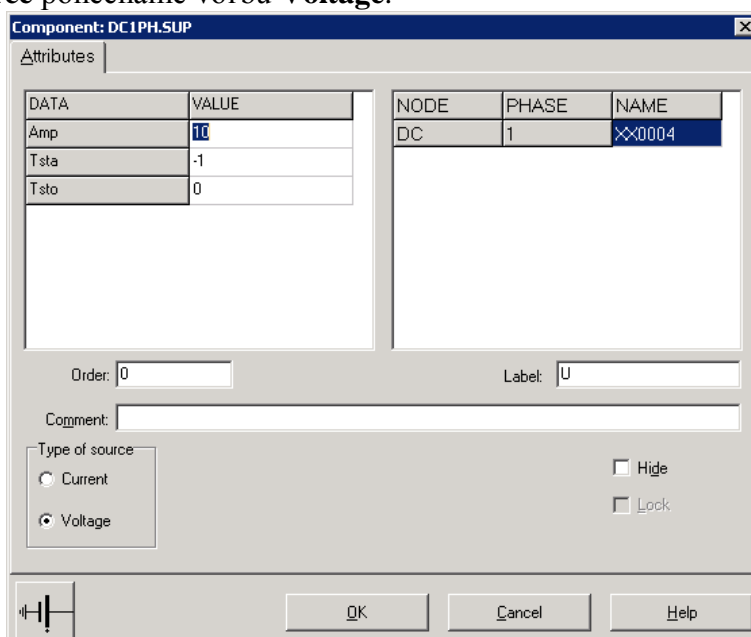
Obr. 2.36 Schéma zapojenia

Riešenie:

V ATPDraw sa vytvorí schéma zapojenia podľa obr. 2.37. Na napät'ovom zdroji nastavíme v položke **Amp** hodnotu 10 a v položke **Tsto** hodnotu 0, čo má za následok stály napät'ový zdroj. V **Type of source** ponecháme voľbu **Voltage**.

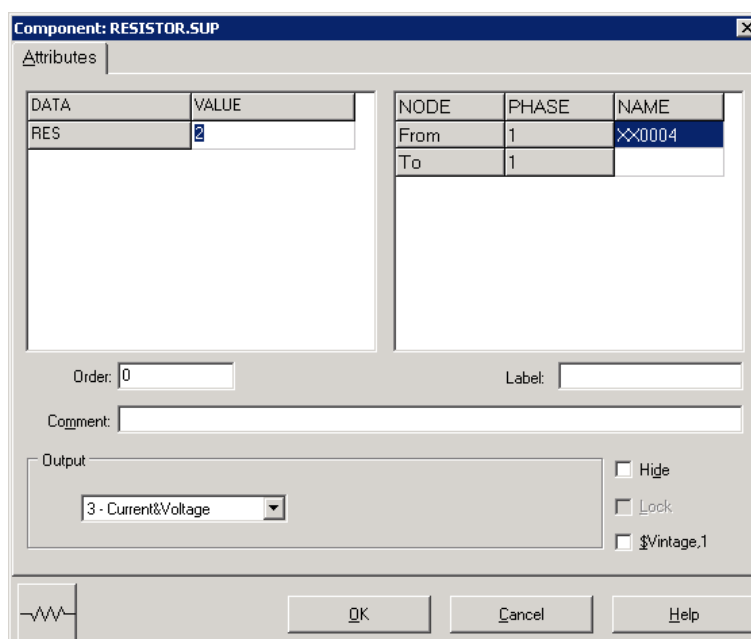


Obr. 2.37 Schéma zapojenia v ATPDraw



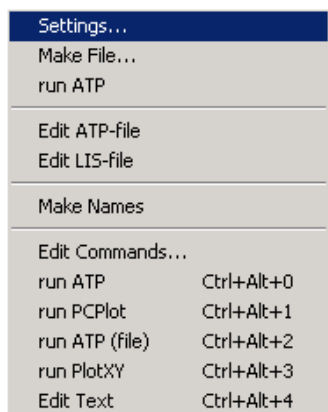
Obr. 2.38 Nastavenie parametrov pre napät'ový zdroj

Vo vlastnostiach rezistora nastavíme v položke **RES** hodnotu 2. V **Output** nastavíme voľbu **Current & Voltage** (obr. 2.39).

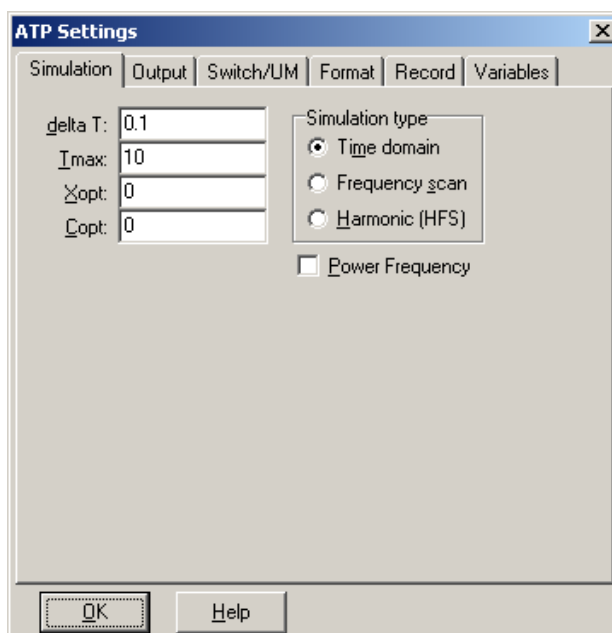


Obr. 2.39 Nastavenie parametrov rezistora

Časové podmienky simulácie sa nastavujú voľbou z horného menu **ATP Settings** a **Simulation** (obr. 2.40). Keďže sa jedná o jednosmerný obvod a v tomto prípade nás nezaujímajú prechodné deje, postačuje, ak nastavíme krok výpočtu **delta T** 0,1 s a podobne aj doba výpočtu, minimálne však ako bolo dané v zadaní príkladu (10 s), napr. **Tmax** 10 s (obr. 2.41).

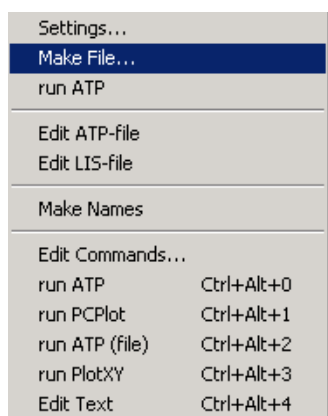


Obr. 2.40 ATP – Settings

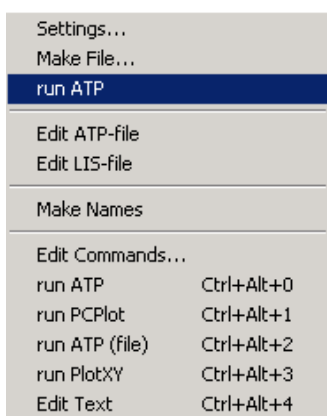


Obr. 2.41 Dialógové okno Settings – Simulation

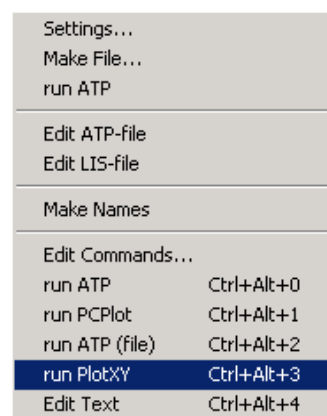
Príkazom **Make File** v hornom menu **ATP** sa vytvorí v podadresári ATP dátový súbor pre ATP s rovnakým názvom s príponou *.atp (obr. 2.42). Príkazom **run ATP** v hornom menu **ATP** sa spustí výpočet v programe ATP, ktorého výsledkom sú súbory s príponou *.lis a *.pl4 (obr. 2.43). V prostredí ATPDraw sa voľbou z horného menu **ATP run PlotXY** spustí grafický postprocesor (obr. 2.44).



Obr. 2.42 ATP – Make File...

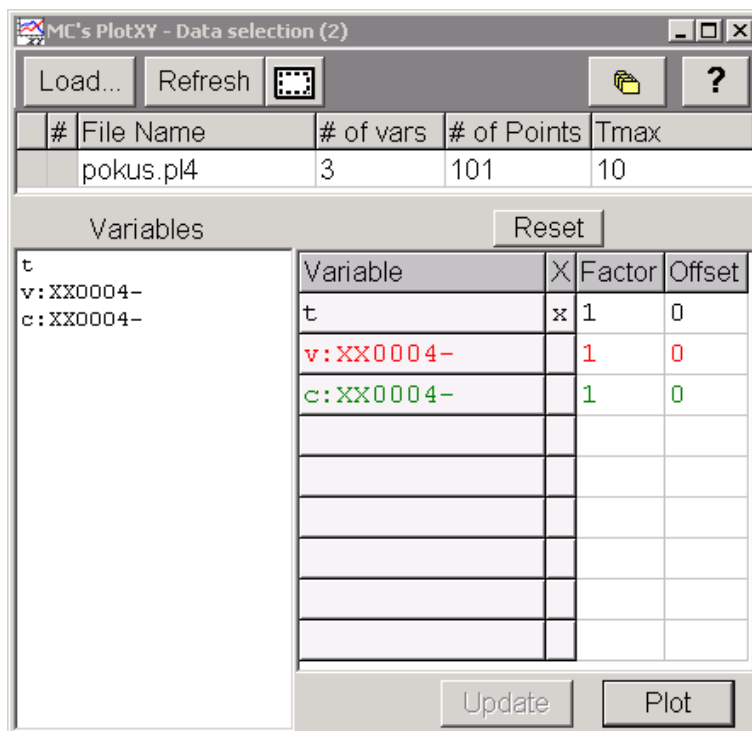


Obr. 2.43 ATP – run ATP

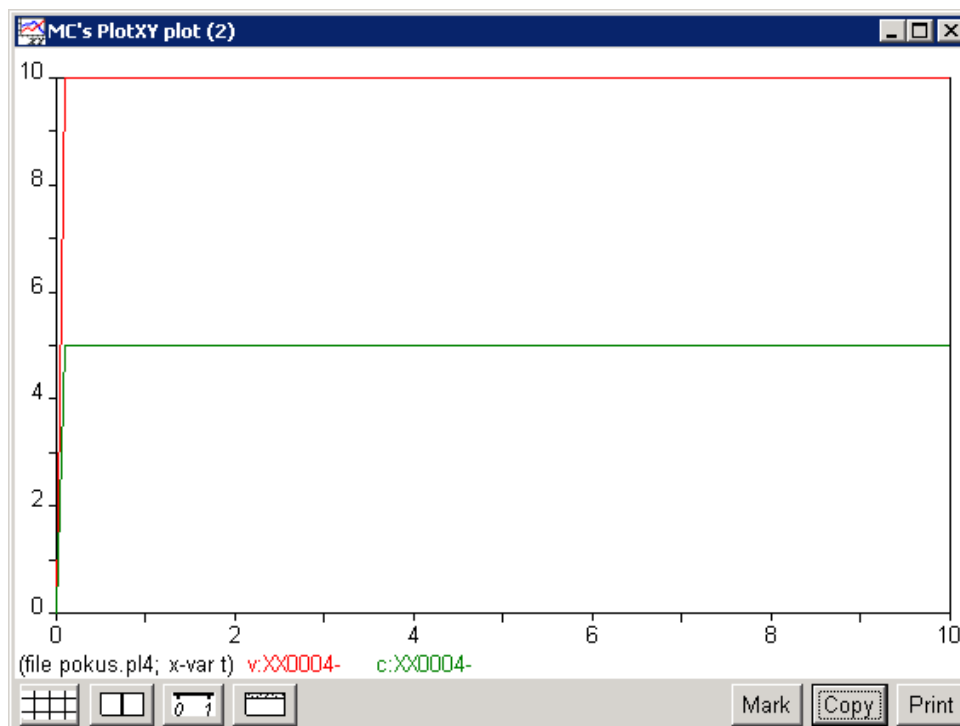


Obr. 2.44 ATP – run PlotXY

A v ňom je s označením **c: XX0004-** uvedený požadovaný priebeh prúdu a **v: XX0004-** priebeh úbytku napätia na rezistore R . Stlačením ľavého tlačidla myši sa dané priebehy označia pre zobrazenie a stlačením tlačidla **Plot** sa následne zobrazia.



Obr. 2.45 Dialógové okno programu PlotXY pre vykreslenie priebehov



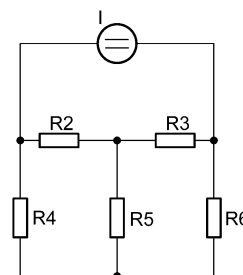
Obr. 2.46 Priebeh prúdu a napätia vo vyššie uvedenom obvode

Ako je vidieť z daných priebehov, v čase $t = 10$ s je hodnota prúdu vo vetve $I = 5$ A a veľkosť úbytku napätia $\Delta U = 10$ V.

2.4 Jednosmerný obvod s rezistormi

Príklad

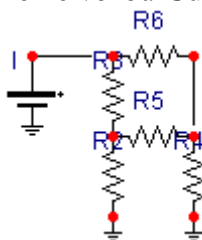
Podľa schémy zapojenia na obr. 2.47 určte prostredníctvom ATPDraw prúdy prechádzajúce rezistormi a úbytky napätia na týchto rezistoroch v čase $t = 10$ s, ak prúdový zdroj má hodnotu 5 A, $R_2 = 1/3 \Omega$, $R_3 = 0,5 \Omega$, $R_4 = 0,2 \Omega$, $R_5 = 0,25 \Omega$, $R_6 = 1 \Omega$.



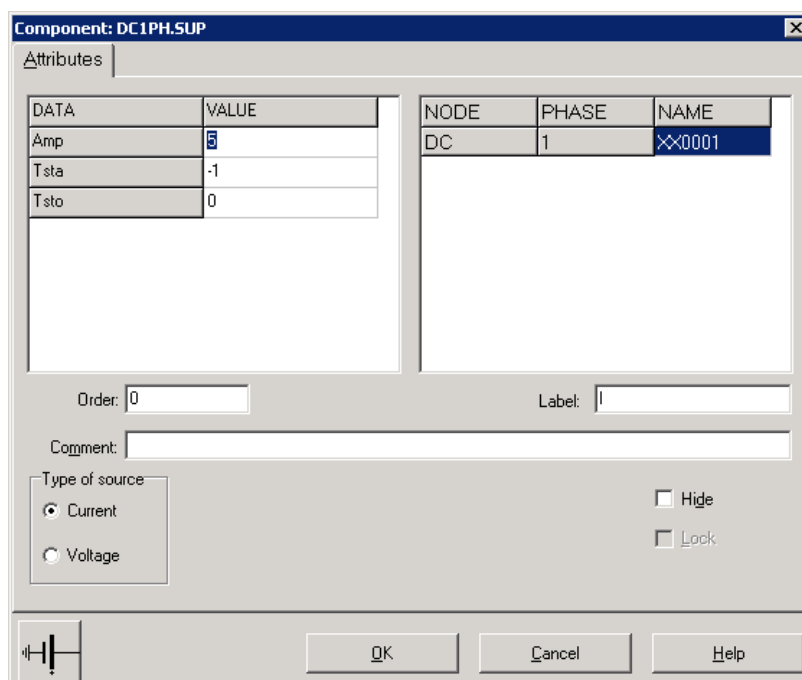
Obr. 2.47 Schéma zapojenia

Riešenie:

V ATPDraw sa vytvorí schéma zapojenia podľa obr. 2.48. Na prúdovom zdroji nastavíme v položke **Amp** hodnotu 5 a v položke **Tsto** hodnotu 0, čo má za následok stály prúdový zdroj. V **Type of source** vyberieme voľbu **Current**.

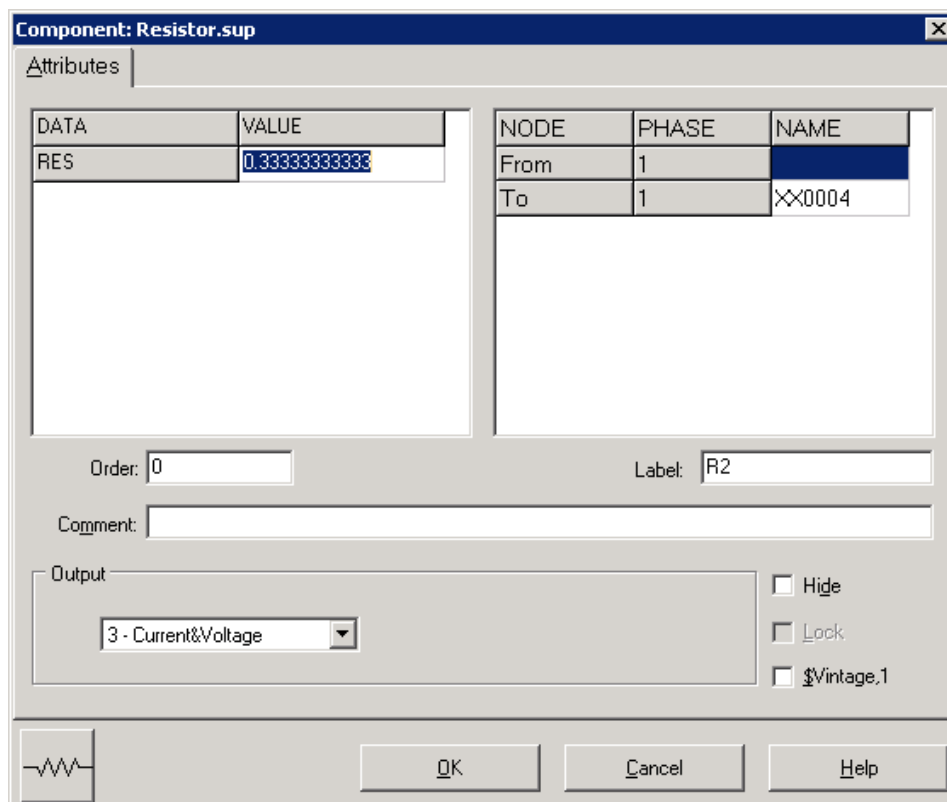


Obr. 2.48 Schéma zapojenia v ATPDraw

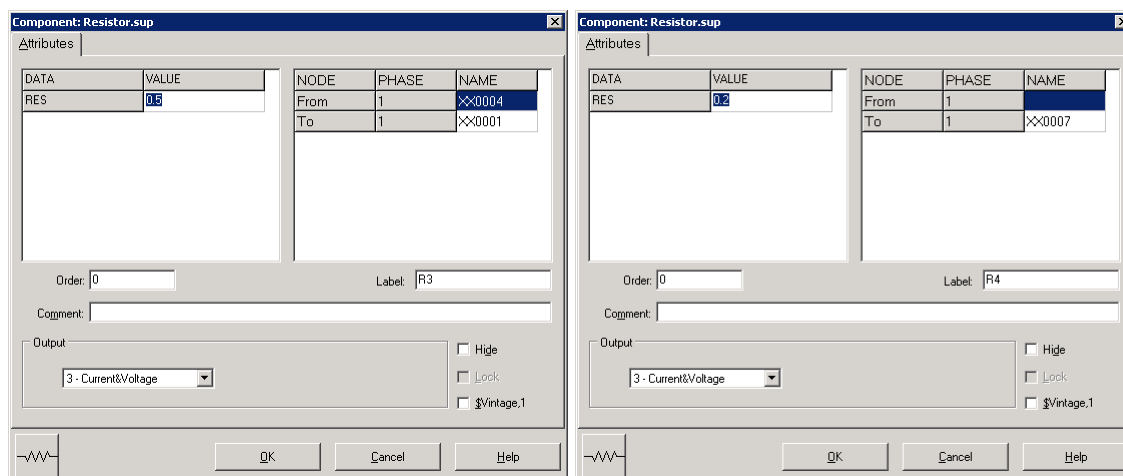


Obr. 2.49 Nastavenie parametrov pre prúdový zdroj

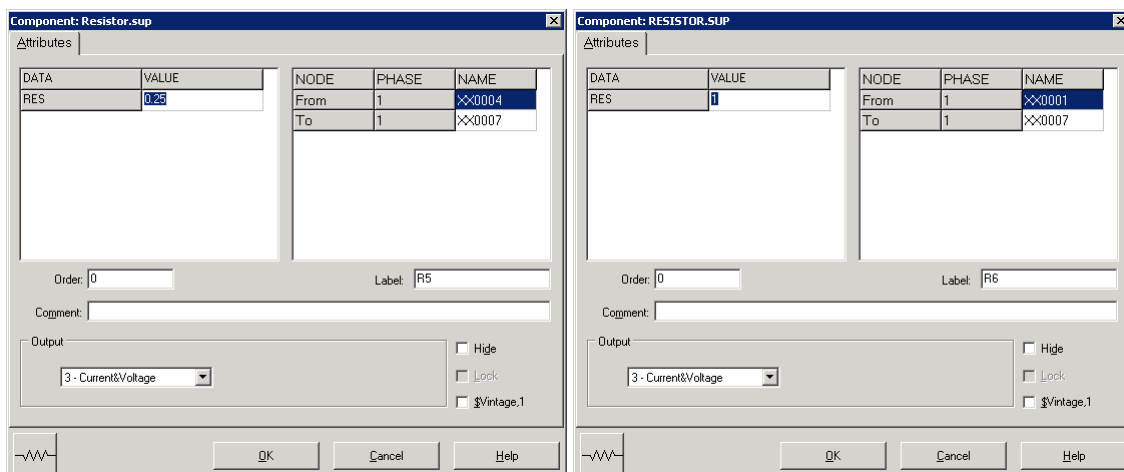
Vo vlastnostiach rezistora R_2 nastavíme v položke **RES** hodnotu 0.33333. V **Output** nastavíme voľbu **Current & Voltage** (obr. 2.50). Podobne postupujeme aj pri nastavovaní príslušných parametrov rezistorov R_3 , R_4 , R_5 , R_6 .



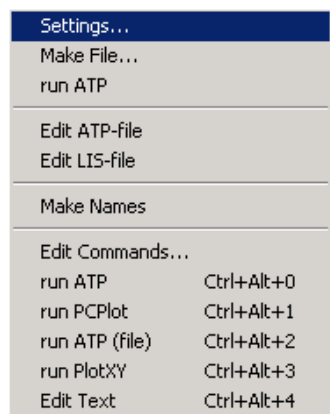
Obr. 2.50 Nastavenie parametrov rezistora R_2



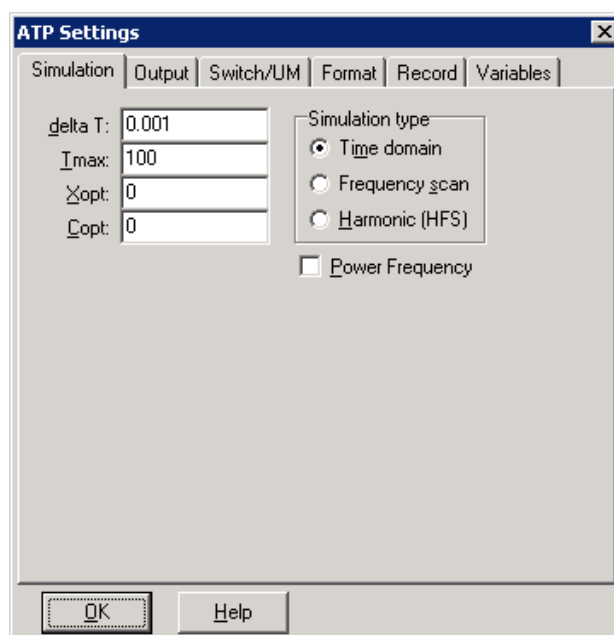
Obr. 2.51 Nastavenie parametrov rezistorov R_3 a R_4

Obr. 2.52 Nastavenie parametrov rezistorov R_5 a R_6

Časové podmienky simulácie sa nastavujú voľbou z horného menu **ATP Settings** a **Simulation** (obr. 2.53). Keďže sa jedná o jednosmerný obvod a v tomto prípade nás nezaujímajú prechodné deje, postačuje, ak nastavíme krok výpočtu **delta T** 0,1 s a podobne aj doba výpočtu, minimálne však ako bola zadaná v zadaní príkladu (10 s), **Tmax** 100 s (obr. 2.54).

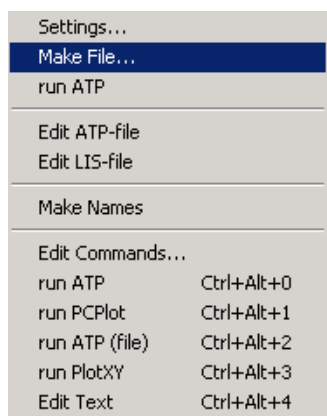


Obr. 2.53 ATP – Settings

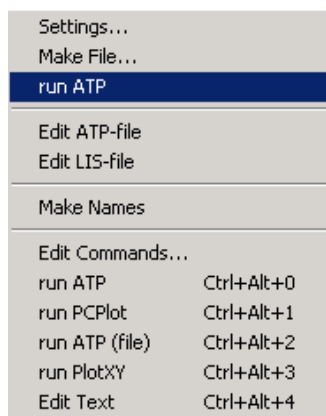


Obr. 2.54 Dialógové okno Settings – Simulation

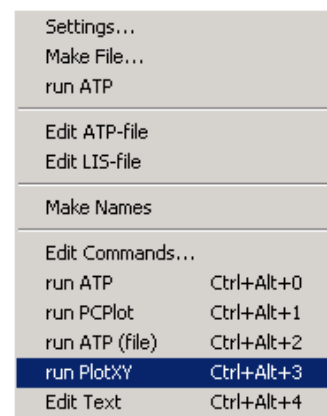
Príkazom **Make File...** v hornom menu **ATP** sa vytvorí v podadresári ATP dátový súbor pre ATP s rovnakým názvom s príponou *.atp (obr. 2.55). Príkazom **run ATP** v hornom menu **ATP** sa spustí výpočet v programe ATP, ktorého výsledkom sú súbory s príponou *.lis a *.pl4 (obr. 2.56). V prostredí ATPDraw sa voľbou z horného menu **ATP run PlotXY** spustí grafický postprocesor (obr. 2.57).



Obr. 2.55 ATP – Make File...

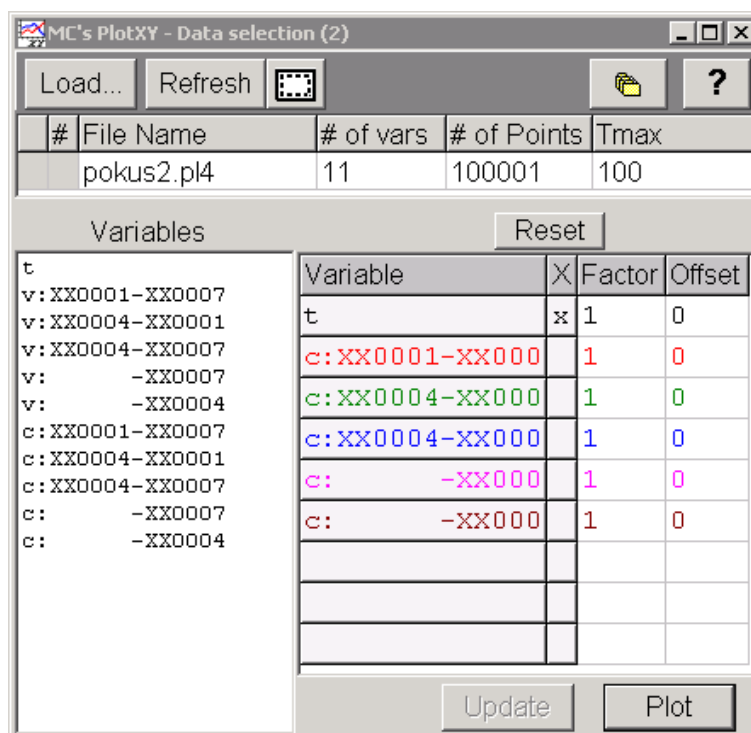


Obr. 2.56 ATP – run ATP



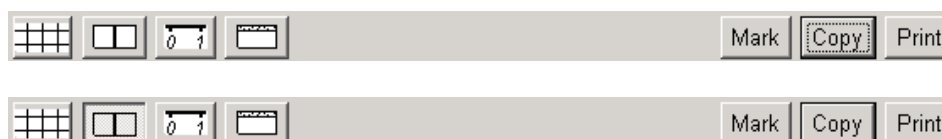
Obr. 2.57 ATP – run PlotXY

A v ňom je s označením **c: XX0001–XX0007** uvedený požadovaný priebeh prúdu tečúci rezistorom R_6 . Stlačením ľavého tlačidla myši sa dané priebehy označia pre zobrazenie a stlačením tlačidla **Plot** sa následne zobrazia. **Poznámka:** čísla uzlov môžu byť odlišné, v závislosti od zapojenia obvodu a nemusia korešpondovať s týmto číslovaním!

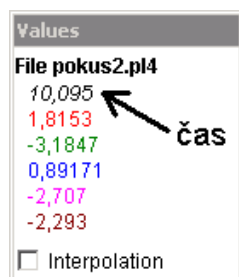


Obr. 2.58 Dialógové okno programu PlotXY pre vykreslenie priebehov

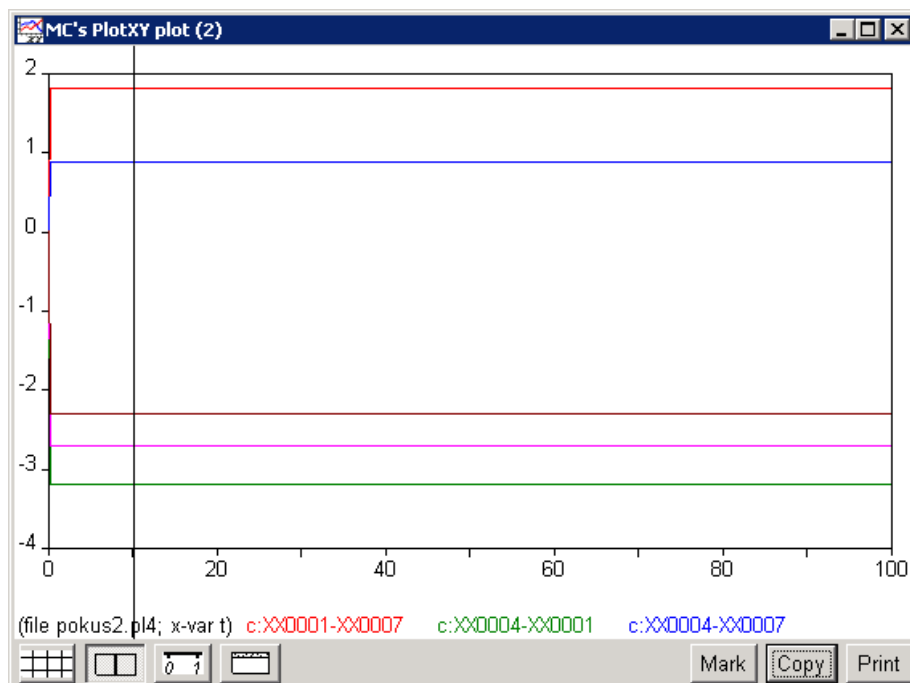
V okne PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor v spodnom menu tlačidiel tohto okna (druhé zľava) (obr. 2.59) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase. V našom prípade v čase 10 s (obr. 2.60).



Obr. 2.59 Tlačidlo Show Cursor

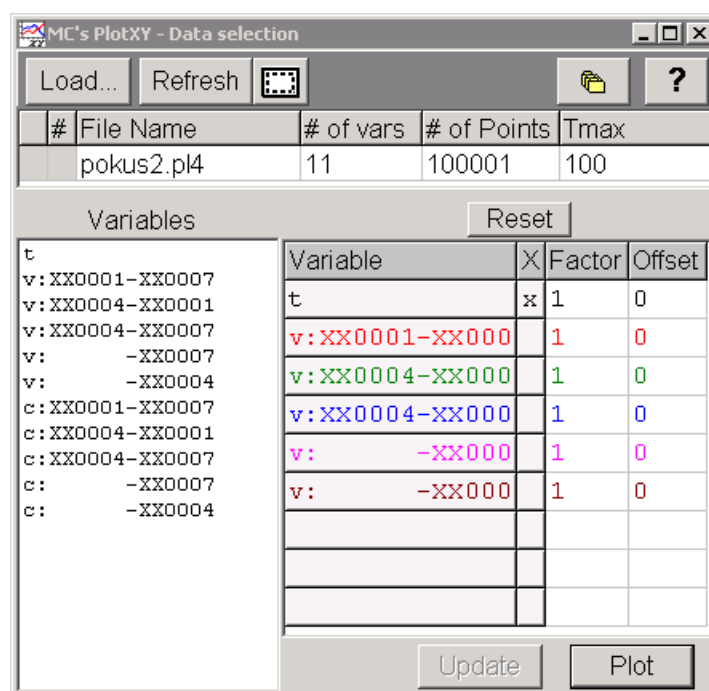


Obr. 2.60 Zobrazenie hodnôt



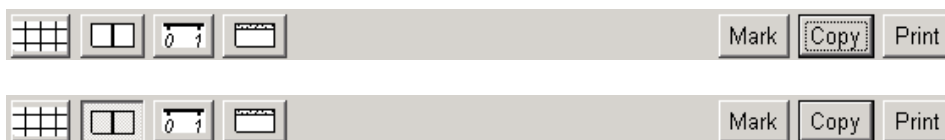
Obr. 2.61 Priebeh prúdov vo vyššie uvedenom obvode

Podobne, s označením $v: XX0004-XX0007$ je uvedený priebeh úbytku napätia na rezistore R_6 . Stlačením ľavého tlačidla myši sa dané priebehy označia pre zobrazenie a stlačením tlačidla **Plot** sa následne zobrazia.



Obr. 2.62 Dialógové okno programu PlotXY pre vykreslenie priebehov

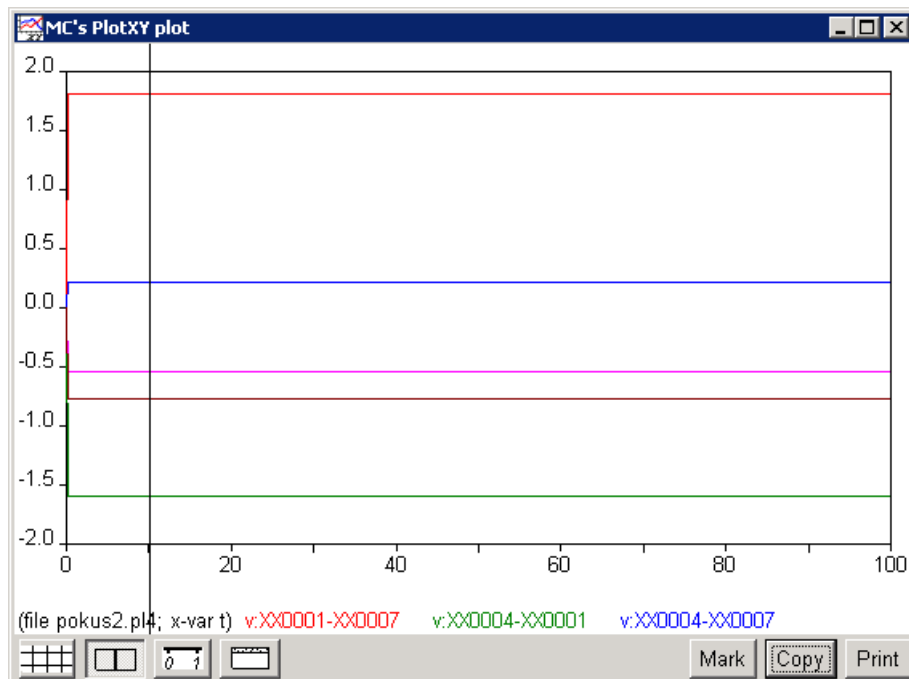
V okne PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor v spodnom menu tlačidiel tohto okna (druhé zľava) (obr. 2.63) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase. V našom prípade v čase 10 s (obr. 2.64).



Obr. 2.63 Tlačidlo Show Cursor

Values	
File pokus2.pl4	
	10,117
	1,8153
	-1,5924
	0,22293
	-0,5414
	-0,76433
<input type="checkbox"/>	Interpolation

Obr. 2.64 Zobrazenie hodnôt



Obr. 2.65 Priebeh prúdov vo vyššie uvedenom obvode

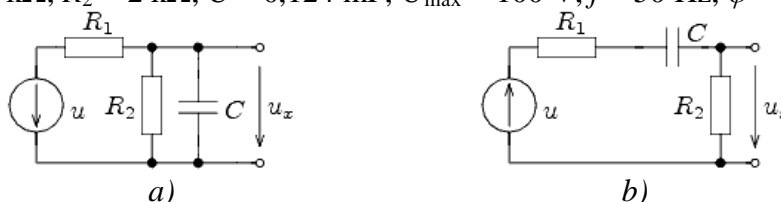
Po odčítaní hodnôt z daných priebehov môžeme zistiť, že:

$I_2 = -2,293 \text{ A}$	$\Delta U_{R_2} = -0,7643 \text{ V}$
$I_3 = -3,1847 \text{ A}$	$\Delta U_{R_3} = -1,5924 \text{ V}$
$I_4 = -2,707 \text{ A}$	$\Delta U_{R_4} = -0,5414 \text{ V}$
$I_5 = 0,8917 \text{ A}$	$\Delta U_{R_5} = 0,2229 \text{ V}$
$I_6 = 1,8153 \text{ A}$	$\Delta U_{R_6} = 1,8153 \text{ V}$

3 JEDNOFÁZOVÉ OBVODY

Príklad 1

Podľa schémy zapojenia na obr. 3.1a a obr. 3.1b určte prostredníctvom programu ATPDraw neznáme napätie u_x v tvare: $u(t) = U_{\max} \cdot \sin(j \cdot \omega \cdot t + \varphi)$ alebo $u(t) = U_{\max} \cdot e^{j \cdot \varphi}$, ak viete, že: $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$, $C = 0,124 \text{ mF}$, $U_{\max} = 100 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $\varphi = 1/4 \cdot \pi$.



Obr. 3.1 Schémy zapojenia elektrických obvodov

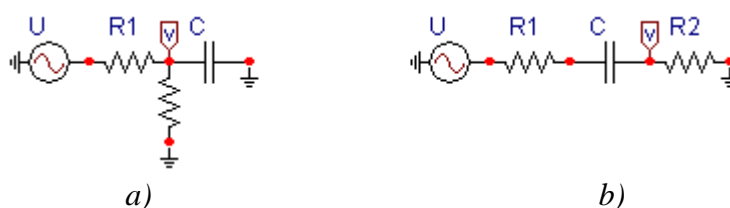
Riešenie

V ATPDraw sa vytvoria schémy zapojenia podľa obr. 3.2a a obr. 3.2b.

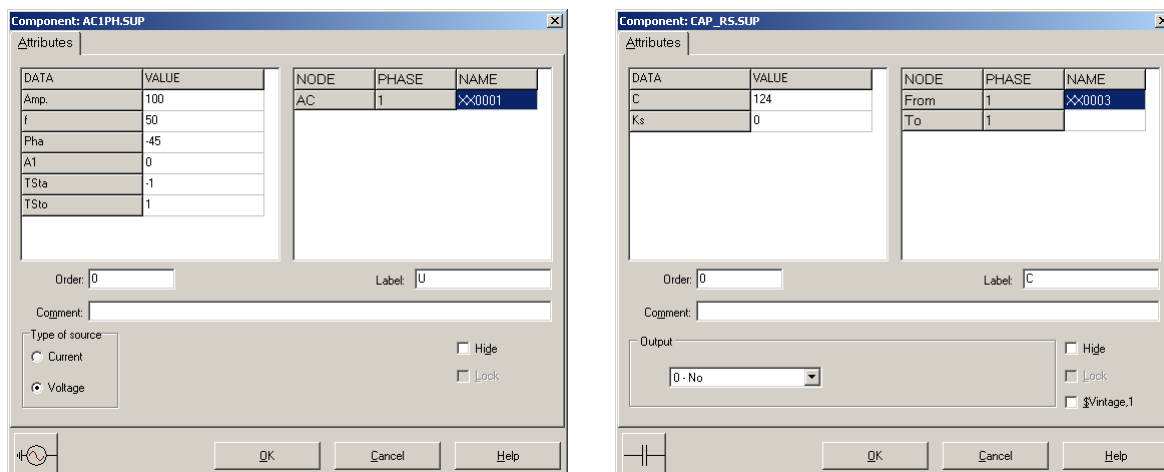
Na napät'ovom zdroji U sa nastaví maximálna hodnota napätia zdroja v položke **Amp** 100. V položke **Tsta** sa nastaví hodnota -1 a **Tsto** hodnota 1 , čo má za následok stály napät'ový zdroj počas doby 1 sekundy. V položke **Type of source** sa ponechá voľba **Voltage**. Fázové natočenie sa zadá v položke **Pha** -45 (pretože implicitné nastavenie napät'ového zdroja predpokladá kosínusový zdroj, t.j. $\varphi - 90^\circ = 1/4 \cdot \pi - 90^\circ = 45^\circ - 90^\circ = -45^\circ$) a frekvenciu v položke **f** 50.

Na modeli prvku kondenzátora bude do kolónky **C** zadaná hodnota 124 (predvolené nastavenie je v μF (mikro farad), nie vo faradoch) (obr. 3.3). Pri rezistore bude do **RES** zapísaná hodnota 1000 (pri rezistore R_1) a 2000 (pri rezistore R_2) (obr. 3.4).

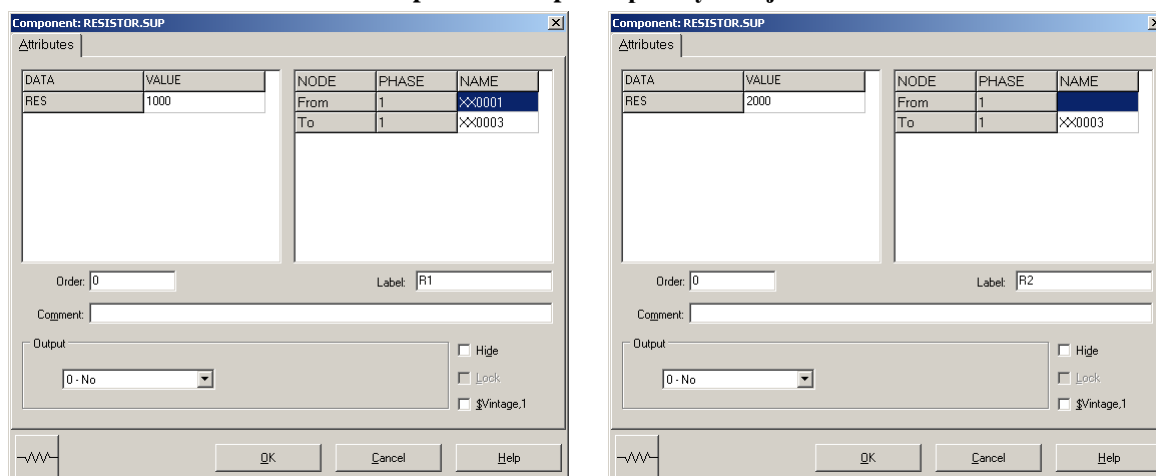
Ostatné hodnoty je možné ponechať nezmenené. Bližšie vysvetlenie ich významu sa zobrazí po stlačení tlačidla „help“ v aktuálnom okne prvku. Podrobnejší návod je obsiahnutý v literatúre Rule Book k programu EMTP-ATP.



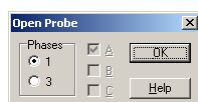
Obr. 3.2 Schémy zapojenia elektrického obvodu



Obr. 3.3 Nastavenie parametrov pre napätový zdroj U a kondenzátor C

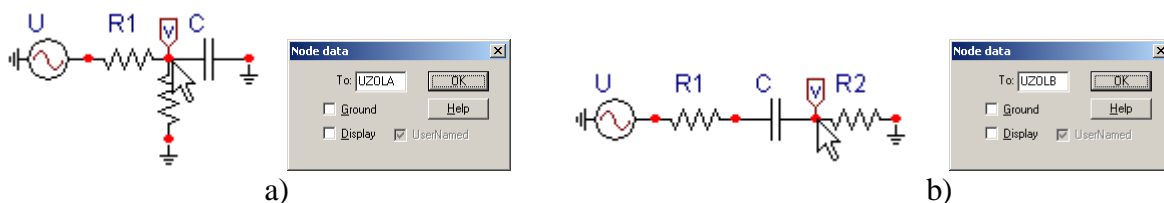


Obr. 3.4 Nastavenie parametrov rezistorov R_1 a R_2



Obr. 3.5 Nastavenie parametrov voltmetra

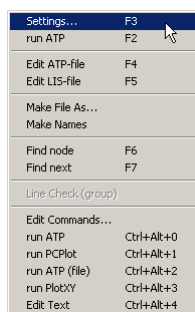
Aby bolo možné ľahšie odčítať hodnoty z grafického postprocesora PlotXY, je potrebné pomenovať významné uzly v schéme. Stlačením pravého tlačidla myšky pri uzle sa zobrazí menu uzla, kde v kolónke **To:** sa zadá názov uzla, napr. UZOLA (obr. 3.6a). Podobne nastavíme názov uzla v prípade b) na UZOLB (obr. 3.6b). Po stlačení tlačidla **OK** bude farba pomenovaného uzla čierna.



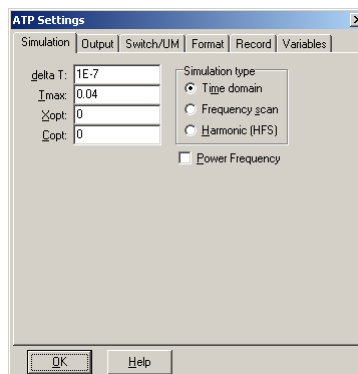
Obr. 3.6 Nastavenie parametrov uzlov

Pre simuláciu prechodného deja sa musia nastaviť podmienky simulácie voľbou **ATP Settings** a záložka **Simulation** (obr. 3.7). Maximálny počet krokov výpočtu je obmedzený na 1 milión, preto je potrebné prispôbiť tomuto obmedzeniu aj čas výpočtu a najmenší krok

výpočtu. Zadá sa krok výpočtu napr. $\Delta T = 1E-7$ s a doba výpočtu $T_{max} = 0.04$ s (pre určenie fázového posunu napätia alebo prúdu postačuje aj 1 perióda, t.j. 20 ms) (obr.3.8).



Obr. 3.7 ATP – Settings



Obr. 3.8 Dialógové okno Settings – Simulation

Prícom pre voliteľné hodnoty X_{opt} a C_{opt} platí:

Pre X_{opt} :

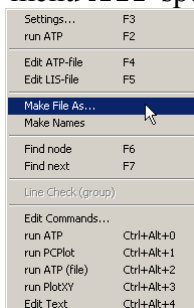
- hodnota induktora bude charakterizovaná indukčnosťou (mH), pokiaľ bude $X_{opt} = 0$,
- hodnota induktora bude charakterizovaná reaktanciou (Ω), pokiaľ bude X_{opt} = sieťovej frekvencii.

Pre C_{opt} :

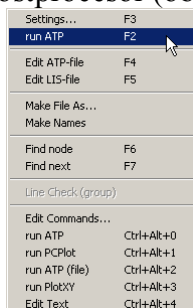
- hodnota kapacitora bude charakterizovaná kapacitou (μF), pokiaľ bude $C_{opt} = 0$,
- hodnota kapacitora bude charakterizovaná susceptanciou (μS), pokiaľ bude C_{opt} = sieťovej frekvencii.

Takto vytvorená schéma sa uloží príkazom CTRL-S so zvoleným názvom, napr. príklad1. Vznikne súbor s príponou *.adp, ktorý sa nachádza v podadresári **Project** preprocesora ATPDraw. Je vhodné, používať názvy súborov bez diakritiky, zakázané je používať v názve súboru medzery a je dobré obmedziť dĺžku názvu súboru na max. 8 znakov.

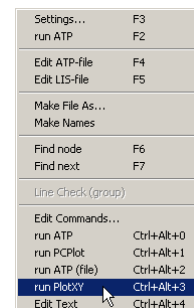
Príkazom **Make File As...** v hornom menu **ATP** sa vytvorí v podadresári ATP dátový súbor pre ATP s rovnakým názvom s príponou *.atp (t.j. príklad1.atp) (obr. 3.9). Príkazom **run ATP** v hornom menu **ATP** sa spustí výpočet v programe ATP, ktorého výsledkom sú súbory s príponou *.lis a *.pl4 (obr. 3.10). Súbor *.lis je výstupný dátový súbor a rovnako ako súbor *.atp dajú sa prezerat' z prostredia ATPDraw voľbou **ATP Edit**. Súbory s príponou *.pl4 sú komprimované grafické dáta, ktoré je možné prezerat' niektorým z grafických postprocesorov, ako napríklad PlotXY. V prostredí ATPDraw sa voľbou **run PlotXY** z horného menu **ATP** spustí grafický postprocesor (obr. 3.11).



Obr. 3.9 ATP – Make File...



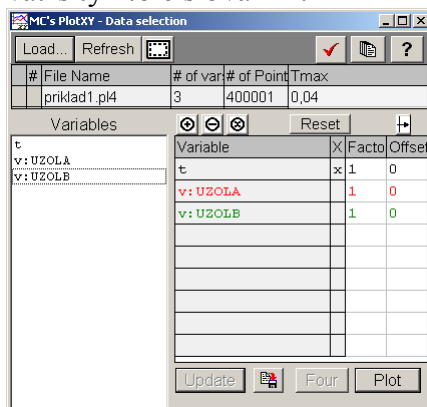
Obr. 3.10 ATP – Run ATP



Obr. 3.11 ATP – run PlotXY

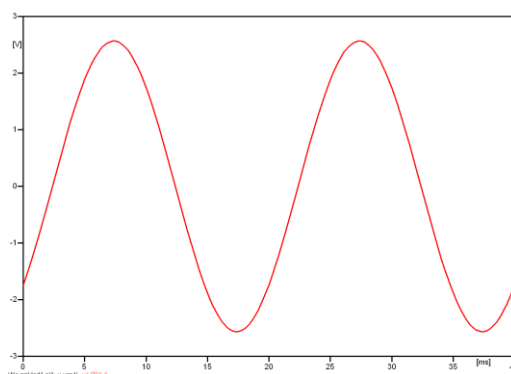
V grafickom postprocesore je s označením **v: UZOLA** – uvedený požadovaný priebeh napätia $u_{x,a}$ (t.j. napätie medzi uzlom UZOLA a zemou; zem nemá v ATPDraw značenie) **v: UZOLB** – priebeh úbytku napätia $u_{x,b}$ (t.j. napätie medzi uzlom UZOLB a zemou).

Stlačením ľavého tlačidla myši sa dané priebehy označia pre zobrazenie a stlačením tlačidla **Plot** sa následne zobrazia. **Poznámka:** čísla uzlov môžu byť odlišné, v závislosti od zapojenia obvodu a nemusia korešpondovať s týmto číslovaním.



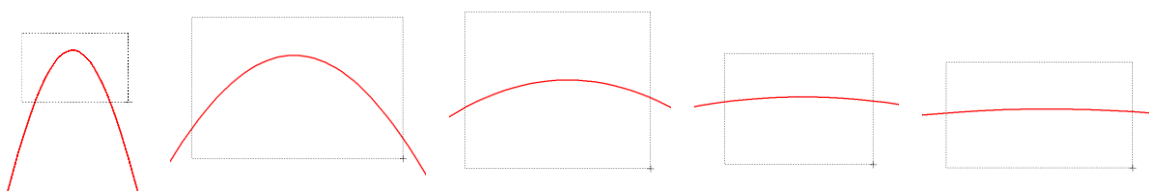
Obr. 3.12 Dialógové okno podprogramu PlotXY pre vykreslenie priebehov

Aby sa jednotlivé priebehy neprekrývali, najprv zobrazíme a odčítame hodnoty napätia medzi uzlom UZOLA a zemou (obr. 3.13).



Obr. 3.13 Zobrazenie priebehu napätia u_{xa}

Pre odčítanie maximálnej hodnoty napätia postačuje odčítať hodnotu vrcholovej hodnoty pri ľubovoľnom maxime (obr. 3.14). Pre zvýšenie presnosti odčítania je potrebné vykonať dostatočný počet zväčšení danej oblasti.

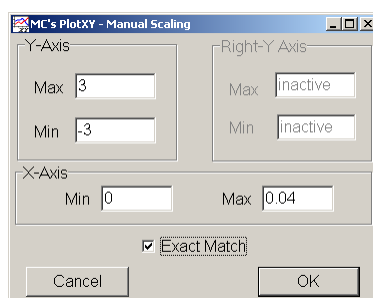


Obr. 3.14 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

Pre presné vymedzenie hraníc zobrazenia daného priebehu je možné využiť v spodnom menu tlačidiel okna PlotXY tlačidlo Manual Scale (tretie zľava) (obr. 3.15) a následne v okne Manual Scaling zadať minimálne a maximálne hranice x-ovej a y-ovej osi pre zobrazenie priebehov.



Obr. 3.15 Tlačidlo Manual Scale

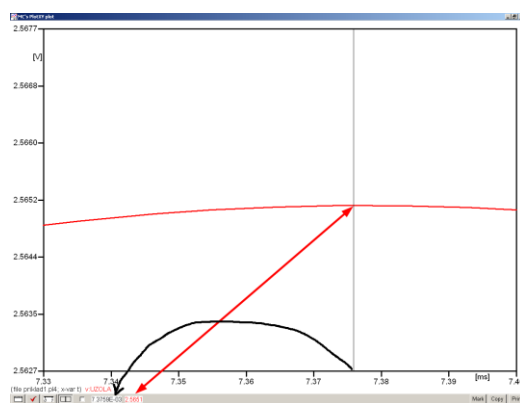


Obr. 3.16 Okno Manual Scaling

Nasledovným postupom vykonáme trasovanie po priebehu. V spodnom menu tlačidiel okna PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor (štvrté zľava) (obr. 3.17) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde.



Obr. 3.17 Tlačidlo Show Cursor



Obr. 3.18 Miesto odčítania maximálnej hodnoty

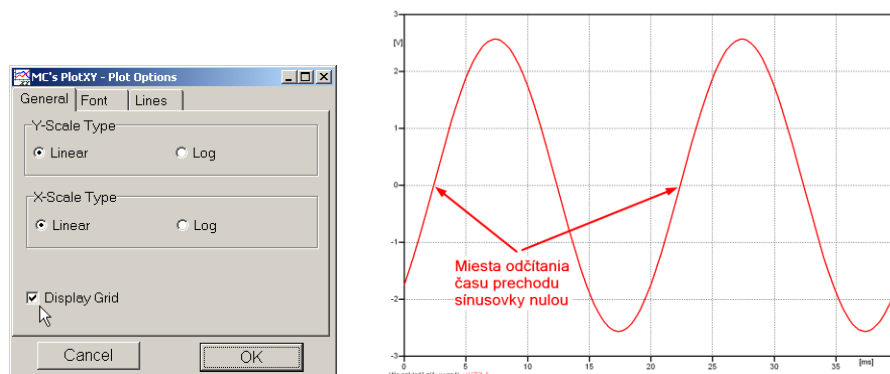
Z tohto priebehu je vidieť, že maximálna hodnota napätia je 2,5651 V. Čo sa týka fázového natočenia φ , tak je možné ho vypočítať rôznymi spôsobmi.

Jednou z metód výpočtu fázového natočenia je z času dosiahnutia *prvého maxima sinusovky* daného priebehu. Odčítaním z obr. 3.18 by tento výpočet mal nasledovný zápis:

$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t - \frac{T}{4}}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{7,3759 \cdot 10^{-3} - \frac{0,02}{4}}{0,02} \cdot 360^\circ \cong 317,2^\circ$$

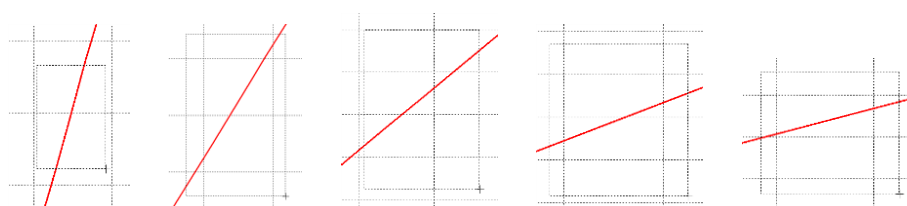
Kde φ je fázové natočenie, n je poradie periódy, t čas dosiahnutia prvého maxima sinusovky, T perióda $T = \frac{1}{f}$.

Ďalšou z metód určenia fázového natočenia φ , je z času priesečníka začiatku sinusovky s osou x . Predtým je ale vhodné, pre rýchlejšie odčítanie hodnôt, nastaviť raster nasledovne. V dolnom menu okna PlotXY sa po stlačení tlačidla **Customize plot** (druhé zľava na obr. 3.17) vyvolá nové okno **Plot options**, kde sa odškrtnie nastavenie mriežky v položke **Display Grid** a následne sa potvrdí tlačidlom **OK**.



Obr. 3.19 Nastavenie mriežky v okne Plot Options a Miesta odčítania času prechodu nulou

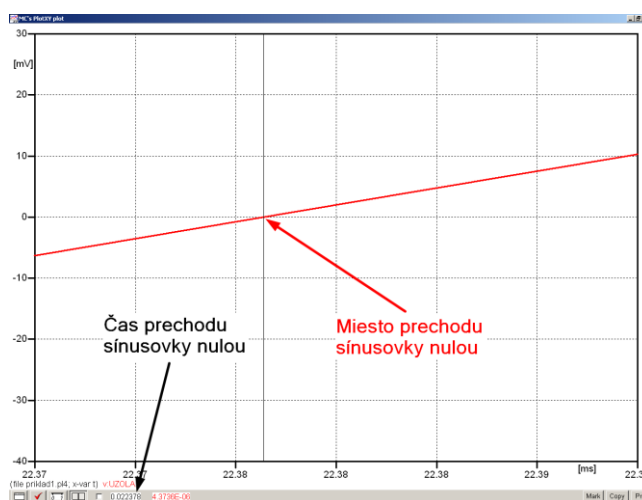
Oblasť v okolí *prechodu počiatku sínusovky nulou* dostatočne zväčšíme podobne, ako to bolo v predchádzajúcom prípade (obr. 3.14).



Obr. 3.20 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

Nasledovným postupom vykonáme trasovanie po priebehu. V spodnom menu tlačidiel okna PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor (štvrté zľava) (obr. 3.17) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde.

V dolnom menu okna PlotXY sú zobrazené hodnoty v mieste, kde sa nachádza trasovací kurzor (čas – čiernou farbou; $t = 0,022378$ s a amplitúda – červenou farbou; $u_x = 4,3736 \cdot 10^{-6}$ V).



Obr. 3.21 Odčítanie času prechodu sínusovky nulou

Z času prechodu počiatku sínusovky nulou je možné vyčísliť fázové natočenie podľa vzťahu:

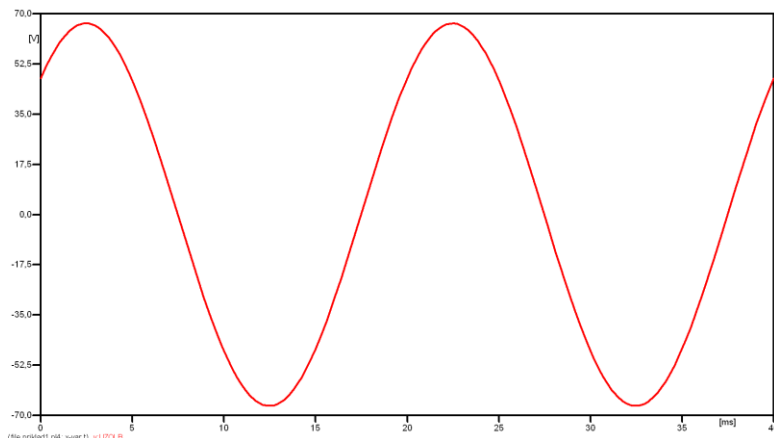
$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{0,022378}{0,02} \cdot 360^\circ = 317,196^\circ$$

Z obidvoch výrazov je vidieť dostatočnú zhodu φ .

Výsledný zápis napätia medzi uzlom UZOLA a zemou je: $u_{x,a} = 2,565 \cdot e^{j317,2^\circ} \text{ V}$

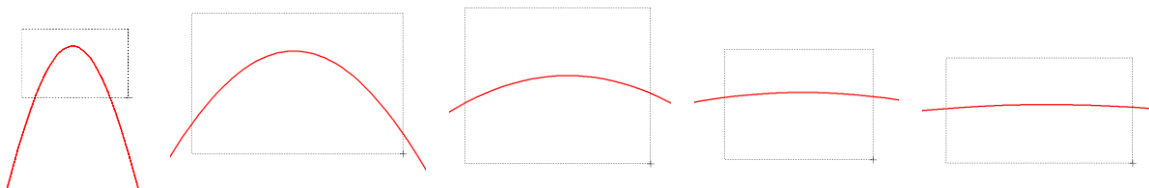
Podobne sa postupuje v prípade b).

Zobrazenie a odčítanie hodnôt napätia medzi uzlom UZOLB a zemou sa uskutoční z obr. 3.22.



Obr. 3.22 Zobrazenie priebehu napätia u_{xb}

Pre odčítanie maximálnej hodnoty napätia postačuje odčítať hodnotu vrcholovej hodnoty pri ľubovoľnom maxime. Pre zvýšenie presnosti odčítania je potrebné vykonať dostatočný počet zväčšení danej oblasti (obr. 3.23).

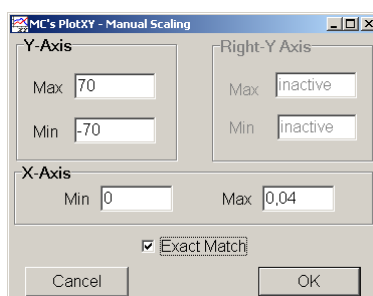


Obr. 3.23 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

Pre presné vymedzenie hraníc zobrazenia daného priebehu je možné využiť v spodnom menu tlačidiel okna PlotXY tlačidlo Manual Scale (tretie zľava) (obr. 3.24) a následne v okne Manual Scaling zadať minimálne a maximálne hranice x -ovej a y -ovej osi pre zobrazenie priebehov.



Obr. 3.24 Tlačidlo Manual Scale

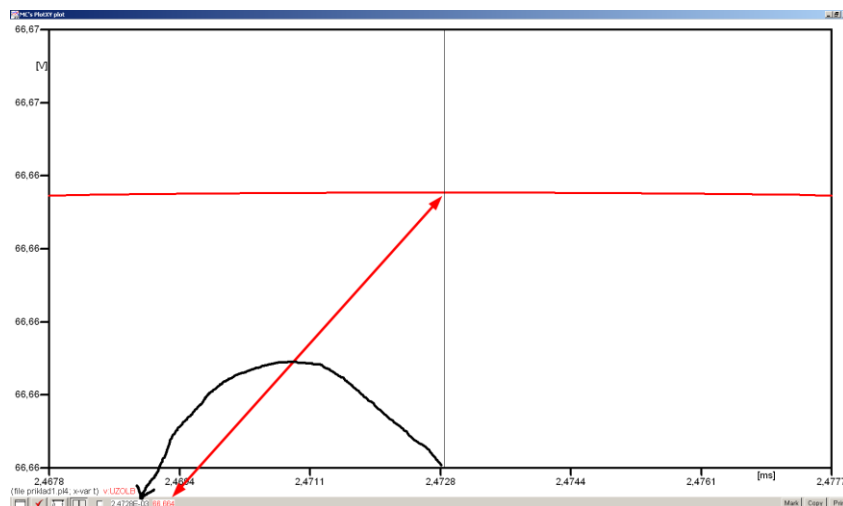


Obr. 3.25 Okno Manual Scaling

Nasledovným postupom vykonáme trasovanie po priebehu. V spodnom menu tlačidiel okna PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor (štvrté zľava) (obr. 3.26) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde.



Obr. 3.26 Tlačidlo Show Cursor



Obr. 3.27 Miesto odčítania maximálnej hodnoty

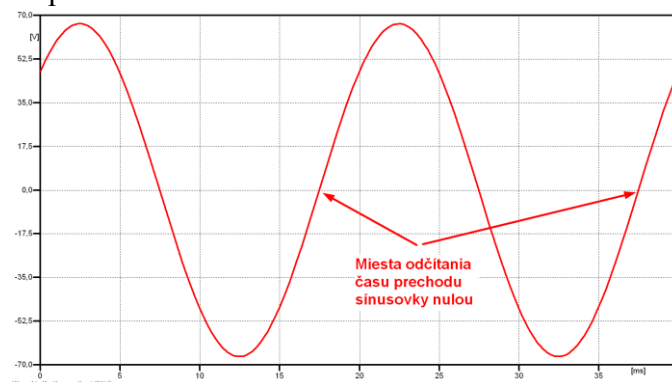
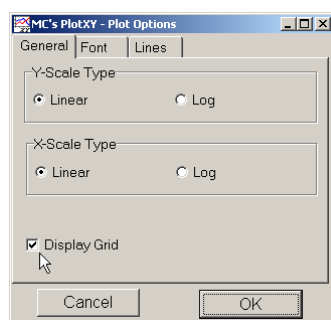
Z tohto priebehu je vidieť, že maximálna hodnota napätia je 66,664 V. Čo sa týka fázového natočenia φ , tak je možné ho vypočítať podobne ako v prípade a).

Jednou z metód výpočtu fázového natočenia je z času dosiahnutia *prvého maxima* *sínusovky* daného priebehu. Odčítaním z obr. 3.27 by tento výpočet mal nasledovný zápis:

$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t - \frac{T}{4}}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{2,4728 \cdot 10^{-3} - \frac{0,02}{4}}{0,02} \cdot 360^\circ \cong 405,5^\circ \approx 45,5^\circ$$

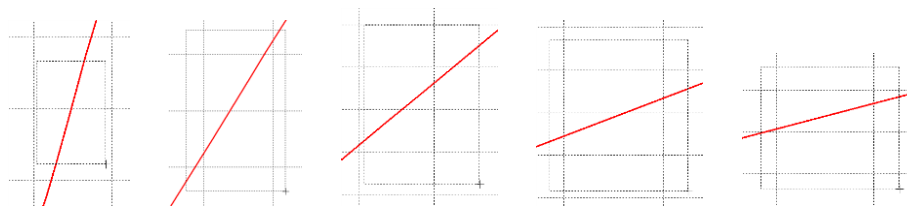
Kde φ je fázové natočenie, n je poradie periódy, t čas dosiahnutia prvého maxima sínusovky, T perióda $T = \frac{1}{f}$. Fázové natočenie je zvykom uvádzať v rozmedzí $\varphi \in \langle 0^\circ; 360^\circ \rangle$, preto bolo potrebné od uhla $405,5^\circ$ odčítať 360° .

Ďalšou z metód určenia fázového natočenia φ , je z času *priesečníka počiatku* *sínusovky s osou x*. Predtým je ale vhodné, pre rýchlejšie odčítanie hodnôt, nastaviť raster nasledovne. V dolnom menu okna PlotXY sa po stlačení tlačidla **Customize plot** (druhé zľava na obr. 3.26) vyvolá nové okno **Plot options**, kde sa odškrtnie nastavenie mriežky v položke **Display Grid** a následne sa potvrdí tlačidlom **OK**.



Obr. 3.28 Nastavenie mriežky v okne Plot Options a Miesta odčítania času prechodu priebehu napätia nulou

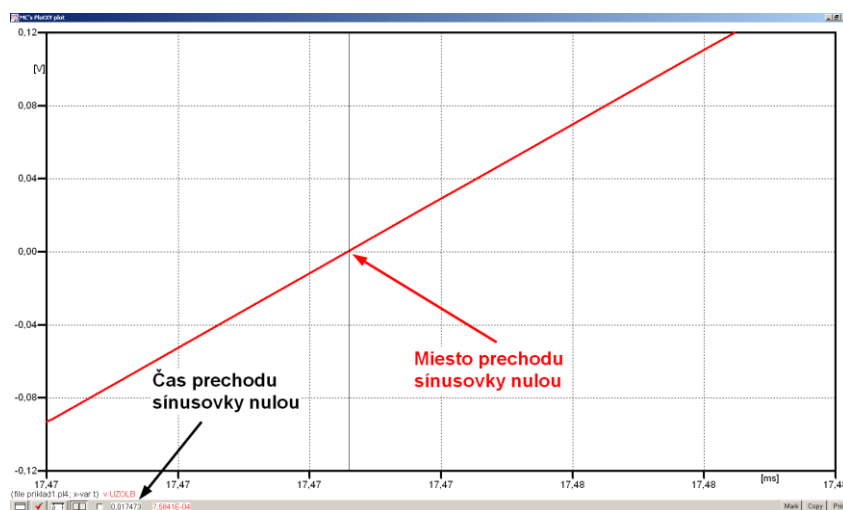
Oblasť v okolí *prechodu počiatku sinusovky nulou* dostatočne zväčšíme podobne, ako to bolo v predchádzajúcom prípade (obr. 3.23).



Obr. 3.29 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myši pre zväčšenie

Nasledovným postupom vykonáme trasovanie po priebehu. V spodnom menu tlačidiel okna PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor (štvrté zľava) (obr. 3.26) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde.

V dolnom menu okna PlotXY sú zobrazené hodnoty v mieste, kde sa nachádza trasovací kurzor (čas – čiernou farbou; $t = 0,017473$ s a amplitúda – červenou farbou; $u_x = 7,5841 \cdot 10^{-4}$ V).



Obr. 3.30 Odčítanie času prechodu sinusovky nulou

Z času prechodu počiatku sinusovky nulou je možné vyčísliť fázové natočenie podľa vzťahu:

$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t}{T} \cdot 360^\circ = 360 \cdot 1 - \frac{0,017473}{0,02} \cdot 360^\circ \cong 45,5^\circ$$

Z obidvoch výrazov je vidieť dostatočnú zhodu φ .

Výsledný zápis napätia medzi uzlom UZOLB a zemou je: $u_{x,b)} = 66,664 \cdot e^{j45,5^\circ}$ V.

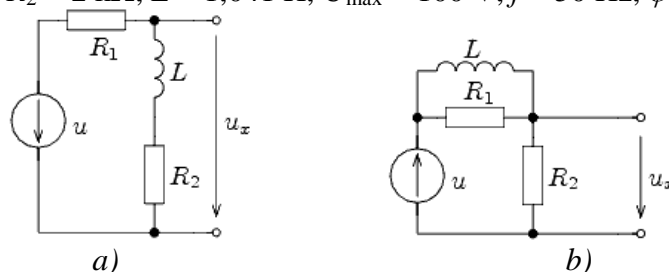
Výsledky:

a) $u_{x,a)} = 2,565 \cdot e^{j317,2^\circ}$ V

b) $u_{x,b)} = 66,664 \cdot e^{j45,5^\circ}$ V

Príklad 2

Podľa schémy zapojenia na obr. 1a a obr. 1b určte prostredníctvom programu ATPDraw neznáme napätie u_x v tvare: $u(t) = U_{\max} \cdot \sin(j \cdot \omega \cdot t + \varphi)$ alebo $u(t) = U_{\max} \cdot e^{j \cdot \varphi}$, ak viete, že: $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$, $L = 1,041 \text{ H}$, $U_{\max} = 100 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $\varphi = 1/3 \cdot \pi$.



Obr. 1 Schémy zapojenia elektrického obvodu

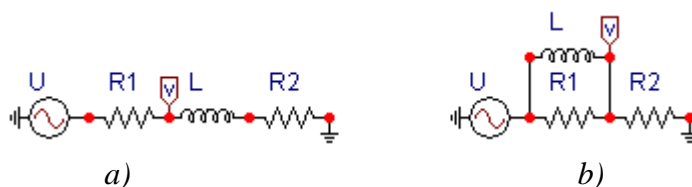
Riešenie

V ATPDraw sa vytvoria schémy zapojenia podľa obr. 2a a obr. 2b.

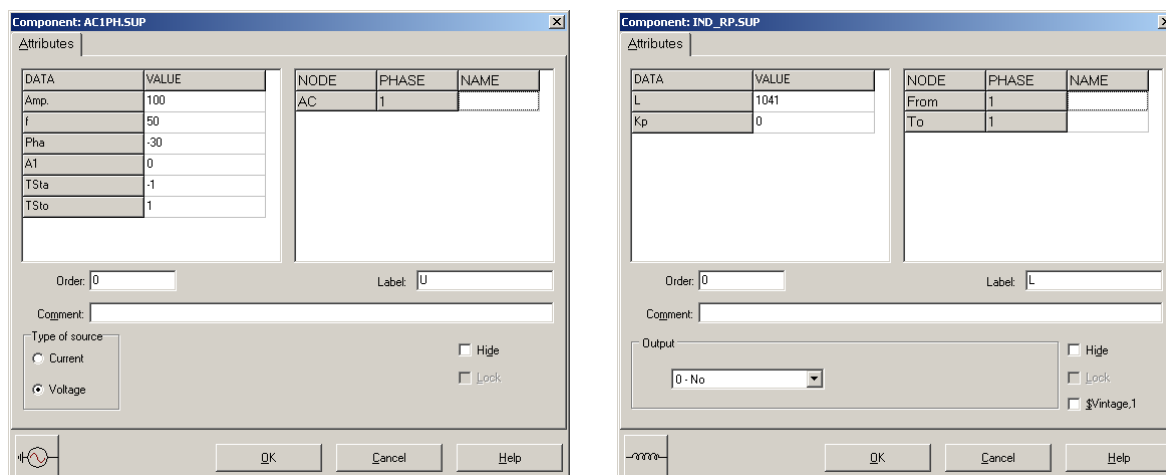
Na napätovom zdroji U sa nastaví maximálna hodnota napätia zdroja v položke **Amp** 100. V položke **Tsta** sa nastaví hodnota -1 a **Tsto** hodnota 1 , čo má za následok stály napätový zdroj počas doby 1 sekundy. V položke **Type of source** sa ponechá voľba **Voltage**. Fázové natočenie sa zadá v položke **Pha** -30 (pretože implicitné nastavenie napätového zdroja predpokladá kosínusový zdroj, t.j. $\varphi - 90^\circ = 1/3 \cdot \pi - 90^\circ = 60^\circ - 90^\circ = -30^\circ$) a frekvenciu v položke **f** 50.

Na modeli prvku cievky bude do kolónky **L** zadaná hodnota 1041 (predvolené nastavenie je v mH (mili henry), nie v henry) (obr.3). Pri rezistore bude do **RES** zapísaná hodnota 1000 (pri rezistore R_1) a 2000 (pri rezistore R_2) (obr. 4).

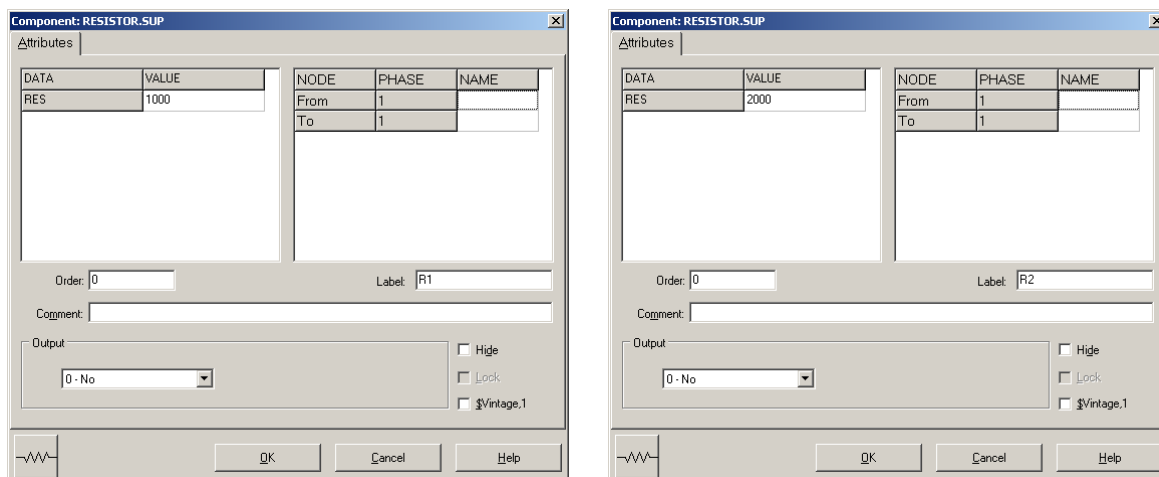
Ostatné hodnoty je možné ponechať nezmenené. Bližšie vysvetlenie ich významu sa zobrazí po stlačení tlačidla „**help**“ v aktuálnom okne prvku. Podrobnejší návod je obsiahnutý v literatúre Rule Book k programu EMTP-ATP.



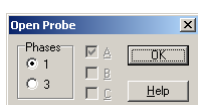
Obr. 2 Schémy zapojenia elektrického obvodu



Obr. 3 Nastavenie parametrov pre napätový zdroj U a cievku L

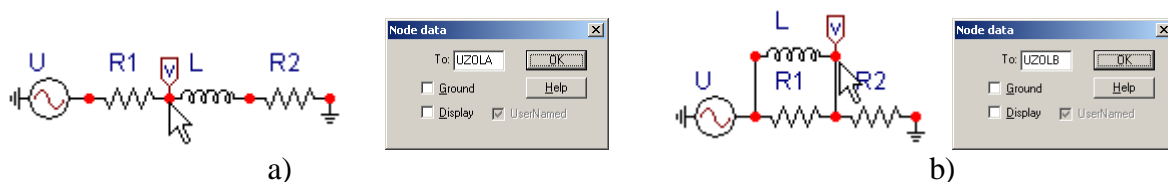


Obr. 4 Nastavenie parametrov rezistorov R_1 a R_2



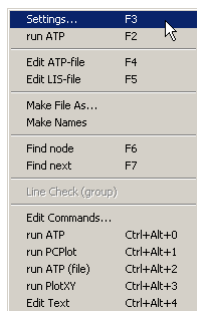
Obr. 5 Nastavenie parametrov voltmetra

Aby bolo možné ľahšie odčítať hodnoty z grafického postprocesora PlotXY, je potrebné pomenovať významné uzly v schéme. Stlačením pravého tlačidla myšky pri uzle sa zobrazí menu uzla, kde v kolónke **To:** sa zadá názov uzla veľkými písmenami, napr. UZOLA (obr. 6a). Podobne nastavíme názov uzla v prípade b) na UZOLB (obr. 6b). Po stlačení tlačidla **OK** bude farba pomenovaného uzla čierna.

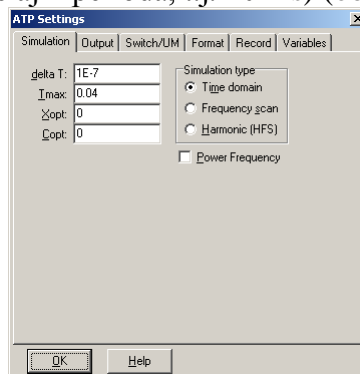


Obr. 6 Nastavenie parametrov uzlov

Pre simuláciu prechodného deja sa musia nastaviť podmienky simulácie voľbou **ATP Settings** a záložka **Simulation** (obr. 7). Maximálny počet krokov výpočtu je obmedzený na 1 milión, preto je potrebné prispôbiť tomuto obmedzeniu aj čas výpočtu a najmenší krok výpočtu. Zadá sa krok výpočtu napr. **delta T** $1E-7$ s a doba výpočtu **T max** 0.04 s (pre určenie fázového posunu napätia alebo prúdu postačuje aj 1 perióda, t.j. 20 ms) (obr.8).



Obr. 7 ATP – Settings



Obr. 8 Dialógové okno Settings – Simulation

Pričom pre voliteľné hodnoty X_{opt} a C_{opt} platí:

Pre X_{opt} :

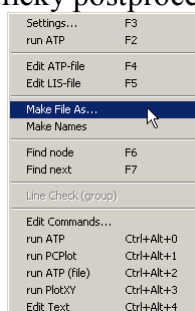
- hodnota induktora bude charakterizovaná indukčnosťou (mH), pokiaľ bude $X_{opt} = 0$,
- hodnota induktora bude charakterizovaná reaktanciou (Ω), pokiaľ bude $X_{opt} =$ sieťovej frekvencii.

Pre C_{opt} :

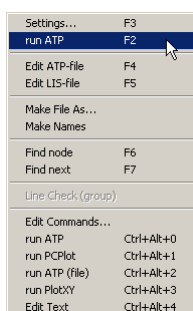
- hodnota kapacitora bude charakterizovaná kapacitou (μF), pokiaľ bude $C_{opt} = 0$,
- hodnota kapacitora bude charakterizovaná susceptanciou (μS), pokiaľ bude $C_{opt} =$ sieťovej frekvencii.

Takto vytvorená schéma sa uloží príkazom CTRL-S so zvoleným názvom, napr. príklad2. Vznikne súbor s príponou *.adp, ktorý sa nachádza v podadresári **Project** preprocesora ATPDraw. Je vhodné, používať názvy súborov bez diakritiky, zakázané je používať v názve súboru medzery a je dobré obmedziť dĺžku názvu súboru na max. 8 znakov.

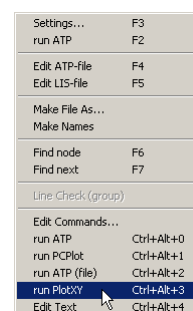
Príkazom **Make File As...** v hornom menu **ATP** sa vytvorí v podadresári ATP dátový súbor pre ATP s rovnakým názvom s príponou *.atp (t.j. príklad2.atp) (obr. 9). Príkazom **run ATP** v hornom menu **ATP** sa spustí výpočet v programe ATP, ktorého výsledkom sú súbory s príponou *.lis a *.pl4 (obr. 10). Súbor *.lis je výstupný dátový súbor a rovnako ako súbor *.atp dajú sa prezerat' z prostredia ATPDraw voľbou **ATP Edit**. Súbory s príponou *.pl4 sú komprimované grafické dáta, ktoré je možné prezerat' niektorým z grafických postprocesorov, ako napríklad PlotXY. V prostredí ATPDraw sa voľbou **run PlotXY** z horného menu **ATP** spustí grafický postprocesor (obr. 11).



Obr. 9 ATP – Make File...

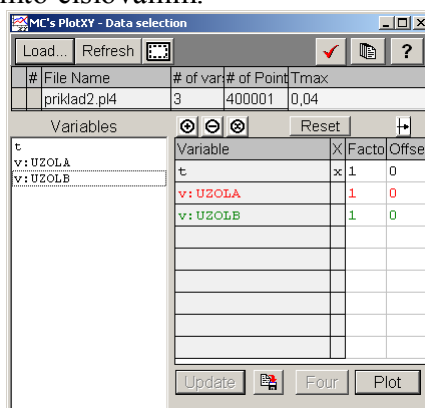


Obr. 10 ATP – Run ATP



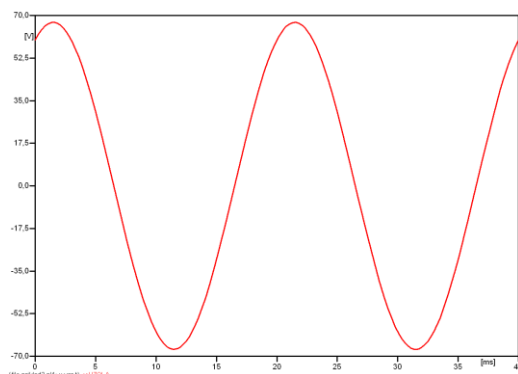
Obr. 11 ATP – run PlotXY

V grafickom postprocesore je s označením **v: UZOLA** – uvedený požadovaný priebeh napätia $u_{x,a}$ (t.j. napätie medzi uzlom UZOLA a zemou; zem nemá v ATPDraw značenie) **v: UZOLB** – priebeh napätia $u_{x,b}$ (t.j. napätie medzi uzlom UZOLB a zemou). Stlačením ľavého tlačidla myši sa dané priebehy označia pre zobrazenie a stlačením tlačidla **Plot** sa následne zobrazia. **Poznámka:** čísla uzlov môžu byť odlišné, v závislosti od zapojenia obvodu a nemusia korešpondovať s týmto číslovaním.



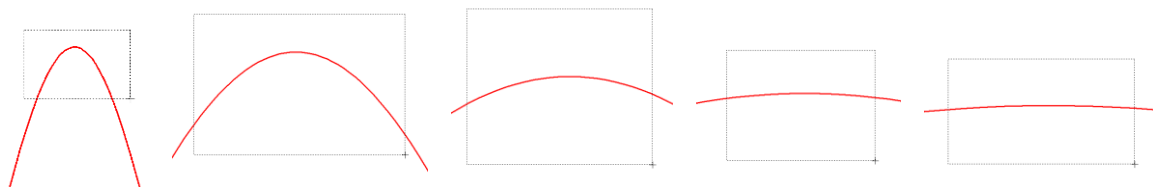
Obr. 12 Dialógové okno podprogramu PlotXY pre vykreslenie priebehov

Aby sa jednotlivé priebehy neprekrývali, najprv zobrazíme a odčítame hodnoty napätia medzi uzlom UZOLA a zemou (obr. 13).



Obr. 13 Zobrazenie priebehu napätia u_{xa}

Pre odčítanie maximálnej hodnoty napätia postačuje odčítať hodnotu vrcholovej hodnoty pri ľubovoľnom maxime (obr. 14). Pre zvýšenie presnosti odčítania je potrebné vykonať dostatočný počet zväčšení danej oblasti.

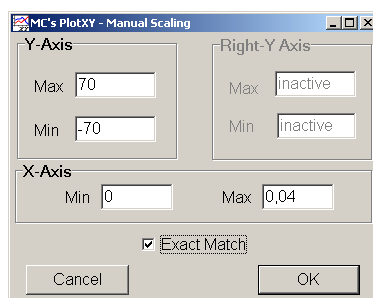


Obr. 14 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

Pre presné vymedzenie hraníc zobrazenia daného priebehu je možné využiť v spodnom menu tlačidiel okna PlotXY tlačidlo Manual Scale (tretie zľava) (obr. 15) a následne v okne Manual Scaling zadať minimálne a maximálne hranice x -ovej a y -ovej osi pre zobrazenie priebehov.



Obr. 15 Tlačidlo Manual Scale

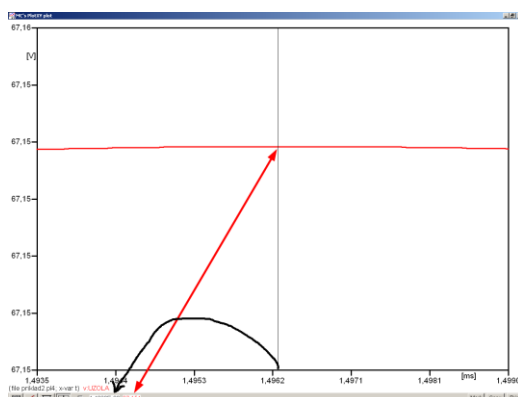


Obr. 16 Okno Manual Scaling

Následným postupom vykonáme trasovanie po priebehu. V spodnom menu tlačidiel okna PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor (štvrté zľava) (obr. 17) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde.



Obr. 17 Tlačidlo Show Cursor



Obr. 18 Miesto odčítania maximálnej hodnoty

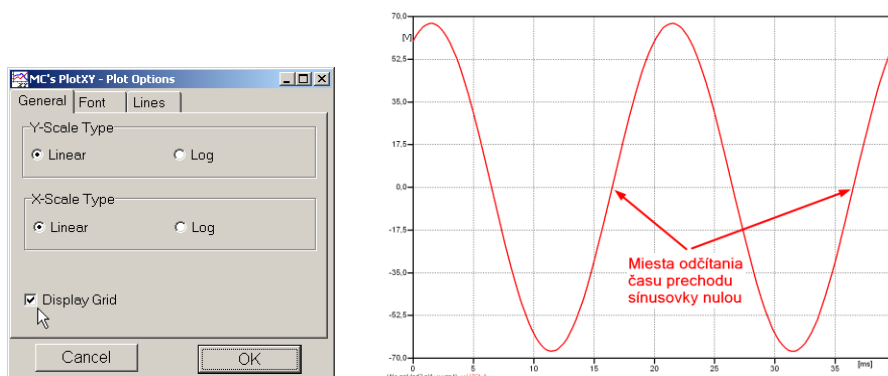
Z tohto priebehu je vidieť, že maximálna hodnota napätia je 67,154 V. Čo sa týka fázového natočenia φ , tak je možné ho vypočítať rôznymi spôsobmi.

Jednou z metód výpočtu fázového natočenia je z času dosiahnutia *prvého maxima sinusovky* daného priebehu. Odčítaním z obr. 18 by tento výpočet mal nasledovný zápis:

$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t - \frac{T}{4}}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{1,4963 \cdot 10^{-3} - \frac{0,02}{4}}{0,02} \cdot 360^\circ \cong 423,07^\circ \approx 63,07^\circ$$

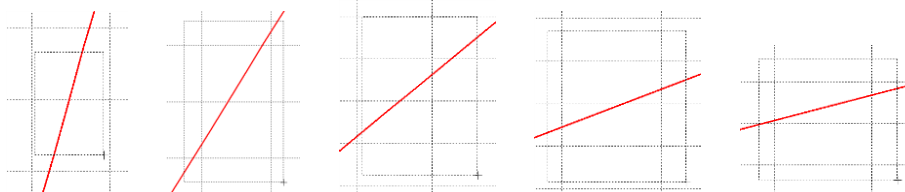
Kde φ je fázové natočenie, n je poradie periódy, t čas dosiahnutia prvého maxima sinusovky, T perióda $T = \frac{1}{f}$. Fázové natočenie je zvykom uvádzať v rozmedzí $\varphi \in \langle 0^\circ; 360^\circ \rangle$, preto bolo potrebné od uhla $423,07^\circ$ odčítať 360° .

Ďalšou z metód určenia fázového natočenia φ , je z času priesečníka začiatku sinusovky s osou x . Predtým je ale vhodné, pre rýchlejšie odčítanie hodnôt, nastaviť raster nasledovne. V dolnom menu okna PlotXY sa po stlačení tlačidla **Customize plot** (druhé zľava na obr. 17) vyvolá nové okno **Plot options**, kde sa odškrtnie nastavenie mriežky v položke **Display Grid** a následne sa potvrdí tlačidlom **OK**.



Obr. 19 Nastavenie mriežky v okne Plot Options a Miesta odčítania času prechodu nulou

Oblasť v okolí *prechodu počiatku sinusovky nulou* dostatočne zväčšíme podobne, ako to bolo v predchádzajúcom prípade (obr. 14).



Obr. 20 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

Nasledovným postupom vykonáme trasovanie po priebehu. V spodnom menu tlačidiel okna PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor (štvrté zľava) (obr. 17) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde.

V dolnom menu okna PlotXY sú zobrazené hodnoty v mieste, kde sa nachádza trasovací kurzor (čas – čiernou farbou; $t = 0,016496$ s a amplitúda – červenou farbou; $u_x = -1,4336 \cdot 10^{-3}$ V).



Obr. 21 Odčítanie času prechodu sínusovky nulou

Z času prechodu počiatku sínusovky nulou je možné vyčíslit' fázové natočenie podľa vzťahu:

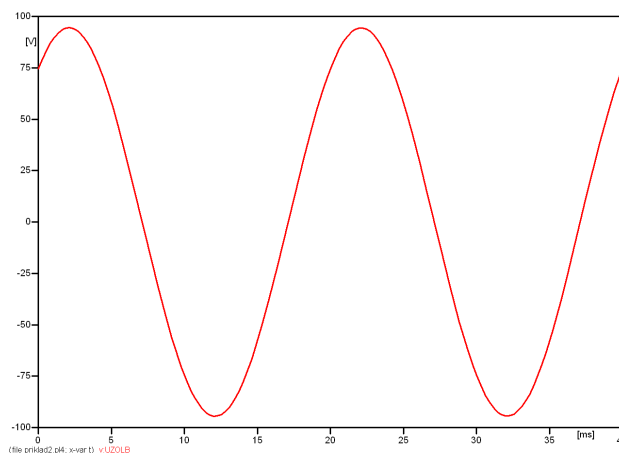
$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{0,016496}{0,02} \cdot 360^\circ = 63,07^\circ$$

Z obidvoch výrazov je vidieť dostatočnú zhodu φ .

Výsledný zápis napätia medzi uzlom UZOLA a zemou je: $u_{x,a} = 67,154 \cdot e^{j63^\circ}$ V

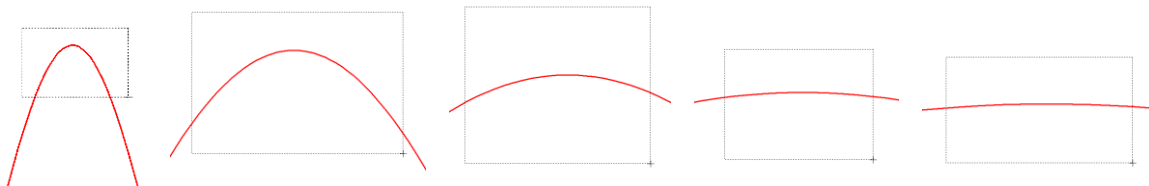
Podobne sa postupuje v prípade b).

Zobrazenie a odčítanie hodnôt napätia medzi uzlom UZOLB a zemou sa uskutoční z obr. 22.



Obr. 22 Zobrazenie priebehu napätia u_{xb}

Pre odčítanie maximálnej hodnoty napätia postačuje odčítať hodnotu vrcholovej hodnoty pri ľubovoľnom maxime. Pre zvýšenie presnosti odčítania je potrebné vykonať dostatočný počet zväčšení danej oblasti (obr. 23).

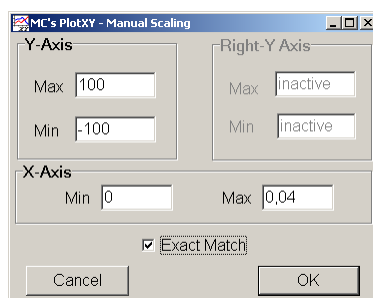


Obr. 23 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

Pre presné vymedzenie hraníc zobrazenia daného priebehu je možné využiť v spodnom menu tlačidiel okna PlotXY tlačidlo Manual Scale (tretie zľava) (obr. 24) a následne v okne Manual Scaling zadať minimálne a maximálne hranice x -ovej a y -ovej osi pre zobrazenie priebehov.



Obr. 24 Tlačidlo Manual Scale

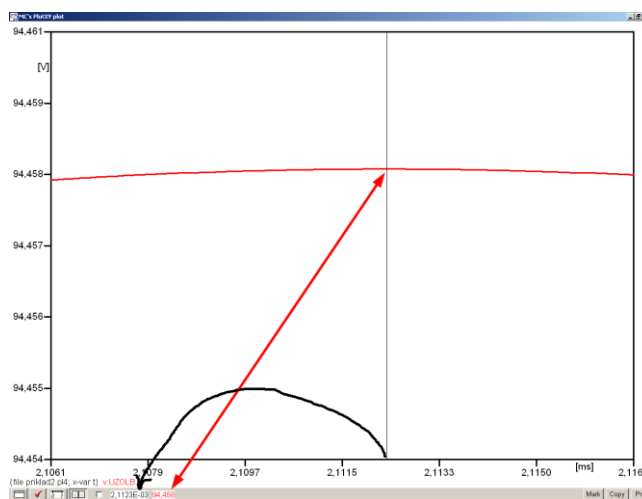


Obr. 25 Okno Manual Scaling

Nasledovným postupom vykonáme trasovanie po priebehu. V spodnom menu tlačidiel okna PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor (štvrté zľava) (obr. 26) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde.



Obr. 26 Tlačidlo Show Cursor



Obr. 27 Miesto odčítania maximálnej hodnoty

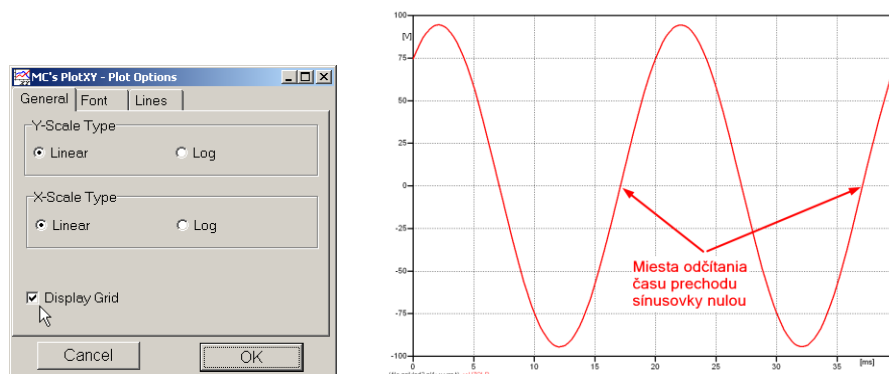
Z tohto priebehu je vidieť, že maximálna hodnota napätia je 94,458 V. Čo sa týka fázového natočenia φ , tak je možné ho vypočítať podobne ako v prípade a).

Jednou z metód výpočtu fázového natočenia je z času dosiahnutia *prvého maxima sinusovky* daného priebehu. Odčítaním z obr. 27 by tento výpočet mal nasledovný zápis:

$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t - \frac{T}{4}}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{2,1123 \cdot 10^{-3} - \frac{0,02}{4}}{0,02} \cdot 360^\circ \cong 411,98^\circ \approx 51,98^\circ$$

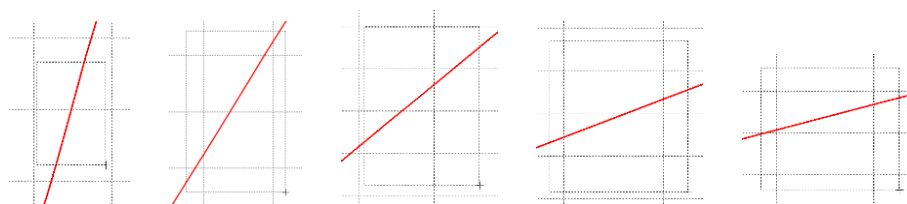
Kde φ je fázové natočenie, n je poradie periódy, t čas dosiahnutia prvého maxima sinusovky, T perióda $T = \frac{1}{f}$. Fázové natočenie je zvykom uvádzať v rozmedzí $\varphi \in \langle 0^\circ; 360^\circ \rangle$, preto bolo potrebné od uhla $411,98^\circ$ odčítať 360° .

Ďalšou z metód určenia fázového natočenia φ , je z času *priesečníka počiatku sinusovky s osou x*. Predtým je ale vhodné, pre rýchlejšie odčítanie hodnôt, nastaviť raster nasledovne. V dolnom menu okna PlotXY sa po stlačení tlačidla **Customize plot** (druhé zľava na obr. 26) vyvolá nové okno **Plot options**, kde sa odškrtnie nastavenie mriežky v položke **Display Grid** a následne sa potvrdí tlačidlom **OK**.



Obr. 28 Nastavenie mriežky v okne Plot Options a Miesta odčítania času prechodu priebehu napätia nulou

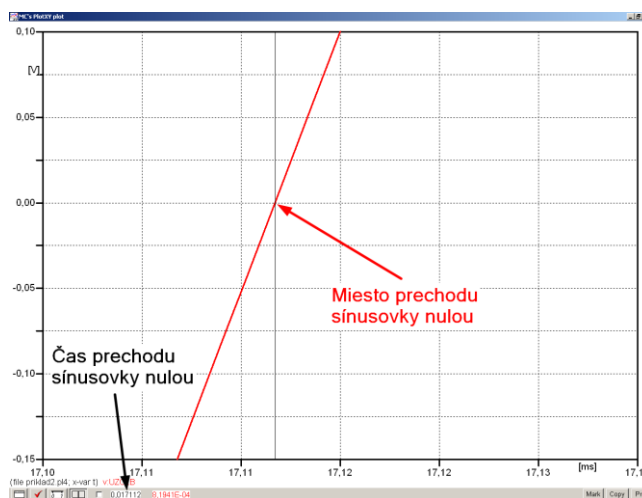
Oblasť v okolí *prechodu počiatku sinusovky nulou* dostatočne zväčšíme podobne, ako to bolo v predchádzajúcom prípade (obr. 23).



Obr. 29 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

Nasledovným postupom vykonáme trasovanie po priebehu. V spodnom menu tlačidiel okna PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor (štvrté zľava) (obr. 26) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde.

V dolnom menu okna PlotXY sú zobrazené hodnoty v mieste, kde sa nachádza trasovací kurzor (čas – čiernou farbou; $t = 0,017473$ s a amplitúda – červenou farbou; $u_x = 7,5841 \cdot 10^{-4}$ V).



Obr. 30 Odčítanie času prechodu sinusovky nulou

Z času prechodu počiatku sinusovky nulou je možné vyčísliť fázové natočenie podľa vzťahu:

$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t}{T} \cdot 360^\circ = 360 \cdot 1 - \frac{0,017112}{0,02} \cdot 360^\circ \cong 51,98^\circ$$

Z obidvoch výrazov je vidieť dostatočnú zhodu φ .

Výsledný zápis napätia medzi uzlom UZOLB a zemou je: $u_{x,b)} = 94,458 \cdot e^{j51,98^\circ}$ V.

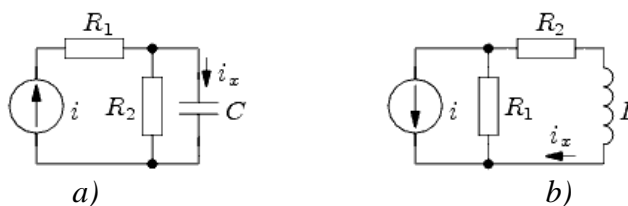
Výsledky:

a) $u_{x,a)} = 67,154 \cdot e^{j63^\circ}$ V

b) $u_{x,b)} = 94,458 \cdot e^{j51,98^\circ}$ V

Príklad 3

Podľa schémy zapojenia na obr. 1a a obr. 1b určte prostredníctvom programu ATPDraw neznáme prúdy i_x v tvare: $i(t) = I_{\max} \cdot \sin(j \cdot \omega \cdot t + \varphi)$ alebo $i(t) = I_{\max} \cdot e^{j \cdot \varphi}$, ak viete, že: $R_1 = 1$ k Ω , $R_2 = 2$ k Ω , $L = 1,041$ H, $C = 124$ μ F, $I_{\max} = 1,12$ A, $f = 50$ Hz, $\varphi = 1/3 \cdot \pi$.



Obr. 1 Schémy zapojenia elektrického obvodu

Riešenie

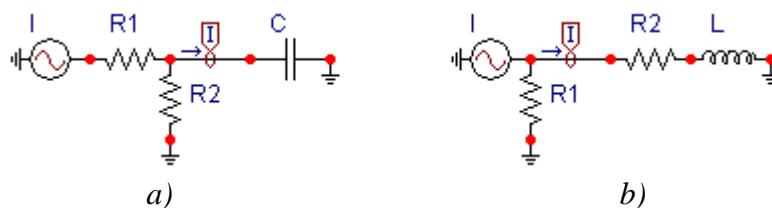
V ATPDraw sa vytvoria schémy zapojenia podľa obr. 2a a obr. 2b.

Na prúdovom zdroji I sa nastaví maximálna hodnota prúdu zdroja v položke **Amp** 1,12. V položke **Tsta** sa nastaví hodnota -1 a **Tsto** hodnota 1, čo má za následok stály prúdový zdroj počas doby 1 sekundy. V položke **Type of source** sa zvolí voľba **Current**. Fázové natočenie sa zadá v položke **Pha** -30 (pretože implicitné nastavenie prúdového zdroja

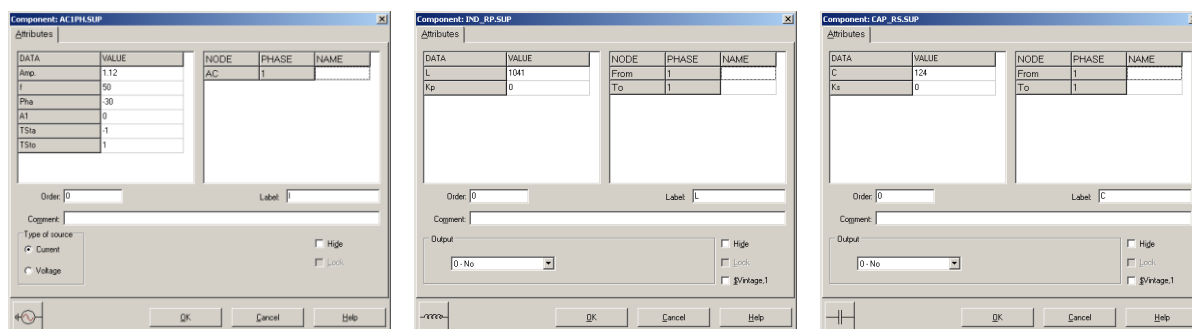
predpokladá kosínusový zdroj, t.j. $\varphi - 90^\circ = 1/3 \cdot \pi - 90^\circ = 60^\circ - 90^\circ = -30^\circ$) a frekvenciu v položke **f** 50.

Na modeli prvku cievky bude do kolónky **L** zadaná hodnota 1041 (predvolené nastavenie je v mH (mili henry), nie v henry). Na modeli prvku kondenzátora bude do kolónky **C** zadaná hodnota 124 (predvolené nastavenie je v μF (mikro farad), nie vo faradoch) (obr.3). Pri rezistore bude do **RES** zapísaná hodnota 1000 (pri rezistore R_1) a 2000 (pri rezistore R_2) (obr. 4).

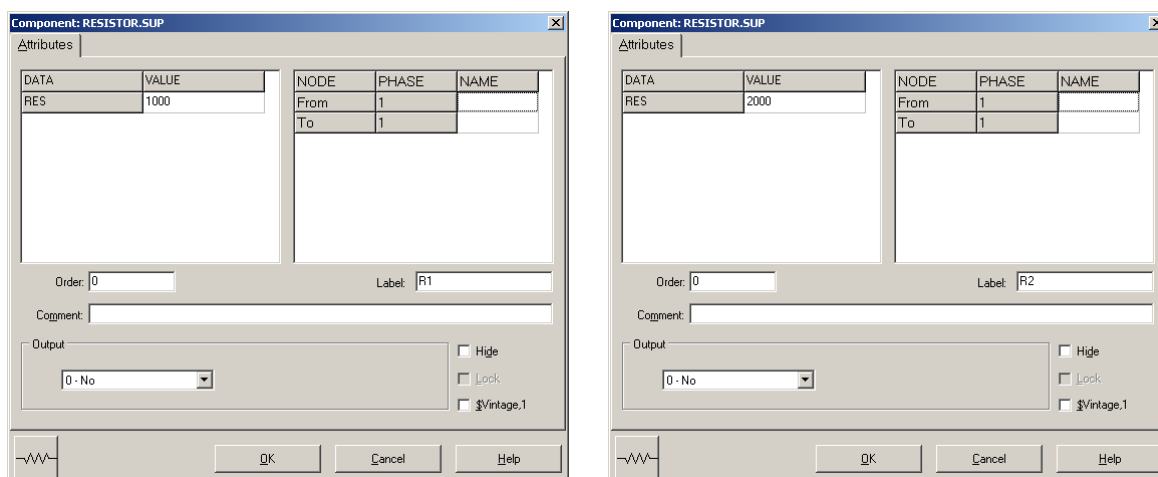
Ostatné hodnoty je možné ponechať nezmenené. Bližšie vysvetlenie ich významu sa zobrazí po stlačení tlačidla „help“ v aktuálnom okne prvku. Podrobnejší návod je obsiahnutý v literatúre Rule Book k programu EMTP-ATP.



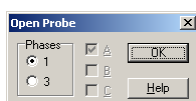
Obr. 2 Schémy zapojenia elektrického obvodu



Obr. 3 Nastavenie parametrov pre prúdový zdroj I, cievky L a kondenzátora C

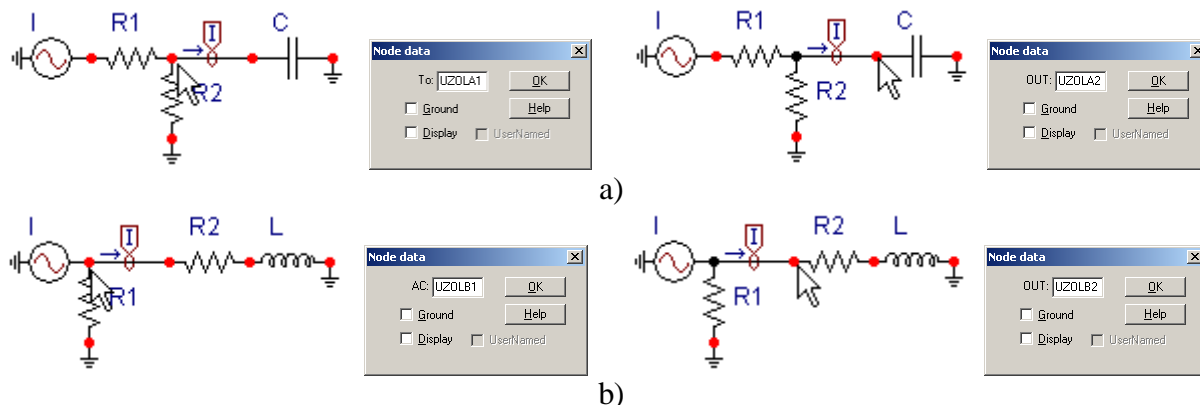


Obr. 4 Nastavenie parametrov rezistorov R_1 a R_2



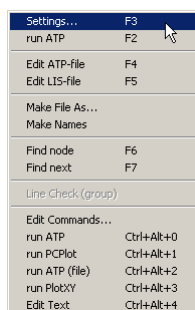
Obr. 5 Nastavenie parametrov voltmetra

Aby bolo možné ľahšie odčítať hodnoty z grafického postprocesora PlotXY, je potrebné pomenovať významné uzly v schéme. Stlačením pravého tlačidla myšky pri uzle sa zobrazí menu uzla, kde v kolónke **To:** sa zadá názov uzla veľkými písmenami, napr. UZOLA1 a UZOLA2 (obr. 6a). Podobne nastavíme názov uzla v prípade b) na UZOLB1 a UZOLB2 (obr. 6b). Po stlačení tlačidla **OK** bude farba pomenovaného uzla čierna.

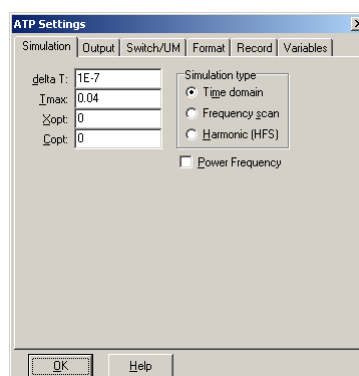


Obr. 6 Nastavenie parametrov uzlov

Pre simuláciu prechodného deja sa musia nastaviť podmienky simulácie voľbou **ATP Settings** a záložka **Simulation** (obr. 7). Maximálny počet krokov výpočtu je obmedzený na 1 milión, preto je potrebné prispôbiť tomuto obmedzeniu aj čas výpočtu a najmenší krok výpočtu. Zadá sa krok výpočtu napr. **delta T** $1E-7$ s a doba výpočtu **T max** 0.04 s (pre určenie fázového posunu napätia alebo prúdu postačuje aj 1 perióda, t.j. 20 ms) (obr.8).



Obr. 7 ATP – Settings



Obr. 8 Dialógové okno Settings – Simulation

Pričom pre voliteľné hodnoty X_{opt} a C_{opt} platí:

Pre X_{opt} :

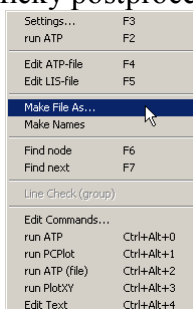
- hodnota induktora bude charakterizovaná indukčnosťou (mH), pokiaľ bude $X_{opt} = 0$,
- hodnota induktora bude charakterizovaná reaktanciou (Ω), pokiaľ bude $X_{opt} =$ sieťovej frekvencii.

Pre C_{opt} :

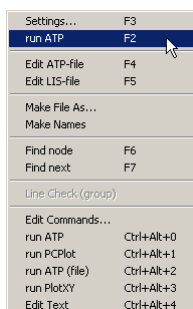
- hodnota kapacitora bude charakterizovaná kapacitou (μF), pokiaľ bude $C_{opt} = 0$,
- hodnota kapacitora bude charakterizovaná susceptanciou (μS), pokiaľ bude $C_{opt} =$ sieťovej frekvencii.

Takto vytvorená schéma sa uloží príkazom CTRL-S so zvoleným názvom, napr. príklad3. Vznikne súbor s príponou *.adp, ktorý sa nachádza v podadresári **Project** preprocesora ATPDraw. Je vhodné, používať názvy súborov bez diakritiky, zakázané je používať v názve súboru medzery a je dobré obmedziť dĺžku názvu súboru na max. 8 znakov.

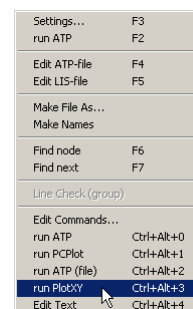
Príkazom **Make File As...** v hornom menu **ATP** sa vytvorí v podadresári ATP dátový súbor pre ATP s rovnakým názvom s príponou *.atp (t.j. príklad3.atp) (obr. 9). Príkazom **run ATP** v hornom menu **ATP** sa spustí výpočet v programe ATP, ktorého výsledkom sú súbory s príponou *.lis a *.pl4 (obr. 10). Súbor *.lis je výstupný dátový súbor a rovnako ako súbor *.atp dajú sa prezerať z prostredia ATPDraw voľbou **ATP Edit**. Súbory s príponou *.pl4 sú komprimované grafické dáta, ktoré je možné prezerať niektorým z grafických postprocesorov, ako napríklad PlotXY. V prostredí ATPDraw sa voľbou **run PlotXY** z horného menu **ATP** spustí grafický postprocesor (obr. 11).



Obr. 9 ATP – Make File...

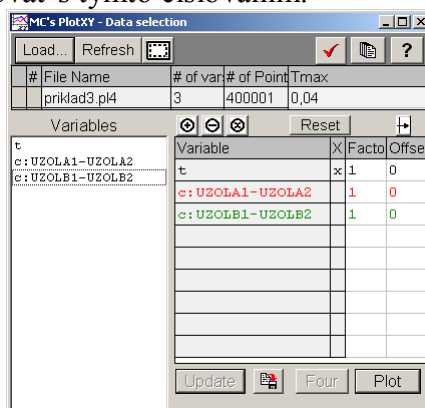


Obr. 10 ATP – Run ATP



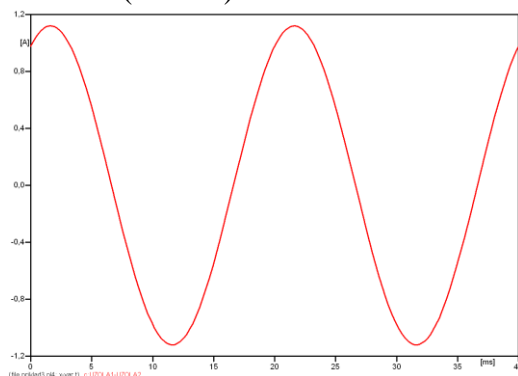
Obr. 11 ATP – run PlotXY

V grafickom postprocesore je s označením **c: UZOLA1 – UZOLA2** uvedený požadovaný priebeh prúdu $i_{x,a}$ (t.j. prúd vo vetve s uzlami UZOLA1 a UZOLA2) **c: UZOLB1 – UZOLB2** priebeh prúdu $i_{x,b}$ (t.j. prúd vo vetve s uzlami UZOLB1 a UZOLB2). Stlačením ľavého tlačidla myši sa dané priebehy označia pre zobrazenie a stlačením tlačidla **Plot** sa následne zobrazia. **Poznámka:** čísla uzlov môžu byť odlišné, v závislosti od zapojenia obvodu a nemusia korešpondovať s týmto číslovaním.

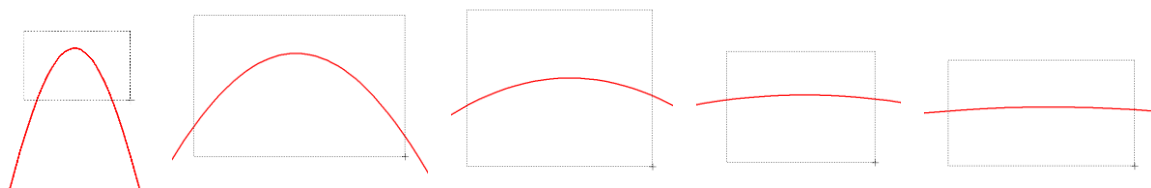


Obr. 6 Dialógové okno podprogramu PlotXY pre vykreslenie priebehov

Aby sa jednotlivé priebehy neprekrývali, najprv zobrazíme a odčítame hodnoty prúdu medzi uzlom UZOLA1 a UZOLA2 (obr. 13).

Obr. 13 Zobrazenie priebehu prúdu $i_{x,a}$

Pre odčítanie maximálnej hodnoty prúdu postačuje odčítať hodnotu vrcholovej hodnoty pri ľubovoľnom maxime (obr. 14). Pre zvýšenie presnosti odčítania je potrebné vykonať dostatočný počet zväčšení danej oblasti.

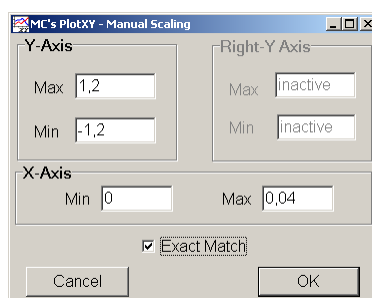


Obr. 14 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

Pre presné vymedzenie hraníc zobrazenia daného priebehu je možné využiť v spodnom menu tlačidiel okna PlotXY tlačidlo Manual Scale (tretie zľava) (obr. 15) a následne v okne Manual Scaling zadať minimálne a maximálne hranice x-ovej a y-ovej osi pre zobrazenie priebehov.



Obr. 15 Tlačidlo Manual Scale

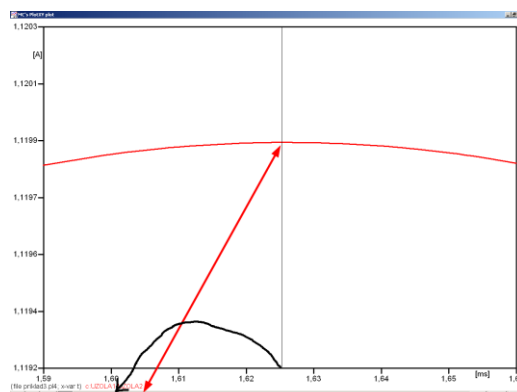


Obr. 16 Okno Manual Scaling

Nasledovným postupom vykonáme trasovanie po priebehu. V spodnom menu tlačidiel okna PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor (štvrté zľava) (obr. 17) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde.



Obr. 17 Tlačidlo Show Cursor



Obr. 18 Miesto odčítania maximálnej hodnoty

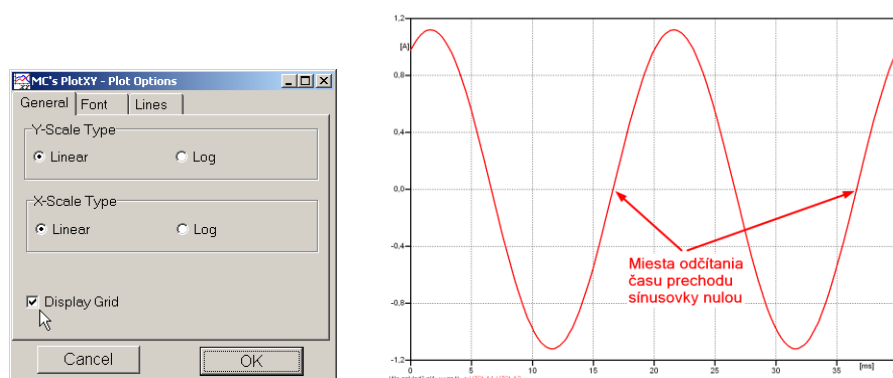
Z tohto priebehu je vidieť, že maximálna hodnota prúdu je 1,1199 A. Čo sa týka fázového natočenia φ , tak je možné ho vypočítať rôznymi spôsobmi.

Jednou z metód výpočtu fázového natočenia je z času dosiahnutia *prvého maxima sinusovky* daného priebehu. Odčítaním z obr. 18 by tento výpočet mal nasledovný zápis:

$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t - \frac{T}{4}}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{1,6253 \cdot 10^{-3} - \frac{0,02}{4}}{0,02} \cdot 360^\circ \cong 420,75^\circ \approx 60,75^\circ$$

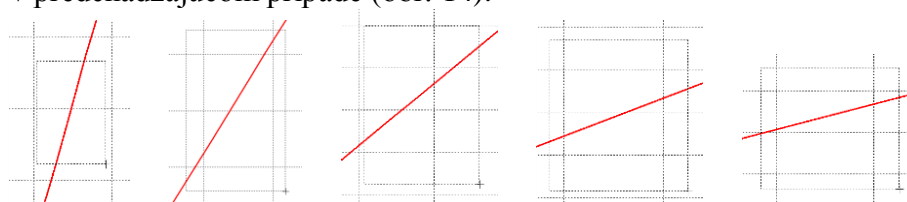
Kde φ je fázové natočenie, n je poradie periódy, t čas dosiahnutia prvého maxima sinusovky, T perióda $T = \frac{1}{f}$. Fázové natočenie je zvykom uvádzať v rozmedzí $\varphi \in \langle 0^\circ; 360^\circ \rangle$, preto bolo potrebné od uhla $420,75^\circ$ odčítať 360° .

Ďalšou z metód určenia fázového natočenia φ , je z času priesečníka začiatku sinusovky s osou x . Predtým je ale vhodné, pre rýchlejšie odčítanie hodnôt, nastaviť raster nasledovne. V dolnom menu okna PlotXY sa po stlačení tlačidla **Customize plot** (druhé zľava na obr. 17) vyvolá nové okno **Plot options**, kde sa odškrtnie nastavenie mriežky v položke **Display Grid** a následne sa potvrdí tlačidlom **OK**.



Obr. 19 Nastavenie mriežky v okne Plot Options a Miesta odčítania času prechodu nulou

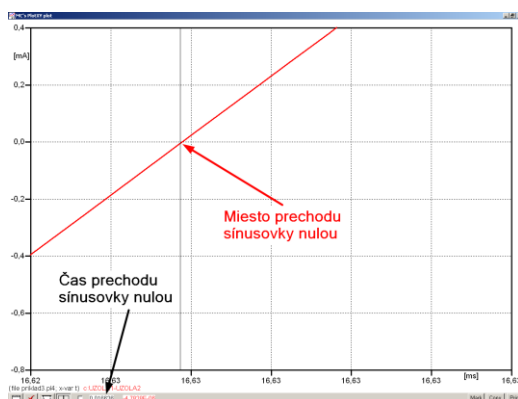
Oblasť v okolí *prechodu počiatku sinusovky nulou* dostatočne zväčšíme podobne, ako to bolo v predchádzajúcom prípade (obr. 14).



Obr. 20 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

Nasledovným postupom vykonáme trasovanie po priebehu. V spodnom menu tlačidiel okna PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor (štvrté zľava) (obr. 17) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde.

V dolnom menu okna PlotXY sú zobrazené hodnoty v mieste, kde sa nachádza trasovací kurzor (čas – čiernou farbou; $t = 0,016626$ s a amplitúda – červenou farbou; $i_x = -4,7828 \cdot 10^{-6}$ A).



Obr. 21 Odčítanie času prechodu sinusovky nulou

Z času prechodu počiatku sinusovky nulou je možné vyčísliť fázové natočenie podľa vzťahu:

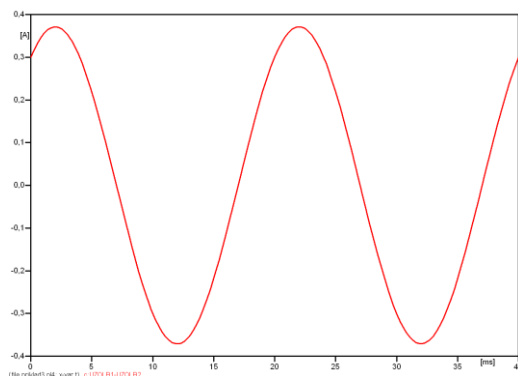
$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{0,016626}{0,02} \cdot 360^\circ = 60,73^\circ$$

Z obidvoch výrazov je vidieť dostatočnú zhodu φ .

Výsledný zápis prúdu medzi uzlom UZOLA1 a UZOLA2 je: $i_{x,a)} = 1,1199 \cdot e^{j60,7^\circ}$ A

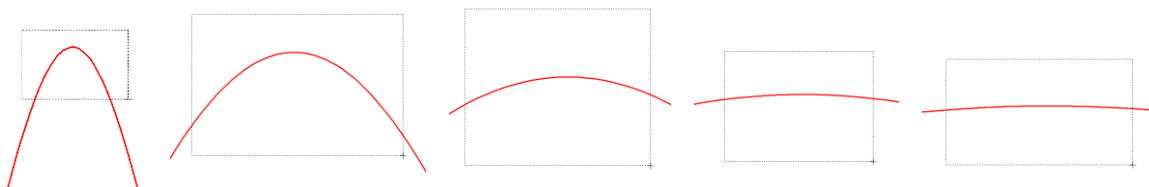
Podobne sa postupuje v prípade b).

Zobrazenie a odčítanie hodnôt prúdu medzi uzlom UZOLB1 a UZOLB2 sa uskutoční z obr. 22.



Obr. 22 Zobrazenie priebehu prúdu $i_{x,b)}$

Pre odčítanie maximálnej hodnoty prúdu postačuje odčítať hodnotu vrcholovej hodnoty pri ľubovoľnom maxime. Pre zvýšenie presnosti odčítania je potrebné vykonať dostatočný počet zväčšení danej oblasti (obr. 23).

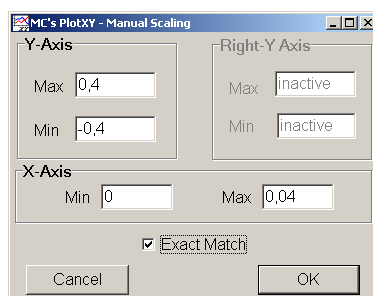


Obr. 23 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

Pre presné vymedzenie hraníc zobrazenia daného priebehu je možné využiť v spodnom menu tlačidiel okna PlotXY tlačidlo Manual Scale (tretie zľava) (obr. 24) a následne v okne Manual Scaling zadať minimálne a maximálne hranice x -ovej a y -ovej osi pre zobrazenie priebehov.



Obr. 24 Tlačidlo Manual Scale

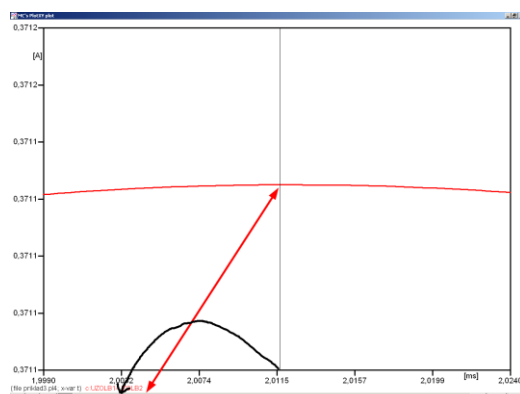


Obr. 25 Okno Manual Scaling

Nasledovným postupom vykonáme trasovanie po priebehu. V spodnom menu tlačidiel okna PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor (štvrté zľava) (obr. 26) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde.



Obr. 26 Tlačidlo Show Cursor



Obr. 27 Miesto odčítania maximálnej hodnoty

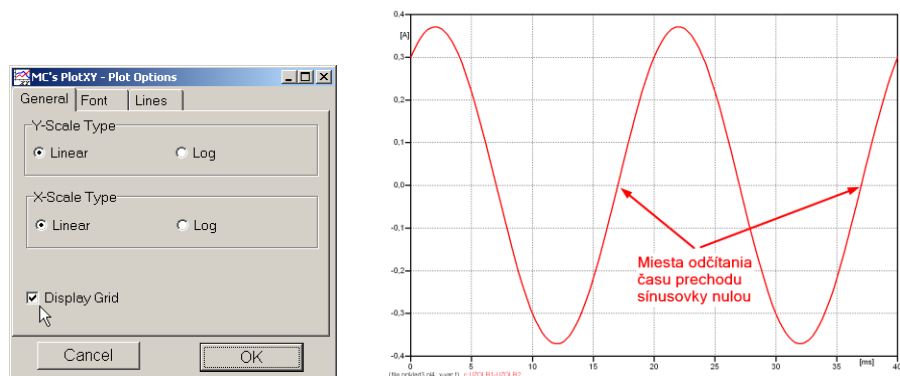
Z tohto priebehu je vidieť, že maximálna hodnota prúdu je 0,37113 A. Čo sa týka fázového natočenia φ , tak je možné ho vypočítať podobne ako v prípade a).

Jednou z metód výpočtu fázového natočenia je z času dosiahnutia *prvého maxima sinusovky* daného priebehu. Odčítaním z obr. 27 by tento výpočet mal nasledovný zápis:

$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t - \frac{T}{4}}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{2,0117 \cdot 10^{-3} - \frac{0,02}{4}}{0,02} \cdot 360^\circ \cong 413,79^\circ \approx 53,79^\circ$$

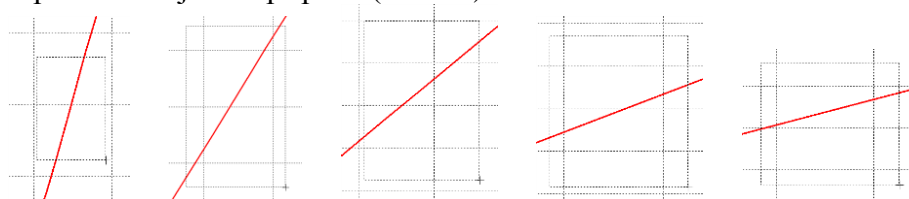
Kde φ je fázové natočenie, n je poradie periódy, t čas dosiahnutia prvého maxima sinusovky, T perióda $T = \frac{1}{f}$. Fázové natočenie je zvykom uvádzať v rozmedzí $\varphi \in \langle 0^\circ; 360^\circ \rangle$, preto bolo potrebné od uhla $413,79^\circ$ odčítať 360° .

Ďalšou z metód určenia fázového natočenia φ , je z času *priesečníka počiatku sinusovky s osou x*. Predtým je ale vhodné, pre rýchlejšie odčítanie hodnôt, nastaviť raster nasledovne. V dolnom menu okna PlotXY sa po stlačení tlačidla **Customize plot** (druhé zľava na obr. 26) vyvolá nové okno **Plot options**, kde sa odškrtnie nastavenie mriežky v položke **Display Grid** a následne sa potvrdí tlačidlom **OK**.



Obr. 28 Nastavenie mriežky v okne Plot Options a Miesta odčítania času prechodu priebehu prúdu nulou

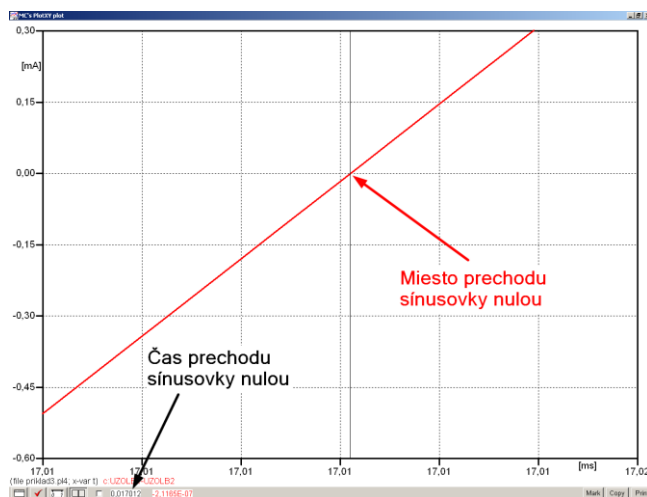
Oblasť v okolí *prechodu počiatku sínusovky nulou* dostatočne zväčšíme podobne, ako to bolo v predchádzajúcom prípade (obr. 23).



Obr. 29 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

Nasledovným postupom vykonáme trasovanie po priebehu. V spodnom menu tlačidiel okna PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor (štvrté zľava) (obr. 26) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde.

V dolnom menu okna PlotXY sú zobrazené hodnoty v mieste, kde sa nachádza trasovací kurzor (čas – čiernou farbou; $t = 0,017012$ s a amplitúda – červenou farbou; $i_x = -2,1165 \cdot 10^{-7}$ A).



Obr. 30 Odčítanie času prechodu sínusovky nulou

Z času prechodu počiatku sínusovky nulou je možné vyčísliť fázové natočenie podľa vzťahu:

$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t}{T} \cdot 360^\circ = 360 \cdot 1 - \frac{0,017012}{0,02} \cdot 360^\circ \cong 53,78^\circ$$

Z obidvoch výrazov je vidieť dostatočnú zhodu φ .

Výsledný zápis prúdu medzi uzlom UZOLB1 a UZOLB2 je: $i_{x,b) = 0,37113 \cdot e^{j53,8^\circ}$ A .

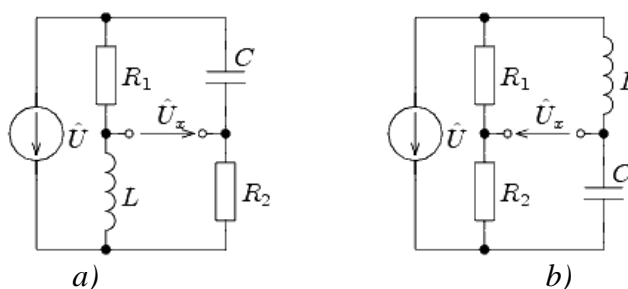
Výsledky:

a) $i_{x,a) = 1,1199 \cdot e^{j60,7^\circ}$ A

b) $i_{x,b) = 0,37113 \cdot e^{j53,8^\circ}$ A

Príklad 4

Podľa schémy zapojenia na obr. 1a a obr. 1b určte prostredníctvom programu ATPDraw neznáme napätie u_x v tvare: $u(t) = U_{\max} \cdot \sin(j \cdot \omega \cdot t + \varphi)$ alebo $u(t) = U_{\max} \cdot e^{j\varphi}$, ak viete, že: $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$, $L = 1,041 \text{ H}$, $C = 124 \text{ }\mu\text{F}$, $U_{\max} = 100 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $\varphi = 1/3 \cdot \pi$.



Obr. 1 Schémy zapojenia elektrického obvodu

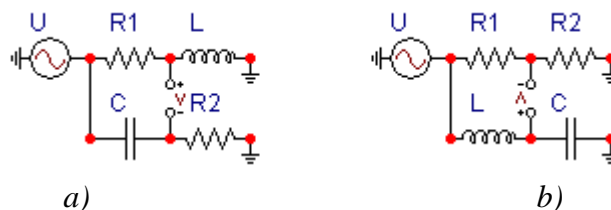
Riešenie

V ATPDraw sa vytvoria schémy zapojenia podľa obr. 2a a obr. 2b.

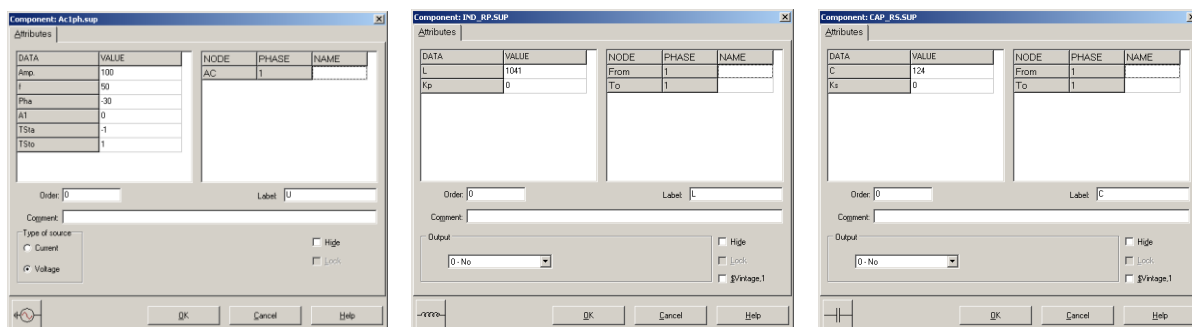
Na napätovom zdroji U sa nastaví maximálna hodnota napätia zdroja v položke **Amp** 100. V položke **Tsta** sa nastaví hodnota -1 a **Tsto** hodnota 1 , čo má za následok stály napätový zdroj počas doby 1 sekundy. V položke **Type of source** sa ponechá voľba **Voltage**. Fázové natočenie sa zadá v položke **Pha** -30 (pretože implicitné nastavenie napätového zdroja predpokladá kosínusový zdroj, t.j. $\varphi - 90^\circ = 1/3 \cdot \pi - 90^\circ = 60^\circ - 90^\circ = -30^\circ$) a frekvenciu v položke **f** 50.

Na modeli prvku cievky bude do kolónky **L** zadaná hodnota 1041 (predvolené nastavenie je v mH (mili henry), nie v henry). Na modeli prvku kondenzátora bude do kolónky **C** zadaná hodnota 124 (predvolené nastavenie je v μF (mikro farad), nie vo faradoch) (obr.3). Pri rezistore bude do **RES** zapísaná hodnota 1000 (pri rezistore R_1) a 2000 (pri rezistore R_2) (obr. 4).

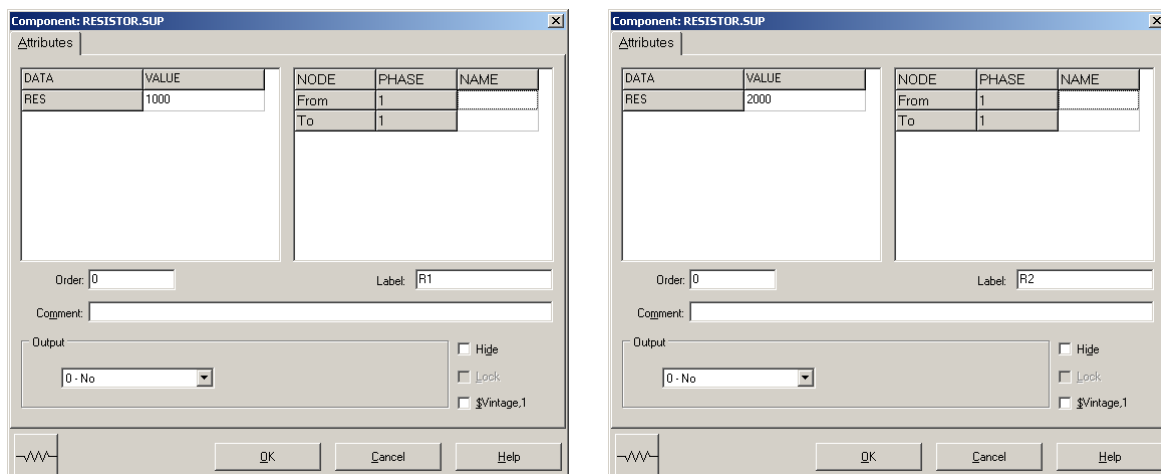
Ostatné hodnoty je možné ponechať nezmenené. Bližšie vysvetlenie ich významu sa zobrazí po stlačení tlačidla „**help**“ v aktuálnom okne prvku. Podrobnejší návod je obsiahnutý v literatúre Rule Book k programu EMTP-ATP.



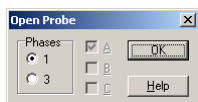
Obr. 2 Schémy zapojenia elektrického obvodu



Obr. 3 Nastavenie parametrov pre napät'ový zdroj U, cievky L a kondenzátora C

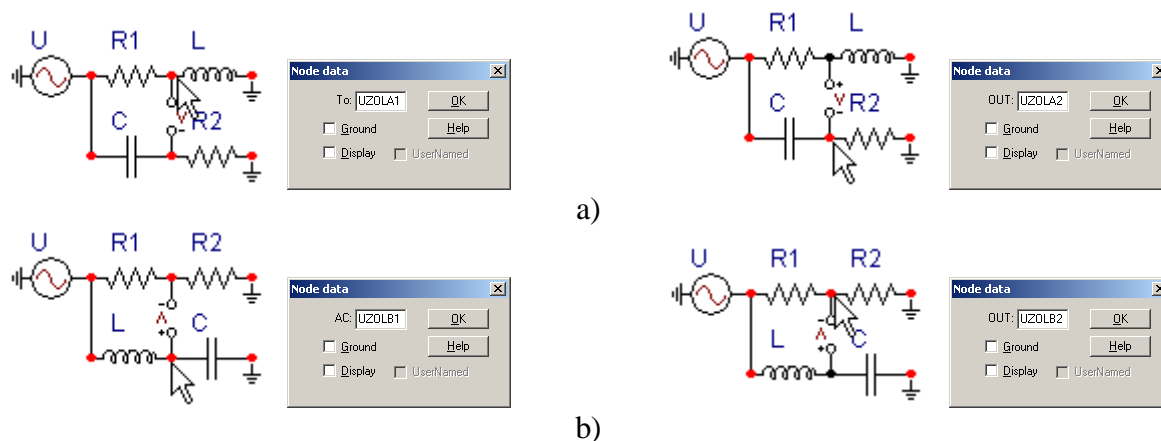


Obr. 4 Nastavenie parametrov rezistorov R₁ a R₂



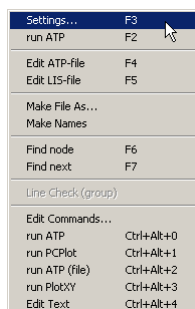
Obr. 5 Nastavenie parametrov voltmetra (Probe Branch volt.)

Aby bolo možné ľahšie odčítať hodnoty z grafického postprocesora PlotXY, je potrebné pomenovať významné uzly v schéme. Stlačením pravého tlačidla myšky pri uzle sa zobrazí menu uzla, kde v kolónke **To:** sa zadá názov uzla veľkými písmenami, napr. UZOLA1 a UZOLA2 (obr. 6a). Podobne nastavíme názov uzla v prípade b) na UZOLB1 a UZOLB2 (obr. 6b). Po stlačení tlačidla **OK** bude farba pomenovaného uzla čierna.

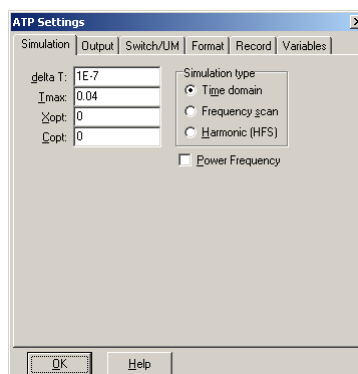


Obr. 6 Nastavenie parametrov uzlov

Pre simuláciu prechodného deja sa musia nastaviť podmienky simulácie voľbou **ATP Settings** a záložka **Simulation** (obr. 7). Maximálny počet krokov výpočtu je obmedzený na 1 milión, preto je potrebné prispôbiť tomuto obmedzeniu aj čas výpočtu a najmenší krok výpočtu. Zadá sa krok výpočtu napr. **delta T** $1E-7$ s a doba výpočtu **T max** 0.04 s (pre určenie fázového posunu napätia alebo prúdu postačuje aj 1 perióda, t.j. 20 ms) (obr.8).



Obr. 7 ATP – Settings



Obr. 8 Dialógové okno Settings – Simulation

Pričom pre voliteľné hodnoty X_{opt} a C_{opt} platí:

Pre X_{opt} :

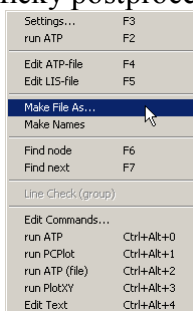
- hodnota induktora bude charakterizovaná indukčnosťou (mH), pokiaľ bude $X_{opt} = 0$,
- hodnota induktora bude charakterizovaná reaktanciou (Ω), pokiaľ bude X_{opt} = sieťovej frekvencii.

Pre C_{opt} :

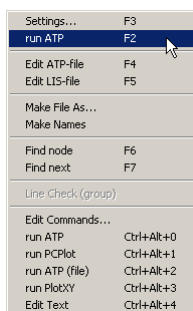
- hodnota kapacitora bude charakterizovaná kapacitou (μF), pokiaľ bude $C_{opt} = 0$,
- hodnota kapacitora bude charakterizovaná susceptanciou (μS), pokiaľ bude C_{opt} = sieťovej frekvencii.

Takto vytvorená schéma sa uloží príkazom CTRL-S so zvoleným názvom, napr. priklad4. Vznikne súbor s príponou *.adp, ktorý sa nachádza v podadresári **Project** preprocesora ATPDraw. Je vhodné, používať názvy súborov bez diakritiky, zakázané je používať v názve súboru medzery a je dobré obmedziť dĺžku názvu súboru na max. 8 znakov.

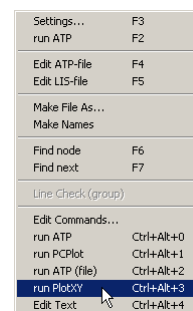
Príkazom **Make File As...** v hornom menu **ATP** sa vytvorí v podadresári ATP dátový súbor pre ATP s rovnakým názvom s príponou *.atp (t.j. priklad4.atp) (obr. 9). Príkazom **run ATP** v hornom menu **ATP** sa spustí výpočet v programe ATP, ktorého výsledkom sú súbory s príponou *.lis a *.pl4 (obr. 10). Súbor *.lis je výstupný dátový súbor a rovnako ako súbor *.atp dajú sa prezerať z prostredia ATPDraw voľbou **ATP Edit**. Súbory s príponou *.pl4 sú komprimované grafické dáta, ktoré je možné prezerať niektorým z grafických postprocesorov, ako napríklad PlotXY. V prostredí ATPDraw sa voľbou **run PlotXY** z horného menu **ATP** spustí grafický postprocesor (obr. 11).



Obr. 9 ATP – Make File...

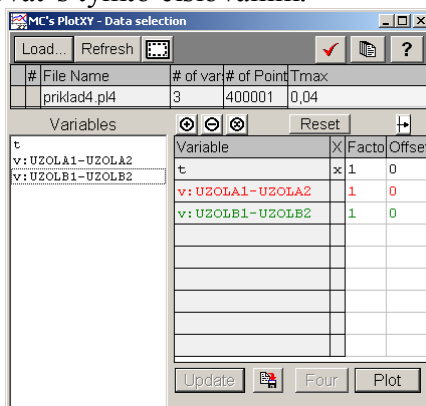


Obr. 10 ATP – Run ATP



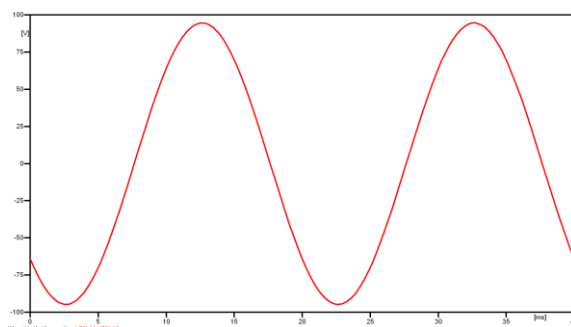
Obr. 11 ATP – run PlotXY

V grafickom postprocesore je s označením **v: UZOLA1 – UZOLA2** uvedený požadovaný priebeh napätia $u_{x,a}$ (t.j. napätie medzi uzlom UZOLA1 a UZOLA2) **v: UZOLB1 – UZOLB2** priebeh napätia $u_{x,b}$ (t.j. napätie medzi uzlom UZOLB1 a UZOLB2). Stlačením ľavého tlačidla myši sa dané priebehy označia pre zobrazenie a stlačením tlačidla **Plot** sa následne zobrazia. **Poznámka:** čísla uzlov môžu byť odlišné, v závislosti od zapojenia obvodu a nemusia korešpondovať s týmto číslovaním.



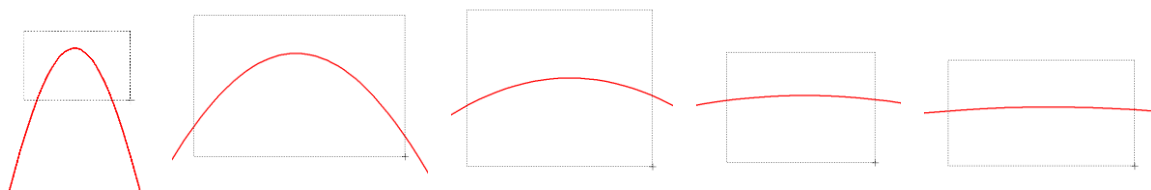
Obr. 12 Dialógové okno podprogramu PlotXY pre vykreslenie priebehov

Aby sa jednotlivé priebehy neprekrývali, najprv zobrazíme a odčítame hodnoty napätia medzi uzlom UZOLA1 a UZOLA2 (obr. 13).



Obr. 13 Zobrazenie priebehu napätia u_{xa}

Pre odčítanie maximálnej hodnoty napätia postačuje odčítať hodnotu vrcholovej hodnoty pri ľubovoľnom maxime (obr. 14). Pre zvýšenie presnosti odčítania je potrebné vykonať dostatočný počet zväčšení danej oblasti.

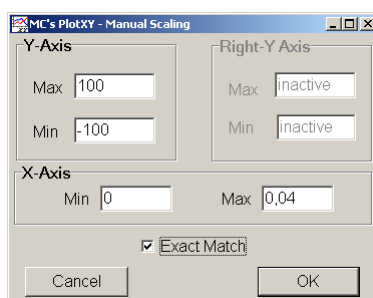


Obr. 14 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

Pre presné vymedzenie hraníc zobrazenia daného priebehu je možné využiť v spodnom menu tlačidiel okna PlotXY tlačidlo Manual Scale (tretie zľava) (obr. 15) a následne v okne Manual Scaling zadať minimálne a maximálne hranice x-ovej a y-ovej osi pre zobrazenie priebehov.



Obr. 15 Tlačidlo Manual Scale

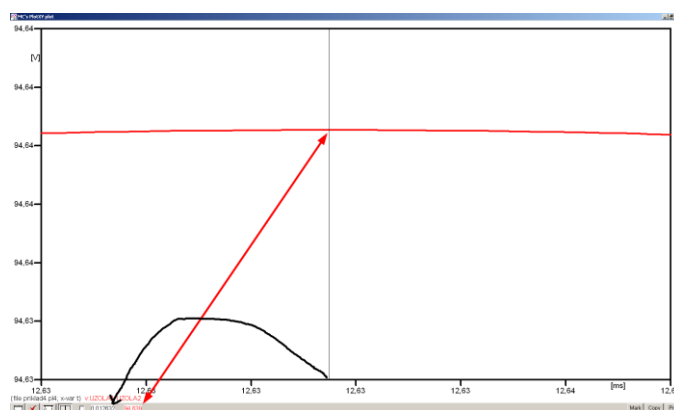


Obr. 16 Okno Manual Scaling

Nasledovným postupom vykonáme trasovanie po priebehu. V spodnom menu tlačidiel okna PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor (štvrté zľava) (obr. 17) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde.



Obr. 17 Tlačidlo Show Cursor



Obr. 18 Miesto odčítania maximálnej hodnoty

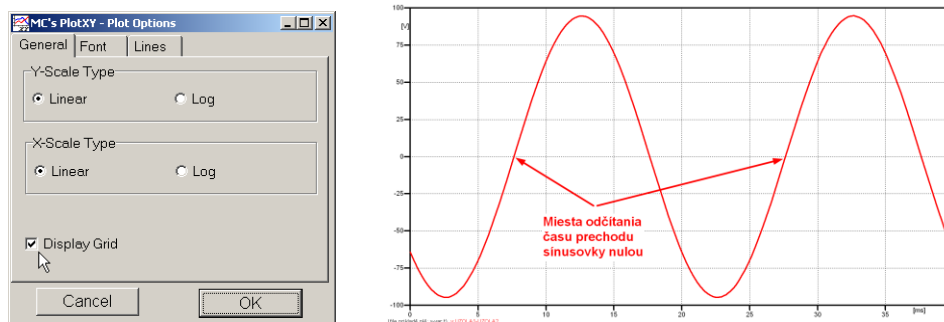
Z tohto priebehu je vidieť, že maximálna hodnota napätia je 94,639 V. Čo sa týka fázového natočenia φ , tak je možné ho vypočítať rôznymi spôsobmi.

Jednou z metód výpočtu fázového natočenia je z času dosiahnutia *prvého maxima sinusovky* daného priebehu. Odčítaním z obr. 18 by tento výpočet mal nasledovný zápis:

$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t - \frac{T}{4}}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{0,012632 - \frac{0,02}{4}}{0,02} \cdot 360^\circ \cong 222,624^\circ$$

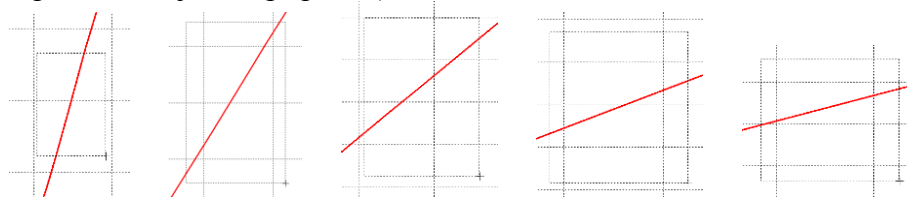
Kde φ je fázové natočenie, n je poradie periódy, t čas dosiahnutia prvého maxima sinusovky, T perióda $T = \frac{1}{f}$.

Ďalšou z metód určenia fázového natočenia φ , je z času priesečníka začiatku sinusovky s osou x . Predtým je ale vhodné, pre rýchlejšie odčítanie hodnôt, nastaviť raster nasledovne. V dolnom menu okna PlotXY sa po stlačení tlačidla **Customize plot** (druhé zľava na obr. 17) vyvolá nové okno **Plot options**, kde sa odškrtnie nastavenie mriežky v položke **Display Grid** a následne sa potvrdí tlačidlom **OK**.



Obr. 19 Nastavenie mriežky v okne Plot Options a Miesta odčítania času prechodu nulou

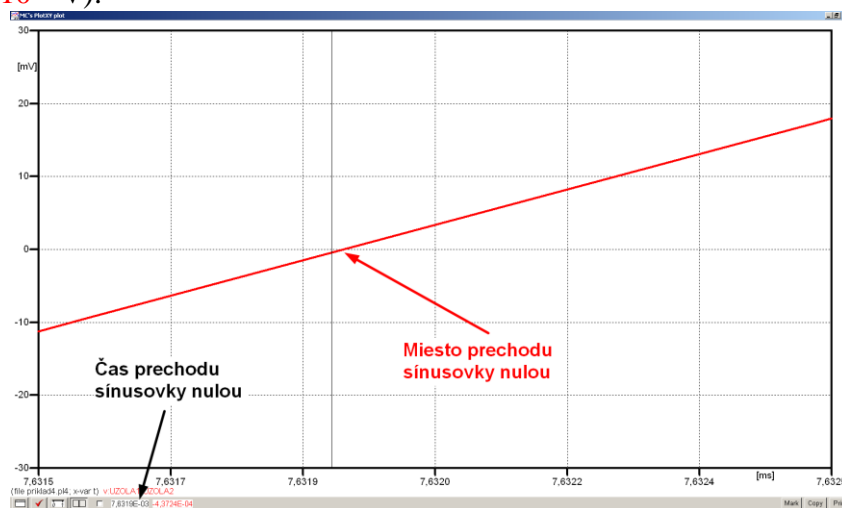
Oblasť v okolí *prechodu počiatku sínusovky nulou* dostatočne zväčšíme podobne, ako to bolo v predchádzajúcom prípade (obr. 14).



Obr. 20 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

Nasledovným postupom vykonáme trasovanie po priebehu. V spodnom menu tlačidiel okna PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor (štvrté zľava) (obr. 17) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde.

V dolnom menu okna PlotXY sú zobrazené hodnoty v mieste, kde sa nachádza trasovací kurzor (čas – čiernou farbou; $t = 7,6319 \cdot 10^{-3}$ s a amplitúda – červenou farbou; $u_x = -4,3724 \cdot 10^{-4}$ V).



Obr. 21 Odčítanie času prechodu sínusovky nulou

Z času prechodu počiatku sínusovky nulou je možné vyčísliť fázové natočenie podľa vzťahu:

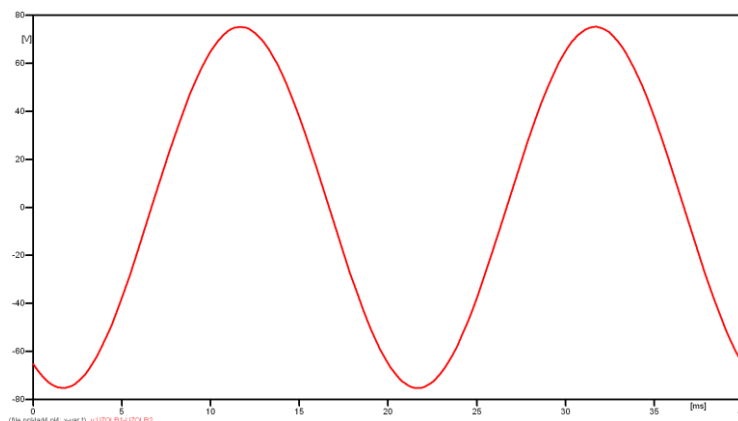
$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{7,6319 \cdot 10^{-3}}{0,02} \cdot 360^\circ = 222,5^\circ$$

Z obidvoch metód určenia fázového natočenia je vidieť dostatočnú zhodu φ .

Výsledný zápis napätia medzi uzlom UZOLA1 a UZOLA2 je: $u_{x,a} = 94,639 \cdot e^{j222,5^\circ}$ V

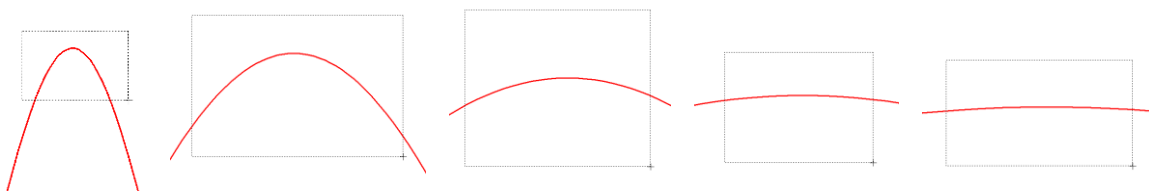
Podobne sa postupuje v prípade b).

Zobrazenie a odčítanie hodnôt napätia medzi uzlom UZOLB1 a UZOLB2 sa uskutoční z obr. 22.



Obr. 22 Zobrazenie priebehu napätia u_{xb}

Pre odčítanie maximálnej hodnoty napätia postačuje odčítať hodnotu vrcholovej hodnoty pri ľubovoľnom maxime. Pre zvýšenie presnosti odčítania je potrebné vykonať dostatočný počet zväšení danej oblasti (obr. 23).

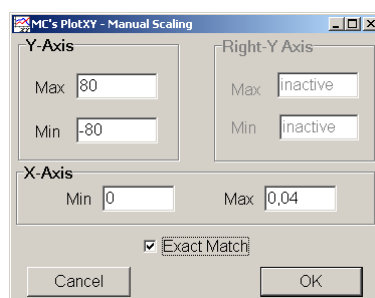


Obr. 23 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväšenie

Pre presné vymedzenie hraníc zobrazenia daného priebehu je možné využiť v spodnom menu tlačidiel okna PlotXY tlačidlo Manual Scale (tretie zľava) (obr. 24) a následne v okne Manual Scaling zadať minimálne a maximálne hranice x -ovej a y -ovej osi pre zobrazenie priebehov.



Obr. 24 Tlačidlo Manual Scale

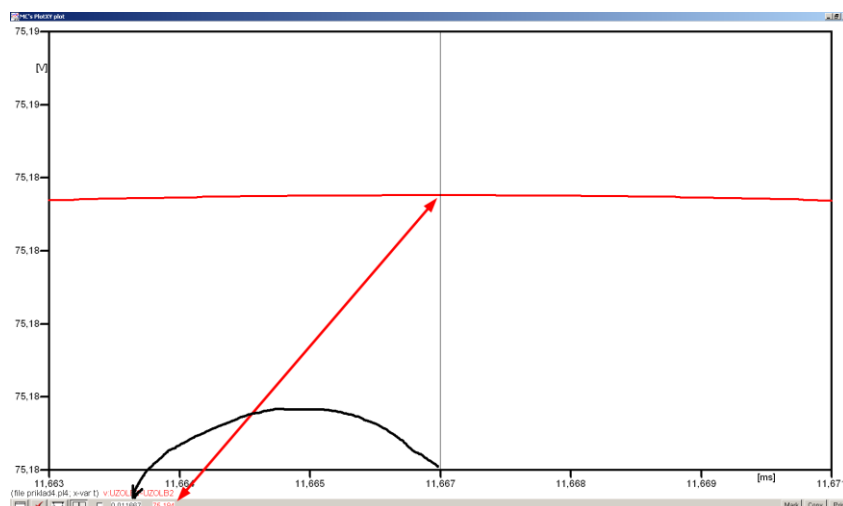


Obr. 25 Okno Manual Scaling

Nasledovným postupom vykonáme trasovanie po priebehu. V spodnom menu tlačidiel okna PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor (štvrté zľava) (obr. 26) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde.



Obr. 26 Tlačidlo Show Cursor



Obr. 27 Miesto odčítania maximálnej hodnoty

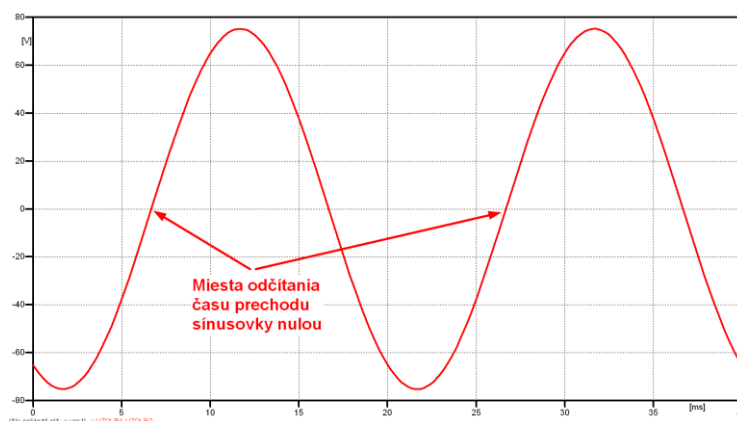
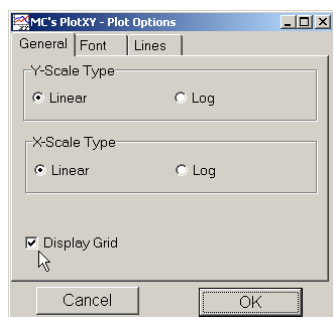
Z tohto priebehu je vidieť, že maximálna hodnota napätia je 75,184 V. Čo sa týka fázového natočenia φ , tak je možné ho vypočítať podobne ako v prípade a).

Jednou z metód výpočtu fázového natočenia je z času dosiahnutia *prvého maxima sinusovky* daného priebehu. Odčítaním z obr. 27 by tento výpočet mal nasledovný zápis:

$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t - \frac{T}{4}}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{0,011667 - \frac{0,02}{4}}{0,02} \cdot 360^\circ \cong 239,99^\circ$$

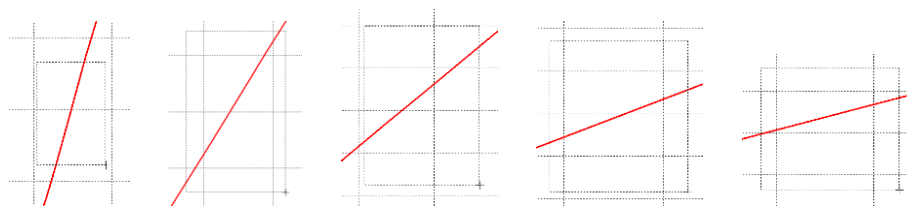
Kde φ je fázové natočenie, n je poradie periódy, t čas dosiahnutia prvého maxima sinusovky, T perióda $T = \frac{1}{f}$.

Ďalšou z metód určenia fázového natočenia φ , je z času *priesečníka počiatku sinusovky s osou x*. Predtým je ale vhodné, pre rýchlejšie odčítanie hodnôt, nastaviť raster nasledovne. V dolnom menu okna PlotXY sa po stlačení tlačidla **Customize plot** (druhé zľava na obr. 26) vyvolá nové okno **Plot options**, kde sa odškrtnie nastavenie mriežky v položke **Display Grid** a následne sa potvrdí tlačidlom **OK**.



Obr. 28 Nastavenie mriežky v okne Plot Options a Miesta odčítania času prechodu priebehu napätia nulou

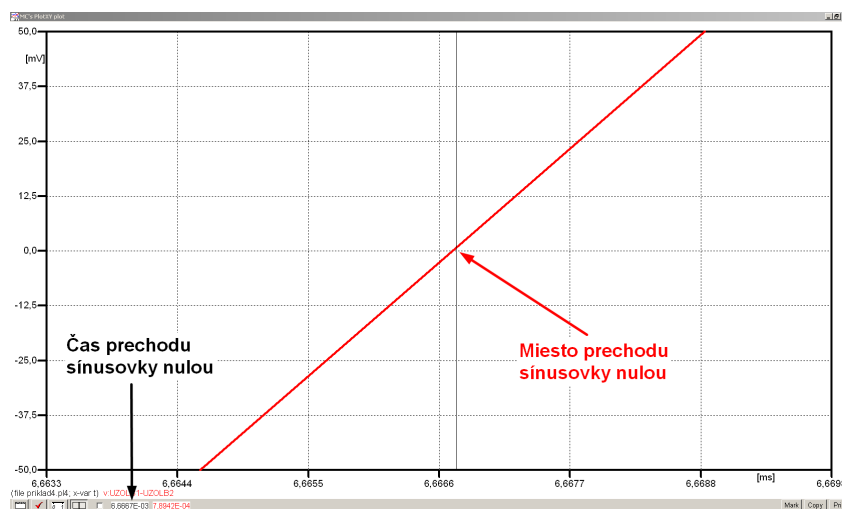
Oblasť v okolí *prechodu počiatku sinusovky nulou* dostatočne zväčšime podobne, ako to bolo v predchádzajúcom prípade (obr. 23).



Obr. 29 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

Nasledovným postupom vykonáme trasovanie po priebehu. V spodnom menu tlačidiel okna PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor (štvrté zľava) (obr. 26) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde.

V dolnom menu okna PlotXY sú zobrazené hodnoty v mieste, kde sa nachádza trasovací kurzor (čas – čiernou farbou; $t = 6,6664 \cdot 10^{-3}$ s a amplitúda – červenou farbou; $u_x = 7,8942 \cdot 10^{-4}$ V).



Obr. 30 Odčítanie času prechodu sínusovky nulou

Z času prechodu počiatku sínusovky nulou je možné vypočítať fázové natočenie podľa vzťahu:

$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t}{T} \cdot 360^\circ = 360 \cdot 1 - \frac{6,6667 \cdot 10^{-3}}{0,02} \cdot 360^\circ \cong 240^\circ$$

Z obidvoch výrazov je vidieť dostatočnú zhodu φ .

Výsledný zápis napätia medzi uzlom UZOLB1 a UZOLB2 je: $u_{x,b} = 75,184 \cdot e^{j240^\circ}$ V.

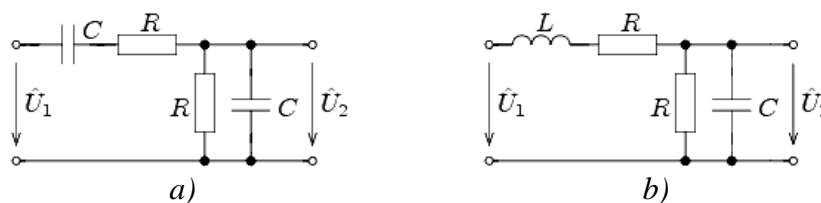
Výsledky:

a) $u_{x,a} = 94,639 \cdot e^{j2225^\circ}$ V

b) $u_{x,b} = 75,184 \cdot e^{j240^\circ}$ V

Príklad 5

Podľa schémy zapojenia na obr. 1a a obr. 1b určte prostredníctvom programu ATPDraw neznáme napätie u_2 v tvare: $u_2(t) = U_{2\max} \cdot \sin(j \cdot \omega \cdot t + \varphi)$ alebo $u_2(t) = U_{2\max} \cdot e^{j\varphi}$, ak viete, že: $R = 1 \text{ k}\Omega$, $L = 1,041 \text{ H}$, $C = 124 \text{ }\mu\text{F}$, $U_{\max} = 100 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $\varphi = 1/4 \cdot \pi$.



Obr. 1 Schémy zapojenia elektrického obvodu

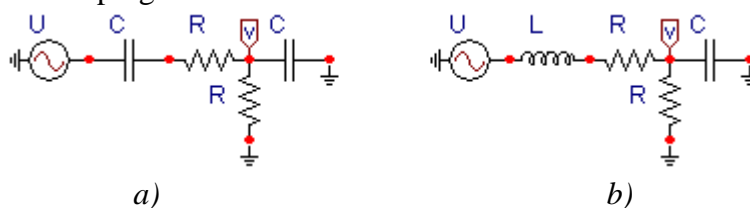
Riešenie

V ATPDraw sa vytvoria schémy zapojenia podľa obr. 2a a obr. 2b.

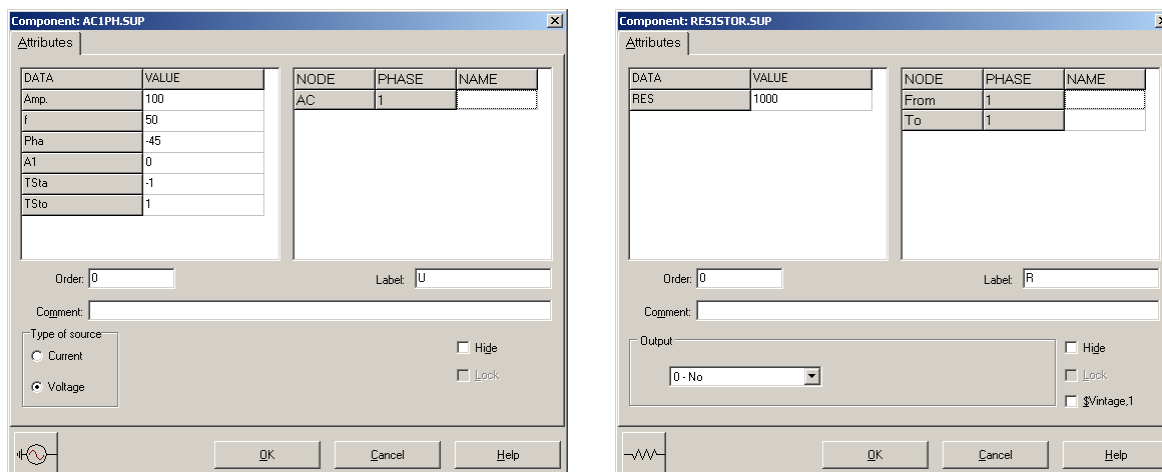
Na napätovom zdroji U sa nastaví maximálna hodnota napätia zdroja v položke **Amp** 100. V položke **Tsta** sa nastaví hodnota -1 a **Tsto** hodnota 1, čo má za následok stály napätový zdroj počas doby 1 sekundy. V položke **Type of source** sa ponechá voľba **Voltage**. Fázové natočenie sa zadá v položke **Pha** -45 (pretože implicitné nastavenie napätového zdroja predpokladá kosínusový zdroj, t.j. $\varphi - 90^\circ = 1/4 \cdot \pi - 90^\circ = 45^\circ - 90^\circ = -45^\circ$) a frekvenciu v položke **f** 50. Pri rezistore bude do **RES** zapísaná hodnota 1000 (obr. 3).

Na modeli prvku cievky bude do kolónky **L** zadaná hodnota 1041 (predvolené nastavenie je v mH (mili henry), nie v henry). Na modeli prvku kondenzátora bude do kolónky **C** zadaná hodnota 124 (predvolené nastavenie je v μF (mikro farad), nie vo faradoch) (obr.4).

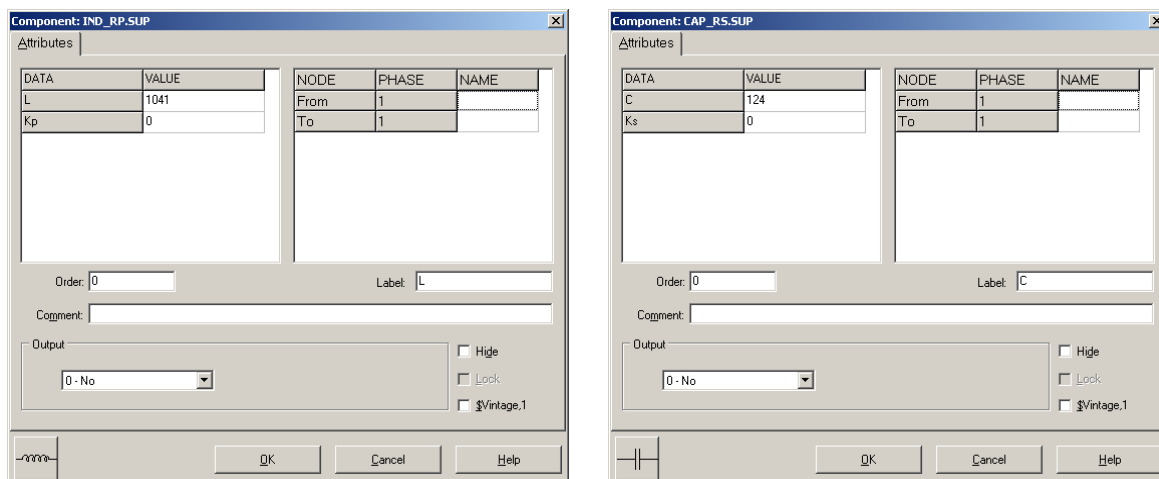
Ostatné hodnoty je možné ponechať nezmenené. Bližšie vysvetlenie ich významu sa zobrazí po stlačení tlačidla „help“ v aktuálnom okne prvku. Podrobnejší návod je obsiahnutý v literatúre Rule Book k programu EMTP-ATP.



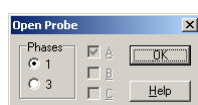
Obr. 2 Schémy zapojenia elektrického obvodu



Obr. 3 Nastavenie parametrov pre napätový zdroj U a rezistora R

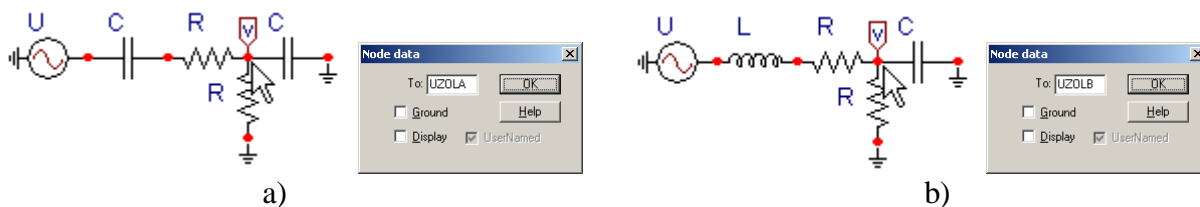


Obr. 4 Nastavenie parametrov cievky L a kondenzátora C



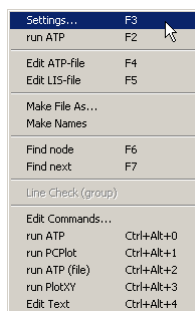
Obr. 5 Nastavenie parametrov voltmetra

Aby bolo možné ľahšie odčítať hodnoty z grafického postprocesora PlotXY, je potrebné pomenovať významné uzly v schéme. Stlačením pravého tlačidla myšky pri uzle sa zobrazí menu uzla, kde v kolónke **To:** sa zadá názov uzla veľkými písmenami, napr. UZOLA (obr. 6a). Podobne nastavíme názov uzla v prípade b) na UZOLB (obr. 6b). Po stlačení tlačidla **OK** bude farba pomenovaného uzla čierna.

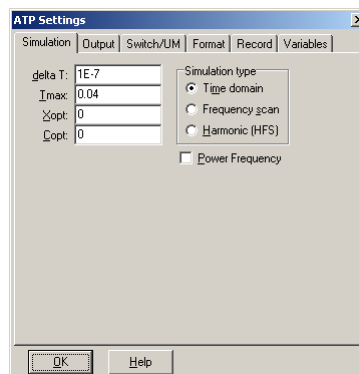


Obr. 6 Nastavenie parametrov uzlov

Pre simuláciu prechodného deja sa musia nastaviť podmienky simulácie voľbou **ATP Settings** a záložka **Simulation** (obr. 7). Maximálny počet krokov výpočtu je obmedzený na 1 milión, preto je potrebné prispôbiť tomuto obmedzeniu aj čas výpočtu a najmenší krok výpočtu. Zadá sa krok výpočtu napr. **delta T** 1E-7 s a doba výpočtu **T max** 0.04 s (pre určenie fázového posunu napätia alebo prúdu postačuje aj 1 perióda, t.j. 20 ms) (obr. 8).



Obr. 7 ATP – Settings



Obr. 8 Dialógové okno Settings – Simulation

Pričom pre voliteľné hodnoty X_{opt} a C_{opt} platí:

Pre X_{opt} :

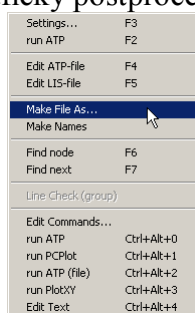
- hodnota induktora bude charakterizovaná indukčnosťou (mH), pokiaľ bude $X_{opt} = 0$,
- hodnota induktora bude charakterizovaná reaktanciou (Ω), pokiaľ bude $X_{opt} = \text{sieťovej frekvencii}$.

Pre C_{opt} :

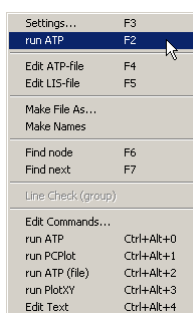
- hodnota kapacitora bude charakterizovaná kapacitou (μF), pokiaľ bude $C_{opt} = 0$,
- hodnota kapacitora bude charakterizovaná susceptanciou (μS), pokiaľ bude $C_{opt} = \text{sieťovej frekvencii}$.

Takto vytvorená schéma sa uloží príkazom CTRL-S so zvoleným názvom, napr. príklad5. Vznikne súbor s príponou *.adp, ktorý sa nachádza v podadresári **Project** preprocesora ATPDraw. Je vhodné, používať názvy súborov bez diakritiky, zakázané je používať v názve súboru medzery a je dobré obmedziť dĺžku názvu súboru na max. 8 znakov.

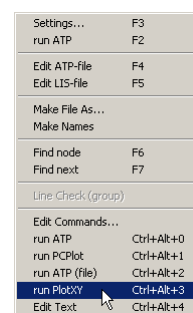
Príkazom **Make File As...** v hornom menu **ATP** sa vytvorí v podadresári ATP dátový súbor pre ATP s rovnakým názvom s príponou *.atp (t.j. príklad5.atp) (obr. 9). Príkazom **run ATP** v hornom menu **ATP** sa spustí výpočet v programe ATP, ktorého výsledkom sú súbory s príponou *.lis a *.pl4 (obr. 10). Súbor *.lis je výstupný dátový súbor a rovnako ako súbor *.atp dajú sa prezerat' z prostredia ATPDraw voľbou **ATP Edit**. Súbory s príponou *.pl4 sú komprimované grafické dáta, ktoré je možné prezerat' niektorým z grafických postprocesorov, ako napríklad PlotXY. V prostredí ATPDraw sa voľbou **run PlotXY** z horného menu **ATP** spustí grafický postprocesor (obr. 11).



Obr. 9 ATP – Make File...

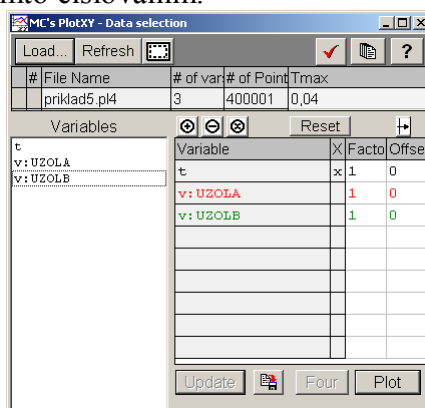


Obr. 10 ATP – Run ATP



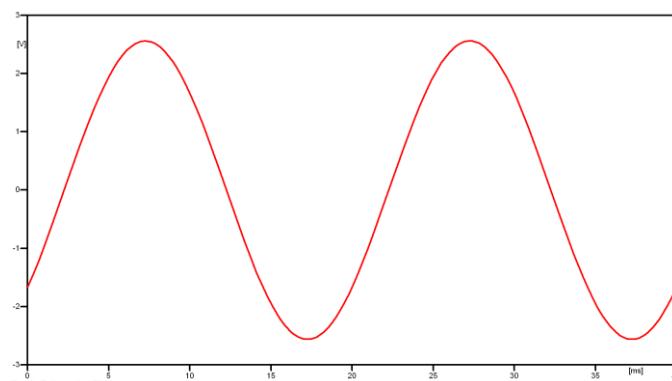
Obr. 11 ATP – run PlotXY

V grafickom postprocesore je s označením **v: UZOLA** – uvedený požadovaný priebeh napätia $u_{2,a}$ (t.j. napätie medzi uzlom UZOLA a zemou; zem nemá v ATPDraw značenie) **v: UZOLB** – priebeh napätia $u_{2,b}$ (t.j. napätie medzi uzlom UZOLB a zemou). Stlačením ľavého tlačidla myši sa dané priebehy označia pre zobrazenie a stlačením tlačidla **Plot** sa následne zobrazia. **Poznámka:** čísla uzlov môžu byť odlišné, v závislosti od zapojenia obvodu a nemusia korešpondovať s týmto číslovaním.



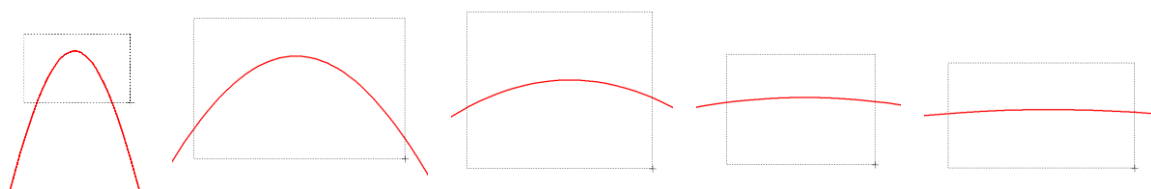
Obr. 12 Dialógové okno podprogramu PlotXY pre vykreslenie priebehov

Aby sa jednotlivé priebehy neprekrývali, najprv zobrazíme a odčítame hodnoty napätia medzi uzlom UZOLA a zemou (obr. 13).



Obr. 13 Zobrazenie priebehu napätia $u_{2,a}$

Pre odčítanie maximálnej hodnoty napätia postačuje odčítať hodnotu vrcholovej hodnoty pri ľubovoľnom maxime (obr. 14). Pre zvýšenie presnosti odčítania je potrebné vykonať dostatočný počet zväčšení danej oblasti.

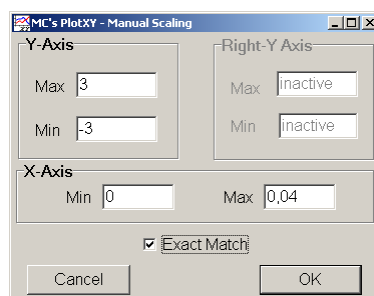


Obr. 14 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

Pre presné vymedzenie hraníc zobrazenia daného priebehu je možné využiť v spodnom menu tlačidiel okna PlotXY tlačidlo Manual Scale (tretie zľava) (obr. 15) a následne v okne Manual Scaling zadať minimálne a maximálne hranice x -ovej a y -ovej osi pre zobrazenie priebehov.



Obr. 15 Tlačidlo Manual Scale

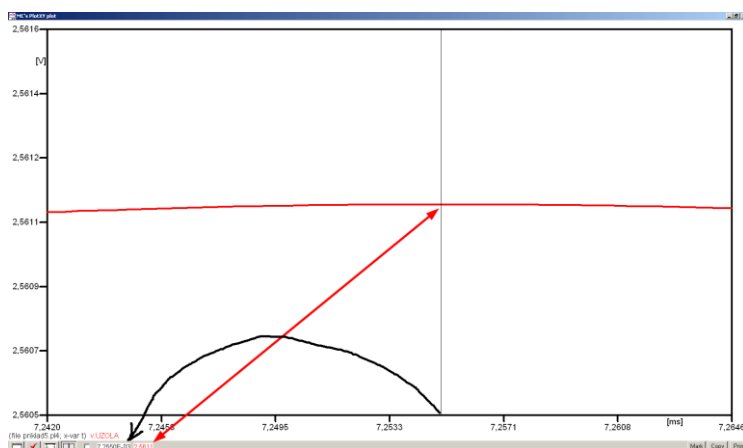


Obr. 16 Okno Manual Scaling

Nasledovným postupom vykonáme trasovanie po priebehu. V spodnom menu tlačidiel okna PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor (štvrté zľava) (obr. 17) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde.



Obr. 17 Tlačidlo Show Cursor



Obr. 18 Miesto odčítania maximálnej hodnoty

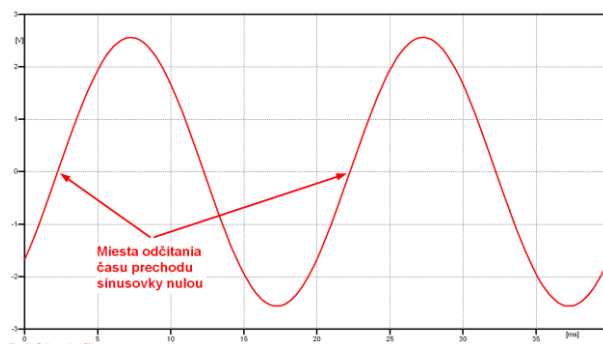
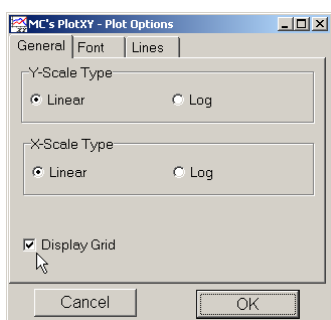
Z tohto priebehu je vidieť, že maximálna hodnota napätia je 2,5611 V. Čo sa týka fázového natočenia φ , tak je možné ho vypočítať rôznymi spôsobmi.

Jednou z metód výpočtu fázového natočenia je z času dosiahnutia *prvého maxima sinusovky* daného priebehu. Odčítaním z obr. 18 by tento výpočet mal nasledovný zápis:

$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t - \frac{T}{4}}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{7,255 \cdot 10^{-3} - \frac{0,02}{4}}{0,02} \cdot 360^\circ \cong 319,41^\circ$$

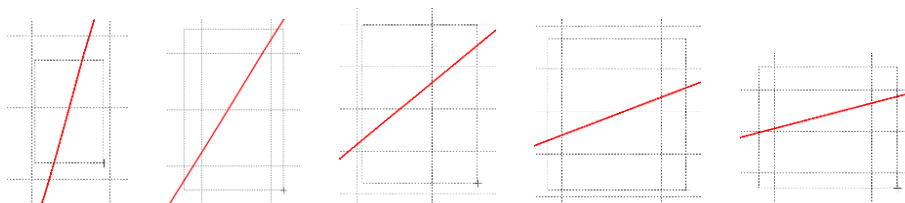
Kde φ je fázové natočenie, n je poradie periódy, t čas dosiahnutia prvého maxima sinusovky, T perióda $T = \frac{1}{f}$.

Ďalšou z metód určenia fázového natočenia φ , je z času priesečníka začiatku sinusovky s osou x . Predtým je ale vhodné, pre rýchlejšie odčítanie hodnôt, nastaviť raster nasledovne. V dolnom menu okna PlotXY sa po stlačení tlačidla **Customize plot** (druhé zľava na obr. 17) vyvolá nové okno **Plot options**, kde sa odškrtnie nastavenie mriežky v položke **Display Grid** a následne sa potvrdí tlačidlom **OK**.



Obr. 19 Nastavenie mriežky v okne Plot Options a Miesta odčítania času prechodu nulou

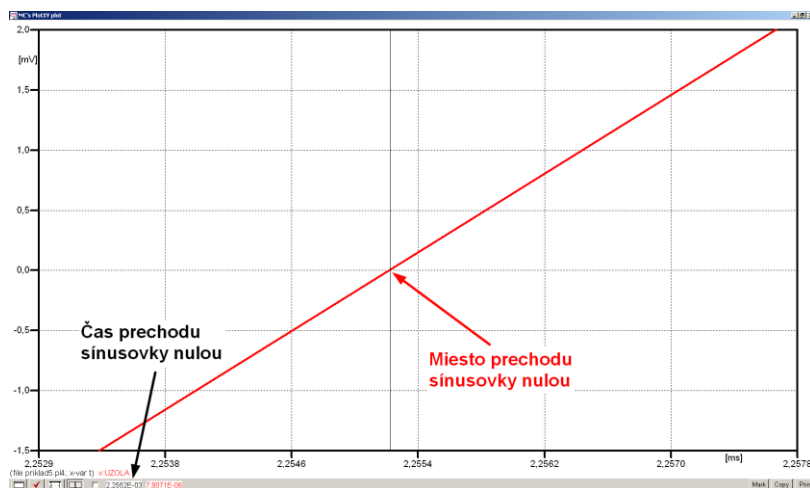
Oblasť v okolí *prechodu počiatku sinusovky nulou* dostatočne zväčšíme podobne, ako to bolo v predchádzajúcom prípade (obr. 14).



Obr. 20 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

Nasledovným postupom vykonáme trasovanie po priebehu. V spodnom menu tlačidiel okna PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor (štvrté zľava) (obr. 17) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde.

V dolnom menu okna PlotXY sú zobrazené hodnoty v mieste, kde sa nachádza trasovací kurzor (čas – čiernou farbou; $t = 2,2552 \cdot 10^{-3}$ s a amplitúda – červenou farbou; $u_2 = 7,8071 \cdot 10^{-6}$ V).



Obr. 21 Odčítanie času prechodu sínusovky nulou

Z času prechodu počiatku sínusovky nulou je možné vyčísliť fázové natočenie podľa vzťahu:

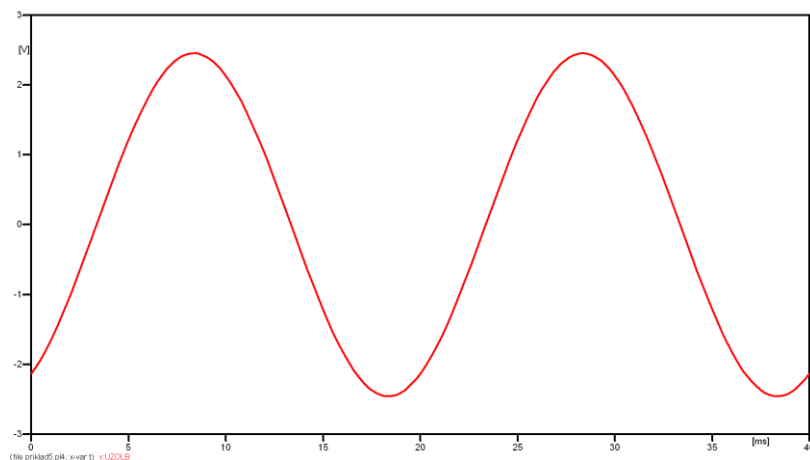
$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{2,2552 \cdot 10^{-3}}{0,02} \cdot 360^\circ = 319,41^\circ$$

Z obidvoch metód určenia fázového natočenia je vidieť dostatočnú zhodu φ .

Výsledný zápis napätia medzi uzlom UZOLA a zemou je: $u_{2,a}) = 2,5611 \cdot e^{j319,4^\circ}$ V

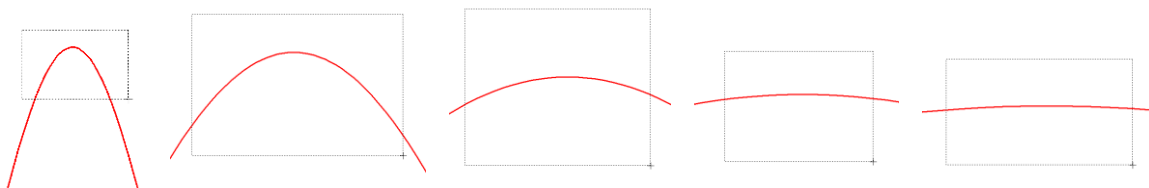
Podobne sa postupuje v prípade b).

Zobrazenie a odčítanie hodnôt napätia medzi uzlom UZOLB a zemou sa uskutoční z obr. 22.



Obr. 22 Zobrazenie priebehu napätia $u_{2,b}$)

Pre odčítanie maximálnej hodnoty napätia postačuje odčítať hodnotu vrcholovej hodnoty pri ľubovoľnom maxime. Pre zvýšenie presnosti odčítania je potrebné vykonať dostatočný počet zväčšení danej oblasti (obr. 23).

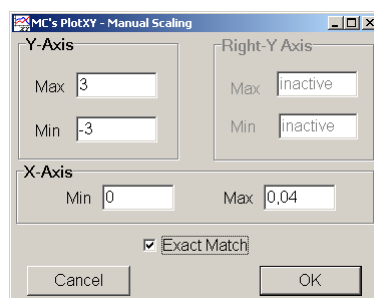


Obr. 23 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

Pre presné vymedzenie hraníc zobrazenia daného priebehu je možné využiť v spodnom menu tlačidiel okna PlotXY tlačidlo Manual Scale (tretie zľava) (obr. 24) a následne v okne Manual Scaling zadať minimálne a maximálne hranice x-ovej a y-ovej osi pre zobrazenie priebehov.



Obr. 24 Tlačidlo Manual Scale

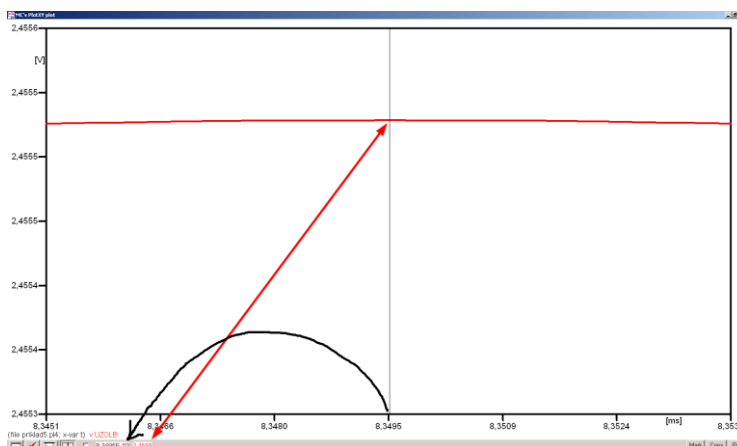


Obr. 25 Okno Manual Scaling

Nasledovným postupom vykonáme trasovanie po priebehu. V spodnom menu tlačidiel okna PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor (štvrté zľava) (obr. 26) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde.



Obr. 26 Tlačidlo Show Cursor



Obr. 27 Miesto odčítania maximálnej hodnoty

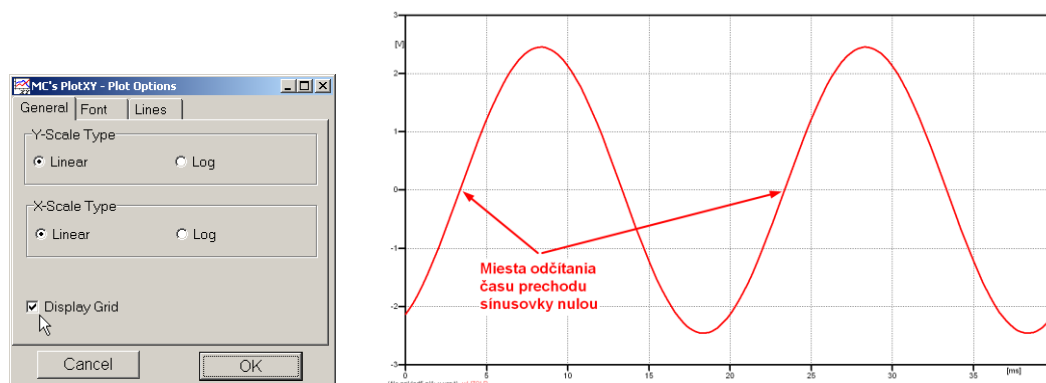
Z tohto priebehu je vidieť, že maximálna hodnota napätia je 2,4555 V. Čo sa týka fázového natočenia φ , tak je možné ho vypočítať podobne ako v prípade a).

Jednou z metód výpočtu fázového natočenia je z času dosiahnutia *prvého maxima sinusovky* daného priebehu. Odčítaním z obr. 27 by tento výpočet mal nasledovný zápis:

$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t - \frac{T}{4}}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{8,3495 \cdot 10^{-3} - 0,02}{0,02} \cdot 360^\circ \cong 299,71^\circ$$

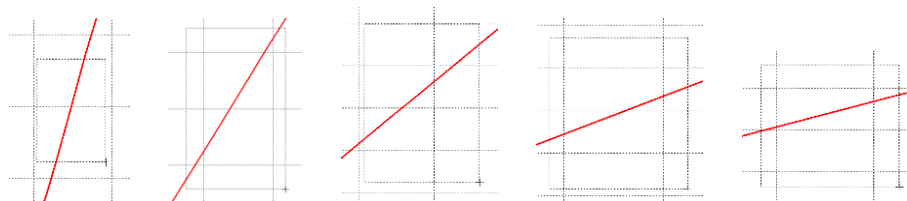
Kde φ je fázové natočenie, n je poradie periódy, t čas dosiahnutia prvého maxima sinusovky, T perióda $T = \frac{1}{f}$.

Ďalšou z metód určenia fázového natočenia φ , je z času *priesečníka počiatku sinusovky s osou x*. Predtým je ale vhodné, pre rýchlejšie odčítanie hodnôt, nastaviť raster nasledovne. V dolnom menu okna PlotXY sa po stlačení tlačidla **Customize plot** (druhé zľava na obr. 26) vyvolá nové okno **Plot options**, kde sa odškrtnie nastavenie mriežky v položke **Display Grid** a následne sa potvrdí tlačidlom **OK**.



Obr. 28 Nastavenie mriežky v okne Plot Options a Miesta odčítania času prechodu priebehu napätia nulou

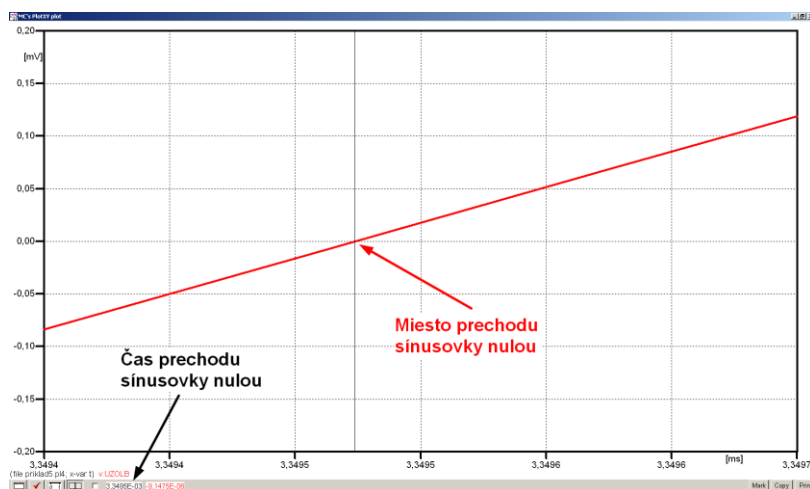
Oblasť v okolí *prechodu počiatku sinusovky nulou* dostatočne zväčšíme podobne, ako to bolo v predchádzajúcom prípade (obr. 23).



Obr. 29 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

Nasledovným postupom vykonáme trasovanie po priebehu. V spodnom menu tlačidiel okna PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor (štvrté zľava) (obr. 26) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde.

V dolnom menu okna PlotXY sú zobrazené hodnoty v mieste, kde sa nachádza trasovací kurzor (čas – čiernou farbou; $t = 3,3495 \cdot 10^{-3}$ s a amplitúda – červenou farbou; $u_2 = -9,1475 \cdot 10^{-6}$ V).



Obr. 30 Odčítanie času prechodu sínusovky nulou

Z času prechodu počiatku sínusovky nulou je možné vyčísliť fázové natočenie podľa vzťahu:

$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{3,3495 \cdot 10^{-3}}{0,02} \cdot 360^\circ \approx 299,71^\circ$$

Z obidvoch výrazov je vidieť dostatočnú zhodu φ .

Výsledný zápis napätia medzi uzlom UZOLB a zemou je: $u_{2,b)} = 2,4555 \cdot e^{j299,7^\circ}$ V.

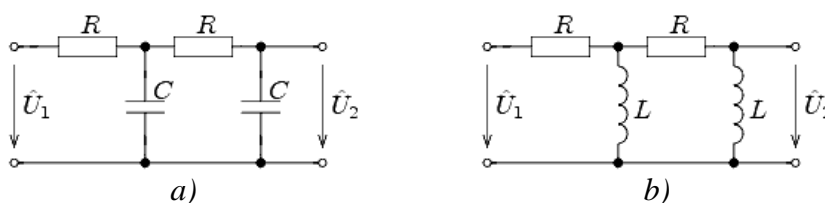
Výsledky:

a) $u_{2,a)} = 2,5611 \cdot e^{j319,4^\circ}$ V

b) $u_{2,b)} = 2,4555 \cdot e^{j299,7^\circ}$ V

Príklad 6

Podľa schémy zapojenia na obr. 1a a obr. 1b určte prostredníctvom programu ATPDraw neznáme napätie u_2 v tvare: $u_2(t) = U_{2\max} \cdot \sin(j \cdot \omega \cdot t + \varphi)$ alebo $u_2(t) = U_{2\max} \cdot e^{j\varphi}$, ak viete, že: $R = 1 \text{ k}\Omega$, $L = 1,041 \text{ H}$, $C = 124 \text{ }\mu\text{F}$, $U_{\max} = 100 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $\varphi = 1/4 \cdot \pi$.



Obr. 1 Schémy zapojenia elektrického obvodu

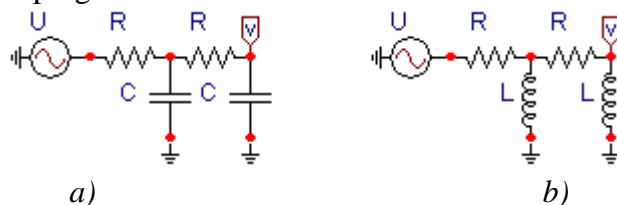
Riešenie

V ATPDraw sa vytvoria schémy zapojenia podľa obr. 2a a obr. 2b.

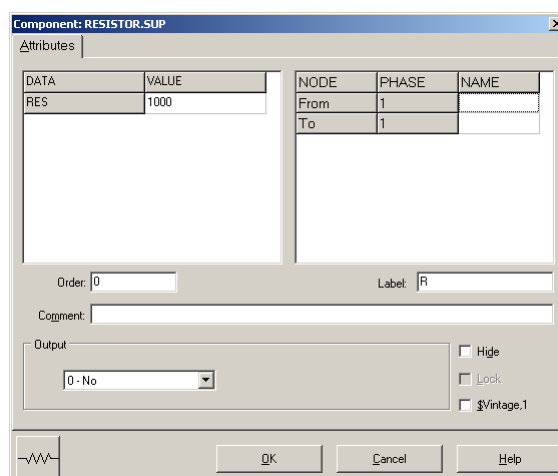
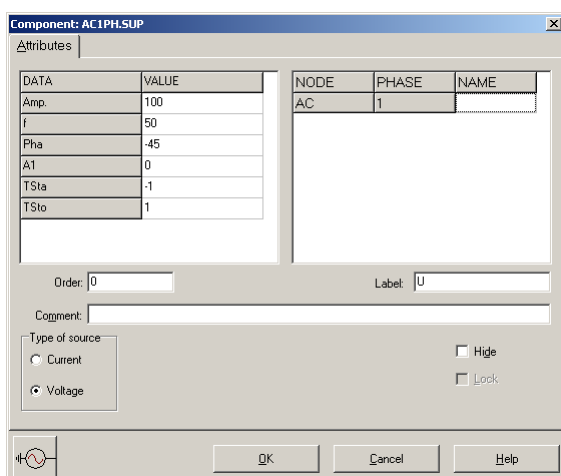
Na napät'ovom zdroji U sa nastaví maximálna hodnota napätia zdroja v položke **Amp** 100. V položke **Tsta** sa nastaví hodnota -1 a **Tsto** hodnota 1, čo má za následok stály napät'ový zdroj počas doby 1 sekundy. V položke **Type of source** sa ponechá voľba **Voltage**. Fázové natočenie sa zadá v položke **Pha** -45 (pretože implicitné nastavenie napät'ového zdroja predpokladá kosínusový zdroj, t.j. $\varphi - 90^\circ = 1/4 \cdot \pi - 90^\circ = 45^\circ - 90^\circ = -45^\circ$) a frekvenciu v položke **f** 50. Pri rezistore bude do **RES** zapísaná hodnota 1000 (obr. 3).

Na modeli prvku cievky bude do kolónky **L** zadaná hodnota 1041 (predvolené nastavenie je v mH (mili henry), nie v henry). Na modeli prvku kondenzátora bude do kolónky **C** zadaná hodnota 124 (predvolené nastavenie je v μF (mikro farad), nie vo faradoch) (obr.4).

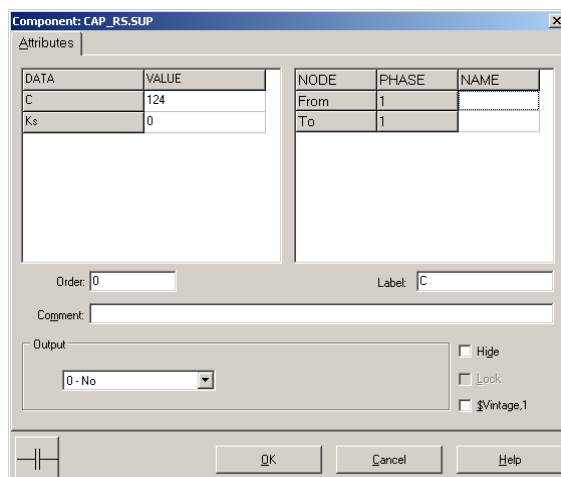
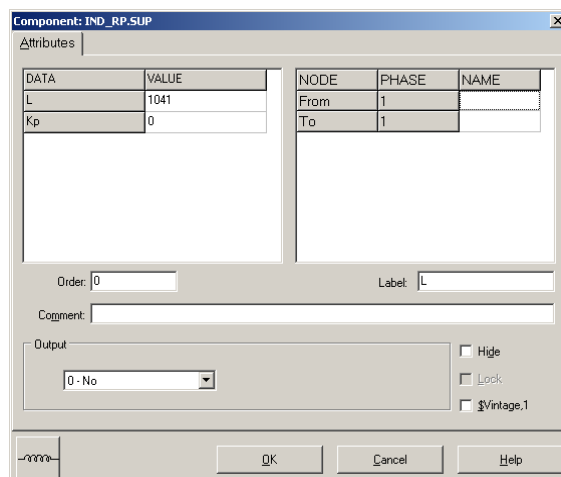
Ostatné hodnoty je možné ponechať nezmenené. Bližšie vysvetlenie ich významu sa zobrazí po stlačení tlačidla „help“ v aktuálnom okne prvku. Podrobnejší návod je obsiahnutý v literatúre Rule Book k programu EMTP-ATP.



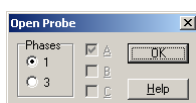
Obr. 2 Schémy zapojenia elektrického obvodu



Obr. 3 Nastavenie parametrov pre napäťový zdroj U a rezistora R



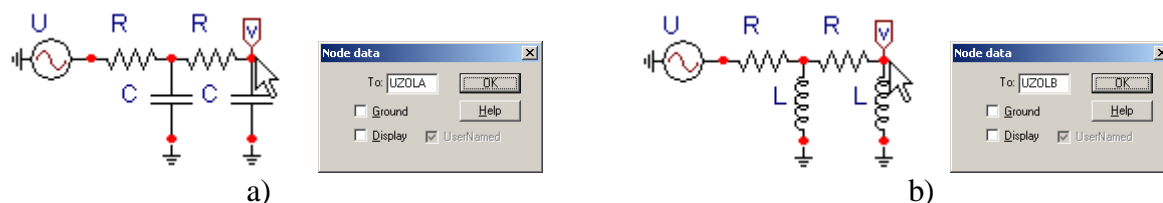
Obr. 4 Nastavenie parametrov cievky L a kondenzátora C



Obr. 5 Nastavenie parametrov voltmetra

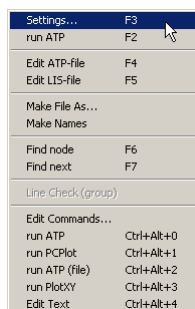
Aby bolo možné ľahšie odčítať hodnoty z grafického postprocesora PlotXY, je potrebné pomenovať významné uzly v schéme. Stlačením pravého tlačidla myšky pri uzle sa zobrazí menu uzla, kde v kolónke **To:** sa zadá názov uzla veľkými písmenami, napr. UZOLA

(obr. 6a). Podobne nastavíme názov uzla v prípade b) na UZOLB (obr. 6b). Po stlačení tlačidla **OK** bude farba pomenovaného uzla čierna.

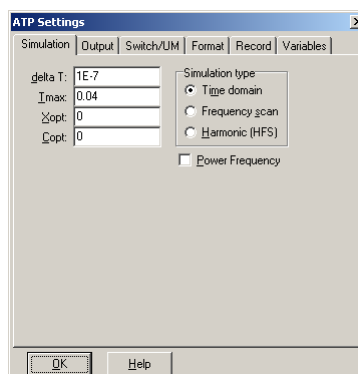


Obr. 6 Nastavenie parametrov uzlov

Pre simuláciu prechodného deja sa musia nastaviť podmienky simulácie voľbou **ATP Settings** a záložka **Simulation** (obr. 7). Maximálny počet krokov výpočtu je obmedzený na 1 milión, preto je potrebné prispôbiť tomuto obmedzeniu aj čas výpočtu a najmenší krok výpočtu. Zadá sa krok výpočtu napr. **delta T** $1E-7$ s a doba výpočtu **T max** 0.04 s (pre určenie fázového posunu napätia alebo prúdu postačuje aj 1 perióda, t.j. 20 ms) (obr.8).



Obr. 7 ATP – Settings



Obr. 8 Dialógové okno Settings – Simulation

Pričom pre voliteľné hodnoty X_{opt} a C_{opt} platí:

Pre X_{opt} :

- hodnota induktora bude charakterizovaná indukčnosťou (mH), pokiaľ bude $X_{opt} = 0$,
- hodnota induktora bude charakterizovaná reaktanciou (Ω), pokiaľ bude X_{opt} = sieťovej frekvencii.

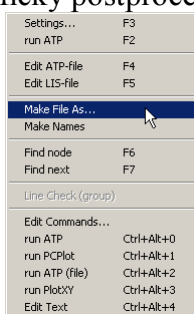
Pre C_{opt} :

- hodnota kapacitora bude charakterizovaná kapacitou (μF), pokiaľ bude $C_{opt} = 0$,
- hodnota kapacitora bude charakterizovaná susceptanciou (μS), pokiaľ bude C_{opt} = sieťovej frekvencii.

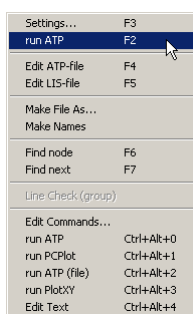
Takto vytvorená schéma sa uloží príkazom CTRL-S so zvoleným názvom, napr. príklad6. Vznikne súbor s príponou *.adp, ktorý sa nachádza v podadresári **Project** preprocesora ATPDraw. Je vhodné, používať názvy súborov bez diakritiky, zakázané je používať v názve súboru medzery a je dobré obmedziť dĺžku názvu súboru na max. 8 znakov.

Príkazom **Make File As...** v hornom menu **ATP** sa vytvorí v podadresári ATP dátový súbor pre ATP s rovnakým názvom s príponou *.atp (t.j. príklad6.atp) (obr. 9). Príkazom **run ATP** v hornom menu **ATP** sa spustí výpočet v programe ATP, ktorého výsledkom sú súbory s príponou *.lis a *.pl4 (obr. 10). Súbor *.lis je výstupný dátový súbor a rovnako ako súbor *.atp dajú sa prezerat' z prostredia ATPDraw voľbou **ATP Edit**. Súbory s príponou *.pl4 sú komprimované grafické dáta, ktoré je možné prezerat' niektorým z grafických postprocesorov,

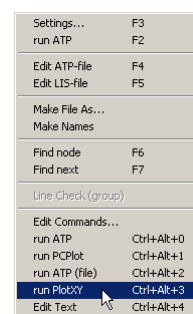
ako napríklad PlotXY. V prostredí ATPDraw sa voľbou **run PlotXY** z horného menu **ATP** spustí grafický postprocesor (obr. 11).



Obr. 9 ATP – Make File...

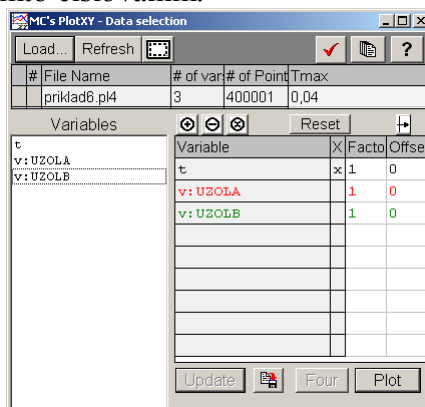


Obr. 10 ATP – Run ATP



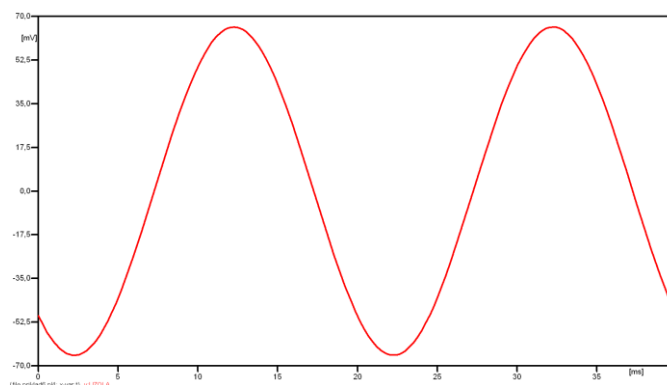
Obr. 11 ATP – run PlotXY

V grafickom postprocesore je s označením **v: UZOLA** – uvedený požadovaný priebeh napätia $u_{2,a}$ (t.j. napätie medzi uzlom UZOLA a zemou; zem nemá v ATPDraw značenie) **v: UZOLB** – priebeh napätia $u_{2,b}$ (t.j. napätie medzi uzlom UZOLB a zemou). Stlačením ľavého tlačidla myši sa dané priebehy označia pre zobrazenie a stlačením tlačidla **Plot** sa následne zobrazia. **Poznámka:** čísla uzlov môžu byť odlišné, v závislosti od zapojenia obvodu a nemusia korešpondovať s týmto číslovaním.

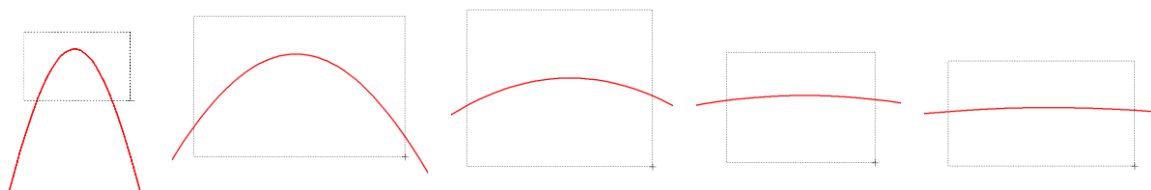


Obr. 12 Dialógové okno podprogramu PlotXY pre vykreslenie priebehov

Aby sa jednotlivé priebehy neprekrývali, najprv zobrazíme a odčítame hodnoty napätia medzi uzlom UZOLA a zemou (obr. 13).

Obr. 13 Zobrazenie priebehu napätia $u_{2,a}$

Pre odčítanie maximálnej hodnoty napätia postačuje odčítať hodnotu vrcholovej hodnoty pri ľubovoľnom maxime (obr. 14). Pre zvýšenie presnosti odčítania je potrebné vykonať dostatočný počet zväčšení danej oblasti.

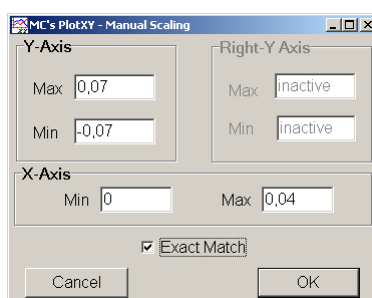


Obr. 14 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

Pre presné vymedzenie hraníc zobrazenia daného priebehu je možné využiť v spodnom menu tlačidiel okna PlotXY tlačidlo Manual Scale (tretie zľava) (obr. 15) a následne v okne Manual Scaling zadať minimálne a maximálne hranice x -ovej a y -ovej osi pre zobrazenie priebehov.



Obr. 15 Tlačidlo Manual Scale

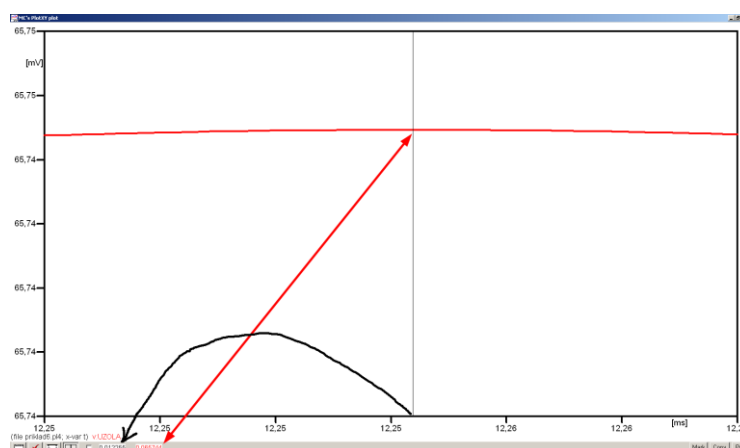


Obr. 16 Okno Manual Scaling

Nasledovným postupom vykonáme trasovanie po priebehu. V spodnom menu tlačidiel okna PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor (štvrté zľava) (obr. 17) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde.



Obr. 17 Tlačidlo Show Cursor



Obr. 18 Miesto odčítania maximálnej hodnoty

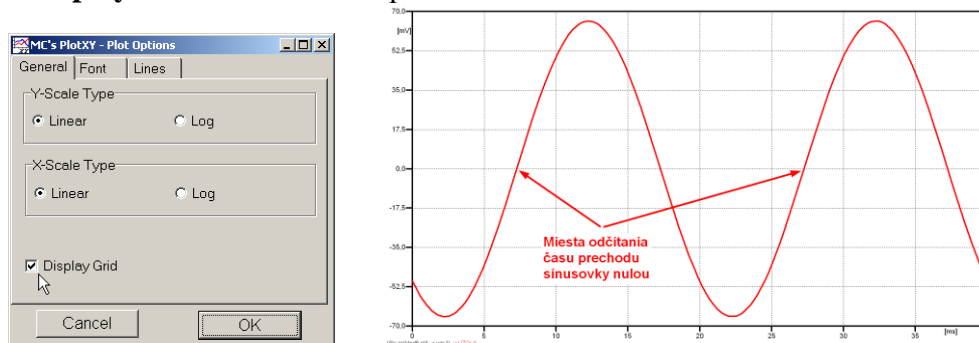
Z tohto priebehu je vidieť, že maximálna hodnota napätia je 0,065744 V. Čo sa týka fázového natočenia φ , tak je možné ho vypočítať rôznymi spôsobmi.

Jednou z metód výpočtu fázového natočenia je z času dosiahnutia *prvého maxima sínusovky* daného priebehu. Odčítaním z obr. 18 by tento výpočet mal nasledovný zápis:

$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t - \frac{T}{4}}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{0,012255 - \frac{0,02}{4}}{0,02} \cdot 360^\circ \cong 229,41^\circ$$

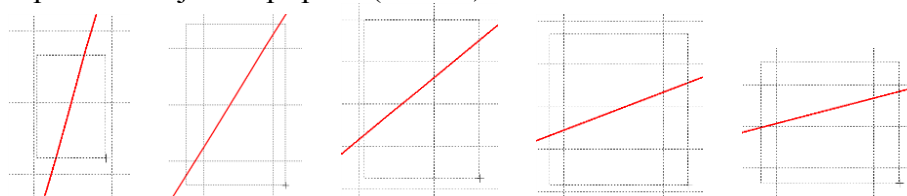
Kde φ je fázové natočenie, n je poradie periódy, t čas dosiahnutia prvého maxima sínusovky, T perióda $T = \frac{1}{f}$.

Ďalšou z metód určenia fázového natočenia φ , je z času priesečníka začiatku sínusovky s osou x . Predtým je ale vhodné, pre rýchlejšie odčítanie hodnôt, nastaviť raster nasledovne. V dolnom menu okna PlotXY sa po stlačení tlačidla **Customize plot** (druhé zľava na obr. 17) vyvolá nové okno **Plot options**, kde sa odškrtnie nastavenie mriežky v položke **Display Grid** a následne sa potvrdí tlačidlom **OK**.



Obr. 19 Nastavenie mriežky v okne Plot Options a Miesta odčítania času prechodu nulou

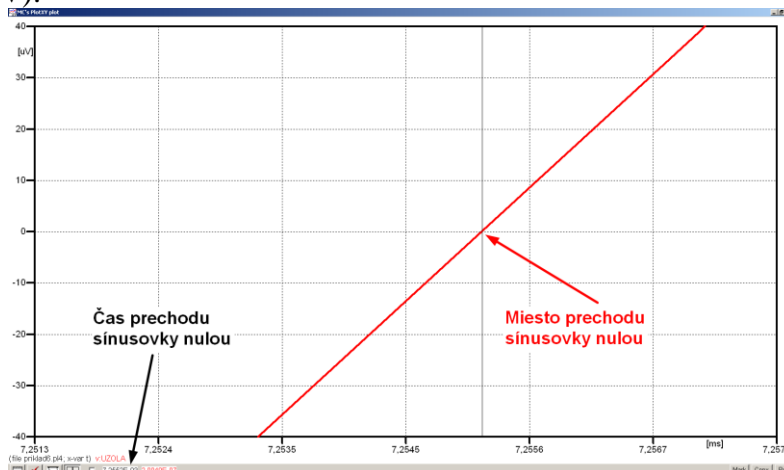
Oblasť v okolí *prechodu počiatku sínusovky nulou* dostatočne zväčšíme podobne, ako to bolo v predchádzajúcom prípade (obr. 14).



Obr. 20 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

Nasledovným postupom vykonáme trasovanie po priebehu. V spodnom menu tlačidiel okna PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor (štvrté zľava) (obr. 17) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde.

V dolnom menu okna PlotXY sú zobrazené hodnoty v mieste, kde sa nachádza trasovací kurzor (čas – čiernou farbou; $t = 7,2552 \cdot 10^{-3}$ s a amplitúda – červenou farbou; $u_2 = 2,004 \cdot 10^{-7}$ V).



Obr. 21 Odčítanie času prechodu sínusovky nulou

Z času prechodu počiatku sínusovky nulou je možné vyčísliť fázové natočenie podľa vzťahu:

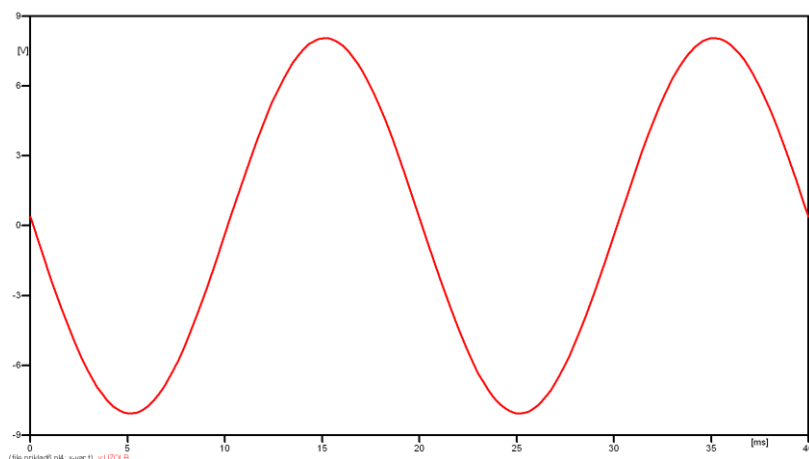
$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{7,2552 \cdot 10^{-3}}{0,02} \cdot 360^\circ = 229,41^\circ$$

Z obidvoch metód určenia fázového natočenia je vidieť dostatočnú zhodu φ .

Výsledný zápis napätia medzi uzlom UZOLA a zemou je: $u_{2,a)} = 0,06574 \cdot e^{j229,41^\circ} \text{ V}$

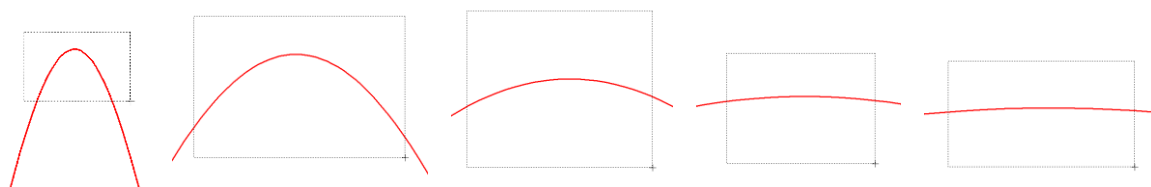
Podobne sa postupuje v prípade b).

Zobrazenie a odčítanie hodnôt napätia medzi uzlom UZOLB a zemou sa uskutoční z obr. 22.



Obr. 22 Zobrazenie priebehu napätia $u_{2,b)}$

Pre odčítanie maximálnej hodnoty napätia postačuje odčítať hodnotu vrcholovej hodnoty pri ľubovoľnom maxime. Pre zvýšenie presnosti odčítania je potrebné vykonať dostatočný počet zväčšení danej oblasti (obr. 23).

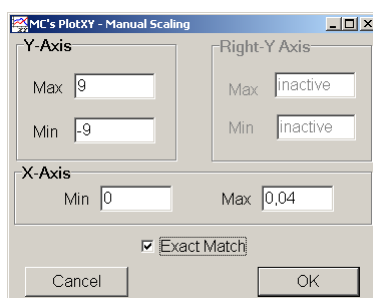


Obr. 23 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

Pre presné vymedzenie hraníc zobrazenia daného priebehu je možné využiť v spodnom menu tlačidiel okna PlotXY tlačidlo Manual Scale (tretie zľava) (obr. 24) a následne v okne Manual Scaling zadať minimálne a maximálne hranice x -ovej a y -ovej osi pre zobrazenie priebehov.



Obr. 24 Tlačidlo Manual Scale

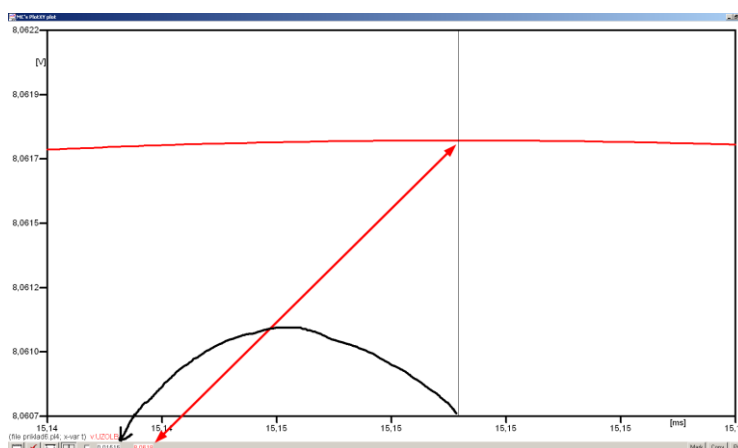


Obr. 25 Okno Manual Scaling

Nasledovným postupom vykonáme trasovanie po priebehu. V spodnom menu tlačidiel okna PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor (štvrté zľava) (obr. 26) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde.



Obr. 26 Tlačidlo Show Cursor



Obr. 27 Miesto odčítania maximálnej hodnoty

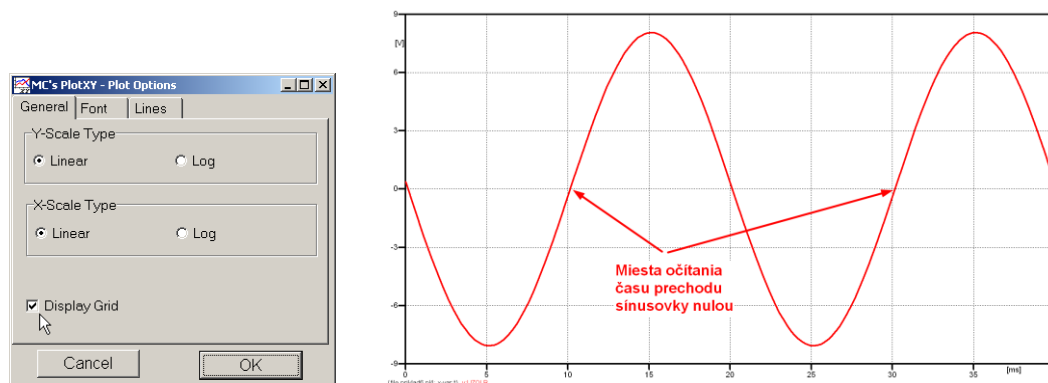
Z tohto priebehu je vidieť, že maximálna hodnota napätia je 8,0618 V. Čo sa týka fázového natočenia φ , tak je možné ho vypočítať podobne ako v prípade a).

Jednou z metód výpočtu fázového natočenia je z času dosiahnutia *prvého maxima sinusovky* daného priebehu. Odčítaním z obr. 27 by tento výpočet mal nasledovný zápis:

$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t - \frac{T}{4}}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{0,01515 - \frac{0,02}{4}}{0,02} \cdot 360^\circ \cong 177,3^\circ$$

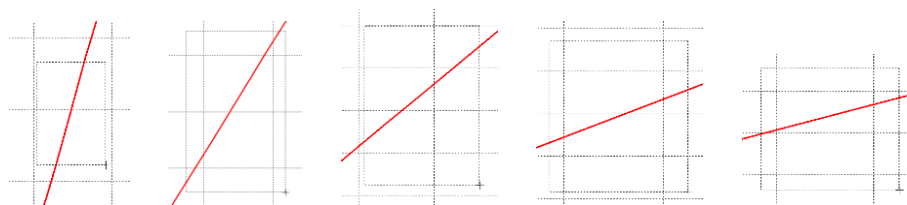
Kde φ je fázové natočenie, n je poradie periódy, t čas dosiahnutia prvého maxima sinusovky, T perióda $T = \frac{1}{f}$.

Ďalšou z metód určenia fázového natočenia φ , je z času *priesečníka počiatku sinusovky s osou x*. Predtým je ale vhodné, pre rýchlejšie odčítanie hodnôt, nastaviť raster nasledovne. V dolnom menu okna PlotXY sa po stlačení tlačidla **Customize plot** (druhé zľava na obr. 26) vyvolá nové okno **Plot options**, kde sa odškrtnie nastavenie mriežky v položke **Display Grid** a následne sa potvrdí tlačidlom **OK**.



Obr. 28 Nastavenie mriežky v okne Plot Options a Miesta odčítania času prechodu priebehu napätia nulou

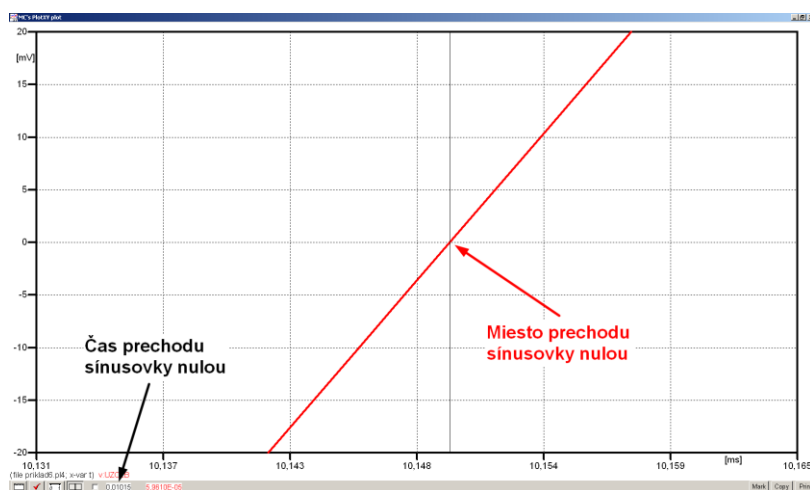
Oblasť v okolí *prechodu počiatku sinusovky nulou* dostatočne zväčšíme podobne, ako to bolo v predchádzajúcom prípade (obr. 23).



Obr. 29 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

Nasledovným postupom vykonáme trasovanie po priebehu. V spodnom menu tlačidiel okna PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor (štvrté zľava) (obr. 26) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde.

V dolnom menu okna PlotXY sú zobrazené hodnoty v mieste, kde sa nachádza trasovací kurzor (čas – čiernou farbou; $t = 0,01015$ s a amplitúda – červenou farbou; $u_2 = 5,961 \cdot 10^{-5}$ V).



Obr. 30 Odčítanie času prechodu sinusovky nulou

Z času prechodu počiatku sinusovky nulou je možné vypočítať fázové natočenie podľa vzťahu:

$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t}{T} \cdot 360^\circ = 360 \cdot 1 - \frac{0,01015}{0,02} \cdot 360^\circ \cong 177,3^\circ$$

Z oboch výrazov je vidieť dostatočnú zhodu φ .

Výsledný zápis napätia medzi uzlom UZOLB a zemou je: $u_{2,b)} = 8,0618 \cdot e^{j177,3^\circ} \text{ V}$.

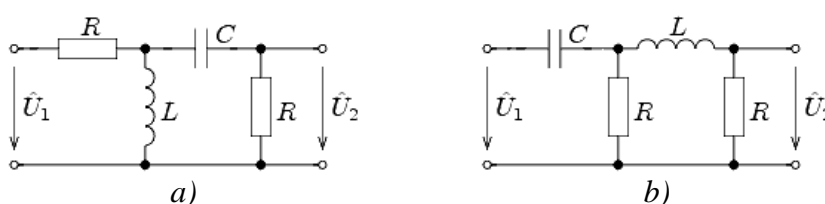
Výsledky:

a) $u_{2,a)} = 0,06574 \cdot e^{j229,4^\circ} \text{ V}$

b) $u_{2,b)} = 8,0618 \cdot e^{j177,3^\circ} \text{ V}$

Príklad 7

Podľa schémy zapojenia na obr. 1a a obr. 1b určte prostredníctvom programu ATPDraw neznáme napätie u_2 v tvare: $u_2(t) = U_{2\max} \cdot \sin(j \cdot \omega \cdot t + \varphi)$ alebo $u_2(t) = U_{2\max} \cdot e^{j\varphi}$, ak viete, že: $R = 1 \text{ k}\Omega$, $L = 1,041 \text{ H}$, $C = 124 \text{ }\mu\text{F}$, $U_{\max} = 100 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $\varphi = 1/6 \cdot \pi$.



Obr. 1 Schémy zapojenia elektrického obvodu

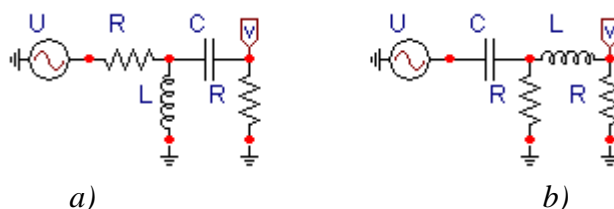
Riešenie

V ATPDraw sa vytvoria schémy zapojenia podľa obr. 2a a obr. 2b.

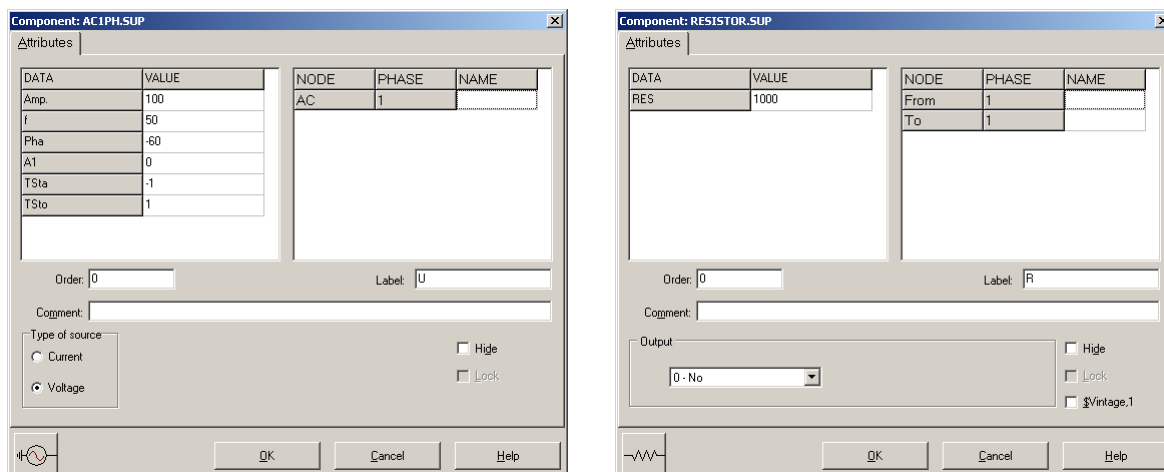
Na napätovom zdroji U sa nastaví maximálna hodnota napätia zdroja v položke **Amp** 100. V položke **Tsta** sa nastaví hodnota -1 a **Tsto** hodnota 1 , čo má za následok stály napätový zdroj počas doby 1 sekundy. V položke **Type of source** sa ponechá voľba **Voltage**. Fázové natočenie sa zadá v položke **Pha** -60 (pretože implicitné nastavenie napätového zdroja predpokladá kosínusový zdroj, t.j. $\varphi - 90^\circ = 1/6 \cdot \pi - 90^\circ = 30^\circ - 90^\circ = -60^\circ$) a frekvenciu v položke **f** 50. Pri rezistore bude do **RES** zapísaná hodnota 1000 (obr. 3).

Na modeli prvku cievky bude do kolónky **L** zadaná hodnota 1041 (predvolené nastavenie je v mH (mili henry), nie v henry). Na modeli prvku kondenzátora bude do kolónky **C** zadaná hodnota 124 (predvolené nastavenie je v μF (mikro farad), nie vo faradoch) (obr.4).

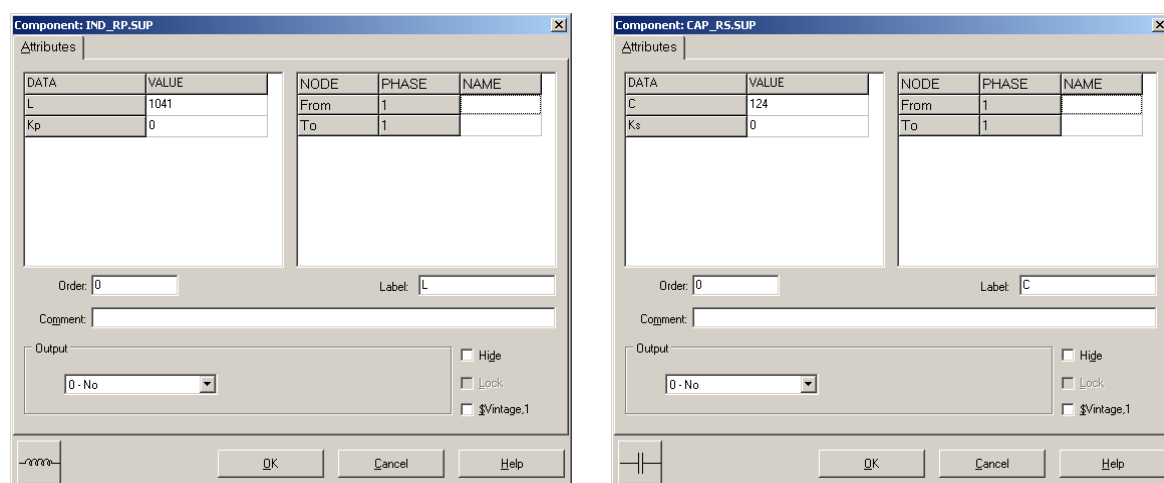
Ostatné hodnoty je možné ponechať nezmenené. Bližšie vysvetlenie ich významu sa zobrazí po stlačení tlačidla „help“ v aktuálnom okne prvku. Podrobnejší návod je obsiahnutý v literatúre Rule Book k programu EMTP-ATP.



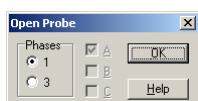
Obr. 2 Schémy zapojenia elektrického obvodu



Obr. 3 Nastavenie parametrov pre napätový zdroj U a rezistora R

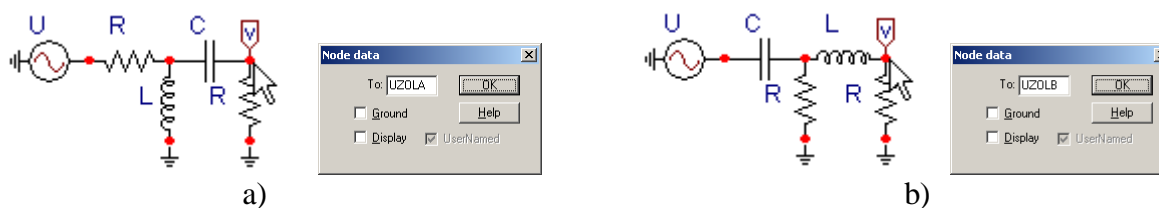


Obr. 4 Nastavenie parametrov cievky L a kondenzátora C



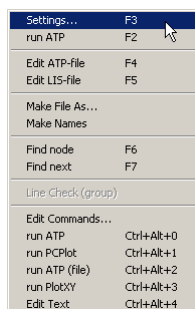
Obr. 5 Nastavenie parametrov voltmetra

Aby bolo možné ľahšie odčítať hodnoty z grafického postprocesora PlotXY, je potrebné pomenovať významné uzly v schéme. Stlačením pravého tlačidla myšky pri uzle sa zobrazí menu uzla, kde v kolónke **To:** sa zadá názov uzla veľkými písmenami, napr. UZOLA (obr. 6a). Podobne nastavíme názov uzla v prípade b) na UZOLB (obr. 6b). Po stlačení tlačidla **OK** bude farba pomenovaného uzla čierna.

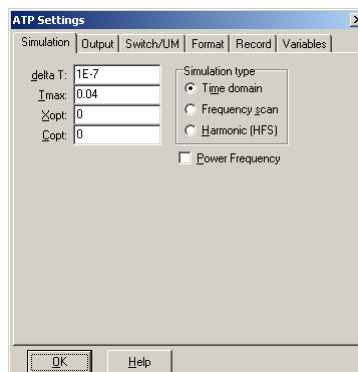


Obr. 6 Nastavenie parametrov uzlov

Pre simuláciu prechodného deja sa musia nastaviť podmienky simulácie voľbou **ATP Settings** a záložka **Simulation** (obr. 7). Maximálny počet krokov výpočtu je obmedzený na 1 milión, preto je potrebné prispôbiť tomuto obmedzeniu aj čas výpočtu a najmenší krok výpočtu. Zadá sa krok výpočtu napr. **delta T** $1E-7$ s a doba výpočtu **T max** 0.04 s (pre určenie fázového posunu napätia alebo prúdu postačuje aj 1 perióda, t.j. 20 ms) (obr.8).



Obr. 7 ATP – Settings



Obr. 8 Dialógové okno Settings – Simulation

Pričom pre voliteľné hodnoty X_{opt} a C_{opt} platí:

Pre X_{opt} :

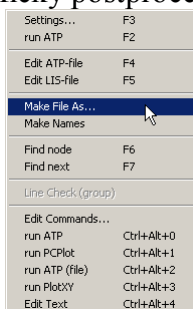
- hodnota induktora bude charakterizovaná indukčnosťou (mH), pokiaľ bude $X_{opt} = 0$,
- hodnota induktora bude charakterizovaná reaktanciou (Ω), pokiaľ bude X_{opt} = sieťovej frekvencii.

Pre C_{opt} :

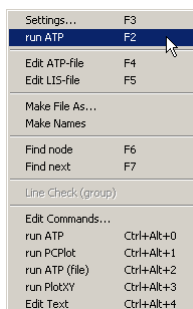
- hodnota kapacitora bude charakterizovaná kapacitou (μF), pokiaľ bude $C_{opt} = 0$,
- hodnota kapacitora bude charakterizovaná susceptanciou (μS), pokiaľ bude C_{opt} = sieťovej frekvencii.

Takto vytvorená schéma sa uloží príkazom CTRL-S so zvoleným názvom, napr. prik1ad7. Vznikne súbor s príponou *.adp, ktorý sa nachádza v podadresári **Project** preprocesora ATPDraw. Je vhodné, používať názvy súborov bez diakritiky, zakázané je používať v názve súboru medzery a je dobré obmedziť dĺžku názvu súboru na max. 8 znakov.

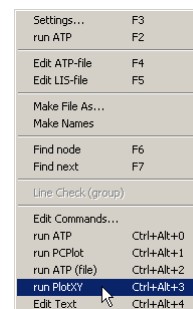
Príkazom **Make File As...** v hornom menu **ATP** sa vytvorí v podadresári ATP dátový súbor pre ATP s rovnakým názvom s príponou *.atp (t.j. prik1ad7.atp) (obr. 9). Príkazom **run ATP** v hornom menu **ATP** sa spustí výpočet v programe ATP, ktorého výsledkom sú súbory s príponou *.lis a *.pl4 (obr. 10). Súbor *.lis je výstupný dátový súbor a rovnako ako súbor *.atp dajú sa prezerat' z prostredia ATPDraw voľbou **ATP Edit**. Súbory s príponou *.pl4 sú komprimované grafické dáta, ktoré je možné prezerat' niektorým z grafických postprocesorov, ako napríklad PlotXY. V prostredí ATPDraw sa voľbou **run PlotXY** z horného menu **ATP** spustí grafický postprocesor (obr. 11).



Obr. 9 ATP – Make File...

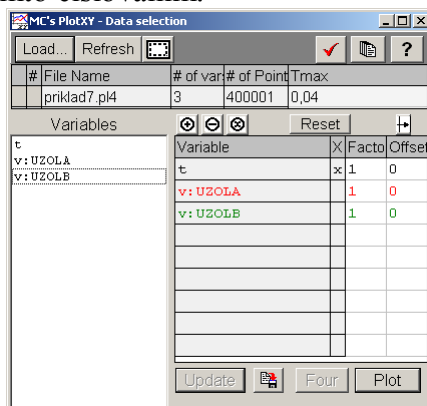


Obr. 10 ATP – Run ATP



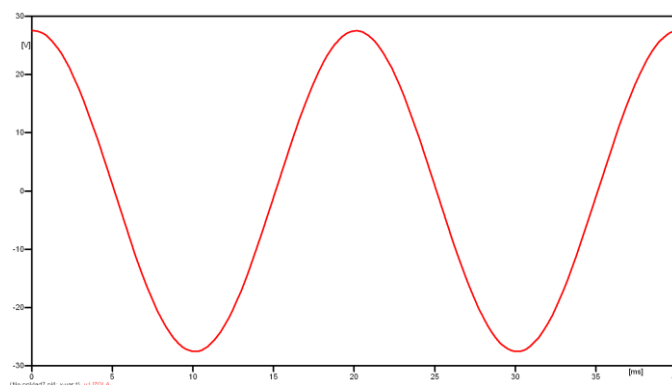
Obr. 11 ATP – run PlotXY

V grafickom postprocesore je s označením **v: UZOLA** – uvedený požadovaný priebeh napätia $u_{2,a}$) (t.j. napätie medzi uzlom UZOLA a zemou; zem nemá v ATPDraw značenie) **v: UZOLB** – priebeh napätia $u_{2,b}$) (t.j. napätie medzi uzlom UZOLB a zemou). Stlačením ľavého tlačidla myši sa dané priebehy označia pre zobrazenie a stlačením tlačidla **Plot** sa následne zobrazia. **Poznámka:** čísla uzlov môžu byť odlišné, v závislosti od zapojenia obvodu a nemusia korešpondovať s týmto číslovaním.



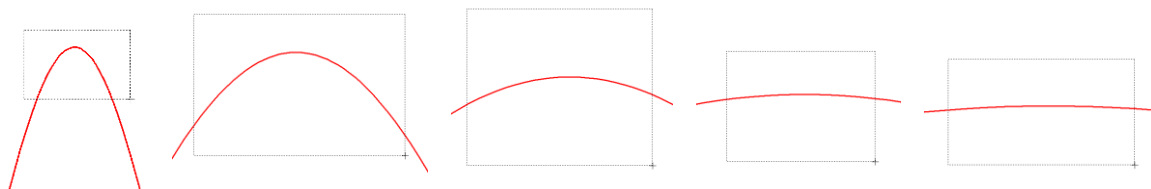
Obr. 12 Dialógové okno podprogramu PlotXY pre vykreslenie priebehov

Aby sa jednotlivé priebehy neprekrývali, najprv zobrazíme a odčítame hodnoty napätia medzi uzlom UZOLA a zemou (obr. 13).



Obr. 13 Zobrazenie priebehu napätia $u_{2,a}$)

Pre odčítanie maximálnej hodnoty napätia postačuje odčítať hodnotu vrcholovej hodnoty pri ľubovoľnom maxime (obr. 14). Pre zvýšenie presnosti odčítania je potrebné vykonať dostatočný počet zväčšení danej oblasti.

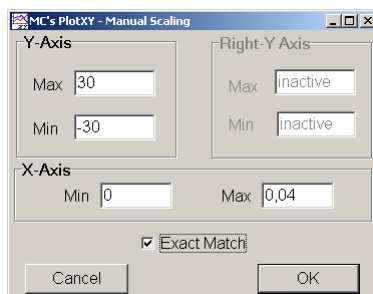


Obr. 14 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

Pre presné vymedzenie hraníc zobrazenia daného priebehu je možné využiť v spodnom menu tlačidiel okna PlotXY tlačidlo Manual Scale (tretie zľava) (obr. 15) a následne v okne Manual Scaling zadať minimálne a maximálne hranice x-ovej a y-ovej osi pre zobrazenie priebehov.



Obr. 15 Tlačidlo Manual Scale

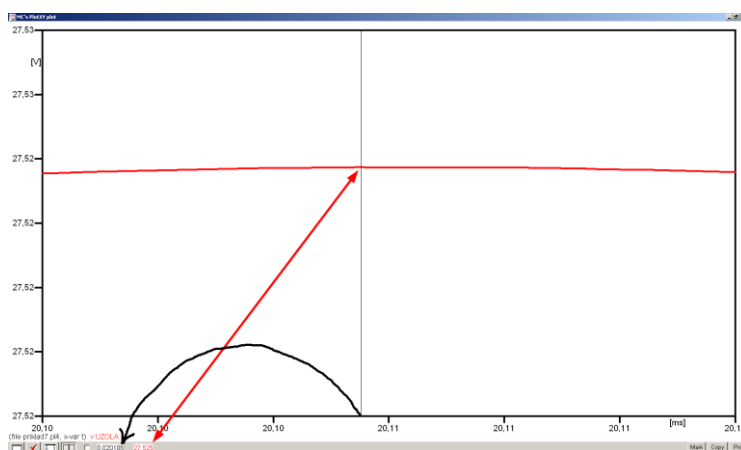


Obr. 16 Okno Manual Scaling

Nasledovným postupom vykonáme trasovanie po priebehu. V spodnom menu tlačidiel okna PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor (štvrté zľava) (obr. 17) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde.



Obr. 17 Tlačidlo Show Cursor



Obr. 18 Miesto odčítania maximálnej hodnoty

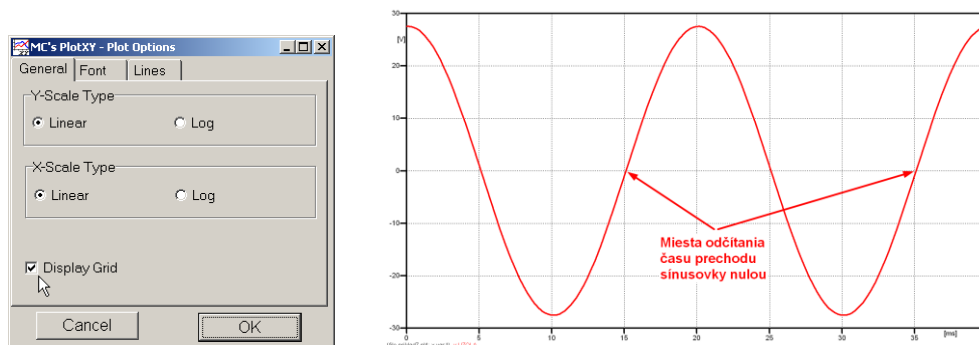
Z tohto priebehu je vidieť, že maximálna hodnota napätia je 27,525 V. Čo sa týka fázového natočenia φ , tak je možné ho vypočítať rôznymi spôsobmi.

Jednou z metód výpočtu fázového natočenia je z času dosiahnutia *prvého maxima sinusovky* daného priebehu. Odčítaním z obr. 18 by tento výpočet mal nasledovný zápis:

$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t - \frac{T}{4}}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{0,020106 - 0,02}{0,02} \cdot 360^\circ \cong 88,09^\circ$$

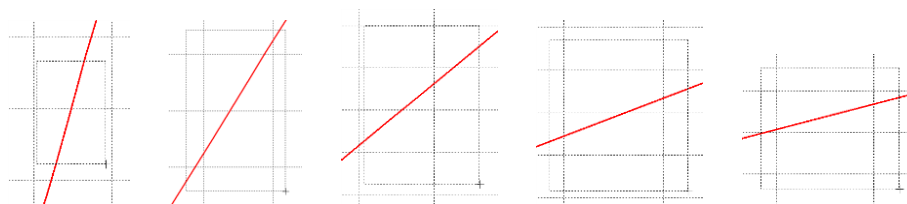
Kde φ je fázové natočenie, n je poradie periódy, t čas dosiahnutia prvého maxima sinusovky, T perióda $T = \frac{1}{f}$.

Ďalšou z metód určenia fázového natočenia φ , je z času priesečníka začiatku sinusovky s osou x . Predtým je ale vhodné, pre rýchlejšie odčítanie hodnôt, nastaviť raster nasledovne. V dolnom menu okna PlotXY sa po stlačení tlačidla **Customize plot** (druhé zľava na obr. 17) vyvolá nové okno **Plot options**, kde sa odškrtnie nastavenie mriežky v položke **Display Grid** a následne sa potvrdí tlačidlom **OK**.



Obr. 19 Nastavenie mriežky v okne Plot Options a Miesta odčítania času prechodu nulou

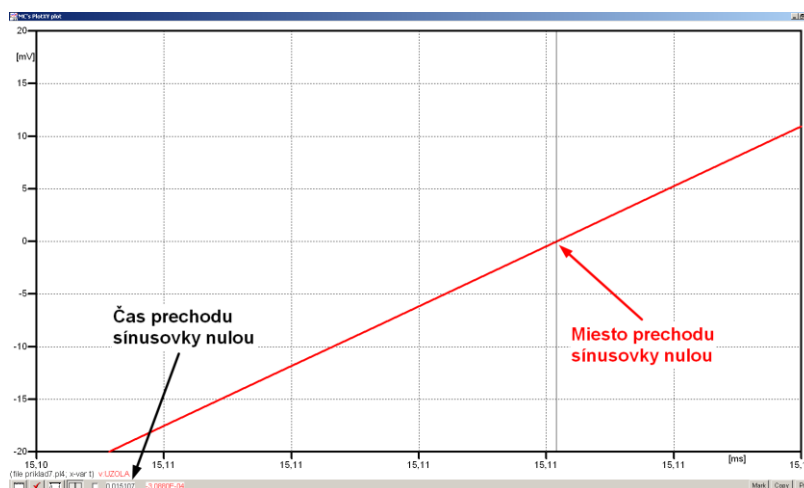
Oblasť v okolí *prechodu počiatku sinusovky nulou* dostatočne zväčšíme podobne, ako to bolo v predchádzajúcom prípade (obr. 14).



Obr. 20 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

Nasledovným postupom vykonáme trasovanie po priebehu. V spodnom menu tlačidiel okna PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor (štvrté zľava) (obr. 17) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde.

V dolnom menu okna PlotXY sú zobrazené hodnoty v mieste, kde sa nachádza trasovací kurzor (čas – čiernou farbou; $t = 0,015107$ s a amplitúda – červenou farbou; $u_2 = -3,088 \cdot 10^{-4}$ V).



Obr. 21 Odčítanie času prechodu sinusovky nulou

Z času prechodu počiatku sinusovky nulou je možné vyčísliť fázové natočenie podľa vzťahu:

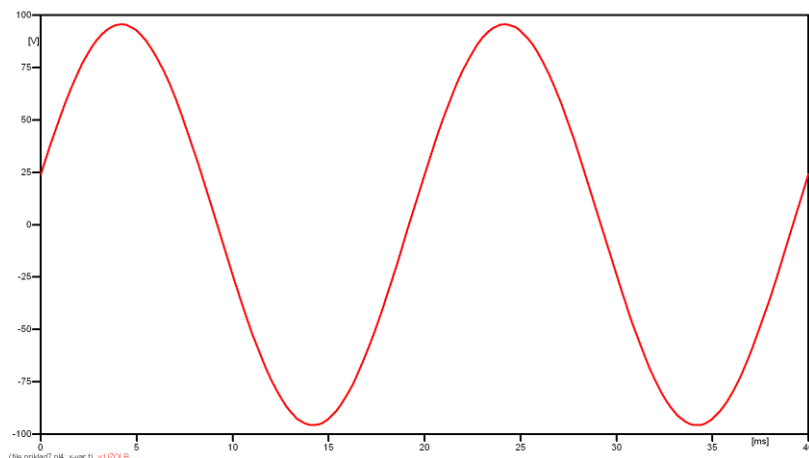
$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{0,015107}{0,02} \cdot 360^\circ = 88,07^\circ$$

Z obidvoch metód určenia fázového natočenia je vidieť dostatočnú zhodu φ .

Výsledný zápis napätia medzi uzlom UZOLA a zemou je: $u_{2,a}) = 27,525 \cdot e^{j88,1^\circ}$ V

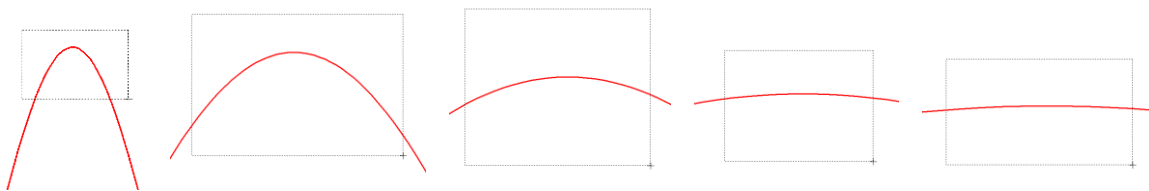
Podobne sa postupuje v prípade b).

Zobrazenie a odčítanie hodnôt napätia medzi uzlom UZOLB a zemou sa uskutoční z obr. 22.



Obr. 22 Zobrazenie priebehu napätia $u_{2,b}$

Pre odčítanie maximálnej hodnoty napätia postačuje odčítať hodnotu vrcholovej hodnoty pri ľubovoľnom maxime. Pre zvýšenie presnosti odčítania je potrebné vykonať dostatočný počet zväčšení danej oblasti (obr. 23).

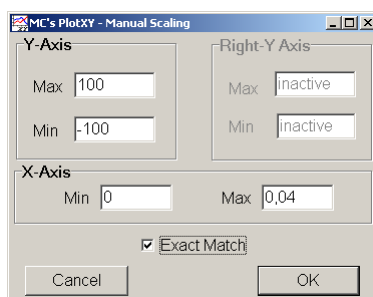


Obr. 23 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

Pre presné vymedzenie hraníc zobrazenia daného priebehu je možné využiť v spodnom menu tlačidiel okna PlotXY tlačidlo Manual Scale (tretie zľava) (obr. 24) a následne v okne Manual Scaling zadať minimálne a maximálne hranice x-ovej a y-ovej osi pre zobrazenie priebehov.



Obr. 24 Tlačidlo Manual Scale

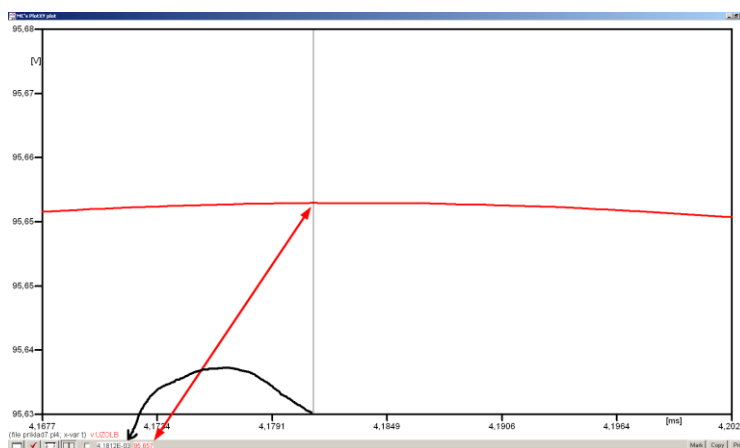


Obr. 25 Okno Manual Scaling

Nasledovným postupom vykonáme trasovanie po priebehu. V spodnom menu tlačidiel okna PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor (štvrté zľava) (obr. 26) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde.



Obr. 26 Tlačidlo Show Cursor



Obr. 27 Miesto odčítania maximálnej hodnoty

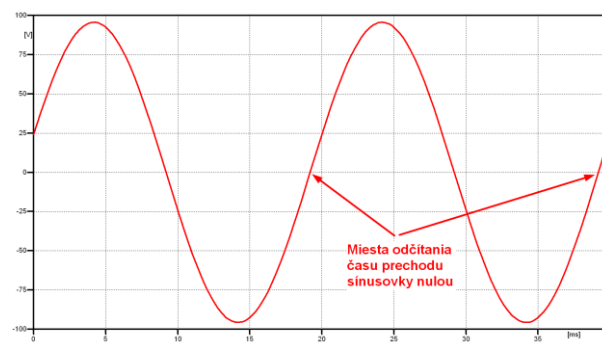
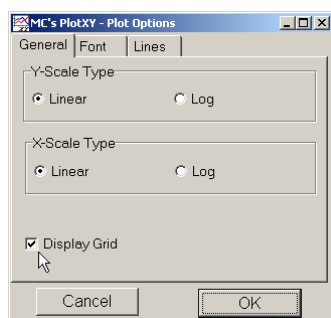
Z tohto priebehu je vidieť, že maximálna hodnota napätia je 95,657 V. Čo sa týka fázového natočenia φ , tak je možné ho vypočítať podobne ako v prípade a).

Jednou z metód výpočtu fázového natočenia je z času dosiahnutia *prvého maxima sínusovky* daného priebehu. Odčítaním z obr. 27 by tento výpočet mal nasledovný zápis:

$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t - \frac{T}{4}}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{4,1812 \cdot 10^{-3} - \frac{0,02}{4}}{0,02} \cdot 360^\circ \cong 374,74^\circ \approx 14,74^\circ$$

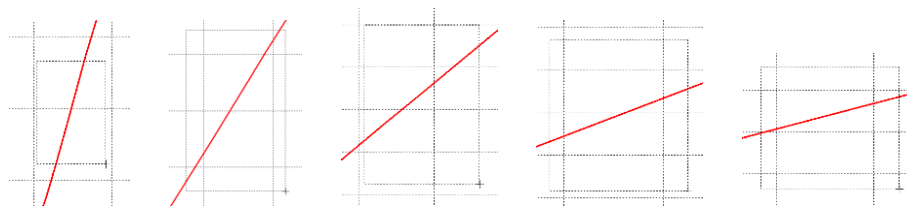
Kde φ je fázové natočenie, n je poradie periódy, t čas dosiahnutia prvého maxima sínusovky, T perióda $T = \frac{1}{f}$. Fázové natočenie je zvykom uvádzať v rozmedzí $\varphi \in \langle 0^\circ; 360^\circ \rangle$, preto bolo potrebné od uhla $374,74^\circ$ odčítať 360° .

Ďalšou z metód určenia fázového natočenia φ , je z času *priesečníka počiatku sínusovky s osou x*. Predtým je ale vhodné, pre rýchlejšie odčítanie hodnôt, nastaviť raster nasledovne. V dolnom menu okna PlotXY sa po stlačení tlačidla **Customize plot** (druhé zľava na obr. 26) vyvolá nové okno **Plot options**, kde sa odškrtnie nastavenie mriežky v položke **Display Grid** a následne sa potvrdí tlačidlom **OK**.



Obr. 28 Nastavenie mriežky v okne Plot Options a Miesta odčítania času prechodu priebehu napätia nulou

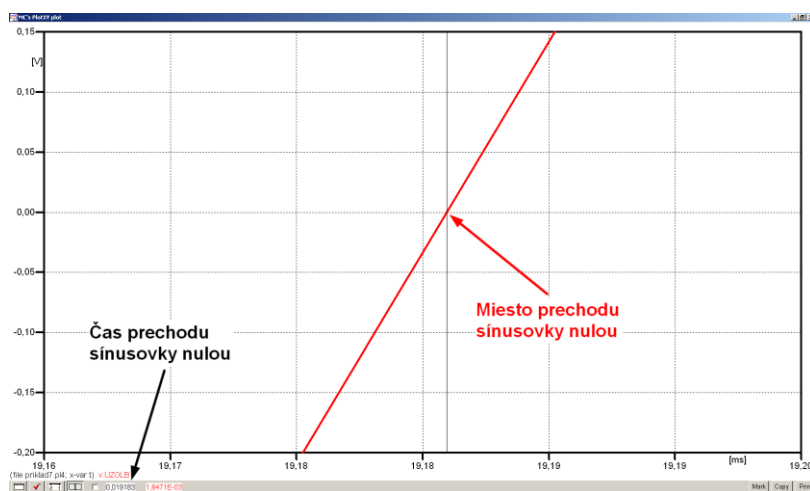
Oblasť v okolí *prechodu počiatku sinusovky nulou* dostatočne zväčšíme podobne, ako to bolo v predchádzajúcom prípade (obr. 23).



Obr. 29 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

Nasledovným postupom vykonáme trasovanie po priebehu. V spodnom menu tlačidiel okna PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor (štvrté zľava) (obr. 26) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde.

V dolnom menu okna PlotXY sú zobrazené hodnoty v mieste, kde sa nachádza trasovací kurzor (čas – čiernou farbou; $t = 0,019183$ s a amplitúda – červenou farbou; $u_2 = 1,6471 \cdot 10^{-3}$ V).



Obr. 30 Odčítanie času prechodu sinusovky nulou

Z času prechodu počiatku sinusovky nulou je možné vypočítať fázové natočenie podľa vzťahu:

$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{0,019183}{0,02} \cdot 360^\circ \cong 14,71^\circ$$

Z obidvoch výrazov je vidieť dostatočnú zhodu φ .

Výsledný zápis napätia medzi uzlom UZOLB a zemou je: $u_{2,b)} = 95,657 \cdot e^{j14,7^\circ}$ V.

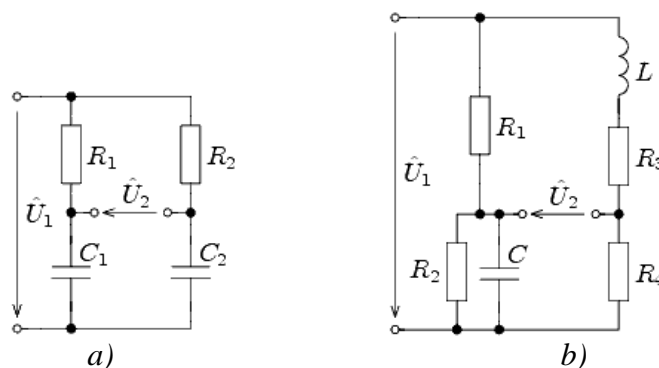
Výsledky:

a) $u_{2,a)} = 27,525 \cdot e^{j88,1^\circ}$ V

b) $u_{2,b)} = 95,657 \cdot e^{j14,7^\circ}$ V

Príklad 8

Podľa schémy zapojenia na obr. 1a a obr. 1b určte prostredníctvom programu ATPDraw neznáme napätie u_2 v tvare: $u_2(t) = U_{2\max} \cdot \sin(j \cdot \omega \cdot t + \varphi)$ alebo $u_2(t) = U_{2\max} \cdot e^{j \cdot \varphi}$, ak viete, že: $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 3 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 4 \text{ k}\Omega$, $L = 1,041 \text{ H}$, $C = C_1 = C_2 = 124 \text{ }\mu\text{F}$, $U_{\max} = 100 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $\varphi = 1/3 \cdot \pi$.



Obr. 1 Schémy zapojenia elektrického obvodu

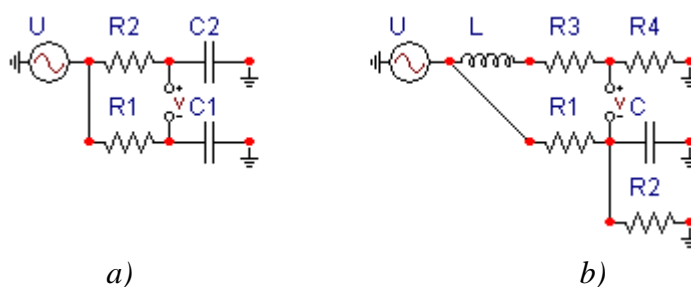
Riešenie

V ATPDraw sa vytvoria schémy zapojenia podľa obr. 2a a obr. 2b.

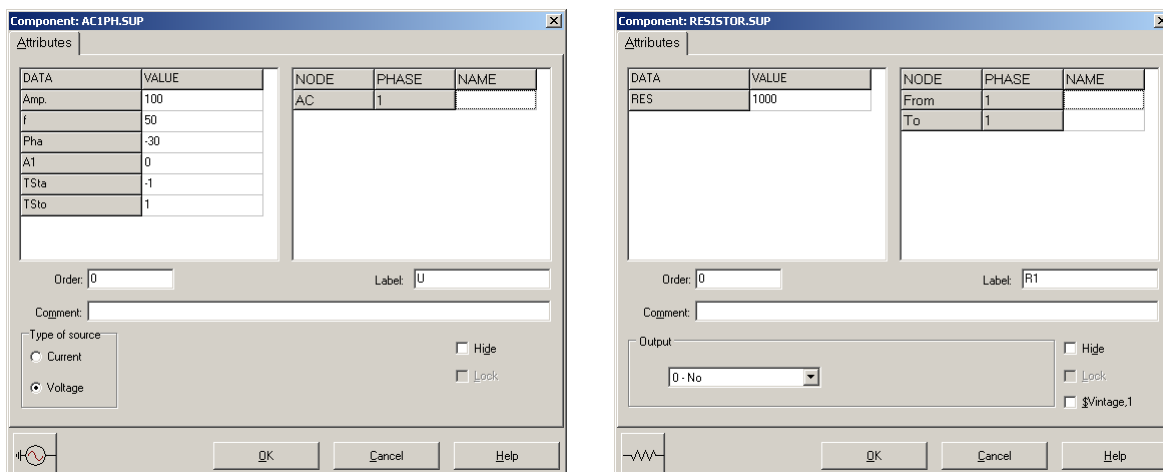
Na napätovom zdroji U sa nastaví maximálna hodnota napätia zdroja v položke **Amp** 100. V položke **Tsta** sa nastaví hodnota -1 a **Tsto** hodnota 1 , čo má za následok stály napätový zdroj počas doby 1 sekundy. V položke **Type of source** sa ponechá voľba **Voltage**. Fázové natočenie sa zadá v položke **Pha** -30 (pretože implicitné nastavenie napätového zdroja predpokladá kosínusový zdroj, t.j. $\varphi - 90^\circ = 1/3 \cdot \pi - 90^\circ = 60^\circ - 90^\circ = -30^\circ$) a frekvenciu v položke **f** 50. Pri rezistore bude do **RES** zapísaná hodnota 1000 (pri rezistore R_1), 2000 (pri rezistore R_2), 3000 (pri rezistore R_3) a 4000 (pri rezistore R_4) (obr. 3).

Na modeli prvku cievky bude do kolónky **L** zadaná hodnota 1041 (predvolené nastavenie je v mH (mili henry), nie v henry). Na modeli prvku kondenzátora bude do kolónky **C** zadaná hodnota 124 (predvolené nastavenie je v μF (mikro farad), nie vo faradoch) (obr.4).

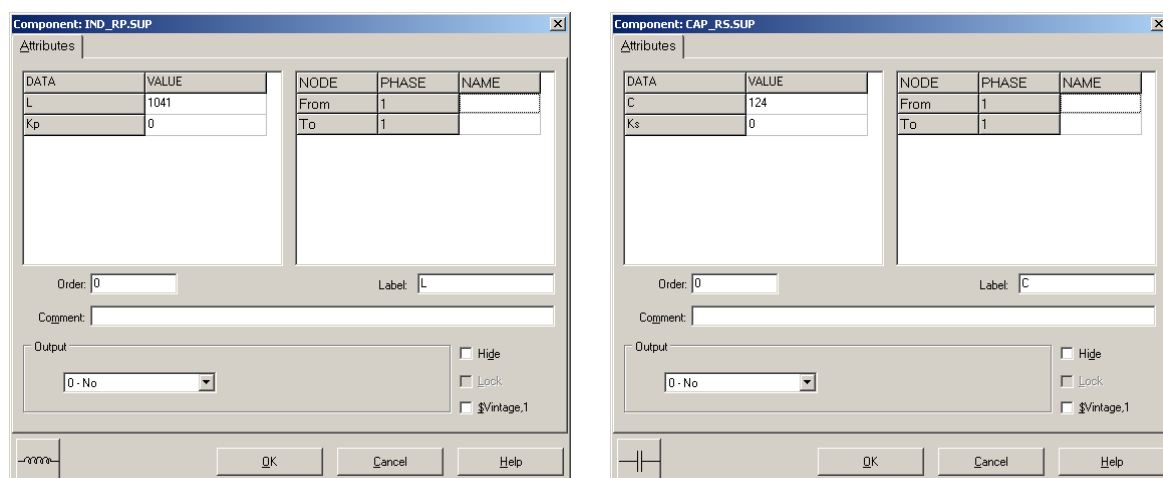
Ostatné hodnoty je možné ponechať nezmenené. Bližšie vysvetlenie ich významu sa zobrazí po stlačení tlačidla „**help**“ v aktuálnom okne prvku. Podrobnejší návod je obsiahnutý v literatúre Rule Book k programu EMTP-ATP.



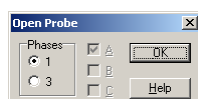
Obr. 2 Schémy zapojenia elektrického obvodu



Obr. 3 Nastavenie parametrov pre napäťový zdroj U a rezistora R₁

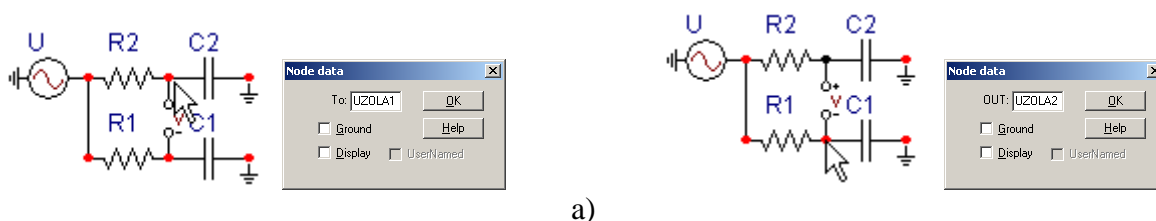


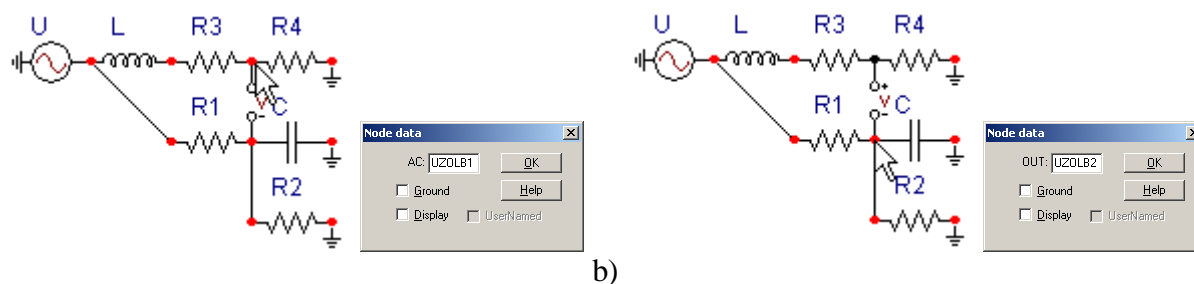
Obr. 4 Nastavenie parametrov cievky L a kondenzátora C



Obr. 5 Nastavenie parametrov voltmetra

Aby bolo možné ľahšie odčítať hodnoty z grafického postprocesora PlotXY, je potrebné pomenovať významné uzly v schéme. Stlačením pravého tlačidla myšky pri uzle sa zobrazí menu uzla, kde v kolónke **To:** sa zadá názov uzla veľkými písmenami, napr. UZOLA1 a UZOLA2 (obr. 6a). Podobne nastavíme názov uzla v prípade b) na UZOLB1 a UZOLB2 (obr. 6b). Po stlačení tlačidla **OK** bude farba pomenovaného uzla čierna.

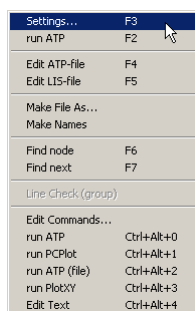




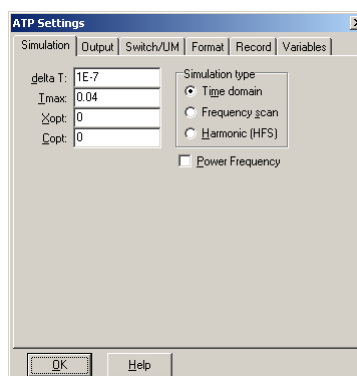
b)

Obr. 6 Nastavenie parametrov uzlov

Pre simuláciu prechodného deja sa musia nastaviť podmienky simulácie voľbou **ATP Settings** a záložka **Simulation** (obr. 7). Maximálny počet krokov výpočtu je obmedzený na 1 milión, preto je potrebné prispôbiť tomuto obmedzeniu aj čas výpočtu a najmenší krok výpočtu. Zadá sa krok výpočtu napr. **delta T** $1E-7$ s a doba výpočtu **T max** 0.04 s (pre určenie fázového posunu napätia alebo prúdu postačuje aj 1 perióda, t.j. 20 ms) (obr.8).



Obr. 7 ATP – Settings



Obr. 8 Dialógové okno Settings – Simulation

Pričom pre voliteľné hodnoty \underline{X}_{opt} a \underline{C}_{opt} platí:

Pre \underline{X}_{opt} :

- hodnota induktora bude charakterizovaná indukčnosťou (mH), pokiaľ bude $\underline{X}_{opt} = 0$,
- hodnota induktora bude charakterizovaná reaktanciou (Ω), pokiaľ bude \underline{X}_{opt} = sieťovej frekvencii.

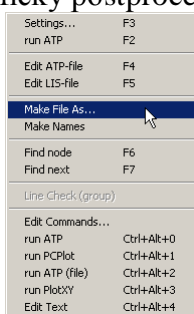
Pre \underline{C}_{opt} :

- hodnota kapacitora bude charakterizovaná kapacitou (μF), pokiaľ bude $\underline{C}_{opt} = 0$,
- hodnota kapacitora bude charakterizovaná susceptanciou (μS), pokiaľ bude \underline{C}_{opt} = sieťovej frekvencii.

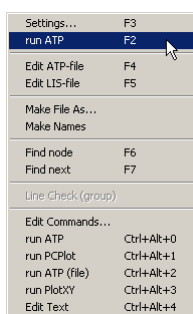
Takto vytvorená schéma sa uloží príkazom CTRL-S so zvoleným názvom, napr. príklad8. Vznikne súbor s príponou *.adp, ktorý sa nachádza v podadresári **Project** preprocesora ATPDraw. Je vhodné, používať názvy súborov bez diakritiky, zakázané je používať v názve súboru medzery a je dobré obmedziť dĺžku názvu súboru na max. 8 znakov.

Príkazom **Make File As...** v hornom menu **ATP** sa vytvorí v podadresári ATP dátový súbor pre ATP s rovnakým názvom s príponou *.atp (t.j. príklad8.atp) (obr. 9). Príkazom **run ATP** v hornom menu **ATP** sa spustí výpočet v programe ATP, ktorého výsledkom sú súbory s príponou *.lis a *.pl4 (obr. 10). Súbor *.lis je výstupný dátový súbor a rovnako ako súbor *.atp dajú sa prezerat' z prostredia ATPDraw voľbou **ATP Edit**. Súbory s príponou *.pl4 sú komprimované grafické dáta, ktoré je možné prezerat' niektorým z grafických postprocesorov,

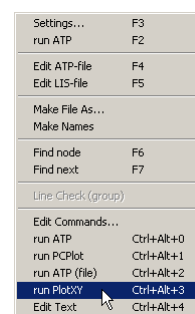
ako napríklad PlotXY. V prostredí ATPDraw sa voľbou **run PlotXY** z horného menu ATP spustí grafický postprocesor (obr. 11).



Obr. 9 ATP – Make File...

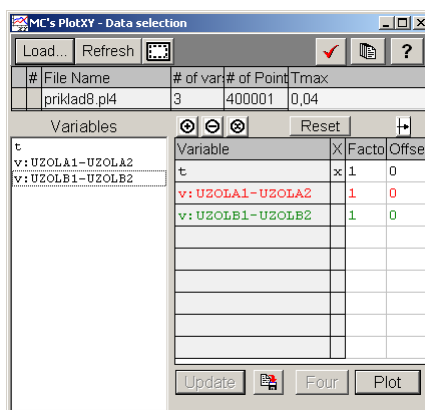


Obr. 10 ATP – Run ATP



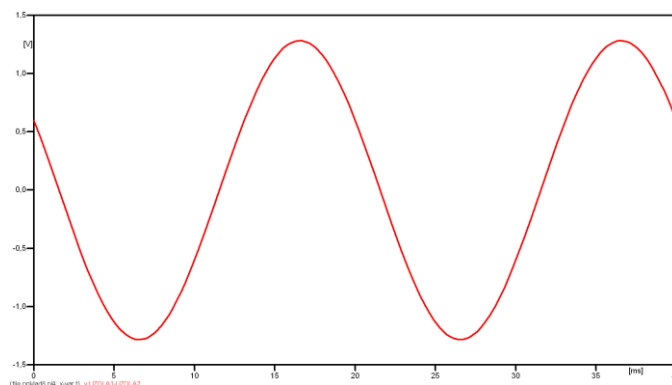
Obr. 11 ATP – run PlotXY

V grafickom postprocesore je s označením **v: UZOLA1 – UZOLA2** uvedený požadovaný priebeh napätia $u_{2,a}$ (t.j. napätie medzi uzlom UZOLA1 a UZOLA2) **v: UZOLB1 – UZOLB2** priebeh napätia $u_{2,b}$ (t.j. napätie medzi uzlom UZOLB1 a UZOLB2). Stlačením ľavého tlačidla myši sa dané priebehy označia pre zobrazenie a stlačením tlačidla **Plot** sa následne zobrazia. **Poznámka:** čísla uzlov môžu byť odlišné, v závislosti od zapojenia obvodu a nemusia korešpondovať s týmto číslovaním.

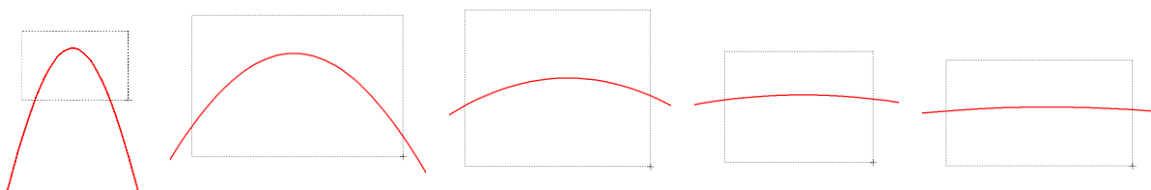


Obr. 12 Dialógové okno podprogramu PlotXY pre vykreslenie priebehov

Aby sa jednotlivé priebehy neprekrývali, najprv zobrazíme a odčítame hodnoty napätia medzi uzlom UZOLA1 a UZOLA2 (obr. 13).

Obr. 13 Zobrazenie priebehu napätia $u_{2,a}$

Pre odčítanie maximálnej hodnoty napätia postačuje odčítať hodnotu vrcholovej hodnoty pri ľubovoľnom maxime (obr. 14). Pre zvýšenie presnosti odčítania je potrebné vykonať dostatočný počet zväčšení danej oblasti.

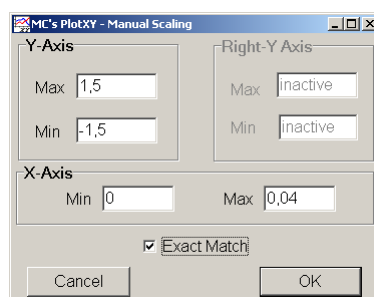


Obr. 14 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

Pre presné vymedzenie hraníc zobrazenia daného priebehu je možné využiť v spodnom menu tlačidiel okna PlotXY tlačidlo Manual Scale (tretie zľava) (obr. 15) a následne v okne Manual Scaling zadať minimálne a maximálne hranice x-ovej a y-ovej osi pre zobrazenie priebehov.



Obr. 15 Tlačidlo Manual Scale

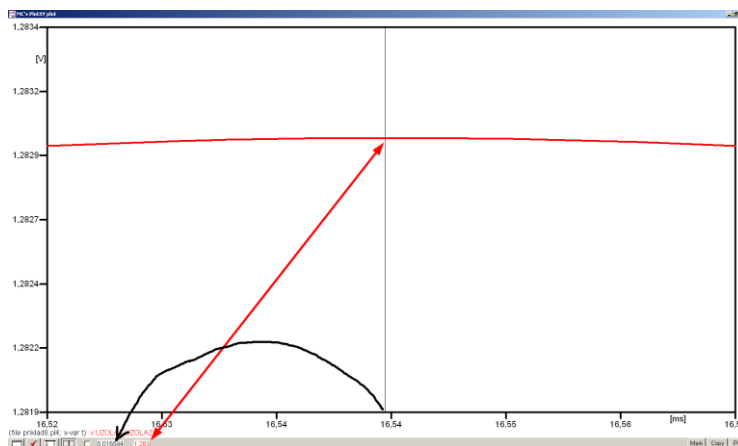


Obr. 16 Okno Manual Scaling

Následným postupom vykonáme trasovanie po priebehu. V spodnom menu tlačidiel okna PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor (štvrté zľava) (obr. 17) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde.



Obr. 17 Tlačidlo Show Cursor



Obr. 18 Miesto odčítania maximálnej hodnoty

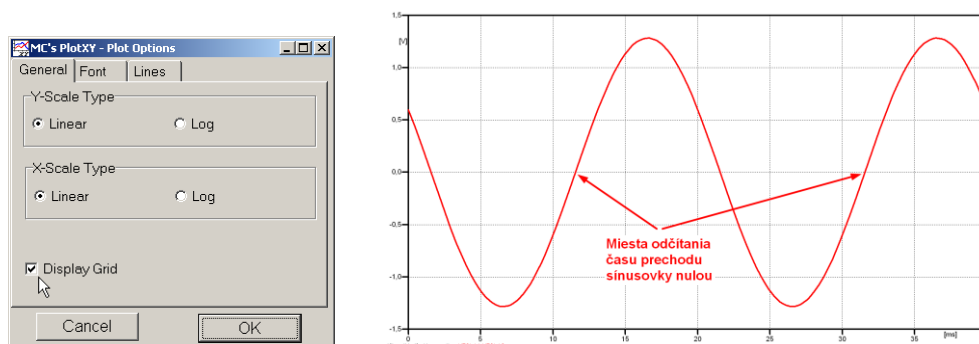
Z tohto priebehu je vidieť, že maximálna hodnota napätia je 1,283 V. Čo sa týka fázového natočenia φ , tak je možné ho vypočítať rôznymi spôsobmi.

Jednou z metód výpočtu fázového natočenia je z času dosiahnutia *prvého maxima sinusovky* daného priebehu. Odčítaním z obr. 18 by tento výpočet mal nasledovný zápis:

$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t - \frac{T}{4}}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{0,016544 - \frac{0,02}{4}}{0,02} \cdot 360^\circ \cong 152,21^\circ$$

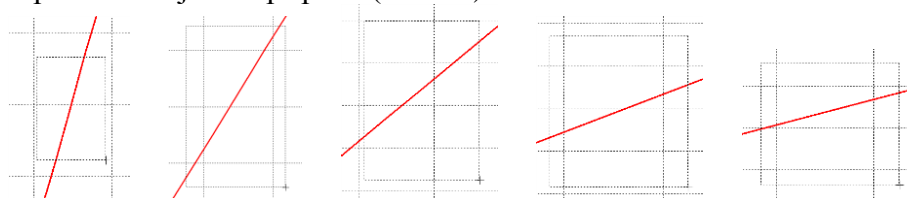
Kde φ je fázové natočenie, n je poradie periódy, t čas dosiahnutia prvého maxima sinusovky, T perióda $T = \frac{1}{f}$.

Ďalšou z metód určenia fázového natočenia φ , je z času priesečníka začiatku sinusovky s osou x . Predtým je ale vhodné, pre rýchlejšie odčítanie hodnôt, nastaviť raster nasledovne. V dolnom menu okna PlotXY sa po stlačení tlačidla **Customize plot** (druhé zľava na obr. 17) vyvolá nové okno **Plot options**, kde sa odškrtnie nastavenie mriežky v položke **Display Grid** a následne sa potvrdí tlačidlom **OK**.



Obr. 19 Nastavenie mriežky v okne Plot Options a Miesta odčítania času prechodu nulou

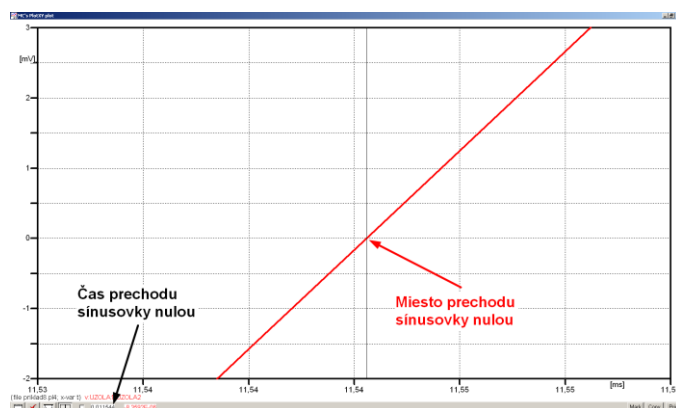
Oblasť v okolí *prechodu počiatku sinusovky nulou* dostatočne zväčšíme podobne, ako to bolo v predchádzajúcom prípade (obr. 14).



Obr. 20 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

Nasledovným postupom vykonáme trasovanie po priebehu. V spodnom menu tlačidiel okna PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor (štvrté zľava) (obr. 17) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde.

V dolnom menu okna PlotXY sú zobrazené hodnoty v mieste, kde sa nachádza trasovací kurzor (čas – čiernou farbou; $t = 0,011544$ s a amplitúda – červenou farbou; $u_2 = -8,3592 \cdot 10^{-6}$ V).



Obr. 21 Odčítanie času prechodu sínusovky nulou

Z času prechodu počiatku sínusovky nulou je možné vyčísliť fázové natočenie podľa vzťahu:

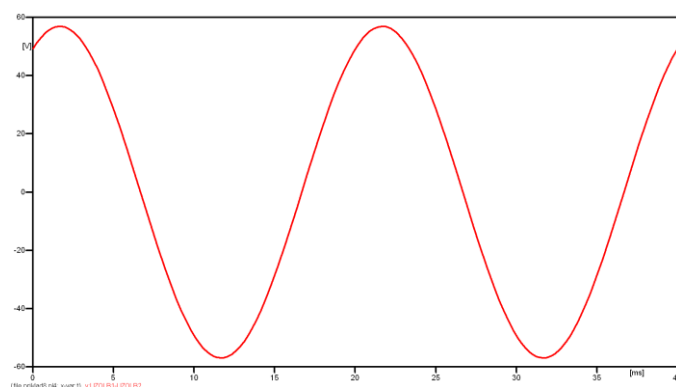
$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{0,011544}{0,02} \cdot 360^\circ = 152,21^\circ$$

Z obidvoch metód určenia fázového natočenia je vidieť dostatočnú zhodu φ .

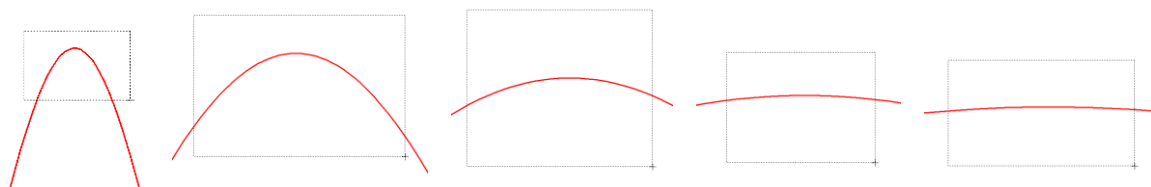
Výsledný zápis napätia medzi uzlom UZOLA1 a UZOLA2 je: $u_{2,a)} = 1,283 \cdot e^{j152,2^\circ}$ V

Podobne sa postupuje v prípade b).

Zobrazenie a odčítanie hodnôt napätia medzi uzlom UZOLB a zemou sa uskutoční z obr. 22.

Obr. 22 Zobrazenie priebehu napätia $u_{2,b)}$

Pre odčítanie maximálnej hodnoty napätia postačuje odčítať hodnotu vrcholovej hodnoty pri ľubovoľnom maxime. Pre zvýšenie presnosti odčítania je potrebné vykonať dostatočný počet zväčšení danej oblasti (obr. 23).



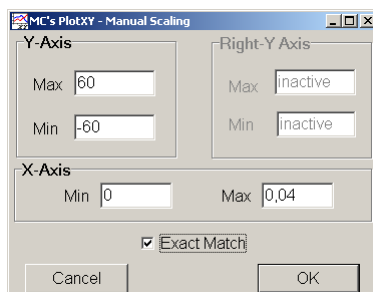
Obr. 23 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

Pre presné vymedzenie hraníc zobrazenia daného priebehu je možné využiť v spodnom menu tlačidiel okna PlotXY tlačidlo Manual Scale (tretie zľava) (obr. 24)

a následne v okne Manual Scaling zadať minimálne a maximálne hranice x -ovej a y -ovej osi pre zobrazenie priebehov.



Obr. 24 Tlačidlo Manual Scale

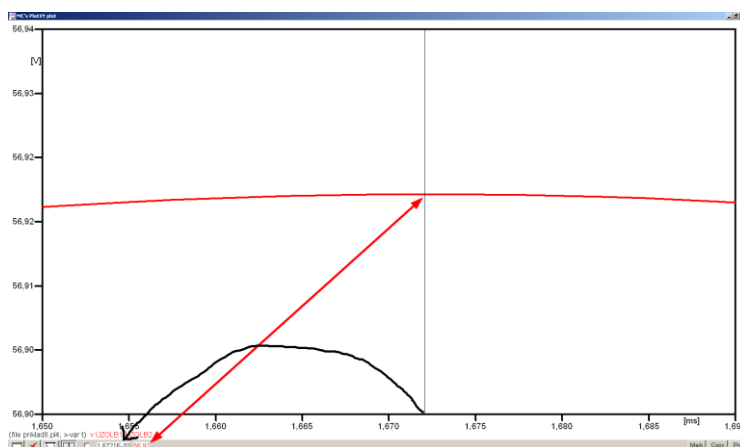


Obr. 25 Okno Manual Scaling

Následným postupom vykonáme trasovanie po priebehu. V spodnom menu tlačidiel okna PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor (štvrté zľava) (obr. 26) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde.



Obr. 26 Tlačidlo Show Cursor



Obr. 27 Miesto odčítania maximálnej hodnoty

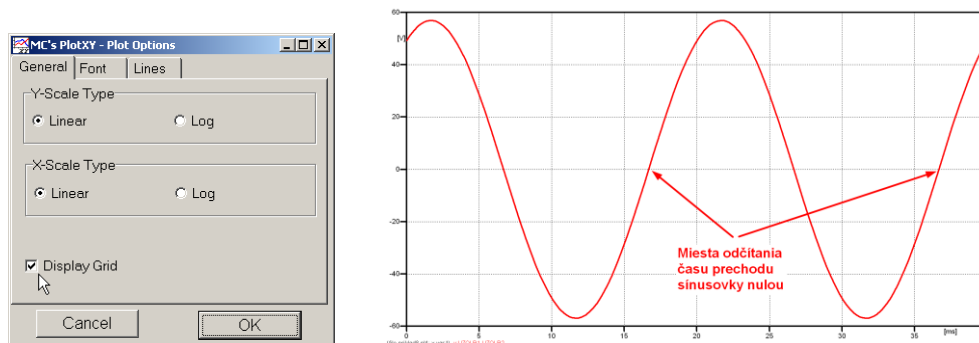
Z tohto priebehu je vidieť, že maximálna hodnota napätia je 56,92 V. Čo sa týka fázového natočenia φ , tak je možné ho vypočítať podobne ako v prípade a).

Jednou z metód výpočtu fázového natočenia je z času dosiahnutia *prvého maxima sínusovky* daného priebehu. Odčítaním z obr. 27 by tento výpočet mal nasledovný zápis:

$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t - \frac{T}{4}}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{1,6721 \cdot 10^{-3} - \frac{0,02}{4}}{0,02} \cdot 360^\circ \cong 419,9^\circ \approx 59,9^\circ$$

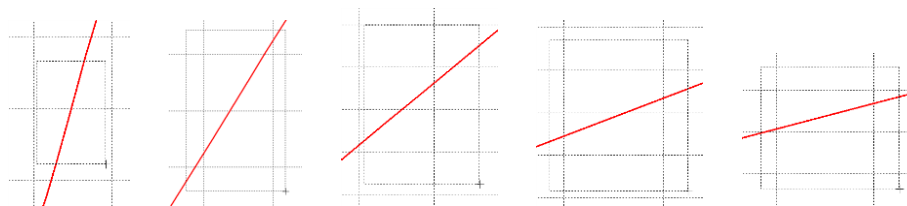
Kde φ je fázové natočenie, n je poradie periódy, t čas dosiahnutia prvého maxima sínusovky, T perióda $T = \frac{1}{f}$. Fázové natočenie je zvykom uvádzať v rozmedzí $\varphi \in \langle 0^\circ; 360^\circ \rangle$, preto bolo potrebné od uhla $419,9^\circ$ odčítať 360° .

Ďalšou z metód určenia fázového natočenia φ , je z času *priesečníka počiatku sínusovky s osou x*. Predtým je ale vhodné, pre rýchlejšie odčítanie hodnôt, nastaviť raster nasledovne. V dolnom menu okna PlotXY sa po stlačení tlačidla **Customize plot** (druhé zľava na obr. 26) vyvolá nové okno **Plot options**, kde sa odškrtnie nastavenie mriežky v položke **Display Grid** a následne sa potvrdí tlačidlom **OK**.



Obr. 28 Nastavenie mriežky v okne Plot Options a Miesta odčítania času prechodu priebehu napätia nulou

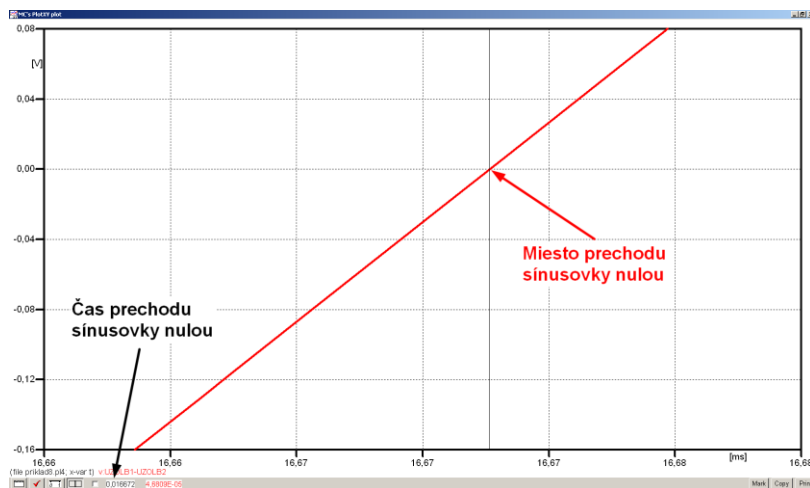
Oblasť v okolí *prechodu počiatku sínusovky nulou* dostatočne zväčšíme podobne, ako to bolo v predchádzajúcom prípade (obr. 23).



Obr. 29 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

Nasledovným postupom vykonáme trasovanie po priebehu. V spodnom menu tlačidiel okna PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor (štvrté zľava) (obr. 26) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde.

V dolnom menu okna PlotXY sú zobrazené hodnoty v mieste, kde sa nachádza trasovací kurzor (čas – čiernou farbou; $t = 0,016672$ s a amplitúda – červenou farbou; $u_2 = 4,6809 \cdot 10^{-5}$ V).



Obr. 30 Odčítanie času prechodu sínusovky nulou

Z času prechodu počiatku sínusovky nulou je možné vyčísliť fázové natočenie podľa vzťahu:

$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{0,016672}{0,02} \cdot 360^\circ \cong 59,9^\circ$$

Z obidvoch výrazov je vidieť dostatočnú zhodu φ .

Výsledný zápis napätia medzi uzlom UZOLB1 a UZOLB2 je: $u_{2,b)} = 56,92 \cdot e^{j59,9^\circ}$ V.

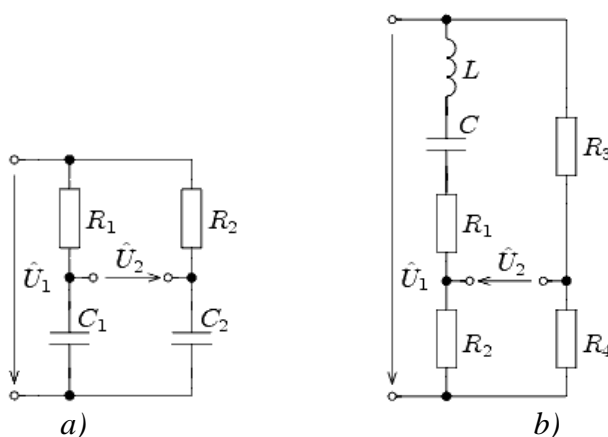
Výsledky:

a) $u_{2,a)} = 1,283 \cdot e^{j152,2^\circ}$ V

b) $u_{2,b)} = 56,92 \cdot e^{j59,9^\circ}$ V

Príklad 9

Podľa schémy zapojenia na obr. 1a a obr. 1b určte prostredníctvom programu ATPDraw neznáme napätie u_2 v tvare: $u_2(t) = U_{2\max} \cdot \sin(j \cdot \omega \cdot t + \varphi)$ alebo $u_2(t) = U_{2\max} \cdot e^{j\varphi}$, ak viete, že: $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 3 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 4 \text{ k}\Omega$, $L = 1,041 \text{ H}$, $C = C_1 = C_2 = 124 \text{ }\mu\text{F}$, $U_{\max} = 100 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $\varphi = 1/3 \cdot \pi$.



Obr. 1 Schémy zapojenia elektrického obvodu

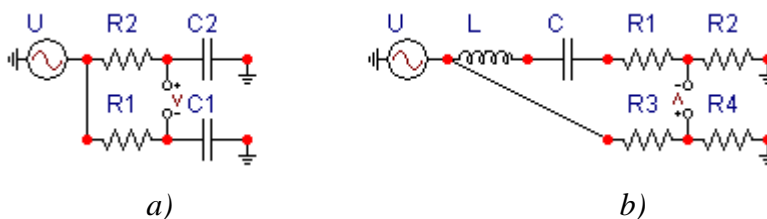
Riešenie

V ATPDraw sa vytvoria schémy zapojenia podľa obr. 2a a obr. 2b.

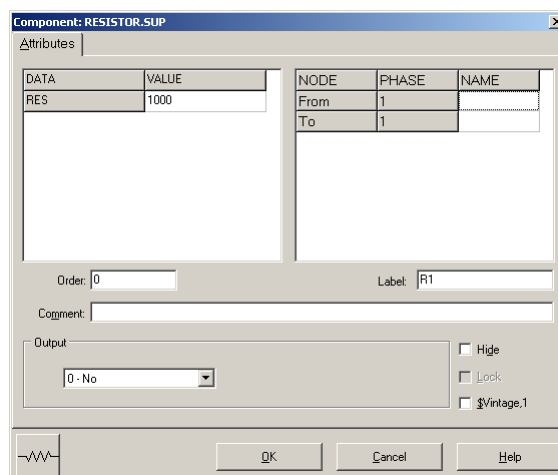
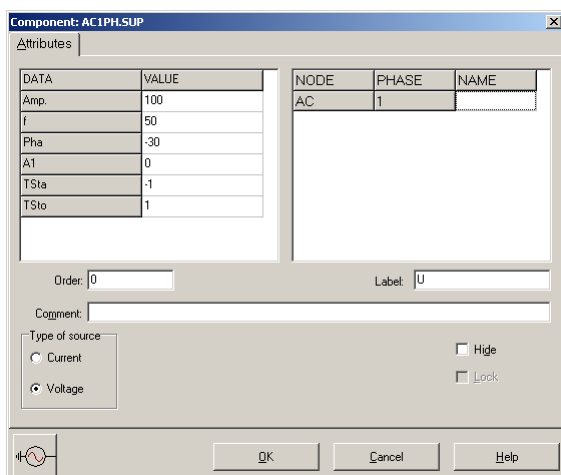
Na napätovom zdroji U sa nastaví maximálna hodnota napätia zdroja v položke **Amp** 100. V položke **Tsta** sa nastaví hodnota -1 a **Tsto** hodnota 1 , čo má za následok stály napätový zdroj počas doby 1 sekundy. V položke **Type of source** sa ponechá voľba **Voltage**. Fázové natočenie sa zadá v položke **Pha** -30 (pretože implicitné nastavenie napätového zdroja predpokladá kosínusový zdroj, t.j. $\varphi - 90^\circ = 1/3 \cdot \pi - 90^\circ = 60^\circ - 90^\circ = -30^\circ$) a frekvenciu v položke **f** 50. Pri rezistore bude do **RES** zapísaná hodnota 1000 (pri rezistore R_1), 2000 (pri rezistore R_2), 3000 (pri rezistore R_3) a 4000 (pri rezistore R_4) (obr. 3).

Na modeli prvku cievky bude do kolónky **L** zadaná hodnota 1041 (predvolené nastavenie je v mH (mili henry), nie v henry). Na modeli prvku kondenzátora bude do kolónky **C** zadaná hodnota 124 (predvolené nastavenie je v μF (mikro farad), nie vo faradoch) (obr.4).

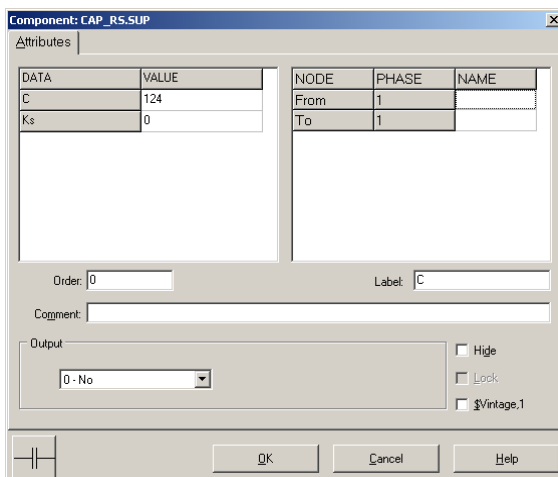
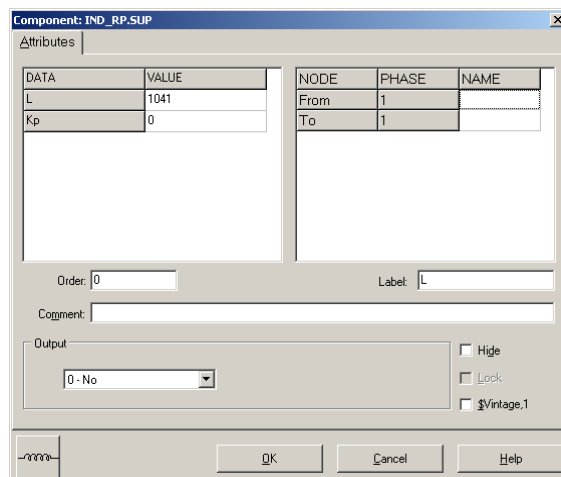
Ostatné hodnoty je možné ponechať nezmenené. Bližšie vysvetlenie ich významu sa zobrazí po stlačení tlačidla „help“ v aktuálnom okne prvku. Podrobnejší návod je obsiahnutý v literatúre Rule Book k programu EMTP-ATP.



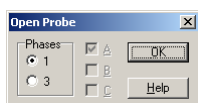
Obr. 2 Schémy zapojenia elektrického obvodu



Obr. 3 Nastavenie parametrov pre napäťový zdroj U a rezistora R₁

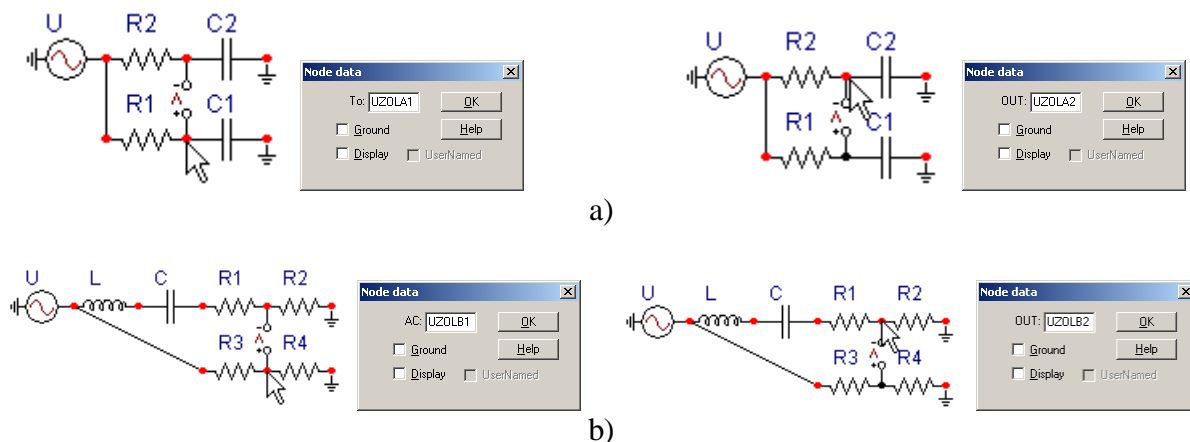


Obr. 4 Nastavenie parametrov cievky L a kondenzátora C



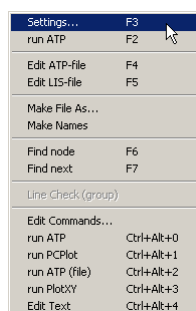
Obr. 5 Nastavenie parametrov voltmetra

Aby bolo možné ľahšie odčítať hodnoty z grafického postprocesora PlotXY, je potrebné pomenovať významné uzly v schéme. Stlačením pravého tlačidla myšky pri uzle sa zobrazí menu uzla, kde v kolónke **To:** sa zadá názov uzla veľkými písmenami, napr. UZOLA1 a UZOLA2 (obr. 6a). Podobne nastavíme názov uzla v prípade b) na UZOLB1 a UZOLB2 (obr. 6b). Po stlačení tlačidla **OK** bude farba pomenovaného uzla čierna.

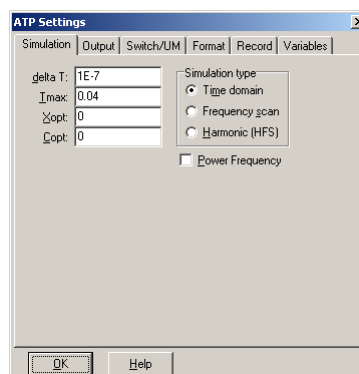


Obr. 6 Nastavenie parametrov uzlov

Pre simuláciu prechodného deja sa musia nastaviť podmienky simulácie voľbou **ATP Settings** a záložka **Simulation** (obr. 7). Maximálny počet krokov výpočtu je obmedzený na 1 milión, preto je potrebné prispôbiť tomuto obmedzeniu aj čas výpočtu a najmenší krok výpočtu. Zadá sa krok výpočtu napr. **delta T** $1E-7$ s a doba výpočtu **T max** 0.04 s (pre určenie fázového posunu napätia alebo prúdu postačuje aj 1 perióda, t.j. 20 ms) (obr.8).



Obr. 7 ATP – Settings



Obr. 8 Dialógové okno Settings – Simulation

Pričom pre voliteľné hodnoty X_{opt} a C_{opt} platí:

Pre X_{opt} :

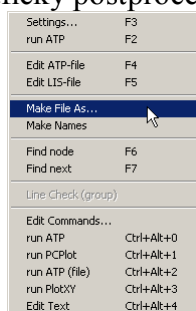
- hodnota induktora bude charakterizovaná indukčnosťou (mH), pokiaľ bude $X_{opt} = 0$,
- hodnota induktora bude charakterizovaná reaktanciou (Ω), pokiaľ bude X_{opt} = sieťovej frekvencii.

Pre C_{opt} :

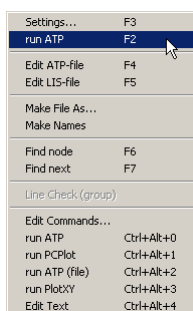
- hodnota kapacitora bude charakterizovaná kapacitou (μF), pokiaľ bude $C_{opt} = 0$,
- hodnota kapacitora bude charakterizovaná susceptanciou (μS), pokiaľ bude C_{opt} = sieťovej frekvencii.

Takto vytvorená schéma sa uloží príkazom CTRL-S so zvoleným názvom, napr. príklad9. Vznikne súbor s príponou *.adp, ktorý sa nachádza v podadresári **Project** preprocesora ATPDraw. Je vhodné, používať názvy súborov bez diakritiky, zakázané je používať v názve súboru medzery a je dobré obmedziť dĺžku názvu súboru na max. 8 znakov.

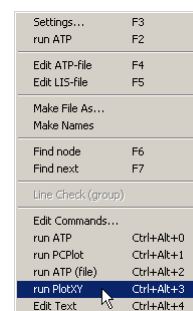
Príkazom **Make File As...** v hornom menu **ATP** sa vytvorí v podadresári ATP dátový súbor pre ATP s rovnakým názvom s príponou *.atp (t.j. príklad9.atp) (obr. 9). Príkazom **run ATP** v hornom menu **ATP** sa spustí výpočet v programe ATP, ktorého výsledkom sú súbory s príponou *.lis a *.pl4 (obr. 10). Súbor *.lis je výstupný dátový súbor a rovnako ako súbor *.atp dajú sa prezerat' z prostredia ATPDraw voľbou **ATP Edit**. Súbory s príponou *.pl4 sú komprimované grafické dáta, ktoré je možné prezerat' niektorým z grafických postprocesorov, ako napríklad PlotXY. V prostredí ATPDraw sa voľbou **run PlotXY** z horného menu **ATP** spustí grafický postprocesor (obr. 11).



Obr. 9 ATP – Make File...

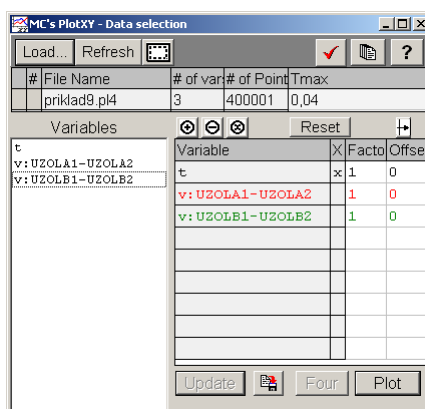


Obr. 10 ATP – Run ATP



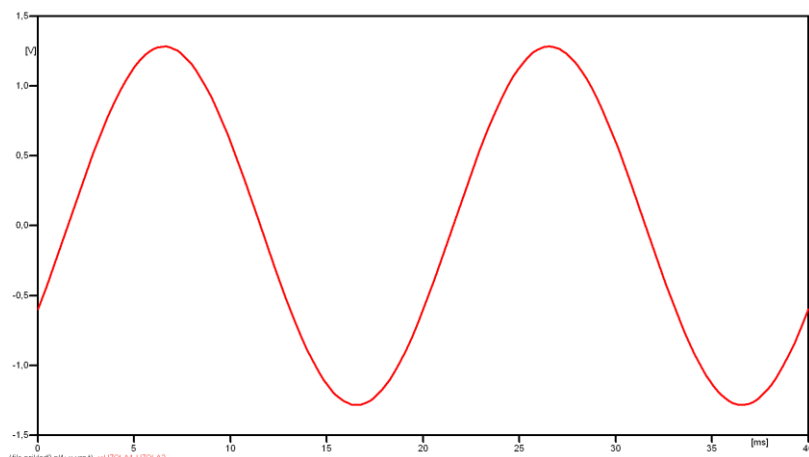
Obr. 11 ATP – run PlotXY

V grafickom postprocesore je s označením **v: UZOLA1 – UZOLA2** uvedený požadovaný priebeh napätia $u_{2,a}$ (t.j. napätie medzi uzlom UZOLA1 a UZOLA2) **v: UZOLB1 – UZOLB2** priebeh napätia $u_{2,b}$ (t.j. napätie medzi uzlom UZOLB1 a UZOLB2). Stlačením ľavého tlačidla myši sa dané priebehy označia pre zobrazenie a stlačením tlačidla **Plot** sa následne zobrazia. **Poznámka:** čísla uzlov môžu byť odlišné, v závislosti od zapojenia obvodu a nemusia korešpondovať s týmto číslovaním.

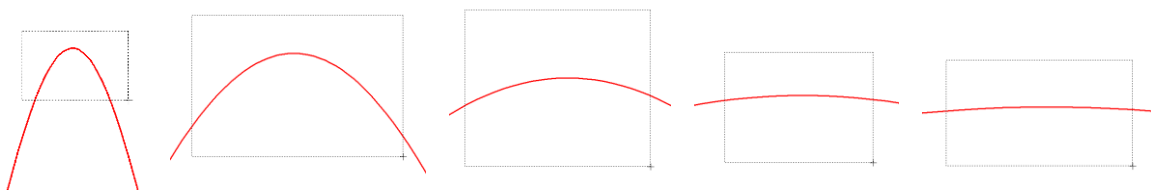


Obr. 12 Dialógové okno podprogramu PlotXY pre vykreslenie priebehov

Aby sa jednotlivé priebehy neprekrývali, najprv zobrazíme a odčítame hodnoty napätia medzi uzlom UZOLA1 a UZOLA2 (obr. 13).

Obr. 13 Zobrazenie priebehu napätia $u_{2,a}$

Pre odčítanie maximálnej hodnoty napätia postačuje odčítať hodnotu vrcholovej hodnoty pri ľubovoľnom maxime (obr. 14). Pre zvýšenie presnosti odčítania je potrebné vykonať dostatočný počet zväčšení danej oblasti.

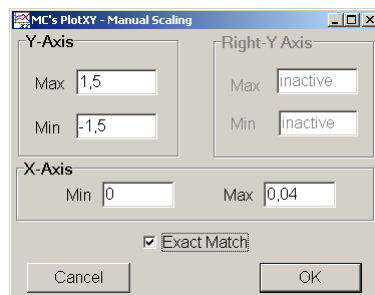


Obr. 14 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

Pre presné vymedzenie hraníc zobrazenia daného priebehu je možné využiť v spodnom menu tlačidiel okna PlotXY tlačidlo Manual Scale (tretie zľava) (obr. 15) a následne v okne Manual Scaling zadať minimálne a maximálne hranice x -ovej a y -ovej osi pre zobrazenie priebehov.



Obr. 15 Tlačidlo Manual Scale

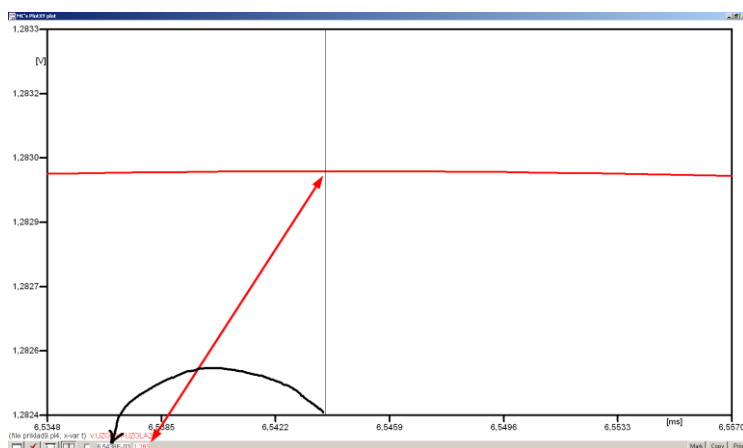


Obr. 16 Okno Manual Scaling

Nasledovným postupom vykonáme trasovanie po priebehu. V spodnom menu tlačidiel okna PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor (štvrté zľava) (obr. 17) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde.



Obr. 17 Tlačidlo Show Cursor



Obr. 18 Miesto odčítania maximálnej hodnoty

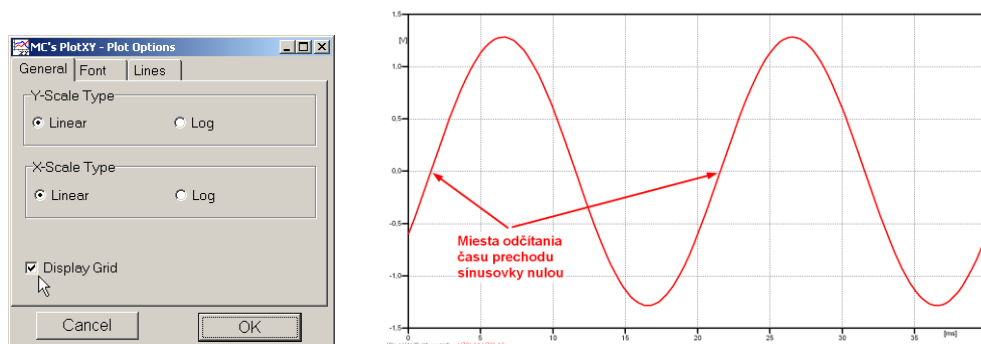
Z tohto priebehu je vidieť, že maximálna hodnota napätia je 1,283 V. Čo sa týka fázového natočenia φ , tak je možné ho vypočítať rôznymi spôsobmi.

Jednou z metód výpočtu fázového natočenia je z času dosiahnutia **prvého maxima sinusovky** daného priebehu. Odčítaním z obr. 18 by tento výpočet mal nasledovný zápis:

$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t - \frac{T}{4}}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{6,5438 \cdot 10^{-3} - \frac{0,02}{4}}{0,02} \cdot 360^\circ \cong 332,21^\circ$$

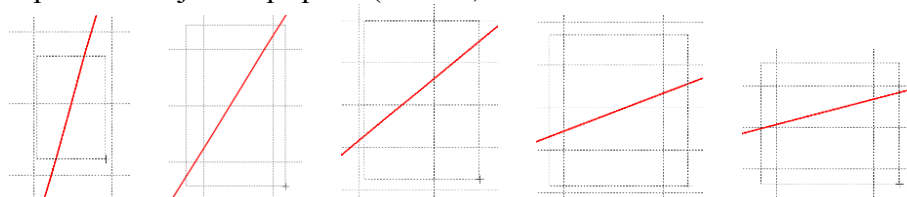
Kde φ je fázové natočenie, n je poradie periódy, t čas dosiahnutia prvého maxima sinusovky, T perióda $T = \frac{1}{f}$.

Ďalšou z metód určenia fázového natočenia φ , je z času priesečníka začiatku sinusovky s osou x . Predtým je ale vhodné, pre rýchlejšie odčítanie hodnôt, nastaviť raster nasledovne. V dolnom menu okna PlotXY sa po stlačení tlačidla **Customize plot** (druhé zľava na obr. 17) vyvolá nové okno **Plot options**, kde sa odškrtnie nastavenie mriežky v položke **Display Grid** a následne sa potvrdí tlačidlom **OK**.



Obr. 19 Nastavenie mriežky v okne Plot Options a Miesta odčítania času prechodu nulou

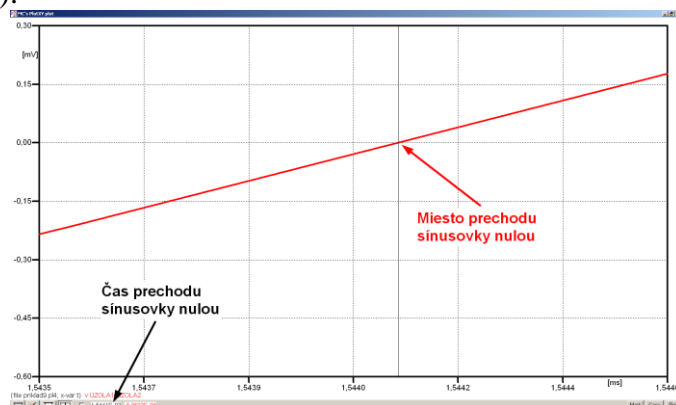
Oblasť v okolí **prechodu počiatku sinusovky nulou** dostatočne zväčšíme podobne, ako to bolo v predchádzajúcom prípade (obr. 14).



Obr. 20 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

Nasledovným postupom vykonáme trasovanie po priebehu. V spodnom menu tlačidiel okna PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor (štvrté zľava) (obr. 17) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde.

V dolnom menu okna PlotXY sú zobrazené hodnoty v mieste, kde sa nachádza trasovací kurzor (čas – čiernou farbou; $t = 1,5441 \cdot 10^{-3}$ s a amplitúda – červenou farbou; $u_2 = -8,3593 \cdot 10^{-6}$ V).



Obr. 21 Odčítanie času prechodu sínusovky nulou

Z času prechodu počiatku sínusovky nulou je možné vyčíslit' fázové natočenie podľa vzťahu:

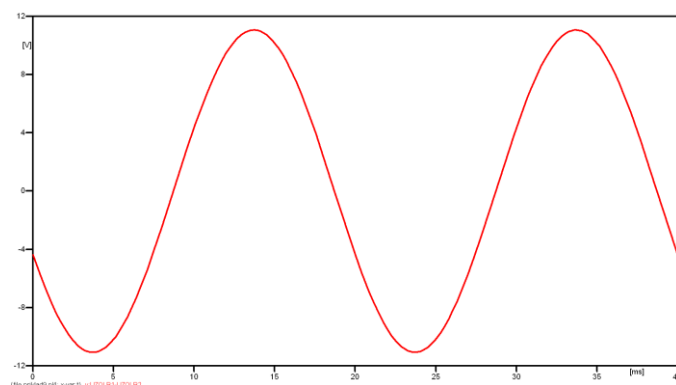
$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{1,5441 \cdot 10^{-3}}{0,02} \cdot 360^\circ = 332,21^\circ$$

Z obidvoch metód určenia fázového natočenia je vidieť dostatočnú zhodu φ .

Výsledný zápis napätia medzi uzlom UZOLA1 a UZOLA2 je: $u_{2,a} = 1,283 \cdot e^{j332,2^\circ}$ V

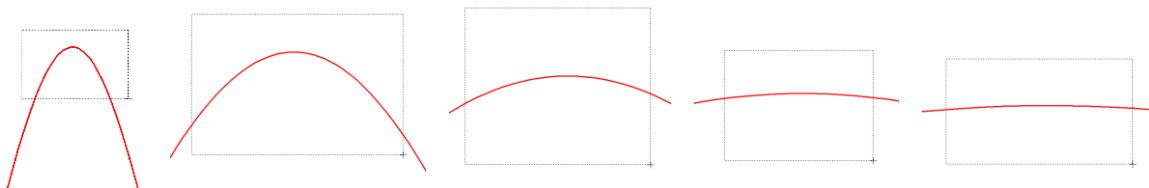
Podobne sa postupuje v prípade b).

Zobrazenie a odčítanie hodnôt napätia medzi uzlom UZOLB a zemou sa uskutoční z obr. 22.



Obr. 22 Zobrazenie priebehu napätia $u_{2,b}$

Pre odčítanie maximálnej hodnoty napätia postačuje odčítať hodnotu vrcholovej hodnoty pri ľubovoľnom maxime. Pre zvýšenie presnosti odčítania je potrebné vykonať dostatočný počet zväčšení danej oblasti (obr. 23).

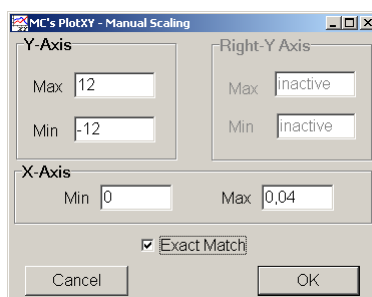


Obr. 23 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

Pre presné vymedzenie hraníc zobrazenia daného priebehu je možné využiť v spodnom menu tlačidiel okna PlotXY tlačidlo Manual Scale (tretie zľava) (obr. 24) a následne v okne Manual Scaling zadať minimálne a maximálne hranice x -ovej a y -ovej osi pre zobrazenie priebehov.



Obr. 24 Tlačidlo Manual Scale

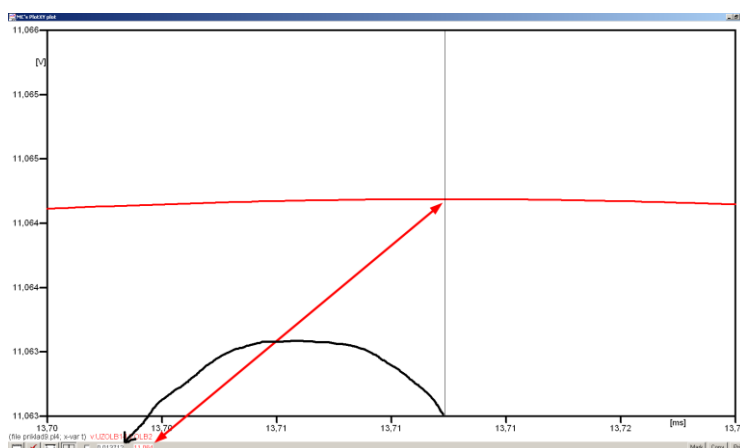


Obr. 25 Okno Manual Scaling

Nasledovným postupom vykonáme trasovanie po priebehu. V spodnom menu tlačidiel okna PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor (štvrté zľava) (obr. 26) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde.



Obr. 26 Tlačidlo Show Cursor



Obr. 27 Miesto odčítania maximálnej hodnoty

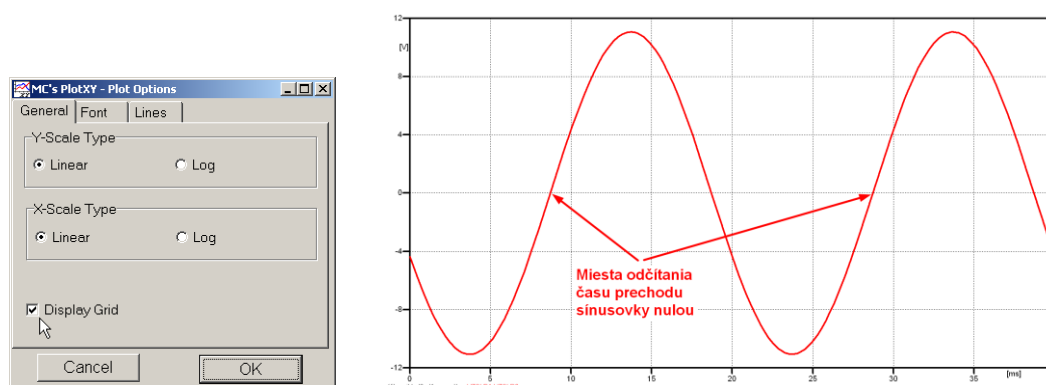
Z tohto priebehu je vidieť, že maximálna hodnota napätia je 11,064 V. Čo sa týka fázového natočenia φ , tak je možné ho vypočítať podobne ako v prípade a).

Jednou z metód výpočtu fázového natočenia je z *času* dosiahnutia *prvého maxima sinusovky* daného priebehu. Odčítaním z obr. 27 by tento výpočet mal nasledovný zápis:

$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t - \frac{T}{4}}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{0,013712 - \frac{0,02}{4}}{0,02} \cdot 360^\circ \cong 203,18^\circ$$

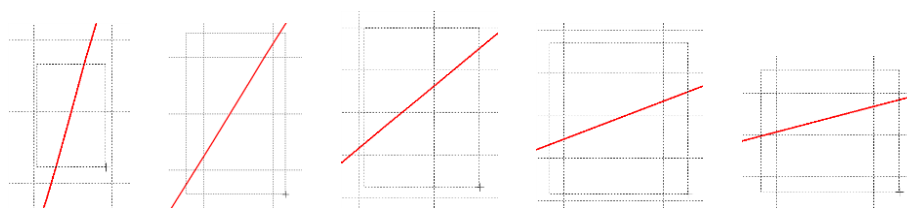
Kde φ je fázové natočenie, n je poradie periódy, t čas dosiahnutia prvého maxima sinusovky, T perióda $T = \frac{1}{f}$.

Ďalšou z metód určenia fázového natočenia φ , je z *času priesečníka počiatku sinusovky s osou x*. Predtým je ale vhodné, pre rýchlejšie odčítanie hodnôt, nastaviť raster nasledovne. V dolnom menu okna PlotXY sa po stlačení tlačidla **Customize plot** (druhé zľava na obr. 26) vyvolá nové okno **Plot options**, kde sa odškrtnie nastavenie mriežky v položke **Display Grid** a následne sa potvrdí tlačidlom **OK**.



Obr. 28 Nastavenie mriežky v okne Plot Options a Miesta odčítania času prechodu priebehu napätia nulou

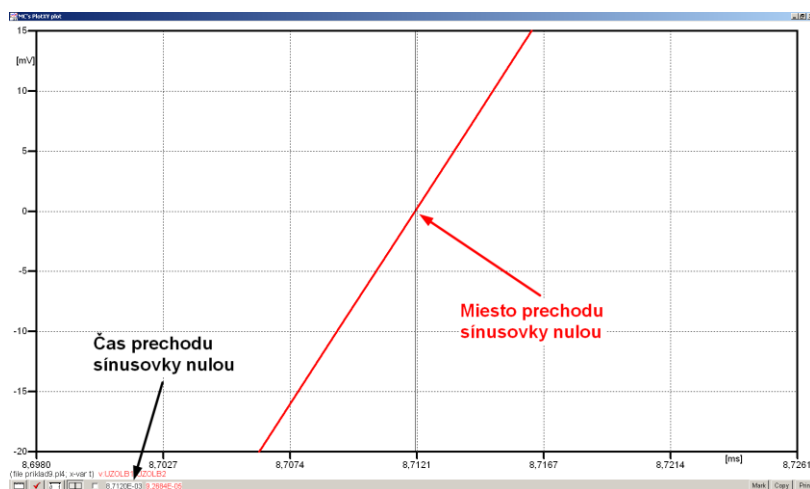
Oblasť v okolí *prechodu počiatku sinusovky nulou* dostatočne zväčšíme podobne, ako to bolo v predchádzajúcom prípade (obr. 23).



Obr. 29 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

Nasledovným postupom vykonáme trasovanie po priebehu. V spodnom menu tlačidiel okna PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor (štvrté zľava) (obr. 26) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde.

V dolnom menu okna PlotXY sú zobrazené hodnoty v mieste, kde sa nachádza trasovací kurzor (čas – čiernou farbou; $t = 8,712 \cdot 10^{-3}$ s a amplitúda – červenou farbou; $u_2 = 9,2684 \cdot 10^{-5}$ V).



Obr. 30 Odčítanie času prechodu sínusovky nulou

Z času prechodu počiatku sínusovky nulou je možné vyčísliť fázové natočenie podľa vzťahu:

$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t}{T} \cdot 360^\circ = 360 \cdot 1 - \frac{8,712 \cdot 10^{-3}}{0,02} \cdot 360^\circ \cong 203,18^\circ$$

Z obidvoch výrazov je vidieť dostatočnú zhodu φ .

Výsledný zápis napätia medzi uzlom UZOLB1 a UZOLB2 je: $u_{2,b)} = 11,064 \cdot e^{j203,2^\circ} \text{ V}$.

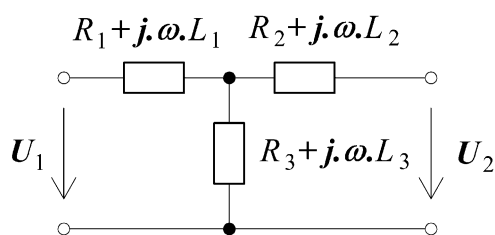
Výsledky:

a) $u_{2,a)} = 1,283 \cdot e^{j332,2^\circ} \text{ V}$

b) $u_{2,b)} = 11,064 \cdot e^{j203,2^\circ} \text{ V}$

Príklad 10

Podľa schémy zapojenia na obr.1 určte prostredníctvom ATPDraw prúdy prechádzajúce jednotlivými vetvami, ak $R_1 = 1 \Omega$, $L_1 = 0,001 \text{ H}$, $R_2 = 1,5 \Omega$, $L_2 = 0,002 \text{ H}$, $R_3 = 2 \Omega$, $L_3 = 0,001 \text{ H}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $U_1 = 125 \cdot e^{j90^\circ} \text{ V}$, $U_2 = 125 \text{ V}$.



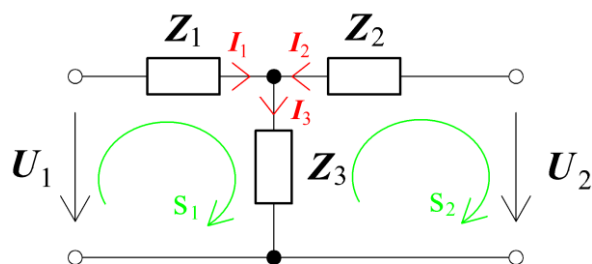
Obr. 1 Schéma zapojenia

Riešenie:

Daný obvod najprv vyriešime pomocou teórie obvodov (**Riešenie I**) a následne uskutočnime kontrolu pomocou ATPDraw (**Riešenie II**).

Riešenie I:

V náhradnej schéme obvodu zvolíme smer prúdov v jednotlivých vetvách (I_1, I_2, I_3). Zvolíme smer slučiek a podľa tejto schémy napíšeme príslušné napäťové rovnice a jednu podľa 1. Kirchhoffového zákona.



Obr. 2 Náhradná schéma zapojenia

$$s_1: -U_1 + I_1 \cdot (R_1 + j \cdot \omega \cdot L_1) + I_3 \cdot (R_3 + j \cdot \omega \cdot L_3) = 0$$

$$s_2: U_2 - I_3 \cdot (R_3 + j \cdot \omega \cdot L_3) - I_2 \cdot (R_2 + j \cdot \omega \cdot L_2) = 0$$

$$1.kz: I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

Zavedieme substitúciu:

$$Z_1 = R_1 + j \cdot \omega \cdot L_1$$

$$Z_2 = R_2 + j \cdot \omega \cdot L_2$$

$$Z_3 = R_3 + j \cdot \omega \cdot L_3$$

Po úprave:

$$I_1 = \frac{U_1 - I_2 \cdot Z_3}{Z_1 + Z_3}$$

$$I_2 = \frac{U_2 \cdot (Z_1 + Z_3) - U_1 \cdot Z_3}{Z_1 \cdot (Z_2 + Z_3) + Z_2 \cdot Z_3}$$

$$I_3 = I_1 + I_2$$

a dosadení hodnôt získavame:

$$I_1 = -14,0775 + j \cdot 75,1352 = 76,44 \cdot e^{j100,6^\circ} \text{ A}$$

$$I_2 = 36,6258 - j \cdot 51,5334 = 63,23 \cdot e^{-j54,6^\circ} \text{ A}$$

$$I_3 = 22,5483 + j \cdot 23,6018 = 32,64 \cdot e^{j46,3^\circ} \text{ A}$$

Z čoho vyplýva, že jednotlivé priebehy prúdov dosiahnu svoje maximá v čase:

$$t = \left(T - \frac{T}{360^\circ} \cdot \varphi \right) + n \cdot T = \left(\frac{1}{f} - \frac{\varphi}{360^\circ \cdot f} \right) + \frac{n}{f} \quad [\text{s}]$$

kde $n = 0, 1, \dots$ je počet periód

Pre $n = 0$ dostávame:

$$t_1 = \left(\frac{1}{f} - \frac{\varphi_1}{360^\circ \cdot f} \right) + \frac{n}{f} = \left(\frac{1}{50} - \frac{100,6^\circ}{360^\circ \cdot 50} \right) + \frac{0}{50} \cong 0,0144 \text{ s}$$

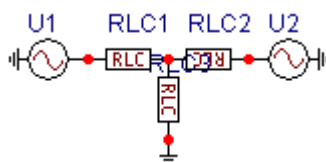
$$t_2 = \left(\frac{1}{f} - \frac{\varphi_2}{360^\circ \cdot f} \right) + \frac{n}{f} = \left(\frac{1}{50} - \frac{-54,6^\circ}{360^\circ \cdot 50} \right) + \frac{0}{50} \cong 0,023 \text{ s}$$

$$t_3 = \left(\frac{1}{f} - \frac{\varphi_3}{360^\circ \cdot f} \right) + \frac{n}{f} = \left(\frac{1}{50} - \frac{46,3^\circ}{360^\circ \cdot 50} \right) + \frac{0}{50} \cong 0,0174 \text{ s}$$

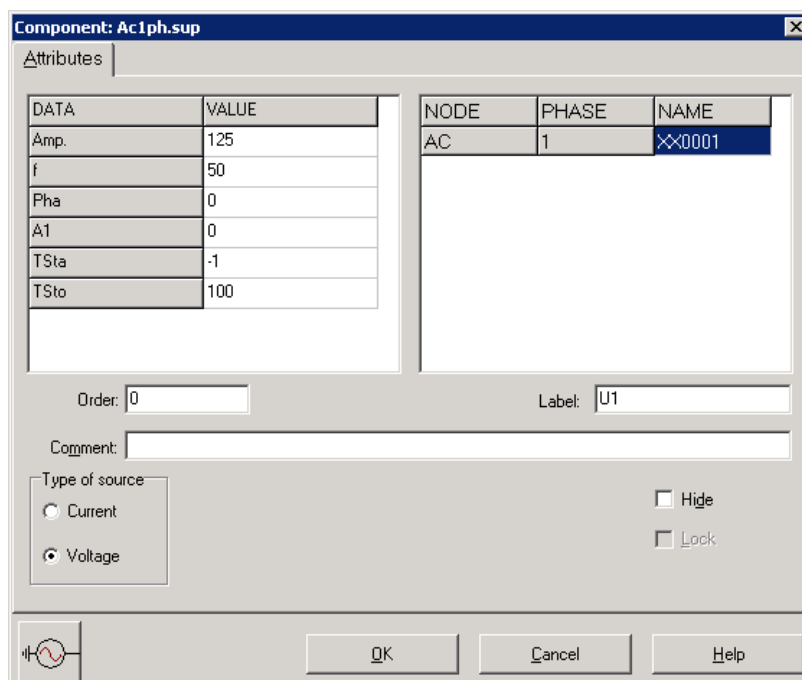
Riešenie II:

V ATPDraw sa vytvorí schéma zapojenia podľa obr. 3. Je nutné dodržať smer toku danej veličiny (v našom prípade prúdu) a to otočením prvku v smere čítania textu na tomto prvku (viď. RLC2, ktorý je otočený tak, že smer toku prúdu je v smere čítania textu RLC na tomto prvku). Tento smer prúdu sme zvolili v korešpondencii so schémou na obr. 2, v inom prípade toto otočenie nie je nevyhnutné.

Na napät'ovom zdroji U1 nastavíme v položke **Amp** hodnotu 125 a v položke **Tsto** hodnotu 0, čo má za následok stály napät'ový zdroj. V **Type of source** ponecháme voľbu **Voltage**. Fázové natočenie zvolíme v položke **Pha** 0 (pretože implicitné nastavenie napät'ového zdroja predpokladá kosínusový zdroj) a frekvenciu v položke **f** 50.



Obr. 3 Schéma zapojenia v ATPDraw



Obr. 4 Nastavenie parametrov pre napät'ový zdroj U1

Podobne postupujeme aj pri napät'ovom zdroji U2.

Component: Ac1ph.sup

Attributes

DATA	VALUE
Amp.	125
f	50
Pha	-90
A1	0
TSta	-1
TSto	100

NODE	PHASE	NAME
AC	1	XX0003

Order: 0 Label: U2

Comment:

Type of source

Current Hide

Voltage Lock

OK Cancel Help

Obr. 5 Nastavenie parametrov pre napäťový zdroj U2

Vo vlastnostiach prvku RLC1 nastavíme v položke **R** hodnotu 1, **L** hodnotu 1 (predvolené je zadávanie hodnôt v mH). V **Output** nastavíme voľbu **Current** (obr. 6).

Component: RLC.SUP

Attributes

DATA	VALUE
R	1
L	1
C	0

NODE	PHASE	NAME
From	1	XX0001
To	1	XX0002

Order: 0 Label: RLC1

Comment:

Output

1 - Current Hide

Lock Vintage.1

RLC OK Cancel Help

Obr. 6 Nastavenie parametrov prvku RLC1

Podobne postupujeme aj pri prvkoch RLC2 a RLC3.

DATA	VALUE
R	1.E
L	2
C	0

NODE	PHASE	NAME
From	1	XX0003
To	1	XX0002

Order: 0 Label: RLC2

Comment:

Output: 1 - Current

Hide
 Lock
 \$Vintage,1

RLC OK Cancel Help

Obr. 7 Nastavenie parametrov prvku RLC2

DATA	VALUE
R	2
L	1
C	0

NODE	PHASE	NAME
From	1	XX0002
To	1	

Order: 0 Label: RLC3

Comment:

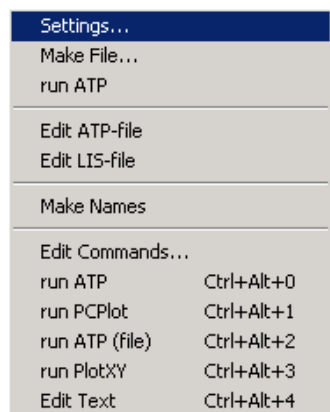
Output: 1 - Current

Hide
 Lock
 \$Vintage,1

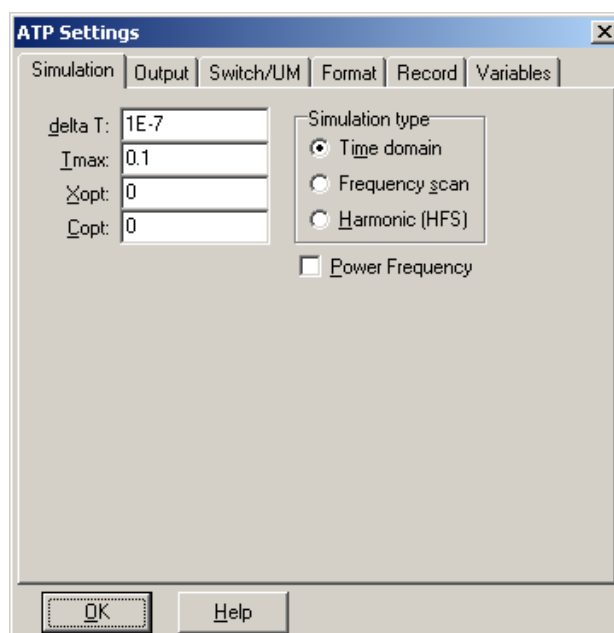
RLC OK Cancel Help

Obr. 8 Nastavenie parametrov prvku RLC3

Časové podmienky simulácie sa nastavujú voľbou z horného menu **ATP Settings** a **Simulation** (obr. 9). Keďže sa jedná o striedavý obvod a zaujímajú nás prechodné deje, nastavíme krok výpočtu **delta T** $1E-7$ s a dobu výpočtu, minimálne však aspoň dve periódy (0,04 s), napr. **Tmax** 0,1 s (obr. 10).

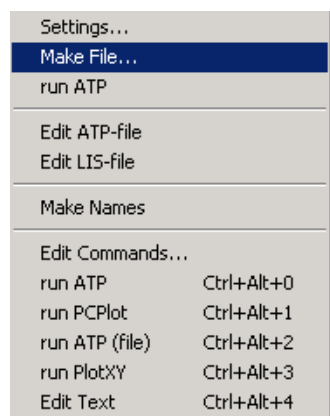


Obr. 9 ATP – Settings

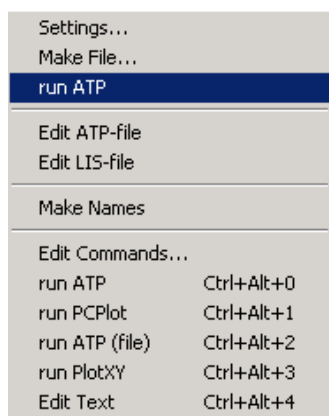


Obr. 10 Dialógové okno Settings – Simulation

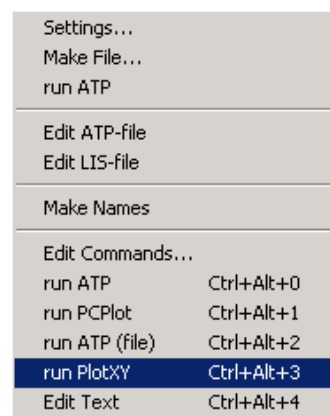
Príkazom **Make File** v hornom menu **ATP** sa vytvorí v podadresári ATP dátový súbor pre ATP s rovnakým názvom s príponou *.atp (obr. 11). Príkazom **run ATP** v hornom menu **ATP** sa spustí výpočet v programe ATP, ktorého výsledkom sú súbory s príponou *.lis a *.pl4 (obr. 12). V prostredí ATPDraw sa voľbou z horného menu **ATP run PlotXY** spustí grafický postprocesor (obr. 13).



Obr. 11 ATP – Make File...

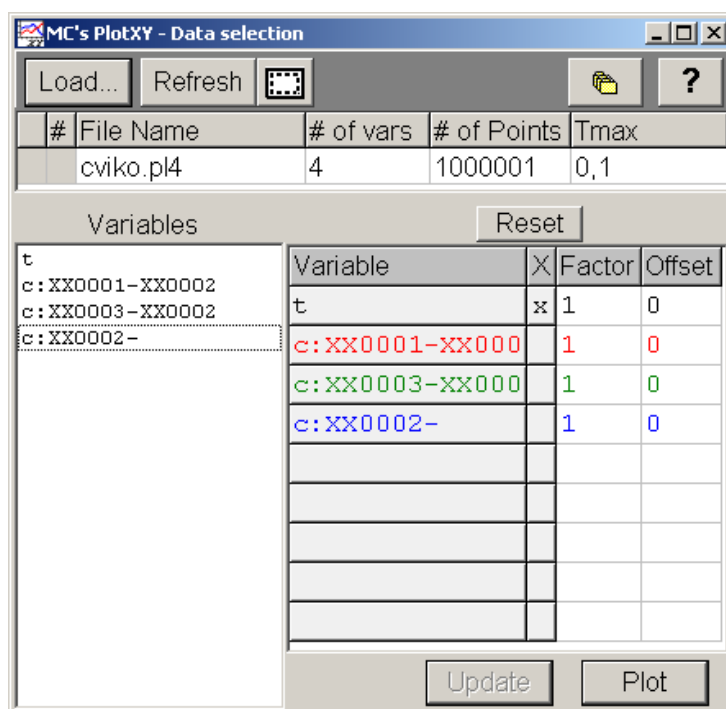


Obr. 12 ATP – run ATP



Obr. 13 ATP – run PlotXY

A v ňom je s označením **c: XX0001–XX0002** uvedený požadovaný priebeh prúdu I_1 , **c: XX0003–XX0002** priebeh prúdu I_2 a **c: XX0002–** priebeh prúdu I_3 . Stlačením ľavého tlačidla myši sa dané priebehy označia pre zobrazenie a stlačením tlačidla **Plot** sa následne zobrazia. **Poznámka:** čísla uzlov môžu byť odlišné, v závislosti od zapojenia obvodu a nemusia korešpondovať s týmto číslovaním!

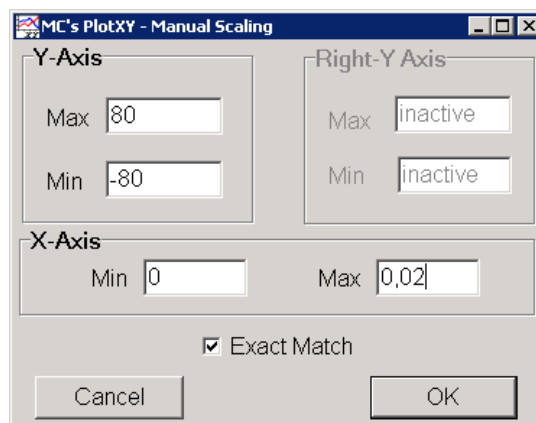


Obr. 14 Dialógové okno programu PlotXY pre vykreslenie priebehov

V okne PlotXY stlačíme tlačidlo Manual Scale v spodnom menu tlačidiel tohto okna (tretie zľava) (obr. 15) a následne v okne Manual Scaling zadáme minimálne a maximálne hranice pre zobrazenie priebehov. Nám postačuje jedna perióda, teda v X-Axis **Max** nastavíme hodnotu 0,02 (obr. 16) a potvrdíme tlačidlom **OK**.



Obr. 15 Tlačidlo Manual Scale

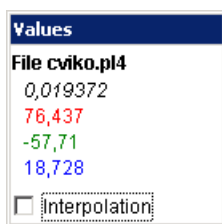


Obr. 16 Okno Manual Scaling

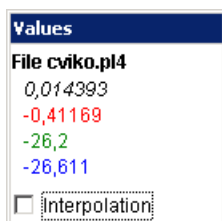
V okne PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor v spodnom menu tlačidiel tohto okna (štvrté zľava) (obr. 17) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde. Tu zistíme korešpondujúcu zhodu v amplitúde a fázovom natočení, t.j. čase prechodu veličiny nulou (porov. *Riešenie I*).



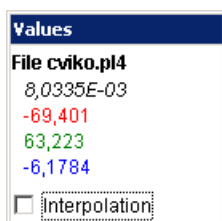
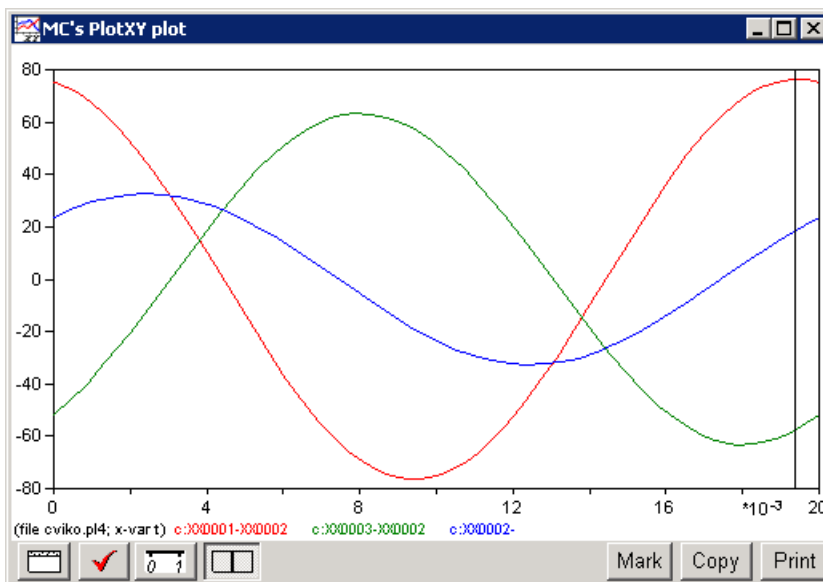
Obr. 17 Tlačidlo Show Cursor



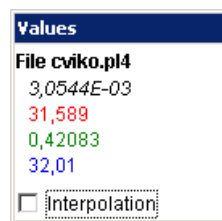
Obr. 18 Zobrazenie maximálnej hodnoty prúdu I_1



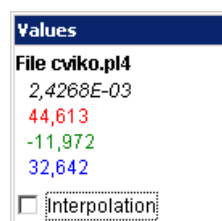
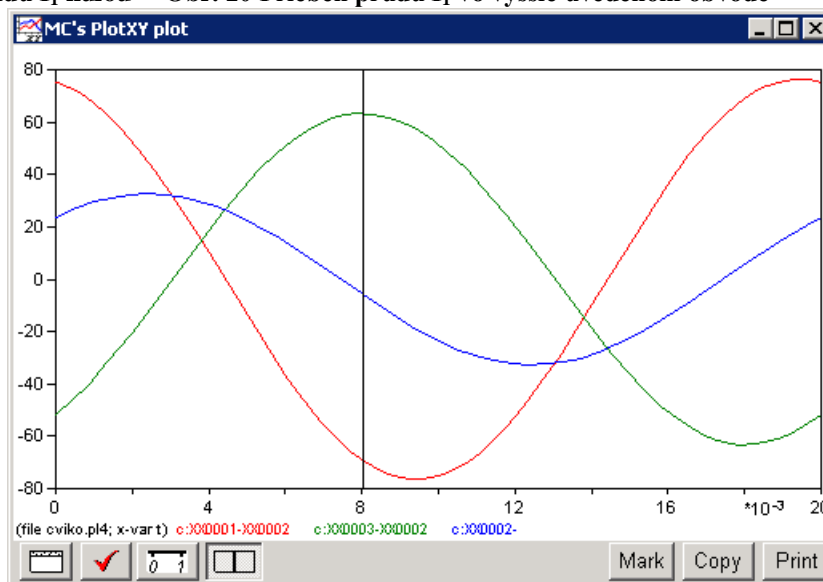
Obr. 19 Zobrazenie času prechodu prúdu I_1 nulou Obr. 20 Priebeh prúdu I_1 vo vyššie uvedenom obvode



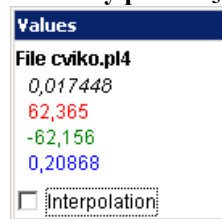
Obr. 21 Zobrazenie maximálnej hodnoty prúdu I_2



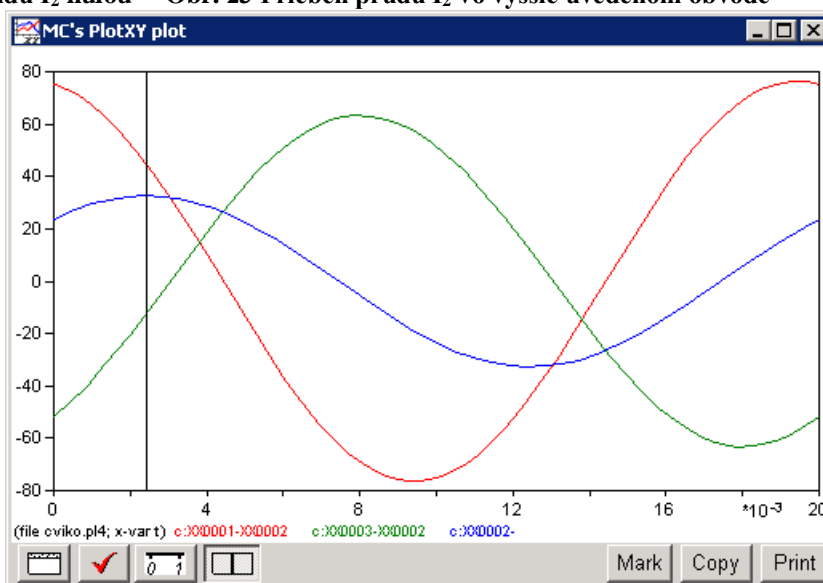
Obr. 22 Zobrazenie času prechodu prúdu I_2 nulou Obr. 23 Priebeh prúdu I_2 vo vyššie uvedenom obvode



Obr. 24 Zobrazenie maximálnej hodnoty prúdu I_3



Obr. 25 Zobrazenie času prechodu prúdu I_3 nulou Obr. 26 Priebeh prúdu I_3 vo vyššie uvedenom obvode



Z daných priebehov odčítaných v 1. perióde PlotXY je vidieť, že prúdy prechádzajú nulou v časoch, ktorým zodpovedajú fázové natočenia podľa vzťahu $\varphi = 360^\circ - \frac{t}{T} \cdot 360^\circ$ (pretože boli odčítané v 1. perióde):

$$t_1 = 0,01439\text{s} \Rightarrow \varphi_1 = 360^\circ - \frac{t_1}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ - \frac{0,01439}{0,02} \cdot 360^\circ = 100,98^\circ \approx -259,02^\circ$$

$$t_2 = 0,00305\text{s} \Rightarrow \varphi_2 = 360^\circ - \frac{t_2}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ - \frac{0,00305}{0,02} \cdot 360^\circ = 305,1^\circ \approx -54,9^\circ$$

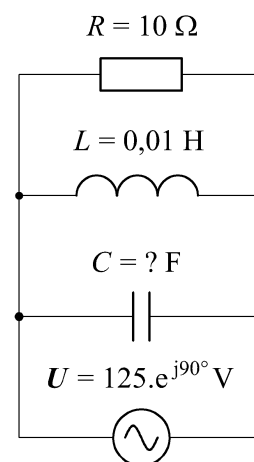
$$t_3 = 0,01745\text{s} \Rightarrow \varphi_3 = 360^\circ - \frac{t_3}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ - \frac{0,01745}{0,02} \cdot 360^\circ = 45,9^\circ \approx -314,4^\circ$$

Pri danom rozlíšení (Scaling) je zhoda postačujúca (viď skutočné hodnoty):

$$I_1 = 76,44 \cdot e^{j100,6^\circ} \text{ A}, I_2 = 63,23 \cdot e^{-j54,6^\circ} \text{ A}, I_3 = 32,64 \cdot e^{j46,3^\circ} \text{ A}$$

Príklad 11

Podľa schémy zapojenia na obr. 1 určte prostredníctvom ATPDraw prúdy prechádzajúce jednotlivými vetvami, pričom viete, že kapacita kondenzátora je rovná hodnote, pri ktorej vznikne v obvode rezonancia.



Obr. 1 Schéma zapojenia

Riešenie:

Pre daný elektrický obvod platí, že rezonancia paralelne zapojených elektrických prvkov vznikne, ak bude mať výsledná komplexná impedancia obvodu len reálnu časť, teda ohmický charakter. V tomto prípade postačuje, aby sa vzájomné paralelné zapojenie prvkov L a C rovnalo nule, t.j.

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{j \cdot X_L} + \frac{1}{-j \cdot X_C}$$

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{j \cdot \omega \cdot L} + \frac{1}{-j \cdot \frac{1}{\omega \cdot C}}$$

$$0 = \frac{1}{j \cdot \omega \cdot L} + j \cdot \omega \cdot C$$

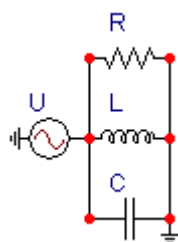
$$-j \cdot \omega \cdot C = \frac{1}{j \cdot \omega \cdot L}$$

$$C = \frac{1}{\omega^2 \cdot L}$$

$$C = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f)^2 \cdot L} = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot 50)^2 \cdot 0,01} = 1,0132 \cdot 10^{-3} \text{ F}$$

V ATPDraw sa vytvorí schéma zapojenia podľa obr. 2. Na napäťovom zdroji U nastavíme v položke **Amp** hodnotu 125 a v položke **Tsta** -1 a v **Tsto** hodnotu 0, čo má za

následok stály napät'ový zdroj. V **Type of source** ponecháme voľbu **Voltage**. Fázové natočenie zvolíme v položke **Pha** 0 (pretože implicitné nastavenie napät'ového zdroja predpokladá kosínusový zdroj) a frekvenciu v položke **f** 50.



Obr. 2 Schéma zapojenia v ATPDraw

DATA	VALUE
Amp.	125
f	50
Pha	0
A1	0
TSta	-1
TSto	0

NODE	PHASE	NAME
AC	1	

Order: 0 Label: U

Comment:

Type of source:
 Current
 Voltage

Hide
 Lock

Buttons: OK, Cancel, Help

Obr. 3 Nastavenie parametrov pre napät'ový zdroj U

Vo vlastnostiach rezistora nastavíme v položke **RES** hodnotu 10. V **Output** nastavíme voľbu **Current & Voltage** (obr. 4).

DATA	VALUE
RES	10

NODE	PHASE	NAME
From	1	
To	1	

Order: 0 Label: R

Comment:

Output: 3 - Current&Voltage

Hide
 Lock
 \$Vintage,1

OK Cancel Help

Obr. 4 Nastavenie parametrov rezistora

Vo vlastnostiach cievky nastavíme v položke **L** hodnotu 10 (predvolené je zadávanie hodnôt v mH). V **Output** nastavíme voľbu **Current & Voltage** (obr. 5).

DATA	VALUE
L	10
Kp	0

NODE	PHASE	NAME
From	1	
To	1	

Order: 0 Label: L

Comment:

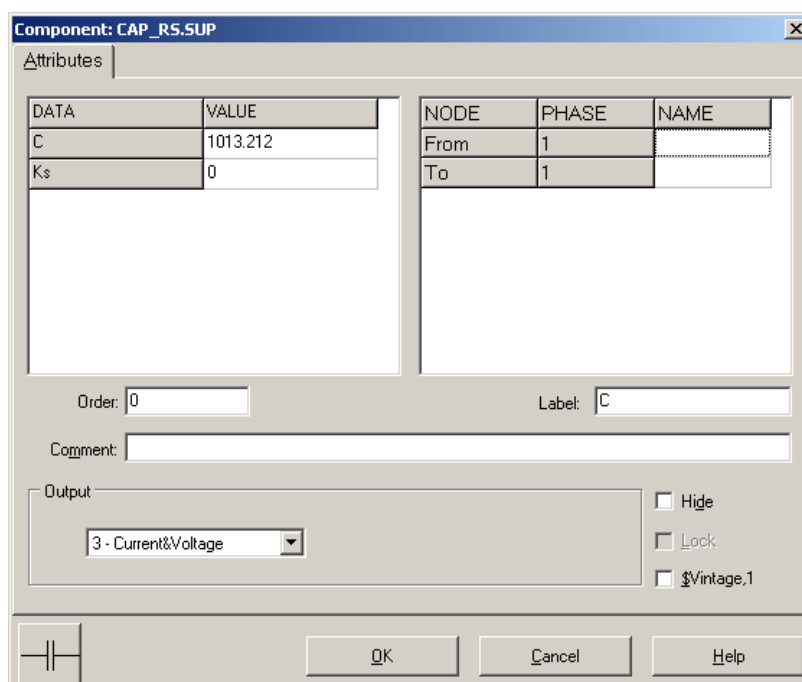
Output: 3 - Current&Voltage

Hide
 Lock
 \$Vintage,1

OK Cancel Help

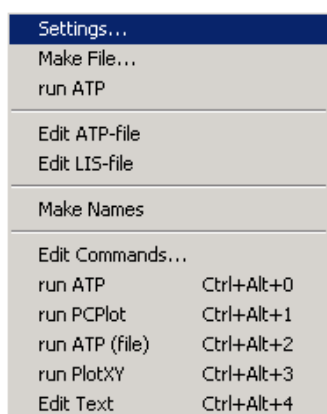
Obr. 5 Nastavenie parametrov cievky

Vo vlastnostiach kondenzátora nastavíme v položke **C** hodnotu 1013.2 (predvolené je zadávanie hodnôt v μF). V **Output** nastavíme voľbu **Current & Voltage** (obr. 6).

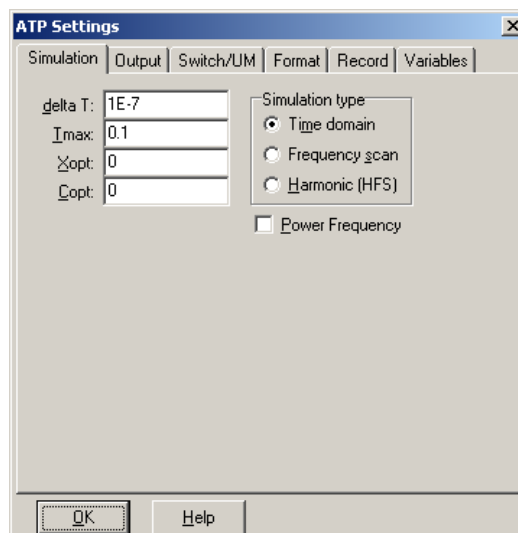


Obr. 6 Nastavenie parametrov kondenzátora

Časové podmienky simulácie sa nastavujú voľbou z horného menu **ATP Settings** a **Simulation** (obr. 7). Keďže sa jedná o striedavý obvod s frekvenciou 50 Hz, zaujíma nás prechodný dej, nastavíme krok výpočtu **delta T** $1E-7$ s a dobu výpočtu, minimálne však aspoň dve periódy (0,04 s), napr. **Tmax** 0,1 s (obr. 8).

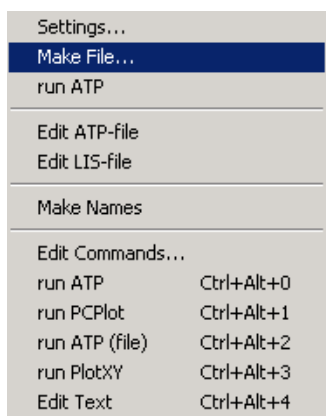


Obr. 7 ATP – Settings

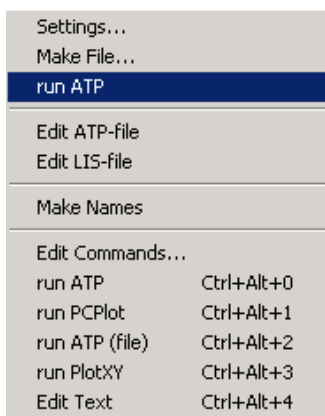


Obr. 8 Dialógové okno Settings – Simulation

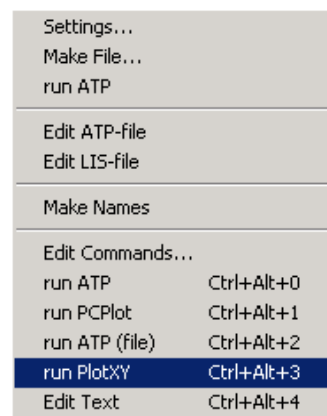
Príkazom **Make File** v hornom menu **ATP** sa vytvorí v podadresári ATP dátový súbor pre ATP s rovnakým názvom s príponou *.atp (obr. 9). Príkazom **run ATP** v hornom menu **ATP** sa spustí výpočet v programe ATP, ktorého výsledkom sú súbory s príponou *.lis a *.pl4 (obr. 10). V prostredí ATPDraw sa voľbou z horného menu **ATP run PlotXY** spustí grafický postprocesor (obr. 11).



Obr. 9 ATP – Make File...

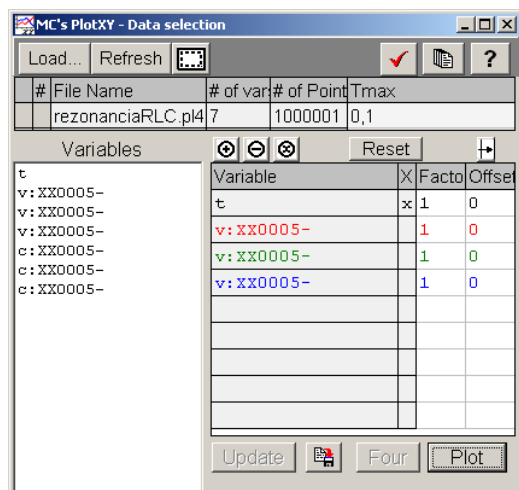


Obr. 10 ATP – run ATP

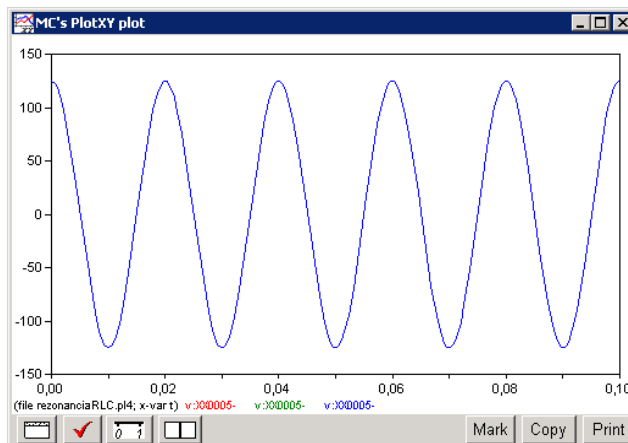


Obr. 11 ATP – run PlotXY

A v ňom je s označením **v: XX0005**– uvedený priebeh napätia v jednotlivých vetvách (pri paralelnej rezonancii v danom obvode sú napätia rovnaké). Stlačením ľavého tlačidla myši sa dané priebehy označia pre zobrazenie a stlačením tlačidla **Plot** sa následne zobrazia.

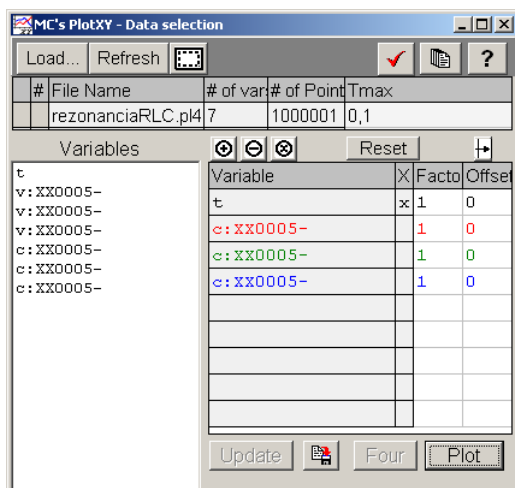


Obr. 12 Dialógové okno programu PlotXY pre vykreslenie priebehov



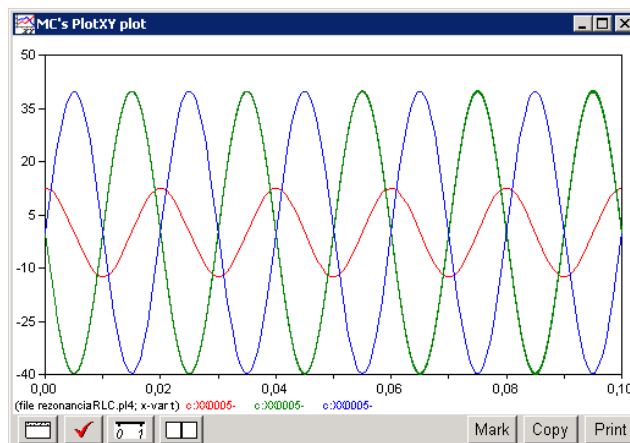
Obr. 13 Priebeh napätia vo vyššie uvedenom obvode

Podobne, s označením **c: XX0005**– je uvedený priebeh prúdu v jednotlivých vetvách. Stlačením ľavého tlačidla myši sa dané priebehy označia pre zobrazenie a stlačením tlačidla **Plot** sa následne zobrazia.



Obr. 14 Dialógové okno programu

PlotXY pre vykreslenie priebehov



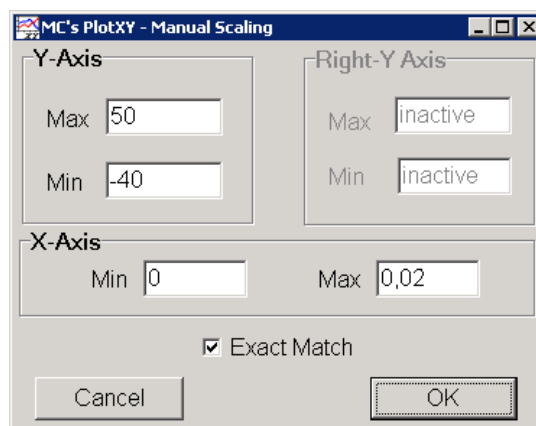
Obr. 15 Priebehy prúdov vo vetvách

vo vyššie uvedenom obvode

V okne PlotXY stlačíme tlačidlo Manual Scale v spodnom menu tlačidiel tohto okna (tretie zľava) (obr. 16) a následne v okne Manual Scaling zadáme minimálne a maximálne hranice pre zobrazenie priebehov. Nám postačuje jedna perióda, teda v X-Axis **Max** nastavíme hodnotu 0,02 (obr. 17) a potvrdíme tlačidlom **OK**.



Obr. 16 Tlačidlo Manual Scale

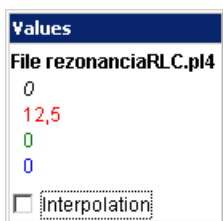


Obr. 17 Okno Manual Scaling

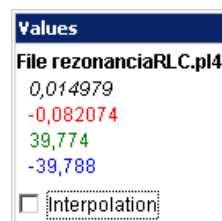
V okne PlotXY stlačíme tlačidlo Show Cursor v spodnom menu tlačidiel tohto okna (štvrté zľava) (obr. 18) a následne posúvame kurzorom (zvislou) čiarou pre zobrazenie hodnôt v požadovanom čase a amplitúde.



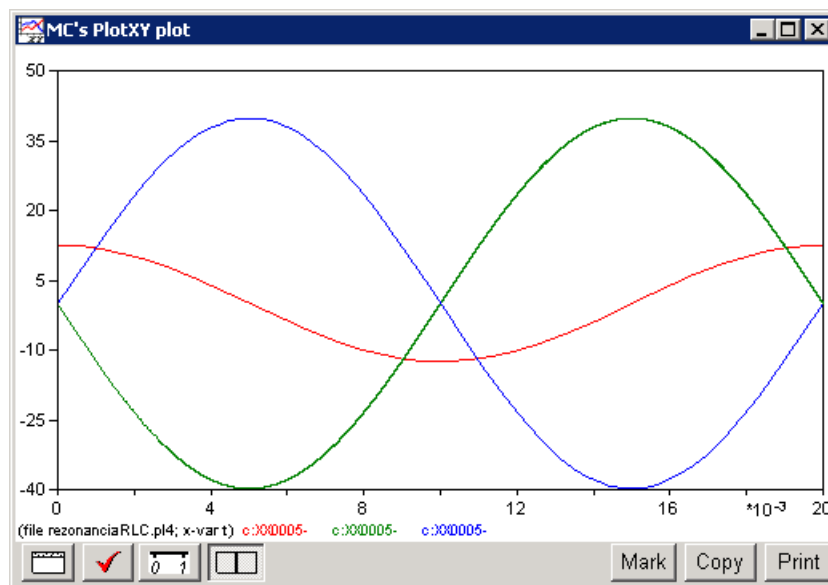
Obr. 18 Tlačidlo Show Cursor



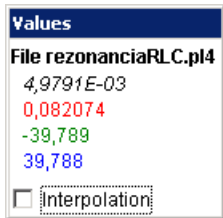
Obr. 19 Zobrazenie maximálnej hodnoty prúdu I_R



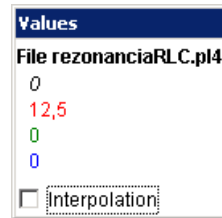
Obr. 20 Zobrazenie času prechodu prúdu I_R nulou



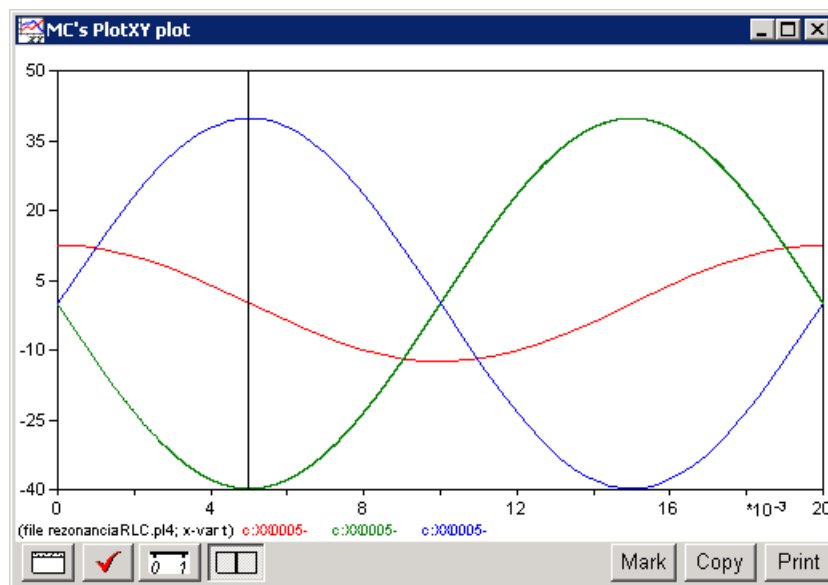
Obr. 21 Priebek prúdu I_R vo vyššie uvedenom obvode



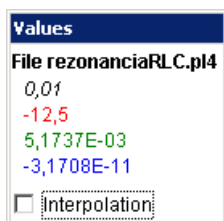
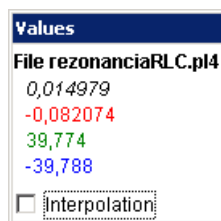
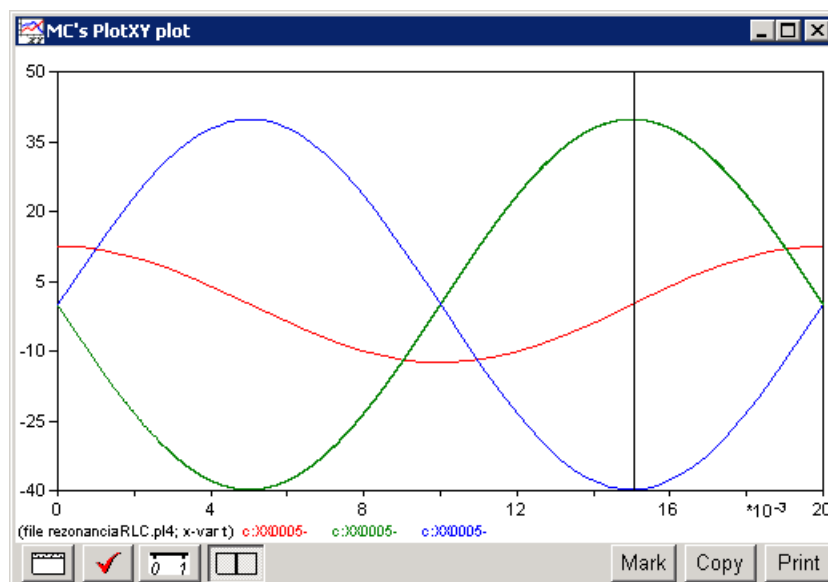
Obr. 22 Zobrazenie maximálnej hodnoty prúdu I_L



Obr. 23 Zobrazenie času prechodu prúdu I_L nulou



Obr. 24 Priebek prúdu I_L vo vyššie uvedenom obvode

Obr. 25 Zobrazenie maximálnej hodnoty prúdu I_C Obr. 26 Zobrazenie času prechodu prúdu I_C nulouObr. 27 Priebeh prúdu I_C vo vyššie uvedenom obvode

Z daných priebehov odčítaných v 1. perióde PlotXY je vidieť, že prúdy prechádzajú nulou v časoch, ktorým zodpovedajú fázové natočenia podľa vzťahu $\varphi = 360^\circ - \frac{t}{T} \cdot 360^\circ$ (pretože boli odčítané v 1. perióde):

$$t_1 = 0,01498\text{s} \Rightarrow \varphi_1 = 360^\circ - \frac{t_1}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ - \frac{0,014979}{0,02} \cdot 360^\circ = 90,4^\circ \approx -269,6^\circ$$

$$t_2 = 0\text{s} \Rightarrow \varphi_2 = 360^\circ - \frac{t_2}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ - \frac{0}{0,02} \cdot 360^\circ = 360^\circ \approx 0^\circ$$

$$t_3 = 0,01\text{s} \Rightarrow \varphi_3 = 360^\circ - \frac{t_3}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ - \frac{0,01}{0,02} \cdot 360^\circ = 180^\circ \approx -180^\circ$$

$$I = I_{\max} \cdot e^{j \frac{t}{T} 360^\circ} \text{ A}$$

$$I_R = 12,5 \cdot e^{j90^\circ} \text{ A}$$

$$I_L = 39,788 \cdot e^{j360^\circ} = 39,788 \cdot e^{j0^\circ} \text{ A}$$

$$I_C = 39,774 \cdot e^{j180^\circ} = 39,774 \cdot e^{-j180^\circ} \text{ A}$$

$$U_R = U_L = U_C = U = 125 \cdot e^{j90^\circ} \text{ V}$$

4 VYPÍNANIE A PRERUŠENIE OBVODU

Vypínanie

Ide o priebeh prerušovania kontaktov vypínača, kedy pri oddelení kontaktov vzniká a zháša sa oblúk, prerušuje sa prúd a obnovuje napätie na kontaktoch vypínača.

Prerušenie prúdu

Je dočasný zánik prúdu (vypnutie) a hodnota striedavého prúdu je nulová.

Zotavené napätie

Transient Recovery Voltage (TRV) je zotavené napätie, ktoré sa objaví na kontaktoch vypínača po prerušení prúdu.

4.1 Parametre charakterizujúce vypínanie skratového prúdu

Vypínanie nastáva pri prechode prúdu nulou po rozpojení kontaktov vypínača v striedavom obvode. Úspešnosť alebo neúspešnosť vypnutia závisí od týchto parametrov:

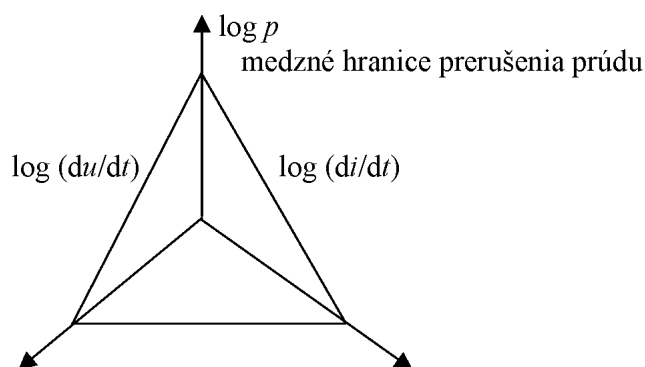
- maximálna hodnota prúdu v danom obvode
- časová zmena prúdu pred prechodom prúdu nulou (di/dt)
- nárast zotaveného napätia medzi kontaktmi (du/dt)
- maximálna hodnota zotaveného napätia (TRV)
- energia zhášaného oblúka (tlak plynu medzi kontaktmi, tvar kontaktov, počet sériových prerušovacích dráh, atď.)

Pri vypínaní prevláda prúdová strmosť (di/dt), nárast TRV (du/dt) a tlak plynu medzi kontaktmi (p). Autor stanovil experimentálne nasledujúcu rovnicu:

$$\frac{dv}{dt} = K \cdot p^\alpha \left(\frac{di}{dt}\right)^\beta \quad (4.1)$$

Experimentálne získané hodnoty pre vypínače s SF₆ od dvoch výrobcov sú:

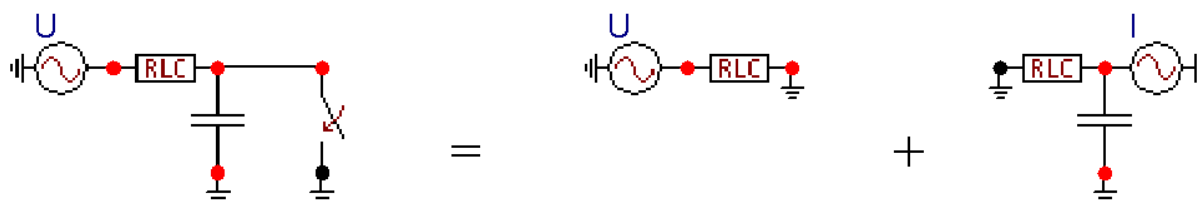
GCB	$\alpha = 2,68,$	$\beta = -2,24$
ABB	$\alpha = 1,60,$	$\beta = -1,30$



Obr. 4.1 Medzná hranica prerušenia prúdu

4.2 Metóda injekcie prúdu pre riešenie zotaveného napätia pri vypínaní obvodu

Ako ukazuje obr. 4.2, môže byť vypínací obvod nahradený podľa Theveninovej vety obvodom skratu a obvodom prúdového zdroja, ktorý do obvodu injektuje z prúdového zdroja opačný prúd. Pri zopnutí prúdového zdroja v okamihu odpojenia vypínača v pôvodnom obvode a pre nulový počiatočný prúd zdroja sú veličiny pôvodného obvodu dané superpozíciou veličín obvodu skratu a obvodu prúdového zdroja. Zotavené napätie (TRV) je tu priamo napätím na prúdovom zdroji (viď. *Preklad textov prof. Eiichi Haginomoriho pre prácu s EMTP-ATP*, kapitola 2).

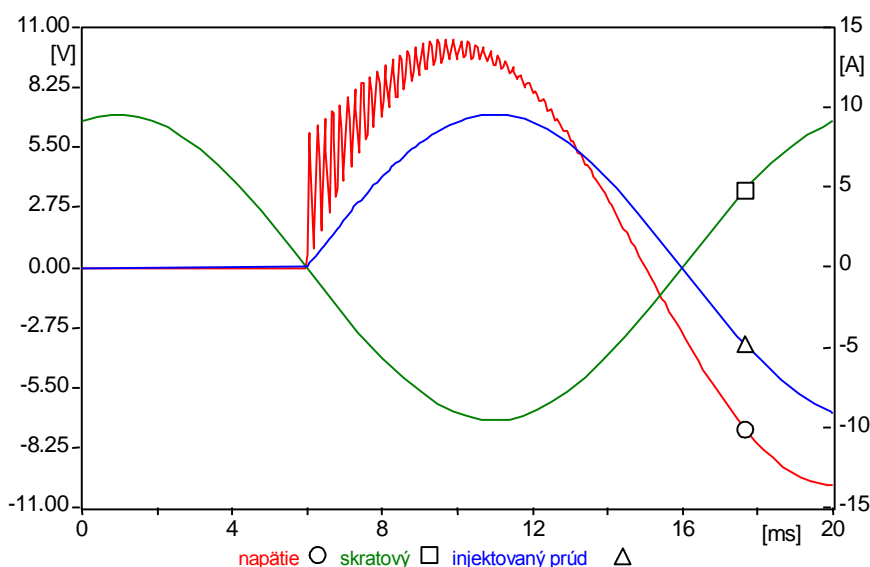


Obr. 4.2 Náhrada obvodu pre demonštráciu vzniku zotaveného napätia pomocou Theveninovej vety

V príklade je zdroj s frekvenciou 50 Hz, s amplitúdou napätia 10 V pripojený k sériovému rezistoru 1 Ω a indukčnosti 1 mH. Kapacita má veľkosť 1 μF . Ustálený skratový prúd má amplitúdu:

$$\frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = \frac{10}{\sqrt{1 + 0,314^2}} = 9,54 \text{ A} \quad (4.2)$$

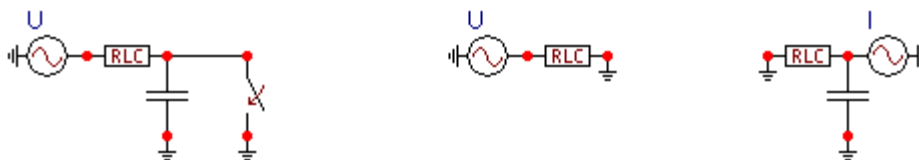
Prúd je pritom oneskorený za napätím o $\arctan 0,314 = 17,43^\circ$ a nulou prejde v čase $(90^\circ + 17,43^\circ)/18 = 5,97 \text{ ms}$. Vo výpočte bol zanedbaný malý prúd kondenzátorom. Takto definovaný prúdový zdroj potom umožňuje vypočítať zotavené napätie podľa obr. 4.2 vpravo. Týmto spôsobom sa dajú analyzovať priebehy zotavených napätí v rôznych konfiguráciách elektrických sietí.



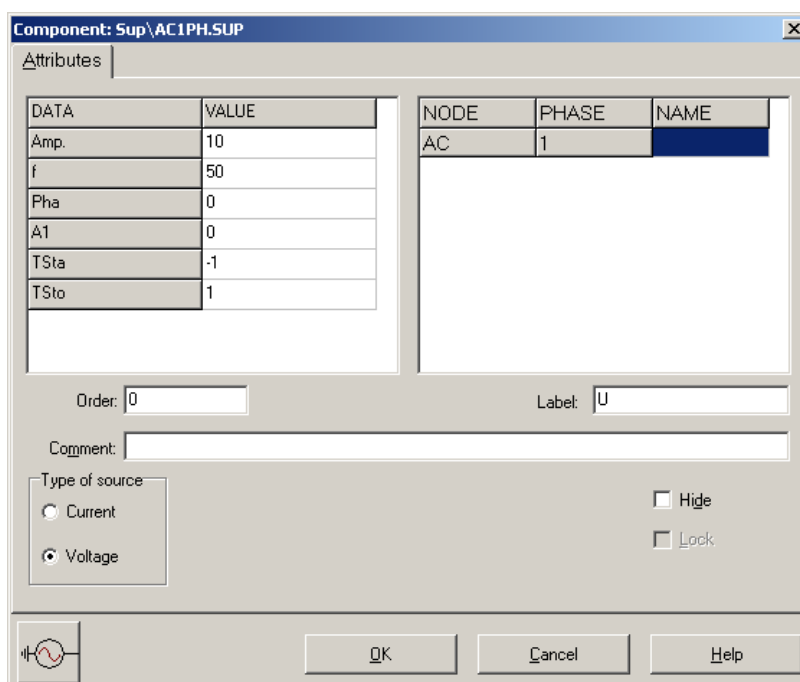
Obr. 4.3 Priebeh zotaveného napätia, skratového a injektovaného prúdu pre schému na obr. 4.2

4.2.1 Postupnosť krokov pri zadávaní údajov v programe ATP

V ATPDraw sa vytvorí schéma zapojenia podľa obr. 4.4. Na napät'ovom zdroji nastavíme v položke **Amp** hodnotu 10 a v položke **Tsta** -1 a **Tsto** hodnotu 1, čo má za následok napät'ový zdroj po dobu 1 sekundy. V **Type of source** ponecháme voľbu **Voltage**. Frekvenciu zvolíme v položke **f** 50.



Obr. 4.4 Schéma zapojenia v ATPDraw



Obr. 4.5 Nastavenie parametrov pre napät'ový zdroj *U*

V RLC prvku zadáme do položky **R** hodnotu 1, do **L** hodnotu 1 a do **C** hodnotu 0.

The screenshot shows the 'Component: Sup\RLC.SUP' dialog box. It has an 'Attributes' tab. On the left, there is a table with columns 'DATA' and 'VALUE'. On the right, there is a table with columns 'NODE', 'PHASE', and 'NAME'. Below these tables are fields for 'Order', 'Label', and 'Comment'. There is an 'Output' section with a dropdown menu and three checkboxes: 'Hide', 'Lock', and '\$Vintage,1'. At the bottom, there is a small icon of an RLC component, and buttons for 'OK', 'Cancel', and 'Help'.

DATA	VALUE
R	1
L	1
C	0

NODE	PHASE	NAME
From	1	
To	1	

Order: 0 Label:

Comment:

Output: Hide
 Lock
 \$Vintage,1

RLC

Obr. 4.6 Nastavenie parametrov RLC prvku

V položke kondenzátora **C** zadáme hodnotu 1 (μF). Keďže chceme zistiť veľkosť napätia na tomto prvku, v položke **Output** nastavíme voľbu **Voltage**.

The screenshot shows the 'Component: Sup\CAPACITO.SUP' dialog box. It has an 'Attributes' tab. On the left, there is a table with columns 'DATA' and 'VALUE'. On the right, there is a table with columns 'NODE', 'PHASE', and 'NAME'. Below these tables are fields for 'Order', 'Label', and 'Comment'. There is an 'Output' section with a dropdown menu and three checkboxes: 'Hide', 'Lock', and '\$Vintage,1'. At the bottom, there is a small icon of a capacitor, and buttons for 'OK', 'Cancel', and 'Help'.

DATA	VALUE
C	1

NODE	PHASE	NAME
From	1	
To	1	

Order: 0 Label:

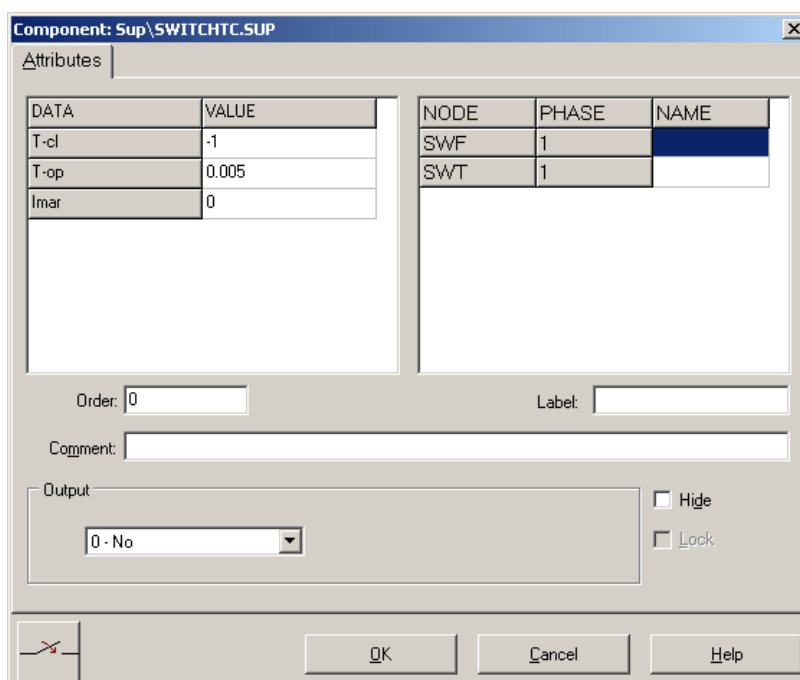
Comment:

Output: Hide
 Lock
 \$Vintage,1

Capacitor

Obr. 4.7 Nastavenie parametrov kondenzátora

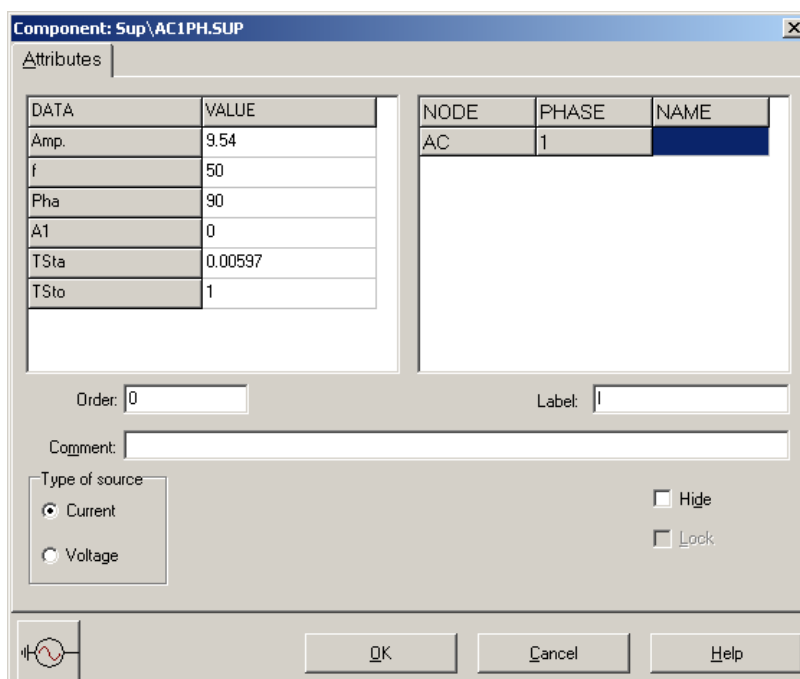
Na vypínači zadáme v položke **T-cl** hodnotu -1 , v **T-op** hodnotu 0.005 .



Obr. 4.8 Nastavenie parametrov vypínača

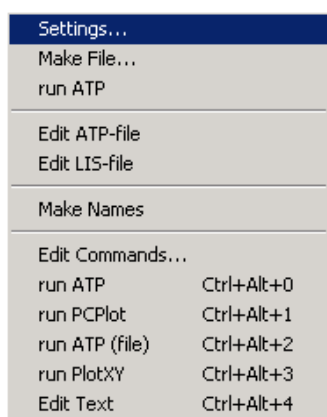
V náhradnom obvode sa hodnoty napätového zdroja nastavujú rovnako ako na obr. 4.4 a parametre RLC prvku podobne ako na obr. 4.6, pričom v položke **Output** nastavíme voľbu **Current**. Hodnoty kondenzátora sú rovnaké ako na obr. 4.7.

Na prúdovom zdroji nastavíme v položke **Amp** vypočítanú hodnotu ustáleného skratového prúdu 9.54 a v položke **Tsta** 0.00597 a **Tsto** hodnotu 1 . V **Type of source** zvolíme voľbu **Current**. Fázové natočenie nastavíme v položke **Pha** 90 a frekvenciu v položke **f** 50 .

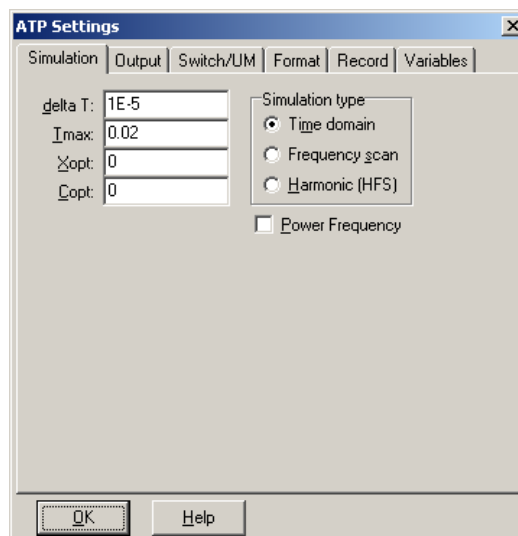


Obr. 4.9 Nastavenie parametrov pre napätový zdroj U

Časové podmienky simulácie sa nastavujú voľbou z horného menu **ATP Settings** a **Simulation** (obr. 4.10). Keďže sa jedná o prechodný dej, krok výpočtu musíme tomu prispôbiť **delta T** $1E-5$ s a podobne aj doba výpočtu, napr. **Tmax** 0.02 s (obr. 4.11).

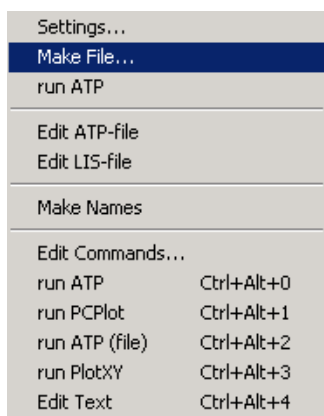


Obr. 4.10 ATP – Settings

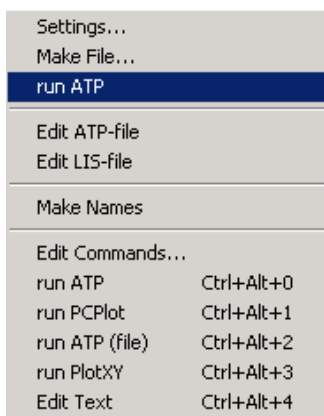


Obr. 4.11 Dialógové okno Settings – Simulation

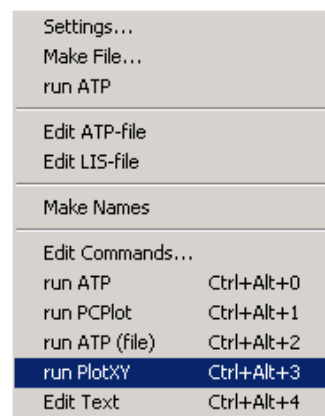
Príkazom **Make File** v hornom menu **ATP** sa vytvorí v podadresári ATP dátový súbor pre ATP s rovnakým názvom s príponou *.atp (obr. 4.12). Príkazom **run ATP** v hornom menu **ATP** sa spustí výpočet v programe ATP, ktorého výsledkom sú súbory s príponou *.lis a *.pl4 (obr. 4.13). V prostredí ATPDraw sa voľbou z horného menu **ATP run PlotXY** spustí grafický postprocesor (obr. 4.14).



Obr. 4.12 ATP – Make File...

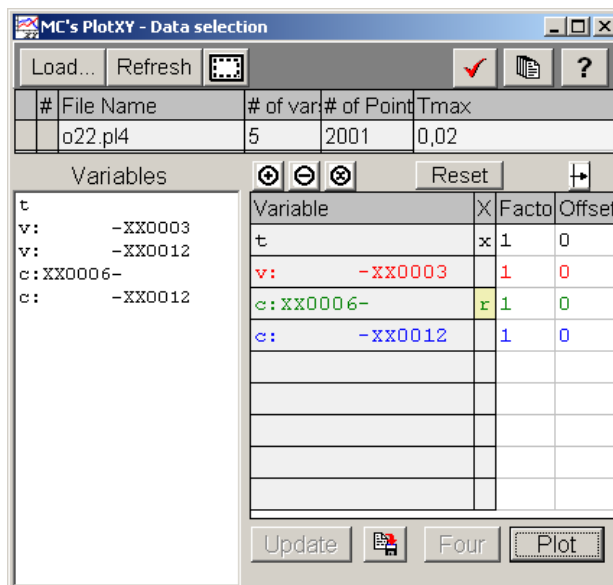


Obr. 4.13 ATP – run ATP

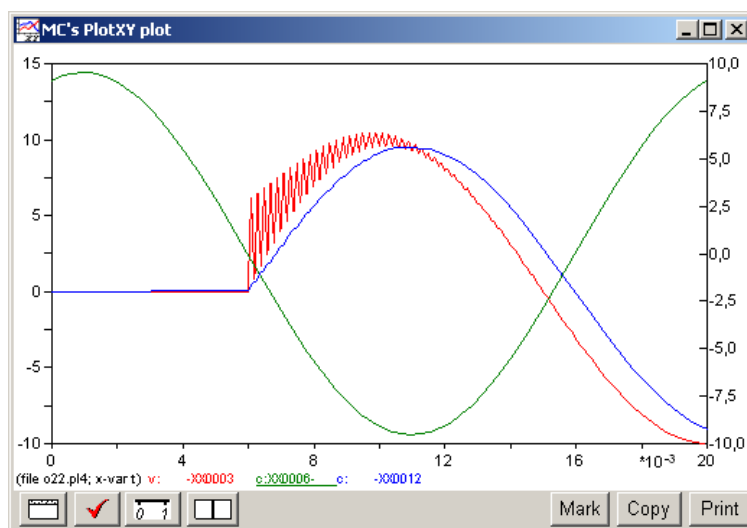


Obr. 4.14 ATP – run PlotXY

A v ňom je s označením **v: -XX0003** uvedený požadovaný priebeh zotaveného napätia a **c: XX0006-** priebeh skratového a **c: -XX0012** priebeh injektovaného prúdu. Stlačením ľavého tlačidla myši (pravého pre prúdy) sa dané priebehy označia pre zobrazenie a stlačením tlačidla **Plot** sa následne zobrazia.



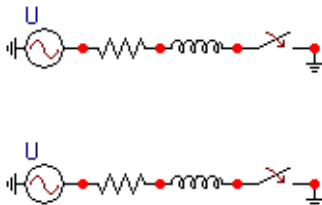
Obr. 4.15 Dialógové okno programu PlotXY pre vykreslenie priebehov



Obr. 4.16 Priebeh zotaveného napätia, skratového a injektovaného prúdu

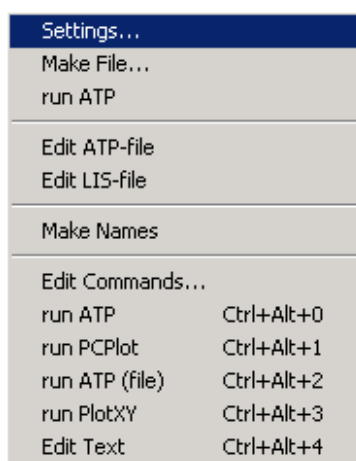
Príklad 1

Riešme prechodný dej pripojenia sériového R - L obvodu k striedavému 1-f zdroju. Sú dané hodnoty $R = 1 \Omega$, $L = 25 \text{ mH}$ a napätie zdroja $U = 10000 \text{ V}$. Schéma zapojenia je na obr. 4.17.

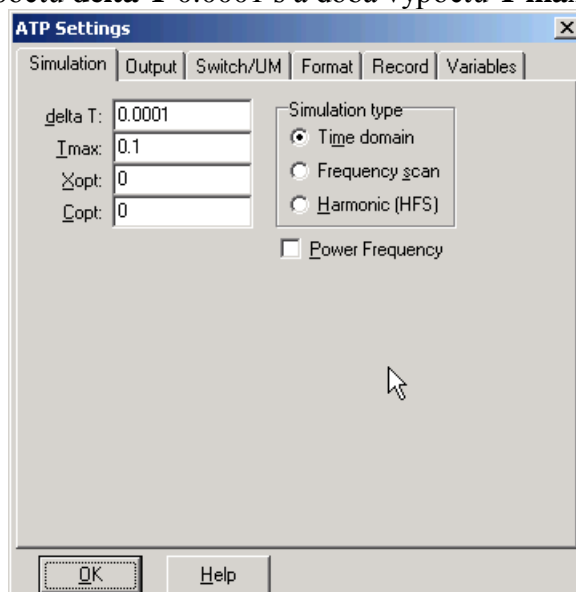


Obr. 4.17 Schéma zapojenia obvodu v ATPDraw

Pre simuláciu prechodného deja sa musia nastaviť podmienky simulácie voľbou **ATP Settings** a **Simulation**.



Zadá sa krok výpočtu **delta T** 0.0001 s a doba výpočtu **T max** 0.1 s.



Napätie 10000 V sa zapíše v tabuľke zdroja do **Amp**.

Component: AC1PH

Attributes

DATA	VALUE	NODE	PHASE	NAME
U/I	10000	AC	1	
Amp.	10000			
f	50			
Pha	0			
A1	0			
TSta	-1			
TSto	1			

Group No: 0 Label: U

Comment:

Hide
 Lock

OK Cancel Help

Pri rezistore bude do **RES** zadaná hodnota 1. V tejto tabuľke sa rovnako zvolí na výstupe (Output) voľba **Current** (teda budeme snímať prúd na tomto prvku).

Component: RESISTOR

Attributes

DATA	VALUE	NODE	PHASE	NAME
RES	1	From	1	
		To	1	

Group No: 0 Label:

Comment:

Output

Current Voltage Curr&Volt Power&Energy

Hide
 Lock
 \$Vintage,1

OK Cancel Help

Pri induktore bude do **L** zadaná hodnota 25 (predvolené nastavenie je v mH (mili henry), nie v H).

Component: INDUCTOR

Attributes

DATA	VALUE
L	25

NODE	PHASE	NAME
From	1	
To	1	

Group No: 0 Label:

Comment:

Output

Current Voltage Curr&Volt Power&Energy

Hide Lock \$Vintage,1

OK Cancel Help

Na časovom spínači sa nastaví v **T-op** hodnota 0.1 (ako oddeľovací znak je nutné používať bodku).

Component: SWITCHTC

Attributes

DATA	VALUE
T-cl	1
T-op	0.1
Imar	0

NODE	PHASE	NAME
SWF	1	
SWT	1	

Group No: 0 Label:

Comment:

Output

Current Voltage Curr&Volt Power&Energy

Hide Lock

OK Cancel Help

Na druhej schéme sa zapíše do tabuľky zdroja do **Amp.** 10000 V a fázový posun **Pha** 180.

Component: AC1PH

Attributes

DATA	VALUE	NODE	PHASE	NAME
U/I	0	AC	1	
Amp.	10000			
f	50			
Pha	180			
A1	0			
TSta	-1			
TSto	1			

Group No: 0 Label: U

Comment:

Hide
 Lock

OK Cancel Help

Pri rezistore bude do **RES** zadaná hodnota 1. V tejto tabuľke sa rovnako ako v predchádzajúcom prípade zvolí na výstupe (Output) voľba **Current** (teda budeme snímať prúd prechádzajúci rezistorom).

Component: RESISTOR

Attributes

DATA	VALUE	NODE	PHASE	NAME
RES	1	From	1	
		To	1	

Group No: 0 Label:

Comment:

Output

Current Voltage Curr&Volt Power&Energy

Hide
 Lock
 \$Vintage,1

OK Cancel Help

Pri induktore bude do **L** zadaná hodnota 25 (predvolené nastavenie je v mH (mili henry), nie v H).

Component: INDUCTOR

Attributes

DATA	VALUE	NODE	PHASE	NAME
L	25	From	1	
		To	1	

Group No: 0 Label:

Comment:

Output

Current Voltage Curr&Volt Power&Energy

Hide Lock \$Vintage,1

OK Cancel Help

Na časovom spínači sa nastaví v **T-op** hodnota 0.1 a **T-cl** hodnota 0.005.

Component: SWITCHTC

Attributes

DATA	VALUE	NODE	PHASE	NAME
T-cl	0.005	SWF	1	
T-op	0.1	SWT	1	
Imar	0			

Group No: 0 Label:

Comment:

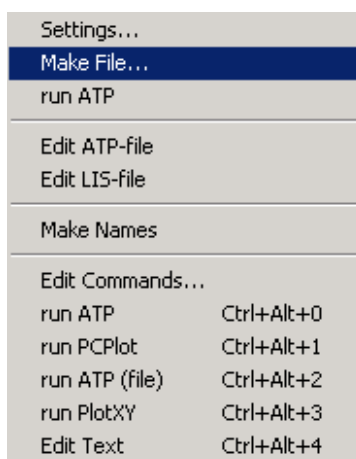
Output

Current Voltage Curr&Volt Power&Energy

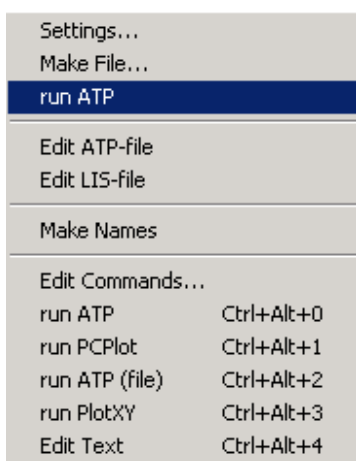
Hide Lock

OK Cancel Help

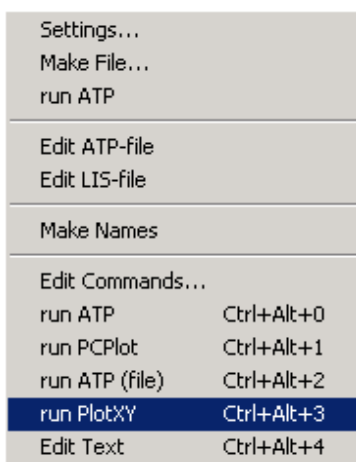
Príkazom **Make File** v hornom menu **ATP** sa vytvorí dátový ATP súbor s príponou *.atp.



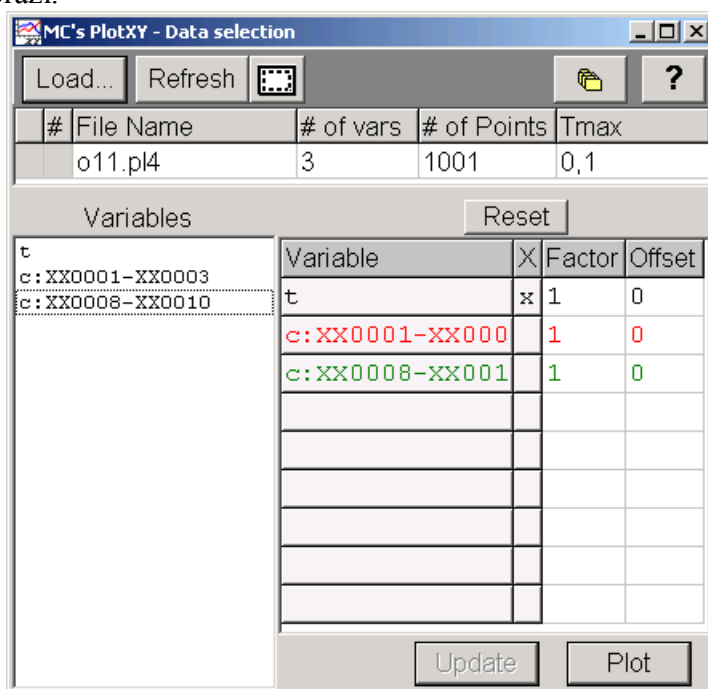
Príkazom **run ATP** v hornom menu **ATP** sa spustí výpočet v programe ATP, ktorého výsledkom sú súbory s príponou *.lis a *.pl4. Súbor *.lis je výstupný dátový súbor a rovnako ako súbor *.atp dajú as prezerat' z prostredia ATPDraw voľbou **ATP Edit**.



Súbory s príponou *.pl4 sú komprimované grafické dáta, ktoré je možné prezerat' niektorým z grafických postprocesorov, ako napríklad PlotXY. Stále v prostredí ATPDraw sa voľbou z horného menu **ATP run PlotXY** spustí grafický postprocesor

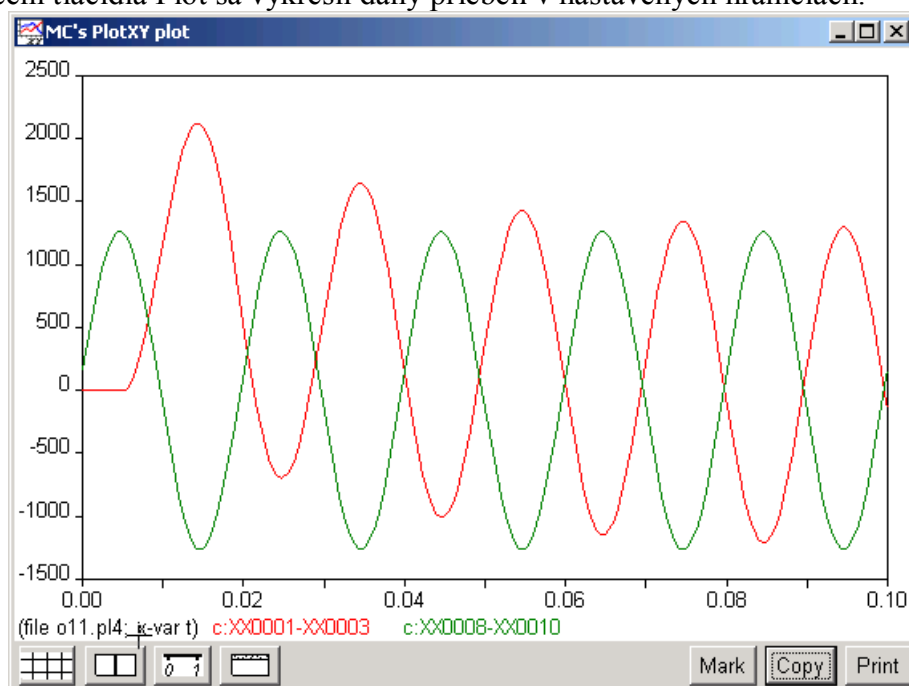


a v ňom je s označením c: XX0001-XX0002 uvedený požadovaný priebeh prúdu. Stlačením ľavého tlačidla myši sa priebeh preniesie do zvolených hodnôt k zobrazeniu a stlačením tlačidla **Plot** sa zobrazí.



Obr. 4.18 Dialógové okno programu PlotXY pre vykreslenie priebehov

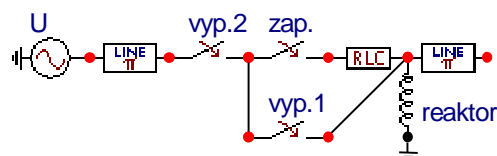
Po stlačení tlačidla Plot sa vykreslí daný priebeh v nastavených hraniciach.



Obr. 4.19 Priebehy prúdov vo vyššie uvedení obvodoch

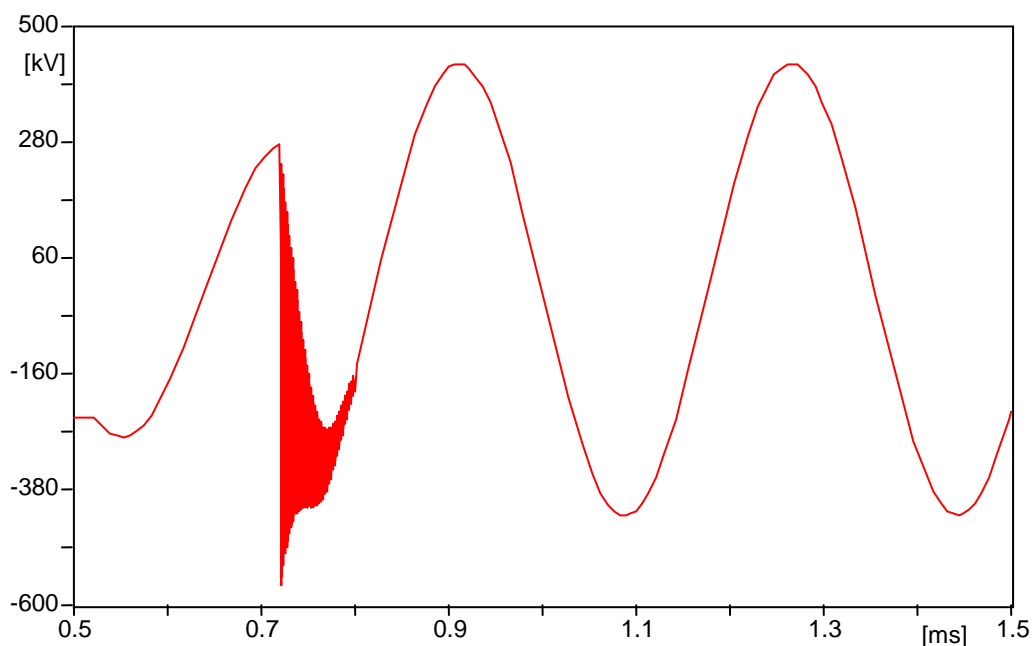
4.3 Prerušenie indukčného prúdu

Relatívne malý indukčný prúd je prúd budičov, transformátora naprázdno, rozbehový prúd motora apod. Takýto prúd s amplitúdou niekoľkých jednotiek až stoviek ampérov je často prerušovaný ešte pred prechodom nulou. Akumulovaná energia magnetického poľa vytvorí na kapacitách obvodu prepätie. Typický jednofázový obvod na obr. 4.20 znázorňuje vypnutie paralelného reaktora (viď. *Preklad textov prof. Eiichi Haginomoriho pre prácu s EMTP-ATP*, kapitola 4).



Obr. 4.20 Vypínanie jednofázového reaktora

Pri vzdialení kontaktov vypínača v okamihu, kedy sa prúd blíži nule, dôjde k vzájomnému pôsobeniu prvkov obvodu a oblúka, ktorý horí medzi kontaktmi vypínača. Prúd začne oscilovať a môže byť ľahko prerušovaný aj pred prechodom nulou. Frekvencia oscilácií je veľmi vysoká, až niekoľko stoviek kHz a prerušenie prúdu sa preto javí ako okamžité. Obr. 4.21 ukazuje priebeh napätia na reaktore. Po vypnutí prvým vypínačom zostáva na reaktore záporné napätie. Po novom pripojení reaktora (v čase 0,72 ms) začne napätie oscilovať. To zodpovedá opakovanému prerazu vo vypínači. Amplitúda oscilácií pritom dosiahne v danom prípade 560 kV pri amplitúde napätia zdroja 245 kV. Po nasledovnom vypnutí druhým vypínačom (v čase 0,8 ms) vykazuje napätie na reaktore tlmené oscilácie nízkej frekvencie danej indukčnosťou reaktora a kapacitou vedenia (π článok na obr. 4.20).



Obr. 4.21 Napätie na reaktore pri vypínaní

Zhasnutie oblúka vo vypínači nastane pri prúde 5 až 50 A pri vzduchových a SF₆ vypínačoch. Experimentálne a tiež analýzou bolo určené, že veľkosť prúdu prerušenia závisí od druhej mocniny kapacitancie pripojenej k vypínaču. Prepätie bude vyššie v prípade malej kapacity, väčšej indukčnosti a frekvencie oscilácií. V závislosti od veľkosti kapacity a indukčnosti začína pri hodnotách rádovo kHz. Škodlivé účinky prepätí sa preto dajú eliminovať použitím prepäťových ochrán. Veľkosť prepätia je možné vyjadriť zo zákona zachovania energie:

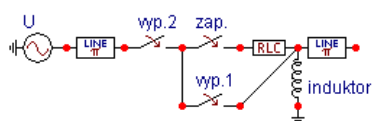
$$\frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2 = \frac{1}{2} \cdot L \cdot i_c^2 + \frac{1}{2} \cdot C \cdot U_0^2 \quad (4.3)$$

kde U je veľkosť prepätia, i_c hodnota prúdu prerušenia a U_0 amplitúda napätia zdroja.

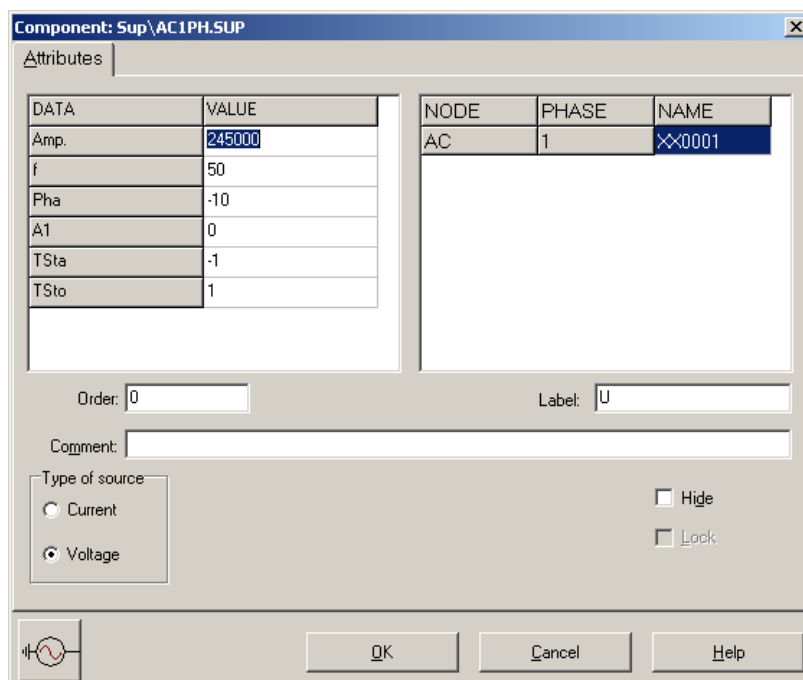
Keďže kontakty vypínača sú v okamihu prerušenia prúdu ešte blízko, môže nastať vplyvom prepätia opakovaný prieraz. Vyvolané oscilácie s frekvenciou stoviek kHz majú značne vyššie hodnoty napätia. Pri vysokej frekvencii nie je namáhanie izolácie vinutia cievky rovnomerné a hrozí nebezpečenstvo prierazu na vstupných závitoch. Problémy vysokej frekvencie neodstránia prepäťové ochrany a používa sa preto časová synchronizácia počas vzdľavovania kontaktov.

Postupnosť krokov pri zadávaní údajov v programe ATP:

V ATPDraw sa vytvorí schéma zapojenia podľa obr. 4.22. Na napät'ovom zdroji nastavíme v položke **Amp** hodnotu 245000 a v položke **Tsta** –1 a **Tsto** hodnotu 1, čo má za následok napät'ový zdroj po dobu 1 sekundy. V **Type of source** ponecháme voľbu **Voltage**. Fázové natočenie zvolíme v položke **Pha** –10 a frekvenciu v položke **f** 50.

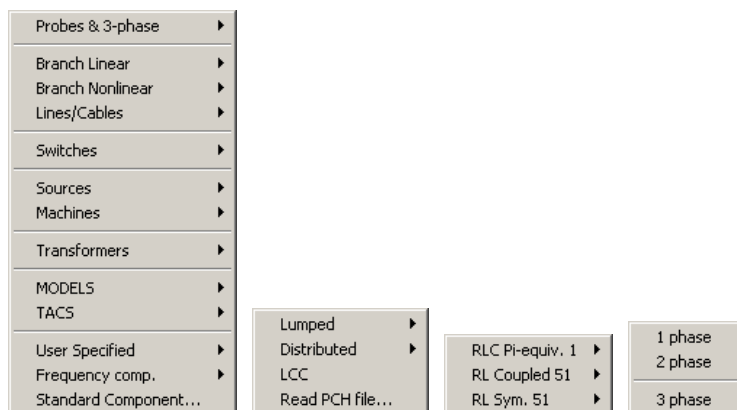


Obr. 4.22 Schéma zapojenia
v ATPDraw

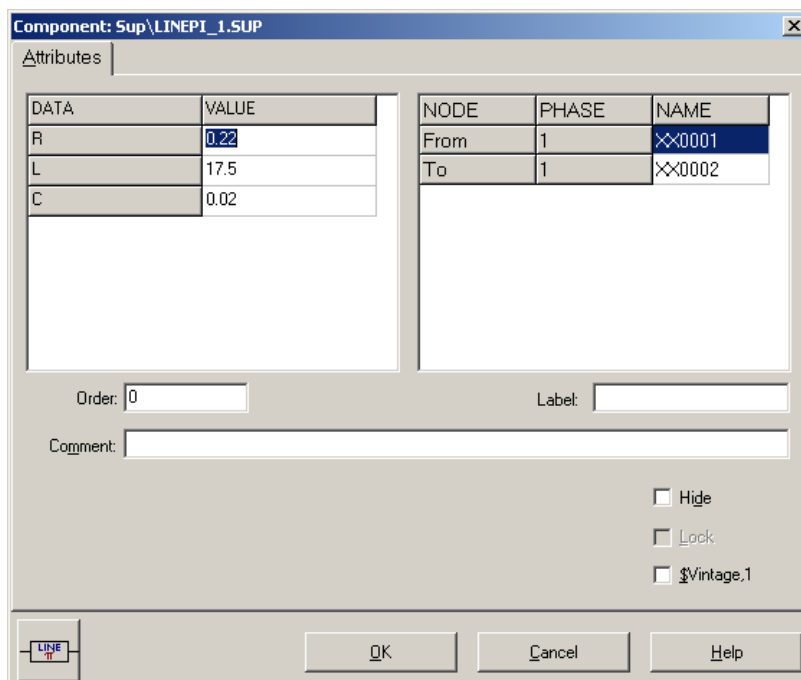


Obr. 4.23 Nastavenie parametrov pre napät'ový zdroj U

Nasledovným postupom (obr. 4.24) vyberieme π -článok (Lines/Cables \rightarrow Lumped \rightarrow RLC Pi-equiv. 1 \rightarrow 1 phase). Do položky **R** zadáme hodnotu 0.22, do **L** hodnotu 17.5 a do **C** hodnotu 0.02.



Obr. 4.24 Vloženie π -článku



Obr. 4.25 Nastavenie parametrov π -článku

Na vypínači 2 (vyp. 2) zadáme v položke **T-cl** hodnotu -1 , v **T-op** hodnotu 0.0008 a v položke **Imar** hodnotu 1 .

The screenshot shows a dialog box titled 'Component: Sup\SWITCHTC.SUP'. It has an 'Attributes' tab. On the left, there is a table with columns 'DATA' and 'VALUE'. On the right, there is a table with columns 'NODE', 'PHASE', and 'NAME'. Below these tables are fields for 'Order' (0), 'Label' (vyp.2), and 'Comment'. There is also an 'Output' section with a dropdown menu set to '0 - No' and checkboxes for 'Hide' and 'Lock'. At the bottom are 'OK', 'Cancel', and 'Help' buttons.

DATA	VALUE
T-cl	-1
T-op	0.0008
Imar	1

NODE	PHASE	NAME
SWF	1	XX0002
SWT	1	XX0005

Order: 0 Label: vyp.2

Comment:

Output: 0 - No Hide
 Lock

Buttons:

Obr. 4.26 Nastavenie parametrov vypínača 2

Na vypínači (zap.) zadáme v položke **T-cl** hodnotu 0.00072 , v **T-op** hodnotu 1 a v položke **Imar** hodnotu 0 .

The screenshot shows a dialog box titled 'Component: Sup\SWITCHTC.SUP'. It has an 'Attributes' tab. On the left, there is a table with columns 'DATA' and 'VALUE'. On the right, there is a table with columns 'NODE', 'PHASE', and 'NAME'. Below these tables are fields for 'Order' (0), 'Label' (zap.), and 'Comment'. There is also an 'Output' section with a dropdown menu set to '0 - No' and checkboxes for 'Hide' and 'Lock'. At the bottom are 'OK', 'Cancel', and 'Help' buttons.

DATA	VALUE
T-cl	0.00072
T-op	1
Imar	0

NODE	PHASE	NAME
SWF	1	XX0005
SWT	1	XX0009

Order: 0 Label: zap.

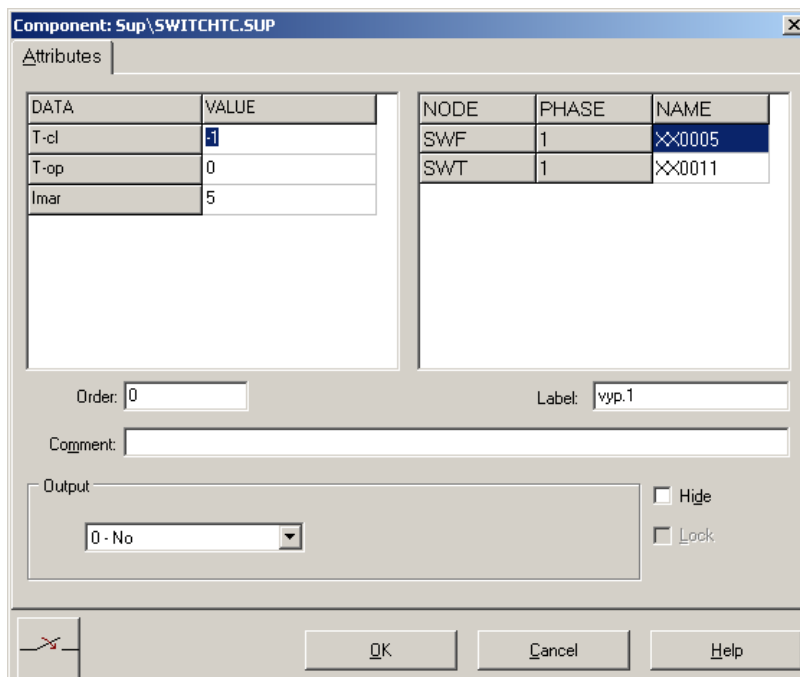
Comment:

Output: 0 - No Hide
 Lock

Buttons:

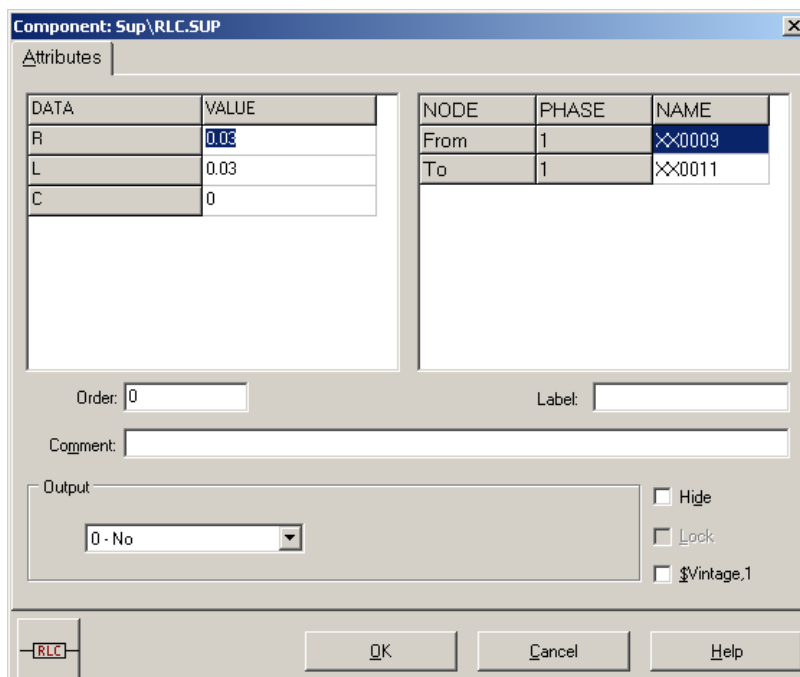
Obr. 4.27 Nastavenie parametrov vypínača

Na vypínači 1 (vyp. 1) zadáme v položke **T-cl** hodnotu -1 , v **T-op** hodnotu 0 a v položke **Imar** hodnotu 5 .



Obr. 4.28 Nastavenie parametrov vypínača 1

V RLC prvku zadáme do položky **R** hodnotu 0.03 , do **L** hodnotu 0.03 a do **C** hodnotu 0 .



Obr. 4.29 Nastavenie parametrov RLC prvku

V položke reaktora **L** zadáme hodnotu 1600. Keďže chceme zistiť veľkosť prúdu a napätia na reaktore, v položke **Output** nastavíme voľbu **Current & Voltage**.

DATA	VALUE	NODE	PHASE	NAME
L	1600	From	1	
		To	1	XX0011

Order: 0 Label: induktor

Comment:

Output: 3 - Current&Voltage

Hide
 Lock
 Vintage.1

OK Cancel Help

Obr. 4.30 Nastavenie parametrov reaktora

Do jednotlivých položiek π -článku postupne zadáme hodnoty: do položky **R** zadáme hodnotu 10, do **L** hodnotu 10 a do **C** hodnotu 0.002.

DATA	VALUE	NODE	PHASE	NAME
R	10	From	1	XX0011
L	0	To	1	XX0015
C	0.002			

Order: 0 Label:

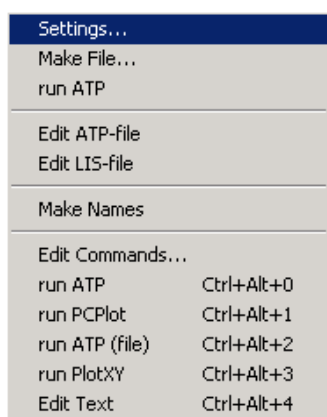
Comment:

Hide
 Lock
 Vintage.1

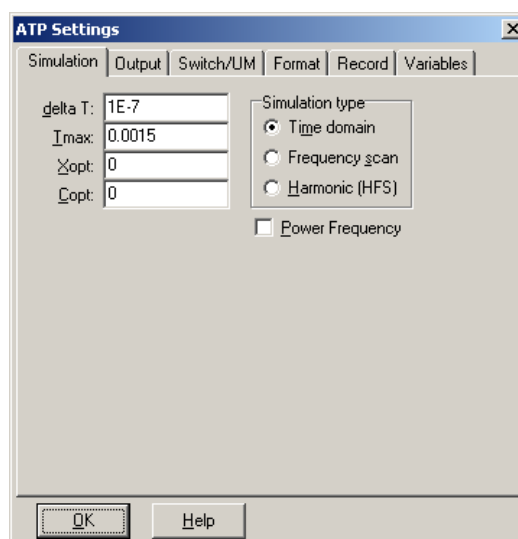
LINE
OK Cancel Help

Obr. 4.31 Nastavenie parametrov π -článku

Časové podmienky simulácie sa nastavujú voľbou z horného menu **ATP Settings** a **Simulation** (obr. 4.32). Keďže sa jedná o krátky prechodný dej, krok výpočtu musíme tomu prispôbiť **delta T** $1E-7$ s a podobne aj doba výpočtu, napr. **Tmax** 0.0015 s (obr. 4.33).

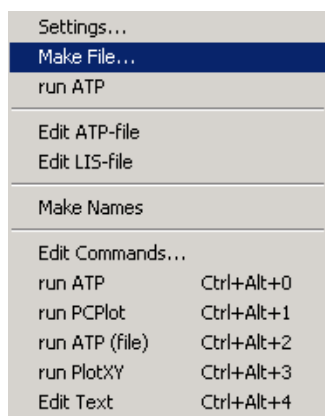


Obr. 4.32 ATP – Settings

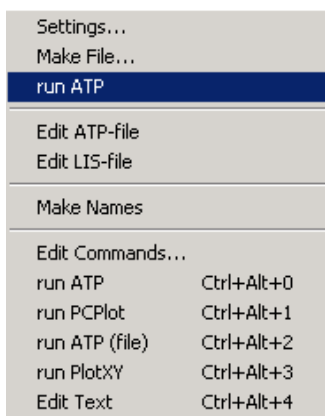


Obr. 4.33 Dialógové okno Settings – Simulation

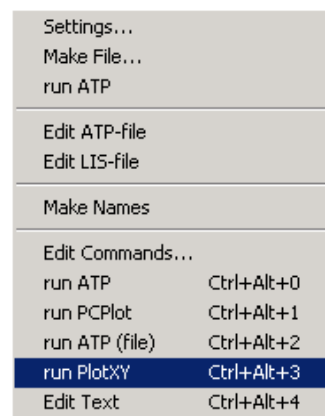
Príkazom **Make File** v hornom menu **ATP** sa vytvorí v podadresári ATP dátový súbor pre ATP s rovnakým názvom s príponou *.atp (obr. 4.34). Príkazom **run ATP** v hornom menu **ATP** sa spustí výpočet v programe ATP, ktorého výsledkom sú súbory s príponou *.lis a *.pl4 (obr. 4.35). V prostredí ATPDraw sa voľbou z horného menu **ATP run PlotXY** spustí grafický postprocesor (obr. 4.36).



Obr. 4.34 ATP – Make File...

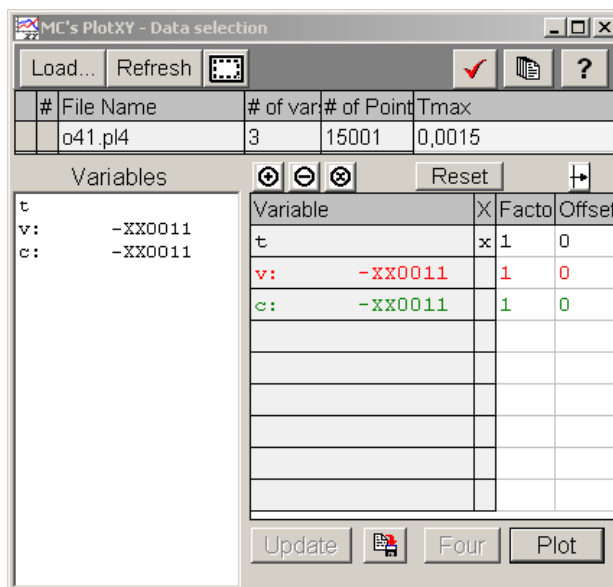


Obr. 4.35 ATP – run ATP

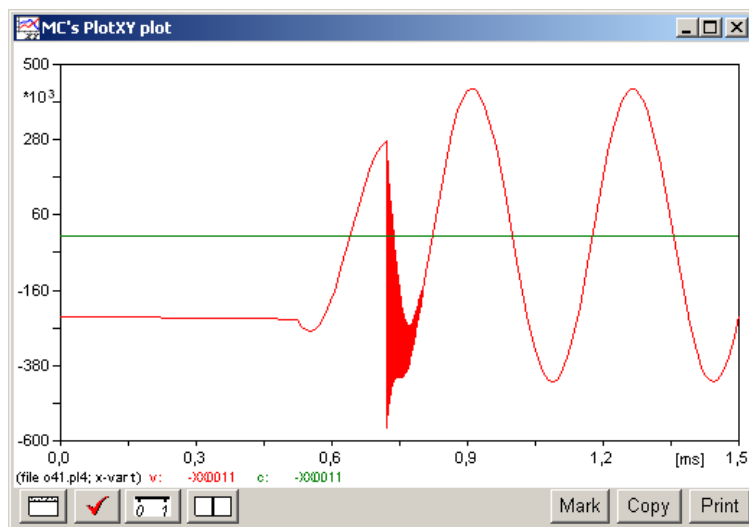


Obr. 4.36 ATP – run PlotXY

A v ňom je s označením **c: XX0011** uvedený požadovaný priebeh prúdu a **v: XX0011** priebeh napätia na reaktore. Stlačením ľavého tlačidla myši sa dané priebehy označia pre zobrazenie a stlačením tlačidla **Plot** sa následne zobrazia.



Obr. 4.37 Dialógové okno programu PlotXY pre vykreslenie priebehov

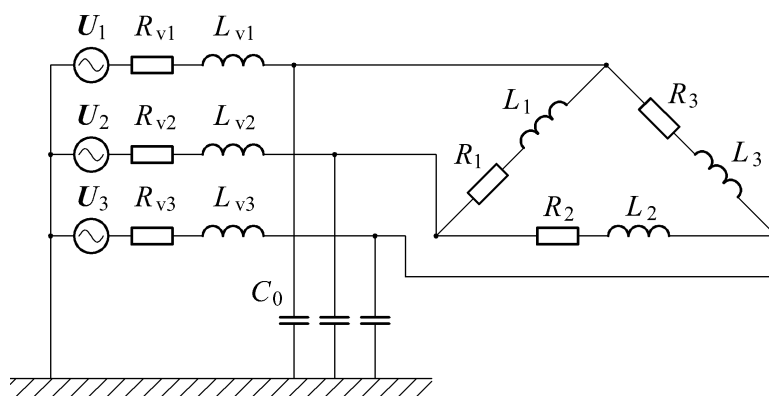


Obr. 4.38 Priebeh prúdu vo vyššie uvedenom obvode

5 3-FÁZOVÉ OBVODY

Príklad 1

Podľa schémy zapojenia na obr. 5.1 určte prostredníctvom ATPDraw napätia a prúdy v jednotlivých vetvách záťaže, ak v čase $t = 0,1$ s nastal skrat medzi fázami L2 a L3 so zemou. Parametre prvkov prepočítané na dĺžku vedenia 11,5 km: $U_{12} = 22 \cdot e^{j \cdot 0^\circ}$ kV, $U_{23} = 22 \cdot e^{-j \cdot 120^\circ}$ kV, $U_{13} = 22 \cdot e^{j \cdot 120^\circ}$ kV, $R_{v1} = R_{v2} = R_{v3} = 15,985 \Omega$, $X_{v1} = X_{v2} = X_{v3} = 4,416 \Omega$, $C_0 = 1,108 \cdot 10^{-7}$ F, $R_1 = R_2 = R_3 = 0,011 \Omega$, $X_{L1} = X_{L2} = X_{L3} = 0,005 \Omega$, $f = 50$ Hz. Určte dané priebehy napätí a prúdov na záťaži pred a po skrate.



Obr. 5.1 Schéma zapojenia elektrického obvodu

Riešenie

V ATPDraw sa vytvorí schéma zapojenia podľa obr. 5.2.

Na 3-f napät'ovom zdroji U , podobne ako pri 1-f zdroji, sa nastaví maximálna hodnota napätia zdroja v položke **Amp** 17962,9 (nakol'ko v zadaní bola uvedená hodnota združeného napätia, $U_{\max} = U_{\text{zdr}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 22000 \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \cong 17962,9$). V položke **Tsta** sa nastaví hodnota -1 a **Tsto** hodnota 10, čo má za následok stály napät'ový zdroj počas doby 10 sekúnd. V položke **Type of source** sa ponechá voľba **Voltage**. Fázové natočenie napätia U_1 sa zadá v položke **Pha** -90 (pretože implicitné nastavenie napät'ového zdroja predpokladá kosínusový zdroj, t.j. $\varphi - 90^\circ = 0^\circ - 90^\circ = -90^\circ$) a frekvenciu v položke **f** 50. Fázové natočenia a amplitúdy ostatných fáz sa pri *symetrickom 3-f napät'ovom zdroji* nezadávajú.

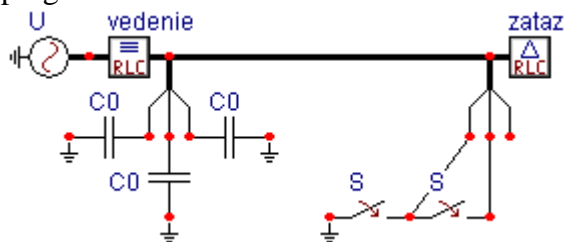
Na modeli prvku vedenia sa postupne zadávajú hodnoty impedancií jednotlivých fáz v poradí L1, L2, L3. Do kolónok **R_1**, **R_2**, **R_3** sa zadá hodnota rezistancie vedenia 15.985 a do kolónok **L_1**, **L_2**, **L_3** sa zadá hodnota reaktancie vedenia 4.416 (obr. 5.3).

Na modeli prvku záťaže sa zadávajú obdobne ako pri vedení hodnoty impedancií jednotlivých vetiev. Do kolónok **R_1**, **R_2**, **R_3** sa zadá hodnota rezistancie záťaže 0.011 a do kolónok **L_1**, **L_2**, **L_3** sa zadá hodnota reaktancie záťaže 0.005. V záložke **Output** sa vyberie možnosť **Current&Voltage**.

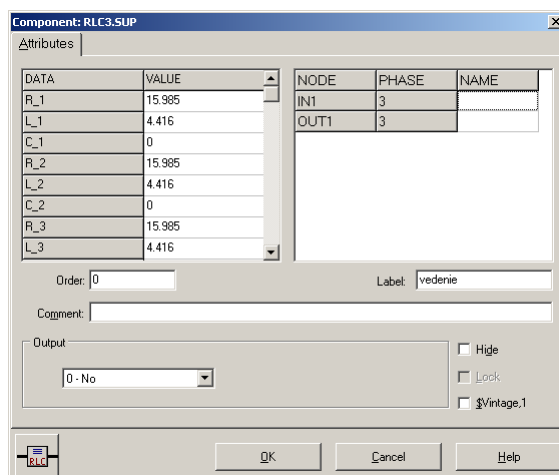
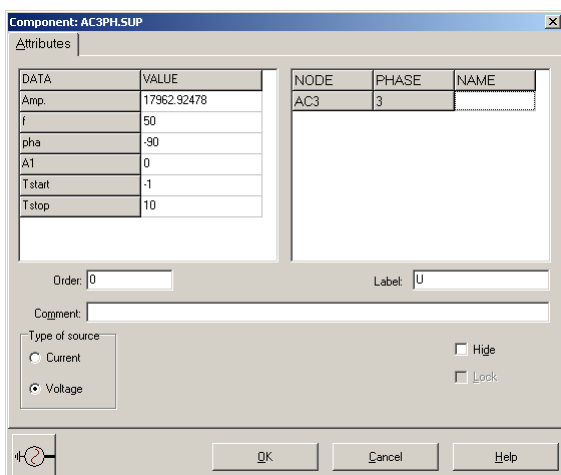
Pri modeli prvku kondenzátora bude do kolónky **C** zadaná hodnota 0.1108 (predvolené nastavenie je v μF (mikro farad), nie vo faradoch) (obr. 5.4).

Skrat je možné modelovať vypínačom medzi príslušnými fázami zopnutým v určitom čase. Do kolónky **T-cl** sa zadá hodnota zopnutia, t.j. čas skratu 0.1 a do kolónky **T-op** sa zadá čas vypnutia vypínača, t.j. čas vypnutia skratu. Nakol'ko čas vypnutia skratu nie je zadaný, zadáme vyššiu hodnotu, napr. 10.

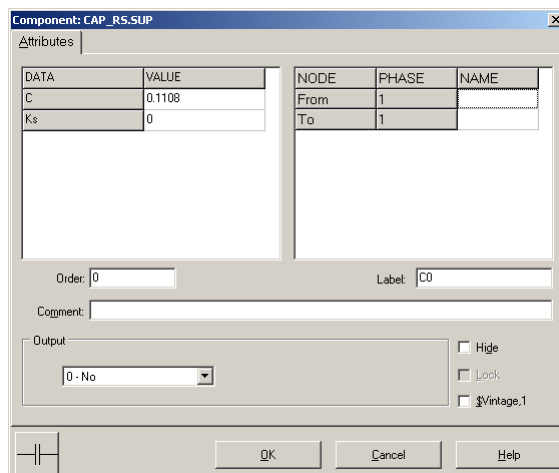
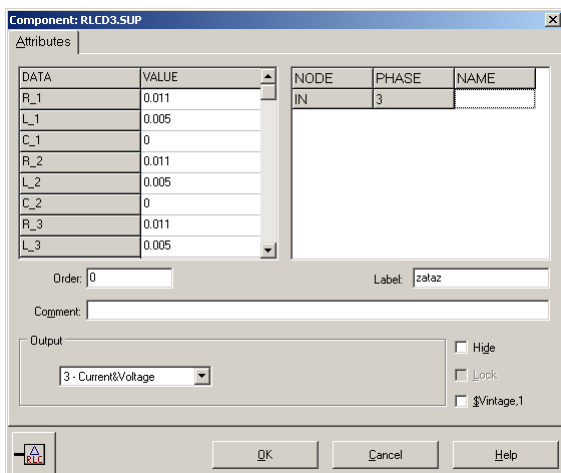
Ostatné hodnoty je možné ponechať nezmenené. Bližšie vysvetlenie ich významu sa zobrazí po stlačení tlačidla „help“ v aktuálnom okne prvku. Podrobnejší návod je obsiahnutý v literatúre Rule Book k programu EMTP-ATP.



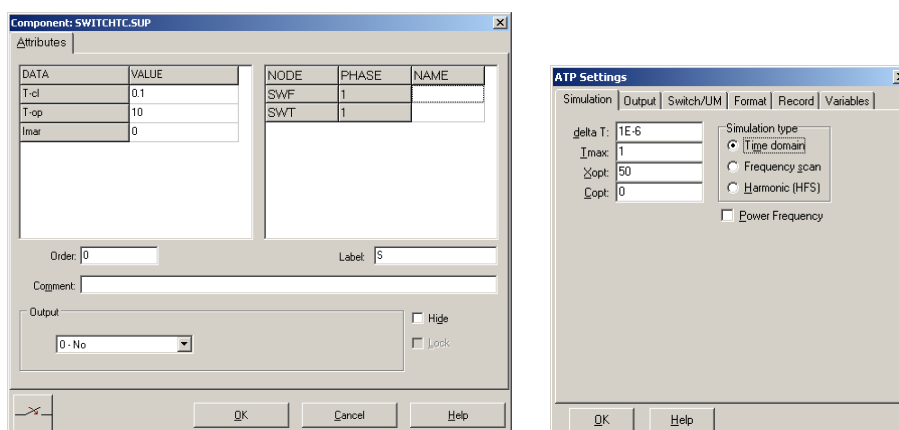
Obr. 5.2 Schéma zapojenia elektrického obvodu v ATPDraw



Obr. 5.3 Nastavenie parametrov pre napät'ový zdroj U a vedenie



Obr. 5.4 Nastavenie parametrov zát'aže a kapacity voči zemi C_0



Obr. 5.5 Nastavenie parametrov vypínačov a Dialógové okno Settings – Simulation

Pre simuláciu prechodného deja sa musia nastaviť podmienky simulácie voľbou **ATP Settings** a záložka **Simulation**. Maximálny počet krokov výpočtu je obmedzený na 1 milión, preto je potrebné prispôbiť tomuto obmedzeniu aj čas výpočtu a najmenší krok výpočtu. Zadá sa krok výpočtu, napr. **delta T** 1E–6 s a doba výpočtu **T max** 1 s (skrat nastane v čase $t = 0,1$ s, a pre odčítanie ustálených hodnôt je potrebné nastaviť dostatočný čas, kedy je možný dej po skrate považovať za ustálený, t.j. 1 s). V kolónke **Xopt** sa nastaví hodnota frekvencie 50, nakoľko je v zadaní viac hodnôt zadaných ako reaktancie (obr. 5.5).

Pričom pre voliteľné hodnoty X_{opt} a C_{opt} platí:

Pre X_{opt} :

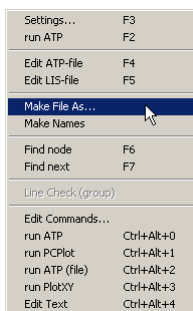
- hodnota induktora bude charakterizovaná indukčnosťou (mH), pokiaľ bude $X_{opt} = 0$,
- hodnota induktora bude charakterizovaná reaktanciou (Ω), pokiaľ bude $X_{opt} =$ sieťovej frekvencii.

Pre C_{opt} :

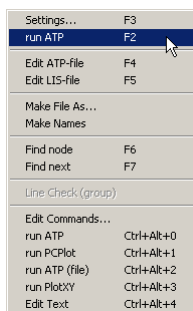
- hodnota kapacitora bude charakterizovaná kapacitou (μF), pokiaľ bude $C_{opt} = 0$,
- hodnota kapacitora bude charakterizovaná susceptanciou (μS), pokiaľ bude $C_{opt} =$ sieťovej frekvencii.

Takto vytvorená schéma sa uloží príkazom CTRL-S so zvoleným názvom, napr. príklad1a. Vznikne súbor s príponou *.adp, ktorý sa nachádza v podadresári **Project** preprocesora ATPDraw. Je vhodné, používať názvy súborov bez diakritiky, zakázané je používať v názve súboru medzery a je dobré obmedziť dĺžku názvu súboru na max. 8 znakov.

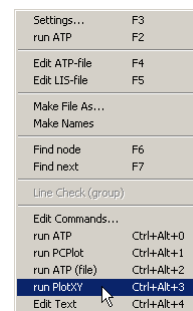
Príkazom **Make File As...** v hornom menu **ATP** sa vytvorí v podadresári ATP dátový súbor pre ATP s rovnakým názvom s príponou *.atp (t.j. príklad1a.atp) (obr. 5.6). Príkazom **run ATP** v hornom menu **ATP** sa spustí výpočet v programe ATP, ktorého výsledkom sú súbory s príponou *.lis a *.pl4 (obr. 5.7). Súbor *.lis je výstupný dátový súbor a rovnako ako súbor *.atp dajú sa prezerat' z prostredia ATPDraw voľbou **ATP Edit**. Súbory s príponou *.pl4 sú komprimované grafické dáta, ktoré je možné prezerat' niektorým z grafických postprocesorov, ako napríklad PlotXY. V prostredí ATPDraw sa voľbou **run PlotXY** z horného menu **ATP** aktivizuje grafický postprocesor (obr. 5.8).



Obr. 5.6 ATP – Make File...

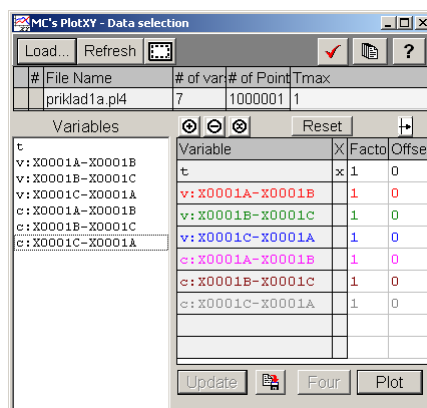


Obr. 5.7 ATP – Run ATP



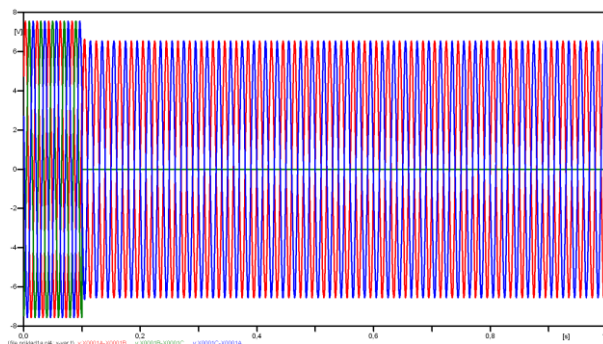
Obr. 5.8 ATP – run PlotXY

V grafickom postprocesore je s označením **v: XX0001A – XX0001B** uvedený požadovaný priebeh napätia na zát'aži medzi fázami L1 a L2, (t.j. napätie medzi uzlom A a uzlom B), **v: XX0001B – XX0001C** priebeh napätia na zát'aži medzi fázami L2 a L3 (t.j. napätie medzi uzlom B a uzlom C), **v: XX0001C – XX0001A** priebeh napätia na zát'aži medzi fázami L3 a L1 (t.j. napätie medzi uzlom C a uzlom A). Stlačením ľavého tlačidla myši sa dané priebehy označia pre zobrazenie s napät'ovou osou na ľavej strane a stlačením tlačidla **Plot** sa následne zobrazia. Podobne sú zobrazené prúdy, pričom prúdy je vhodné označovať pravým tlačidlom myši, aby ich prúdová os bola na pravej strane. **Poznámka:** čísla uzlov môžu byť odlišné, v závislosti od zapojenia obvodu a nemusia korešpondovať s týmto číslovaním.



Obr. 5.9 Dialógové okno podprogramu PlotXY pre vykreslenie priebehov

Aby sa jednotlivé priebehy neprekrývali, najprv zobrazíme a odčítame hodnoty napätí pred a po skrate (obr. 5.10).

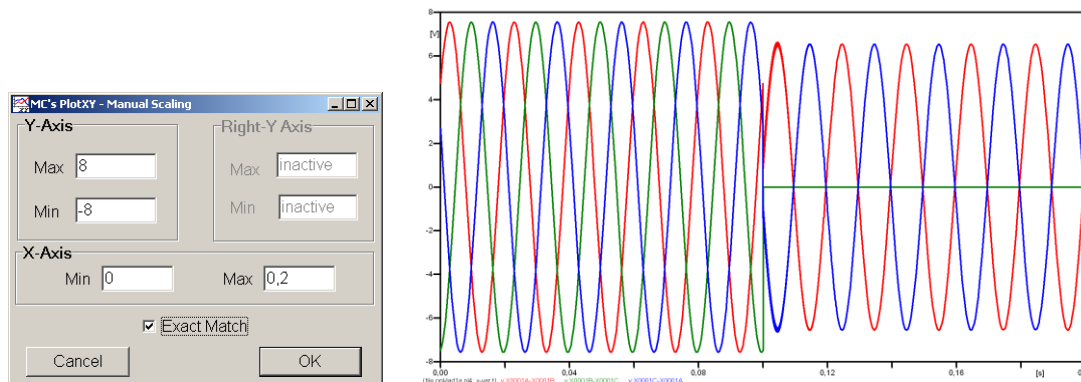


Obr. 5.10 Zobrazenie priebehov napätí na zát'aži

Pre presné vymedzenie hraníc zobrazenia daného priebehu je možné využiť v spodnom menu tlačidiel okna PlotXY tlačidlo Manual Scale (tretie zľava) (obr. 5.11) a následne v okne Manual Scaling zadať minimálne a maximálne hranice x-ovej a y-ovej osi pre zobrazenie priebehov.



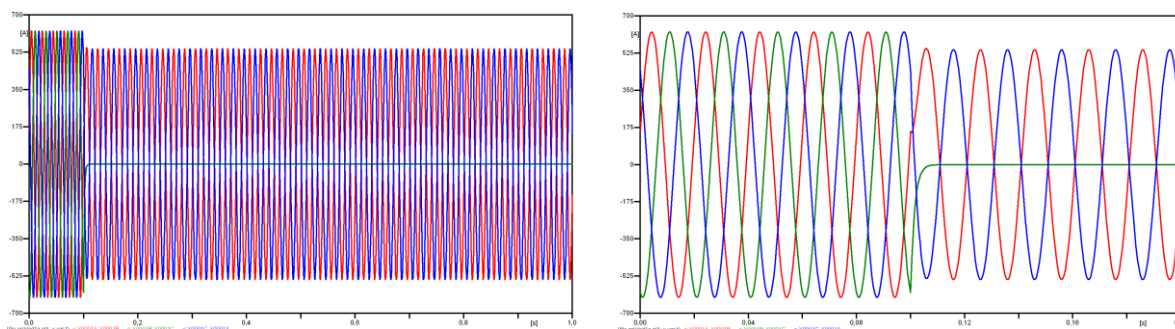
Obr. 5.11 Tlačidlo Manual Scale



Obr. 5.12 Okno Manual Scaling a následné aplikovanie pre daný priebeh

Hodnoty pred skratom je možné určiť obdobným postupom, ako bolo uvedené v príkladoch na 2. cvičení (1-f obvody) v rozmedzí $t \in (0;0,1)$ s. Ustálené hodnoty po skrate by bolo vhodné odčítať v čase ∞ , ale v záložke ATP-Settings...-Simulation bola v kolónke zadaná hodnota v Tmax 1 s, preto postačuje, ak sa ustálené hodnoty po skrate odčítajú v blízkosti Tmax, t.j. čo najneskôr od vzniku skratu.

Obdobne sa postupuje pri zobrazení a odčítaní hodnôt prúdov pred a po skrate (obr. 5.13).



Obr. 5.13 Zobrazenie priebehov prúdov na záťaži

Výsledné hodnoty ustálených prúdov a napätí pred a po skrate:

- **pred skratom:**

$$\varphi_{U_{AB}} = 360^\circ \cdot n - \frac{t_{AB}}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{0,017833}{0,02} \cdot 360^\circ = 39^\circ; U_{Z,AB} = 7,5545 \cdot e^{j \cdot 39^\circ} \text{ V}$$

$$\varphi_{U_{BC}} = 360^\circ \cdot n - \frac{t_{BC}}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{0,0045}{0,02} \cdot 360^\circ = 279^\circ; U_{Z,BC} = 7,5545 \cdot e^{j \cdot 279^\circ} \text{ V}$$

$$\varphi_{U_{CA}} = 360^\circ \cdot n - \frac{t_{CA}}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{0,011167}{0,02} \cdot 360^\circ = 159^\circ; U_{Z,CA} = 7,5545 \cdot e^{j \cdot 159^\circ} \text{ V}$$

$$\varphi_{I_{AB}} = 360^\circ \cdot n - \frac{t_{AB}}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{0,019191}{0,02} \cdot 360^\circ = 14,56^\circ; \quad I_{Z,AB} = 625,21 \cdot e^{j14,56^\circ} \text{ A}$$

$$\varphi_{I_{BC}} = 360^\circ \cdot n - \frac{t_{BC}}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{0,0058581}{0,02} \cdot 360^\circ = 254,55^\circ; \quad I_{Z,BC} = 625,21 \cdot e^{j254,55^\circ} \text{ A}$$

$$\varphi_{I_{CA}} = 360^\circ \cdot n - \frac{t_{CA}}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{0,012525}{0,02} \cdot 360^\circ = 134,55^\circ; \quad I_{Z,CA} = 625,21 \cdot e^{j134,55^\circ} \text{ A}$$

• **po skrate:**

$$\varphi_{U_{AB}} = 360^\circ \cdot n - \frac{t_{AB}}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 50 - \frac{0,9995}{0,02} \cdot 360^\circ = 9^\circ; \quad U_{Z,AB} = 6,5416 \cdot e^{j9^\circ} \text{ V}$$

$$\varphi_{U_{BC}} = 360^\circ \cdot n - \frac{t_{BC}}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot n - \frac{0,2}{0,02} \cdot 360^\circ = 0^\circ; \quad U_{Z,BC} = 0 \cdot e^{j0^\circ} \text{ V}$$

$$\varphi_{U_{CA}} = 360^\circ \cdot n - \frac{t_{CA}}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 50 - \frac{0,9895}{0,02} \cdot 360^\circ = 189^\circ; \quad U_{Z,CA} = 6,5416 \cdot e^{j189^\circ} \text{ V}$$

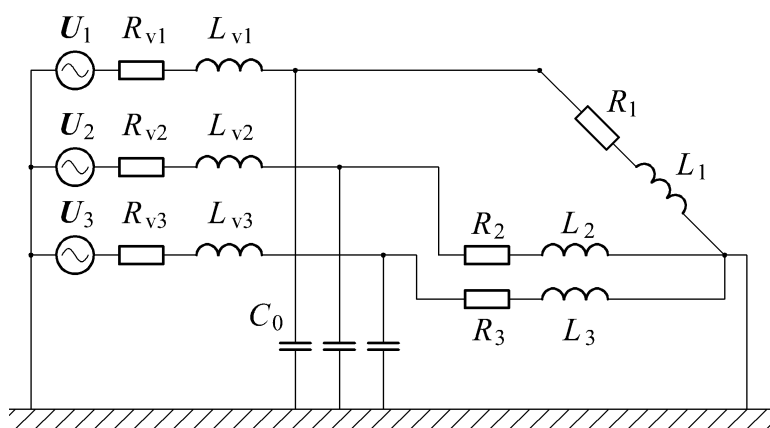
$$\varphi_{I_{AB}} = 360^\circ \cdot n - \frac{t_{AB}}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 50 - \frac{0,98086}{0,02} \cdot 360^\circ = 344,34^\circ; \quad I_{Z,AB} = 541,39 \cdot e^{j344,34^\circ} \text{ A}$$

$$\varphi_{I_{BC}} = 360^\circ \cdot n - \frac{t_{BC}}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot n - \frac{0,2}{0,02} \cdot 360^\circ = 0^\circ; \quad I_{Z,BC} = 0 \cdot e^{j0^\circ} \text{ A}$$

$$\varphi_{I_{CA}} = 360^\circ \cdot n - \frac{t_{CA}}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 50 - \frac{0,99086}{0,02} \cdot 360^\circ = 164,52^\circ; \quad I_{Z,CA} = 541,39 \cdot e^{j164,52^\circ} \text{ A}$$

Príklad 2

Podľa schémy zapojenia na obr. 5.14 určte prostredníctvom ATPDraw napätia a prúdy v jednotlivých vetvách záťaže, ak v čase $t = 0,1$ s nastal skrat medzi fázami L2 a L3 so zemou. Parametre prvkov prepočítané na dĺžku vedenia 11,5 km: $U_{12} = 22 \cdot e^{j0^\circ}$ kV, $U_{23} = 22 \cdot e^{j120^\circ}$ kV, $U_{13} = 22 \cdot e^{j120^\circ}$ kV, $R_{v1} = R_{v2} = R_{v3} = 15,985 \Omega$, $X_{v1} = X_{v2} = X_{v3} = 4,416 \Omega$, $C_0 = 1,108 \cdot 10^{-7}$ F, $R_1 = R_2 = R_3 = 0,011 \Omega$, $X_{L1} = X_{L2} = X_{L3} = 0,005 \Omega$, $f = 50$ Hz. Určte dané priebehy napätí a prúdov na záťaži pred a po skrate.



Obr. 5.14 Schéma zapojenia elektrického obvodu

Riešenie

V ATPDraw sa vytvorí schéma zapojenia podľa obr. 5.15.

Na 3-f napät'ovom zdroji U , podobne ako pri 1-f zdroji, sa nastaví maximálna hodnota napätia zdroja v položke **Amp** 17962,9 (nakoľko v zadaní bola uvedená hodnota združeného napätia, $U_{\max} = U_{\text{zdr}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 22000 \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \cong 17962,9$). V položke **Tsta** sa nastaví hodnota -1 a **Tsto** hodnota 10, čo má za následok stály napät'ový zdroj počas doby 10 sekúnd. V položke **Type of source** sa ponechá voľba **Voltage**. Fázové natočenie napätia U_1 sa zadá v položke **Pha** -90

(pretože implicitné nastavenie napäťového zdroja predpokladá kosínusový zdroj, t.j. $\varphi - 90^\circ = 0^\circ - 90^\circ = -90^\circ$) a frekvenciu v položke **f** 50. Fázové natočenia a amplitúdy ostatných fáz sa pri *symetrickom 3-f napäťovom zdroji* nezadávajú.

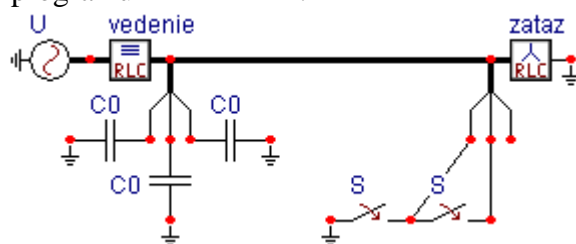
Na modeli prvku vedenia sa postupne zadávajú hodnoty impedancií jednotlivých fáz v poradí **L1, L2, L3**. Do kolónok **R_1, R_2, R_3** sa zadá hodnota rezistancie vedenia 15.985 a do kolónok **L_1, L_2, L_3** sa zadá hodnota reaktancie vedenia 4.416 (obr. 5.16).

Na modeli prvku záťaže sa zadávajú obdobne ako pri vedení hodnoty impedancií jednotlivých vetiev. Do kolónok **R_1, R_2, R_3** sa zadá hodnota rezistancie záťaže 0.011 a do kolónok **L_1, L_2, L_3** sa zadá hodnota reaktancie záťaže 0.005. V záložke **Output** sa vyberie možnosť **Current&Voltage**.

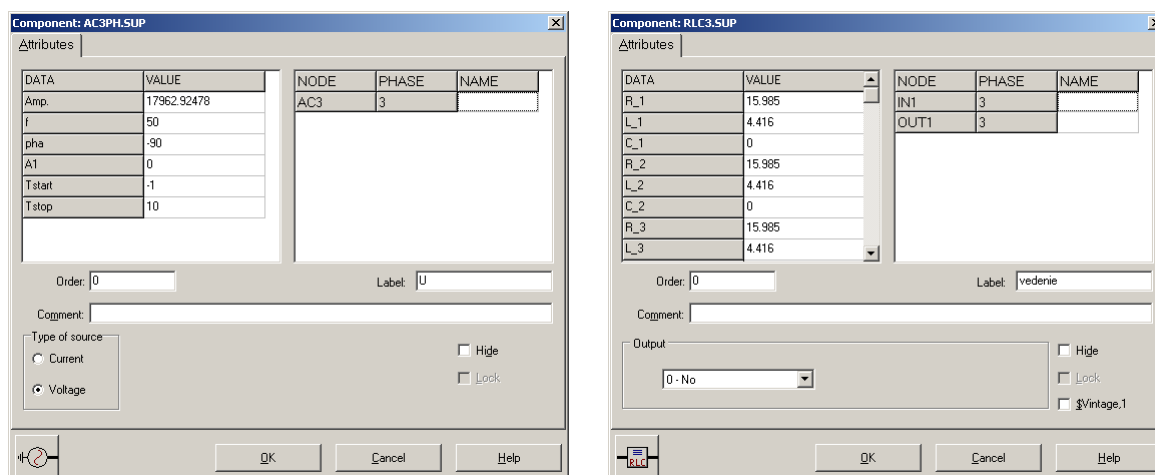
Pri modeli prvku kondenzátora bude do kolónky **C** zadaná hodnota 0.1108 (predvolené nastavenie je v μF (mikro farad), nie vo faradoch) (obr. 5.17).

Skrat je možné modelovať vypínačom medzi príslušnými fázami zopnutým v určitom čase. Do kolónky **T-cl** sa zadá hodnota zopnutia, t.j. čas skratu 0.1 a do kolónky **T-op** sa zadá čas vypnutia vypínača, t.j. čas vypnutia skratu. Nakoľko čas vypnutia skratu nie je zadaný, zadáme vyššiu hodnotu, napr. 10.

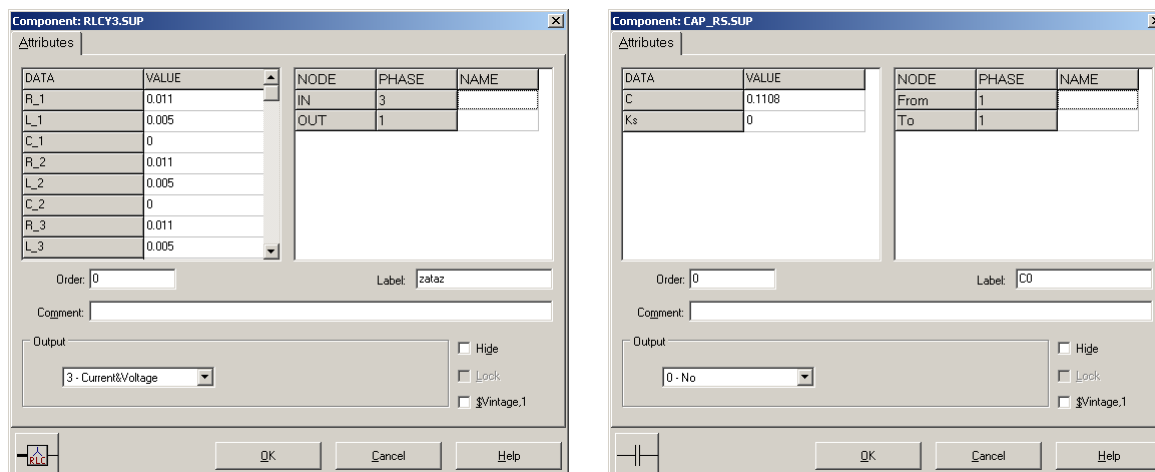
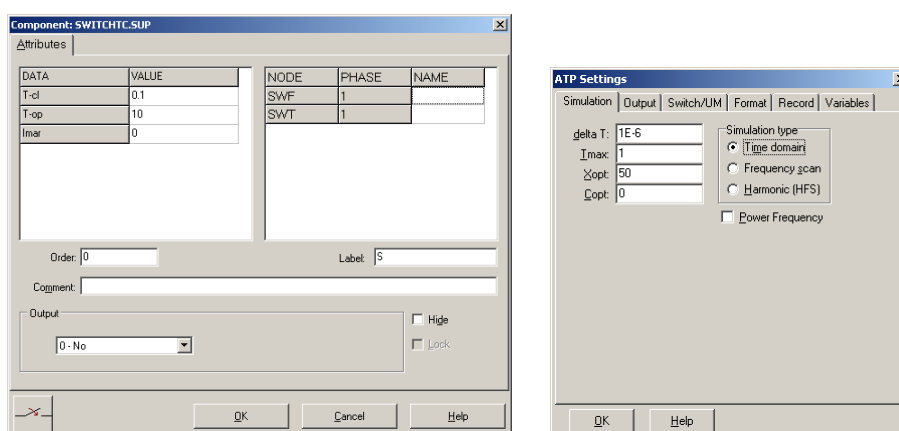
Ostatné hodnoty je možné ponechať nezmenené. Bližšie vysvetlenie ich významu sa zobrazí po stlačení tlačidla „**help**“ v aktuálnom okne prvku. Podrobnejší návod je obsiahnutý v literatúre Rule Book k programu EMTP-ATP.



Obr. 5.15 Schéma zapojenia elektrického obvodu v ATPDraw



Obr. 5.16 Nastavenie parametrov pre napäťový zdroj *U* a vedenie

Obr. 5.17 Nastavenie parametrov zát'aže a kapacity voči zemi C_0 

Obr. 5.18 Nastavenie parametrov vypínačov a Dialógové okno Settings – Simulation

Pre simuláciu prechodného deja sa musia nastaviť podmienky simulácie voľbou **ATP Settings** a záložka **Simulation**. Maximálny počet krokov výpočtu je obmedzený na 1 milión, preto je potrebné prispôbiť tomuto obmedzeniu aj čas výpočtu a najmenší krok výpočtu. Zadá sa krok výpočtu, napr. **delta T** 1E-6 s a doba výpočtu **T max** 1 s (skrat nastane v čase $t = 0,1$ s, a pre odčítanie ustálených hodnôt je potrebné nastaviť dostatočný čas, kedy je možné dej po skrate považovať za ustálený, t.j. 1 s). V kolónke **Xopt** sa nastaví hodnota frekvencie 50, nakoľko je v zadaní viac hodnôt zadaných ako reaktancie (obr. 5.18).

Pričom pre voliteľné hodnoty X_{opt} a C_{opt} platí:

Pre X_{opt} :

- hodnota induktora bude charakterizovaná indukčnosťou (mH), pokiaľ bude $X_{opt} = 0$,
- hodnota induktora bude charakterizovaná reaktanciou (Ω), pokiaľ bude X_{opt} = sieťovej frekvencii.

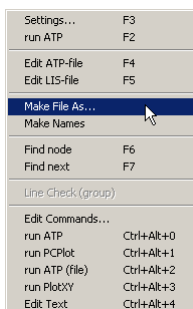
Pre C_{opt} :

- hodnota kapacitora bude charakterizovaná kapacitou (μF), pokiaľ bude $C_{opt} = 0$,
- hodnota kapacitora bude charakterizovaná susceptanciou (μS), pokiaľ bude C_{opt} = sieťovej frekvencii.

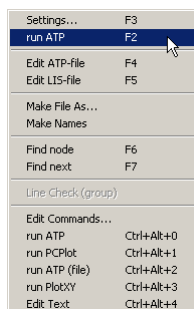
Takto vytvorená schéma sa uloží príkazom CTRL-S so zvoleným názvom, napr. príklad1b. Vznikne súbor s príponou *.adp, ktorý sa nachádza v podadresári **Project**

preprocesora ATPDraw. Je vhodné, používať názvy súborov bez diakritiky, zakázané je používať v názve súboru medzery a je dobré obmedziť dĺžku názvu súboru na max. 8 znakov.

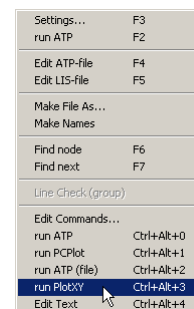
Príkazom **Make File As...** v hornom menu **ATP** sa vytvorí v podadresári ATP dátový súbor pre ATP s rovnakým názvom s príponou *.atp (t.j. príklad1b.atp) (obr. 5.19). Príkazom **run ATP** v hornom menu **ATP** sa spustí výpočet v programe ATP, ktorého výsledkom sú súbory s príponou *.lis a *.pl4 (obr. 5.20). Súbor *.lis je výstupný dátový súbor a rovnako ako súbor *.atp dajú sa prezerat' z prostredia ATPDraw voľbou **ATP Edit**. Súbory s príponou *.pl4 sú komprimované grafické dáta, ktoré je možné prezerat' niektorým z grafických postprocesorov, ako napríklad PlotXY. V prostredí ATPDraw sa voľbou **run PlotXY** z horného menu **ATP** spustí grafický postprocesor (obr. 5.21).



Obr. 5.19 ATP – Make File...

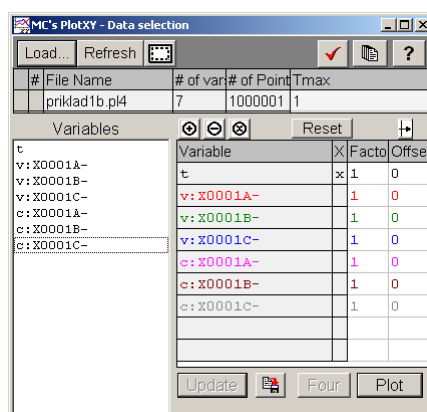


Obr. 5.20 ATP – Run ATP



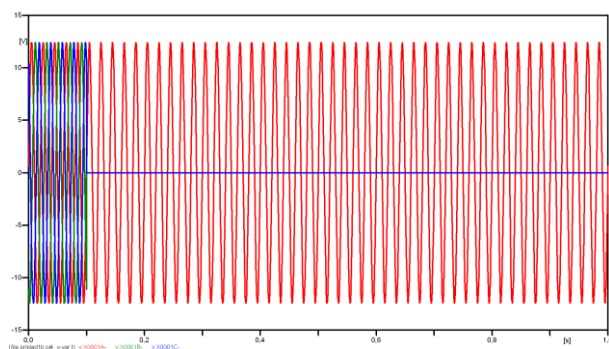
Obr. 5.21 ATP – run PlotXY

V grafickom postprocesore je s označením **v: XX0001A** – uvedený požadovaný priebeh napätia na záťaži, t.j. napätie medzi uzlom A a zemou, **v: XX0001B** – priebeh napätia na záťaži, t.j. napätie medzi uzlom B a zemou, **v: XX0001C** – priebeh napätia na záťaži, t.j. napätie medzi uzlom C a zemou. Stlačením ľavého tlačidla myši sa dané priebehy označia pre zobrazenie s napät'ovou osou na ľavej strane a stlačením tlačidla **Plot** sa následne zobrazia. Podobne sú zobrazené prúdy, pričom prúdy je vhodné označovať pravým tlačidlom myši, aby ich prúdová os bola na pravej strane. **Poznámka:** čísla uzlov môžu byť odlišné, v závislosti od zapojenia obvodu a nemusia korešpondovať s týmto číslovaním.



Obr. 5.22 Dialógové okno podprogramu PlotXY pre vykreslenie priebehov

Aby sa jednotlivé priebehy neprekrývali, najprv zobrazíme a odčítame hodnoty napätí pred a po skrate (obr. 5.23).

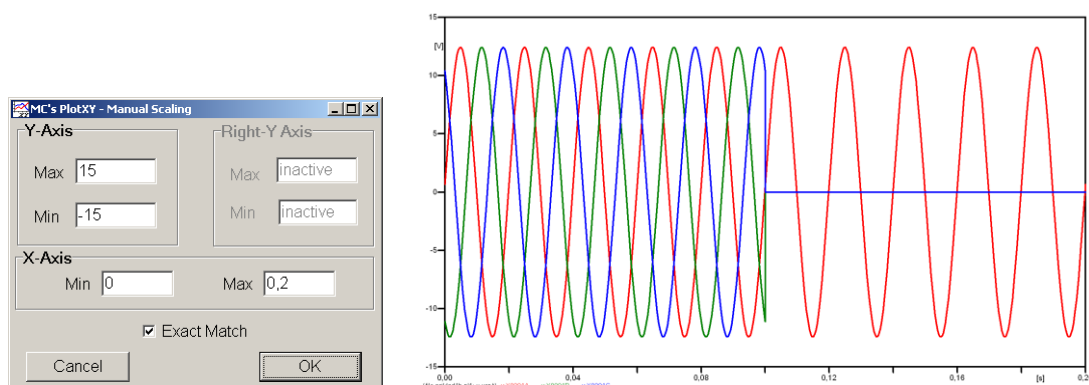


Obr. 5.23 Zobrazenie priebehov napätí na záťaži

Pre presné vymedzenie hraníc zobrazenia daného priebehu je možné využiť v spodnom menu tlačidiel okna PlotXY tlačidlo Manual Scale (tretie zľava) (obr. 5.24) a následne v okne Manual Scaling zadať minimálne a maximálne hranice x -ovej a y -ovej osi pre zobrazenie priebehov.



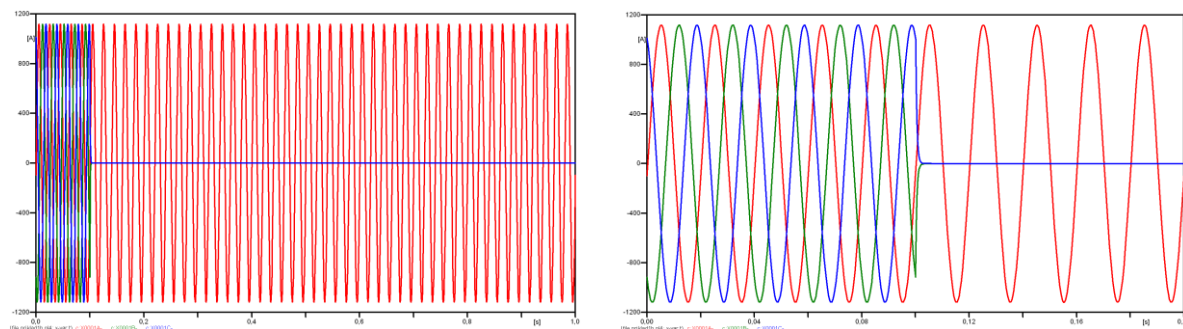
Obr. 5.24 Tlačidlo Manual Scale



Obr. 5.25 Okno Manual Scaling a následné aplikovanie pre daný priebeh

Hodnoty pred skratom je možné určiť obdobným postupom, ako bolo uvedené v príkladoch na 2. cvičení (1-f obvody) v rozmedzí $t \in (0;0,1)$ s. Ustálené hodnoty po skrate by bolo vhodné odčítať v čase ∞ , ale v záložke ATP-Settings...-Simulation bola v kolónke zadaná hodnota v Tmax 1 s, preto postačuje, ak sa ustálené hodnoty po skrate odčítajú v blízkosti Tmax, t.j. čo najneskôr od vzniku skratu.

Obdobne sa postupuje pri zobrazení a odčítaní hodnôt prúdov pred a po skrate (obr. 5.26).



Obr. 5.26 Zobrazenie priebehov prúdov na zát'aži

Výsledné hodnoty ustálených prúdov a napätí pred a po skrate:

- **pred skratom:**

$$\varphi_{U_A} = 360^\circ \cdot n - \frac{t_A}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{0,0195}{0,02} \cdot 360^\circ = 9^\circ; U_{Z,A} = 13,079 \cdot e^{j \cdot 9^\circ} \text{ V}$$

$$\varphi_{U_B} = 360^\circ \cdot n - \frac{t_B}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{0,006167}{0,02} \cdot 360^\circ = 249^\circ; U_{Z,B} = 13,079 \cdot e^{j \cdot 249^\circ} \text{ V}$$

$$\varphi_{U_C} = 360^\circ \cdot n - \frac{t_C}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{0,012834}{0,02} \cdot 360^\circ = 129^\circ; U_{Z,C} = 13,079 \cdot e^{j \cdot 129^\circ} \text{ V}$$

$$\varphi_{I_A} = 360^\circ \cdot n - \frac{t_A}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{0,00085832}{0,02} \cdot 360^\circ = 344,55^\circ; I_{Z,A} = 10824 \cdot e^{j \cdot 344,55^\circ} \text{ A}$$

$$\varphi_{I_B} = 360^\circ \cdot n - \frac{t_B}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{0,007525}{0,02} \cdot 360^\circ = 224,55^\circ; I_{Z,B} = 10824 \cdot e^{j \cdot 224,55^\circ} \text{ A}$$

$$\varphi_{I_C} = 360^\circ \cdot n - \frac{t_C}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{0,014192}{0,02} \cdot 360^\circ = 104,55^\circ; I_{Z,C} = 10824 \cdot e^{j \cdot 104,55^\circ} \text{ A}$$

- **po skrate:**

$$\varphi_{U_A} = 360^\circ \cdot n - \frac{t_A}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 50 - \frac{0,9995}{0,02} \cdot 360^\circ = 9^\circ; U_{Z,A} = 13,079 \cdot e^{j \cdot 9^\circ} \text{ V}$$

$$\varphi_{U_B} = 360^\circ \cdot n - \frac{t_B}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot n - \frac{1}{0,02} \cdot 360^\circ = 0^\circ; U_{Z,B} = 0 \cdot e^{j \cdot 0^\circ} \text{ V}$$

$$\varphi_{U_C} = 360^\circ \cdot n - \frac{t_C}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot n - \frac{1}{0,02} \cdot 360^\circ = 0^\circ; U_{Z,C} = 0 \cdot e^{j \cdot 0^\circ} \text{ V}$$

$$\varphi_{I_A} = 360^\circ \cdot n - \frac{t_A}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 50 - \frac{0,98086}{0,02} \cdot 360^\circ = 344,34^\circ; I_{Z,A} = 10824 \cdot e^{j \cdot 344,34^\circ} \text{ A}$$

$$\varphi_{I_B} = 360^\circ \cdot n - \frac{t_B}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot n - \frac{1}{0,02} \cdot 360^\circ = 0^\circ; I_{Z,B} = 0 \cdot e^{j \cdot 0^\circ} \text{ A}$$

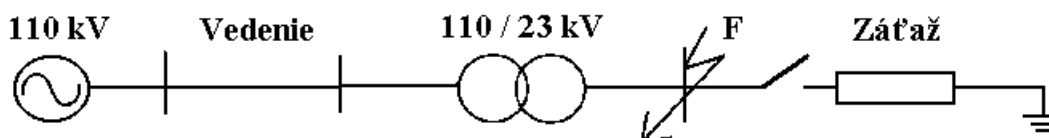
$$\varphi_{I_C} = 360^\circ \cdot n - \frac{t_C}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot n - \frac{1}{0,02} \cdot 360^\circ = 0^\circ; I_{Z,C} = 0 \cdot e^{j \cdot 0^\circ} \text{ A}$$

6 ANALÝZA PORUCHOVÝCH STAVOV S VYUŽITÍM RÔZNYCH MODELOV TRANSFORMÁTOROV V PROGRAME EMTP-ATP

V tejto časti budú skúmané rôzne modely transformátorov a ich vplyv na priebeh poruchových prúdov pri rôznych typoch skratov.

6.1 Analýza poruchových stavov pri skrate na sekundárnej strane transformátora

Cieľom tejto kapitoly bude analyzovať poruchové prúdy na sekundárnej strane transformátora pri použití rôznych modelov transformátorov v EMTP-ATP. Na obr. 6.1 je zjednodušená schéma elektrického obvodu pre prípad poruchy na sekundárnej strane transformátora. Sústava pred poruchou je v stave naprázdno.



Obr. 6.1 Schéma elektrického obvodu

Výpočet prvkov elektrickej siete:

- parametre vonkajšej siete: $U_n = 110 \text{ kV}$
- parametre vedenia: $R_v = 0,025 \text{ } \Omega/\text{km}$ $X_v = 0,4 \text{ } \Omega/\text{km}$
 $l = 60 \text{ km}$ $X_{v0} = 3 \cdot X_{v1}$
- parametre záťaže: $R_z = 150 \text{ } \Omega$ $X_{Lz} = 24 \text{ } \Omega$
- parametre transformátora: trojjadrový, 3-fázový, 2-vinutový transformátor s nasledujúcimi údajmi získanými zo štítkových údajov transformátora:

Nominálny výkon: $S_N = 40 \text{ MVA}$

Nominálne napätie: $U_{N2} = 110 \text{ kV}$ (vinutie zapojené do hviezdy)

$U_{N1} = 23 \text{ kV}$ (vinutie zapojené do hviezdy)

Napätie nakrátko: $u_k = 11,5 \%$ (súsledná zložka)

Straty nakrátko: $\Delta P_k = 130 \text{ kW}$ (súsledná zložka, pri nominálnom prúde)

Straty naprázdno: $P_0 = 20 \text{ kW}$ (súsledná zložka, pri nominálnom napätí)

Typ zapojenia: YNyn0(d)

Neutrálny bod sekundárneho vinutia transformátora je uzemnený cez odpor $R_F = 10 \text{ } \Omega$.

Keďže neboli k dispozícii merané dáta pre netočivú zložku transformátora, predpokladá sa, že netočivá zložka reaktancie nakrátko X_{0k} je okolo 85 % súslednej zložky reaktancie nakrátko X_{1k} (keďže transformátor je jadrového typu).

Pre modelovanie STC, vinutie zapojené do hviezdy na strane s nižším napätím bude označená ako vinutie 1, kde je pripojená magnetizačná vetva a vetva netočivej zložky

magnetizačnej indukčnosti. V ideálnom prípade, nelineárna magnetizačná indukčnosť by mala byť pripojená na taký bod v ekvivalentnom obvode, kde integrované napätie je rovné toku v železnom jadre. Pre valcové cievky môžeme predpokladať, že tok vo vinutí bude tiecť prevažne cez jadro, keďže tam má byť veľmi malý rozptyl.

6.1.1 Výpočet parametrov prvkov elektrickej siete

Vedenie:

$$R_{v1} = R_v \cdot l \cdot \frac{U_{N1}^2}{U_{N2}^2} = 0,025 \cdot 60 \cdot \frac{23^2}{110^2} = 0,06558 \Omega$$

$$R_{v0} = R_{v1} = 0,06558 \Omega$$

$$X_{v1} = X_v \cdot l \cdot \frac{U_{N1}^2}{U_{N2}^2} = 0,4 \cdot 60 \cdot \frac{23^2}{110^2} = 1,0492 \Omega$$

$$X_{v0} = 3 \cdot X_{v1} = 3,1472 \Omega$$

Transformátor :

$$R_{T1} = \frac{\Delta P_k}{S_N} \cdot \frac{U_{N1}^2}{S_N} = \frac{0,325}{100} \cdot \frac{23^2}{40} = 0,043 \Omega$$

$$R_{T0} = R_{T1} = 0,043 \Omega$$

$$R_{T1} = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{N1}^2}{S_N} = \frac{11,5}{100} \cdot \frac{23^2}{40} = 1,521 \Omega$$

$$X_{T0} = 0,85 \cdot X_{T1} = 1,293 \Omega$$

Celková skratová impedancia obvodu:

$$R_1 = R_{v1} + R_{T1} = 10,108 \Omega$$

$$X_1 = X_{v1} + X_{T1} = 2,5702 \Omega$$

$$R_0 = R_{v0} + R_{T0} = 10,108 \Omega$$

$$X_0 = X_{v0} + X_{T0} = 4,4402 \Omega$$

$$Z_1 = R_1 + j \cdot X_1 = 0,108 + j \cdot 2,5702 = 2,572 \cdot e^{j87,59^\circ} \Omega$$

$$Z_0 = R_0 + j \cdot X_0 = 0,108 + j \cdot 4,4402 = 4,442 \cdot e^{j88,61^\circ} \Omega$$

6.1.2 Výpočty skratových prúdov

Amplitúda fázového napätia na strane poruchy:

$$U_m = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{N1}}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 23}{\sqrt{3}} = 18,78 \text{ kV}$$

Maximálna ustálená hodnota skratového prúdu:

$$I_{mu} = \frac{U_m}{Z_1} = \frac{18,78}{2,572} = 7,302 \text{ kA}$$

Časová konštanta obvodu:

$$t_a = \frac{L_1}{R_1} = \frac{X_1}{\omega \cdot R_1} = \frac{2,5702}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,108} = 0,0758 \text{ s}$$

Efektívna hodnota fázového napätia na strane poruchy:

$$E_1 = \frac{c \cdot U_V}{\sqrt{3}} = \frac{1 \cdot 23}{\sqrt{3}} = 13,279 \text{ kV}$$

Okamžitá hodnota skratového prúdu:

$$i_k(t) = I_{\text{mu}} \cdot \sin(\omega \cdot t + \alpha - \varphi_k) + [I_{\text{m[u]}} \cdot \sin(\alpha - \varphi) - I_{\text{mu}} \cdot \sin(\alpha - \varphi_k)] \cdot e^{-\frac{t}{t_a}}$$

Špičkový prúd pri trojfázovom skrate:

$$I_p = i_k(0,01) = 7,302 \cdot [\sin(2 \cdot 180^\circ \cdot 50 \cdot 0,01 + 0^\circ - 87,59^\circ) - \sin(0^\circ - 87,59^\circ)] \cdot e^{-\frac{0,01}{0,0758}}$$

$$I_p = 13,689 \text{ kA}$$

Počiatočný rázový skratový prúd pri trojfázovom skrate:

$$I''_{k3} = \left| \frac{U_V}{\sqrt{3} \cdot Z_1} \right| = \left| \frac{23}{\sqrt{3} \cdot 2,572} \right| = 5,163 \text{ kA}$$

Počiatočný rázový skratový prúd pri dvojfázovom skrate:

$$I''_{k2} = \left| \frac{U_V}{2 \cdot Z_1} \right| = \left| \frac{23}{2 \cdot 2,572} \right| = 4,471 \text{ kA}$$

Počiatočný rázový skratový prúd pri dvojfázovom zemnom skrate:

$$I''_{k2,1} = \left| \frac{U_V}{Z_1 + 2 \cdot Z_0} \cdot \frac{1}{-\frac{\sqrt{3}}{2} + j \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{Z_0}{Z_1} \right)} \right| = 4,798 \text{ kA}$$

Počiatočný rázový skratový prúd tečúci zemou pri dvojfázovom zemnom skrate:

$$I''_{k2,1E} = 2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_V \cdot \left| \frac{2 \cdot Z_1}{4 \cdot Z_1 \cdot (Z_1 + Z_0 + 3 \cdot R_F) + 2 \cdot Z_1 \cdot (2 \cdot Z_0 + 6 \cdot R_F)} \right| = 649 \text{ A}$$

Počiatočný rázový skratový prúd pri jednofázovom skrate:

$$I''_{k1} = \left| \frac{3 \cdot E_1}{2 \cdot Z_1 + Z_0 + 3 \cdot Z_F} \right| = \left| \frac{39,837}{31,8} \right| = 1,253 \text{ kA}$$

6.2 Nastavenie parametrov prvkov elektrického obvodu v EMTP-ATP

Pre prvky elektrického obvodu je potrebné zadať požadované vstupné hodnoty. Nastavenie parametrov transformátorov je uvedené v nasledujúcej časti.

Vstupné hodnoty pre vedenie:

$$R_1=R_2=R_3: R_v = R_1 \cdot l = 0,025 \cdot 60 = 1,5 \Omega$$

$$L_1=L_2=L_3: X_v = X_1 \cdot l = 0,4 \cdot 60 = 24 \Omega$$

Vstupné hodnoty pre zdroj:

$$\text{Amp: } U_m = \frac{\sqrt{2} \cdot 110}{\sqrt{3}} = 89,815 \text{ kV} \quad f = 50 \text{ Hz}$$

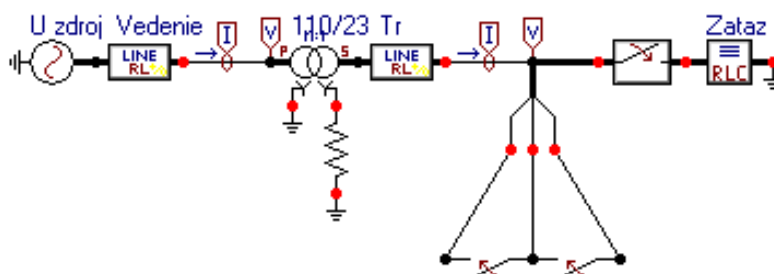
Vstupné hodnoty pre záťaž:

$$R_1=R_2=R_3: R_z = 150 \Omega$$

$$L_1=L_2=L_3: X_z = 24 \Omega$$

6.3 Ideálny trojfázový transformátor

Na obr. 6.2 je uvedené zapojenie elektrického obvodu pre prípad trojfázového skratu. Pre iný typ poruchy sa obvod modifikuje len v mieste poruchy. Keďže sa pri tomto type transformátora neuvažuje s jeho impedanciou, je potrebné k modelu sériovo pripojiť impedanciu, v ktorej zadáme parametre transformátora podľa obr. 6.4. Ako už bolo skôr uvedené, sekundárna strana transformátora je uzemnená cez odpor s veľkosťou 10 Ω .



Obr. 6.2 Zapojenie elektrického obvodu v ATP

Component: Trafo_i3.sup

Attributes

DATA	VALUE	NODE	PHASE	NAME
n	4.7822	P	ABC	3
		PN	1	
		S	ABC	4
		SN	1	

Prevod transformatora

Group No: 0 Edit1 Label: 110/23

Comment:

Hide
 Lock

OK Cancel Help

Obr. 6.3 Vstupné hodnoty pre transformátor

Component: C:\ATP\ATPDRAW\Sup\RLC3.SUP

Attributes

DATA	VALUE	NODE	PHASE	NAME
R_1	0.043	IN1	ABC	4
L_1	1.521	OUT1	ABC	X0019
C_1	0			
R_2	0.043			
L_2	1.521			
C_2	0			
R_3	0.043			
L_3	1.521			

Group No: 0 Edit1 Label: Tr

Comment:

Output: 0 - No

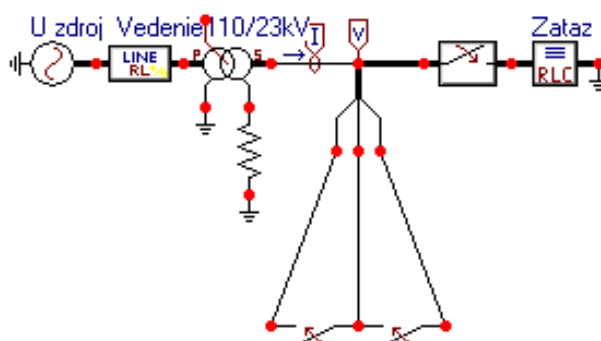
Hide
 Lock
 \$Vintage,1

OK Cancel Help

Obr. 6.4 Vstupné hodnoty impedancie transformátora

6.4 Použitie všeobecného dvojvinut'ového 3-fázového saturačného transformátora (bez saturácie)

Na obr. 6.5 je uvedený obvod pre prípad trojfázového skratu. Parametre pre transformátor vypočítame podľa ďalej uvedených vzťahov.



Obr. 6.5 Zapojenie elektrického obvodu v ATP

Nominálny prúd (vzťahnutý na stranu s vyšším napätím):

$$I_{N2} = \frac{S_{NT}}{\sqrt{3} \cdot U_{N2}} = 209,95 \text{ A}$$

Celková skratová rezistancia (vzťahnutá na stranu s vyšším napätím):

$$R_{k2} = \frac{\Delta P_k}{3 \cdot I_{N2}^2} = 0,9831 \Omega$$

Celková skratová impedancia:

$$Z_{k2} = \frac{u_k \cdot U_{N2}^2}{S_N} = 34,7875 \Omega$$

Celková skratová reaktancia:

$$X_{k2} = \sqrt{Z_{k2}^2 - R_{k2}^2} = 34,7736 \Omega$$

Rezistancia zo strát naprázdno (strana s nižším napätím):

$$R_{\text{mag}} = 3 \cdot \frac{U_{N1}^2}{P_0} = 79,35 \text{ k}\Omega$$

Rezistancia zo strát naprázdno R_{mag} je určená pre vinutie zapojené do hviezdy (vinutie 1) pomocou U_1 (napätie na vinutí 1) a $\frac{P_0}{3}$ (straty pri prevádzke jednej fázy) (viď obr. 6.4).

V skutočnosti, celková skratová impedancia je rozdelená nerovnomerne medzi primárne a sekundárne vinutia. Tu je zvolený pomer $\frac{1}{4}$ pre $\frac{Z_{k1}}{Z_{k2}}$. Požadované údaje pre model STC (viď obr. 6.4) môžu byť určené z vyššie uvedených hodnôt:

Vinutie 1: zapojené do hviezdy (s napätím $\frac{23}{\sqrt{3}}$ kV)

Vinutie 2: zapojené do hviezdy (s napätím $\frac{110}{\sqrt{3}}$ kV)

$$R_1 = 0,2 \cdot \frac{23^2}{110^2} \cdot R_{k2} = 0,008596 \Omega$$

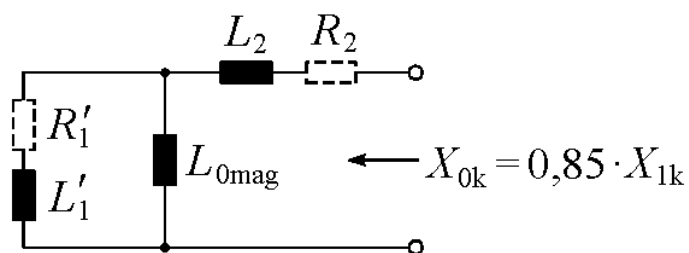
$$X_1 = 0,2 \cdot \frac{23^2}{110^2} \cdot X_{k2} = 0,304 \Omega$$

$$R_2 = 0,8 \cdot R_{k2} = 0,78648 \Omega$$

$$X_2 = 0,8 \cdot X_{k2} = 27,8189 \Omega$$

Transformátor je trojjadrový, teda homopolárny magnetizačný odpor je vysoký a $\frac{X_{0k}}{X_{1k}} = 0,85 \leq 1$. Netočivá zložka magnetizačnej indukčnosti $L_{0\text{mag}}$ (na strane s nižším napätím) potrebná pre model STC, má byť určená spätné.

Ekvivalentný obvod pre netočivú zložku transformátora, vzťahnutý na vinutie s vyšším napätím, je daný na obr. 6.6.

Obr. 6.6 Ekvivalentný obvod pre výpočet $L_{0\text{mag}}$

Na obr. 6.5 R'_1 a L'_1 sú impedancie vinutia na strane s nižším napätím vzťahnuté na vinutie s vyšším napätím. Pri učení $L_{0\text{mag}}$ sa zanedbajú rezistancie R'_1 a R_2 , lebo $R'_1 \ll X'_1$ a $R_2 \ll X_2$.

$$X'_1 = 0,2 \cdot X_{k2} = 6,95472 \Omega$$

$$\frac{1}{X'_{0\text{mag}}} = \frac{1}{X_{0k} - X_2} + \frac{1}{X'_1} \Rightarrow X'_{0\text{mag}} = 1,391 \Omega$$

$$L_{0\text{mag}} = \frac{U_{N1}^2}{U_{N2}^2} \cdot \frac{X'_{0\text{mag}}}{\omega} = \frac{23^2}{110^2} \cdot \frac{1,391}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,19367 \text{ mH}$$

(vzťahnuté na vinutie na strane nižšieho napätia)

EMTP očakáva tiež ako vstupný údaj hodnotu magnetického odporu R_0 s jednotkou $\frac{\text{kV}^2}{\text{H}}$:

$$R_0 = \frac{U_{N1}^2}{3 \cdot L_{0\text{mag}}} = 910483 \frac{\text{kV}^2}{\text{H}}$$

Nakoniec, lineárna magnetizačná indukčnosť pre SATURA vetvu môže byť definovaná použitím prvej dvojice dát (0,412 A, 18584 V) z merania súslednej zložky zadaním prúdu I a toku (ustálený stav):

$$i = \sqrt{2} \cdot 0,412 \text{ A} = 0,5827 \text{ A}$$

$$\psi = \frac{\sqrt{2} \cdot U}{\omega} = 83,7 \text{ V} \cdot \text{s} \quad (\text{pozn. } [\text{V} \cdot \text{s}] = [\text{Wb}])$$

Tieto hodnoty môžeme zadať do modelu transformátora podľa obr. 6.7.

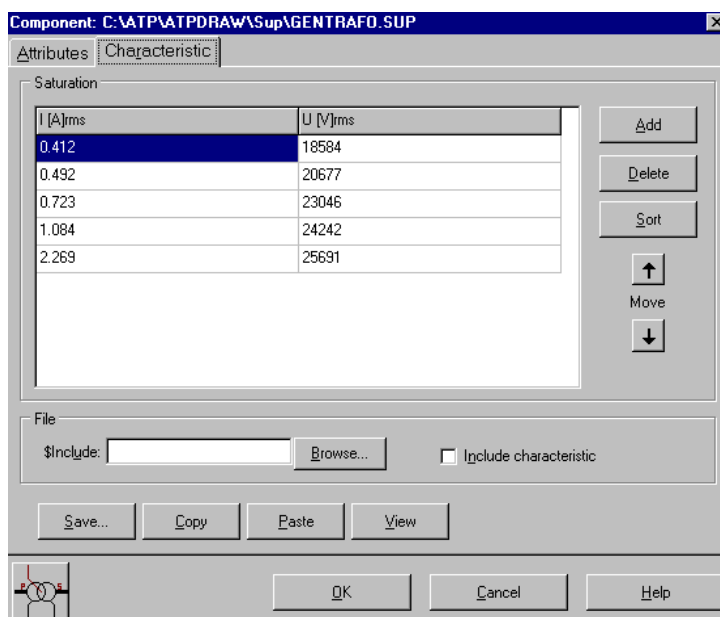
Obr. 6.7 Vstupné hodnoty pre transformátor

6.5 Použitie všeobecného dvojvinut'ového 3-fázového saturačného transformátora (so saturáciou)

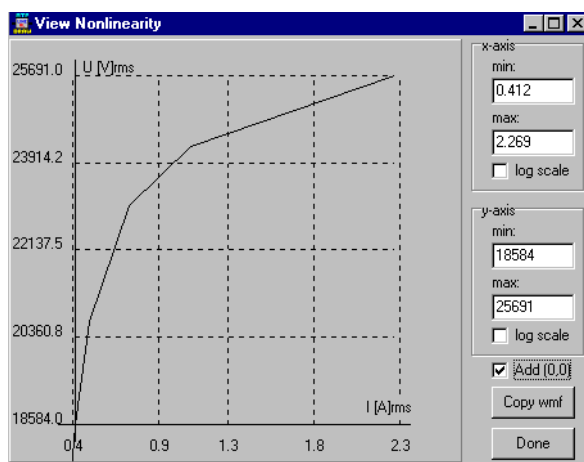
Zapojenie v ATP a vstupné hodnoty pri tomto type sú tie isté ako u predchádzajúceho typu (obr. 6.6 a obr. 6.7). Pri tomto type navyše zadávame saturačnú krivku (obr. 6.8) podľa tabuľky 1.

Tab. 1 Vstupné hodnoty pre saturačnú krivku

I [A] efektívne hodnoty	U [V] efektívne hodnoty
0,412	18584
0,492	20677
0,723	23046
1,084	24262
2,269	25691



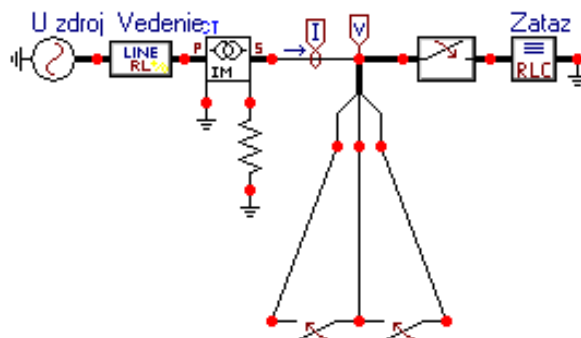
Obr. 6.8 Vstupné hodnoty saturačnej krivky



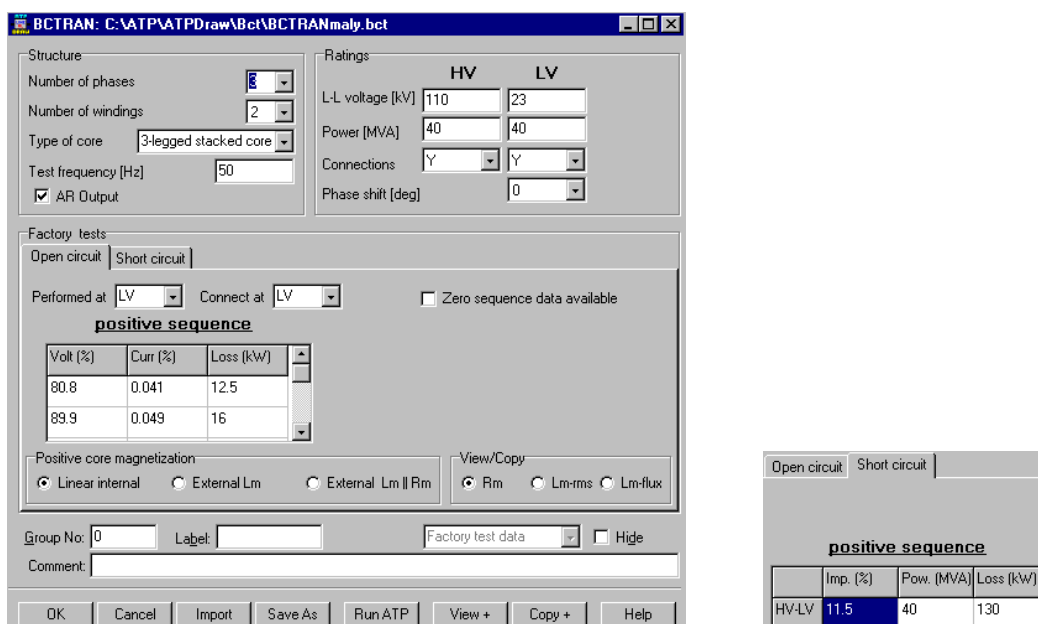
Obr. 6.9 Zobrazenie saturačnej krivky

6.6 Použitie transformátora typu BCTRAN

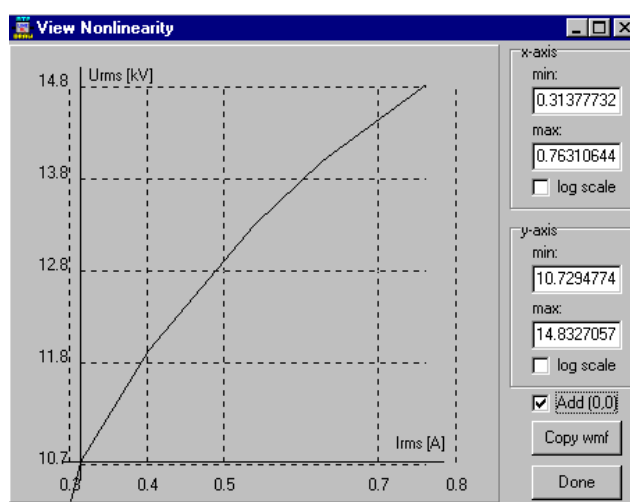
Zapojenie elektrického obvodu pre trojfázový skrat je uvedené na obr. 6.10. Pri tomto type navyše zadávame hodnoty z meraní podľa obr. 6.11.



Obr. 6.10 Zapojenie elektrického obvodu v ATP



Obr. 6.11 Vstupné hodnoty pre transformátor



Obr. 6.12 Zobrazenie magnetizačnej krivky

Výsledné hodnoty získané zo simulácií a výpočtom sú uvedené v nasledovnej tabuľke 2. Z týchto priebehov je možné určiť hodnoty špičkového prúdu a maximálne hodnoty skratových prúdov pre rôzne typy skratov. Pri simuláciách sa uvažuje, že skrat nastal v čase 0,1 s. Špičkový prúd bol teda odčítavaný v čase 0,11 s. Odčítané maximálne hodnoty ustálených skratových prúdov sú v tabuľke prepočítané na efektívne hodnoty.

6.7 Porovnanie výsledných hodnôt skratových prúdov

Výsledné hodnoty získané výpočtom a pri simuláciách sú uvedené v tabuľke 2. Z týchto priebehov je možné určiť hodnoty špičkového prúdu a maximálne hodnoty skratových prúdov pre rôzne typy skratov. Pri simuláciách sa uvažuje, že skrat nastal v čase 0,1 s. Špičkový prúd bol teda odčítavaný v čase 0,11 s. Odčítané maximálne hodnoty ustálených skratových prúdov sú v tabuľke prepočítané na efektívne hodnoty.

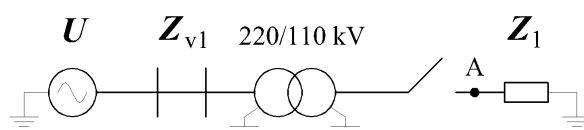
Tab. 2 Výsledné hodnoty skratových prúdov

Typ skratu	3F-skrat A-B-C	3F-skrat A-B-C	2F-skrat B-C	2F-skrat B-C-N	2F-skrat B-C-N	1F-skrat A-N
Typ transformátora	I_p [A]	I''_{k3} [A]	I''_{k2} [A]	$I''_{k2,1}$ [A]	$I''_{k2,1E}$ [A]	I''_{k1} [A]
Vypočítané hodnoty	13689	5163	4471	4798	649	1253
Ideálny (TRAFO_I3)	13638	5164	4470	4785	649	1252
GENTRAFO	13705	5165	4469	4786	648	1247
GENTRAFO (saturácia)	13609	5280	4470	4785	646	1256
BCTRAN	13706	5166	4472	4787	647	1250

7 ANALÝZA PREPÄTÍ V ELEKTRICKEJ SIETI

Príklad 1

Podľa schémy zapojenia na obr. 7.1 určte prostredníctvom ATPDraw veľkosť prepätia a ustáleného napätia (tej istej fázy) v bode A, ak sa záťaž Z_1 pripojí do elektrizačnej sústavy v čase 0,1 s. *Parametre prvkov* sústavy sú nasledovné: $U = 220 \cdot e^{j127,18^\circ}$ kV; záťaž (3 alternatívy): a) $R_1 = 118 \Omega$, b) $L_1 = 0,5$ H, c) $C_1 = 20$ mF, $f = 50$ Hz. *Parametre transformátora*: počet fáz: 3, počet vinutí: 2, typ jadra: 3-stĺpcový typ, zdanlivý výkon: 250 MVA, zapojenie YNyn0, údaje z merania nakrátko zo strany vyššieho napätia: straty nakrátko: 835 kW, napätie nakrátko: 11,5 %, údaje z merania naprázdno zo strany vyššieho napätia: straty naprázdno: 135 kW, napätie naprázdno: 100 %, prúd naprázdno: 0,161 %, (ďalšie parametre vid' údaje uvedené nižšie).

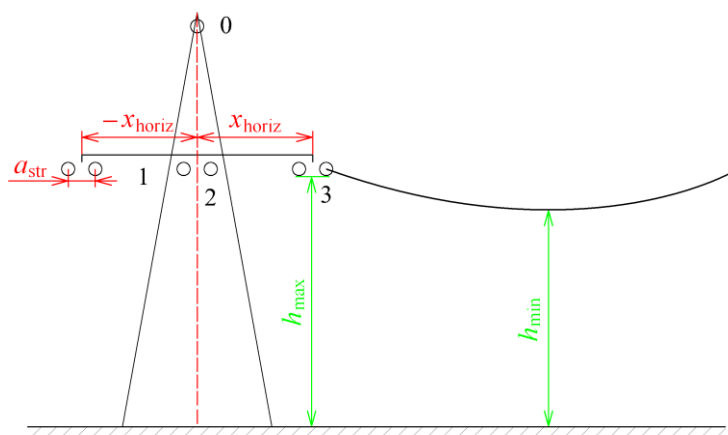


Obr. 7.1 Schéma zapojenia

Parametre vedenia v_1 :

	vodič	h_{max} [m]	h_{min} [m]	x_{horiz} [m]		fázové vodiče	zemniace lano	$\rho_{ei} = 120 \Omega \cdot m,$ $f = 50$ Hz, $l = 20,4$ km
	1	14	11	2	r_{in} [cm]	0,63	0	
	2	14	11	0	r_{out} [cm]	1,81	0,5	
	3	14	11	2	R [Ω/km]	0,042	0,2	
	0	18	15	0	Počet fáz: 3 Typ modelu článku: π Stredná vzdialenosť medzi zväzkovými vodičmi: $a_{str} = 40$ cm			

kde:



Riešenie

V ATPDraw sa vytvorí schéma zapojenia podľa obr. 7.2.

Na 3-f napäťovom zdroji U , sa nastaví maximálna hodnota napätia zdroja v položke **Amp** 179629,25 (nakoľko v zadaní bola uvedená hodnota združeného napätia,

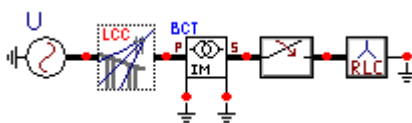
$U_{\max} = U_{\text{zdr}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 220000 \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \cong 179629,2478$). V položke **Tsta** sa nastaví hodnota -1 a **Tsto** hodnota 10 , čo má za následok stály napäťový zdroj počas doby 10 sekúnd. V položke **Type of source** sa ponechá voľba **Voltage**. Fázové natočenie napätia U_1 sa zadá v položke **Pha** $37,18$ (pretože implicitné nastavenie napäťového zdroja predpokladá kosínusový zdroj, t.j. $\varphi - 90^\circ = 127,18^\circ - 90^\circ = 37,18^\circ$) a frekvenciu v položke **f** 50 . Fázové natočenia a amplitúdy ostatných fáz sa pri *symetrickom 3-f* napäťovom zdroji nezadávajú (obr. 7.3).

Na modeli prvku zátáže sa postupne zadávajú hodnoty impedancií jednotlivých fáz v poradí L1, L2, L3. Podľa zadania sa v prípade a) zadá do kolónok **R_1**, **R_2**, **R_3** hodnota 118 , a ostatné hodnoty ostanú nulové. V prípade b) sa do kolónok **L_1**, **L_2**, **L_3** zadá hodnota indukčnej zátáže 500 a ostatné hodnoty ostanú nulové. Podobne sa postupuje v prípade c) kde sa zadá do kolónok **C_1**, **C_2**, **C_3** hodnota kapacity 20000 (predvolené nastavenie je v μF (mikro farad)) a ostatné hodnoty ostanú nulové (obr. 7.6).

Do miesta A bude vložený 3-fázový voltmeter, ktorý bude snímať veľkosti prepätí na zátáži alebo bude v modeli prvku zátáže v položke **Output** zvolená možnosť **Voltage** (obr. 7.6).

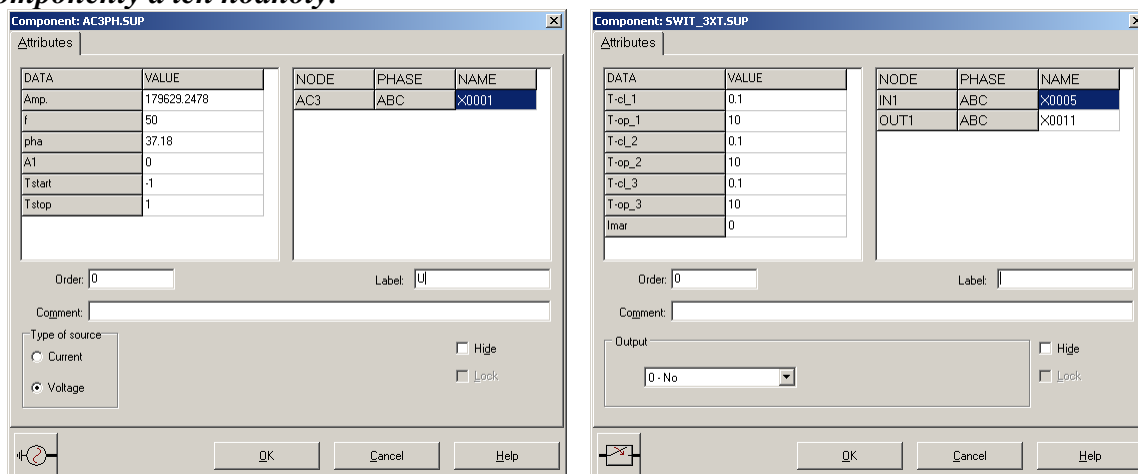
Pripojenie zátáže k elektrizačnej sústave bude realizované 3-fázovým vypínačom, ktorého čas zopnutia bude nastavený podľa zadania. Do kolónky **T-cl** sa zadá hodnota zopnutia, t.j. čas pripojenia zátáže $0,1$ a do kolónky **T-op** sa zadá čas vypnutia vypínača, t.j. čas odpojenia zátáže. Nakoľko čas odpojenia zátáže nie je zadaný, zadáme dostatočne veľkú hodnotu, napr. 10 (obr. 7.3).

Nastavenia transformátora a vedenia sú uvedené nižšie.

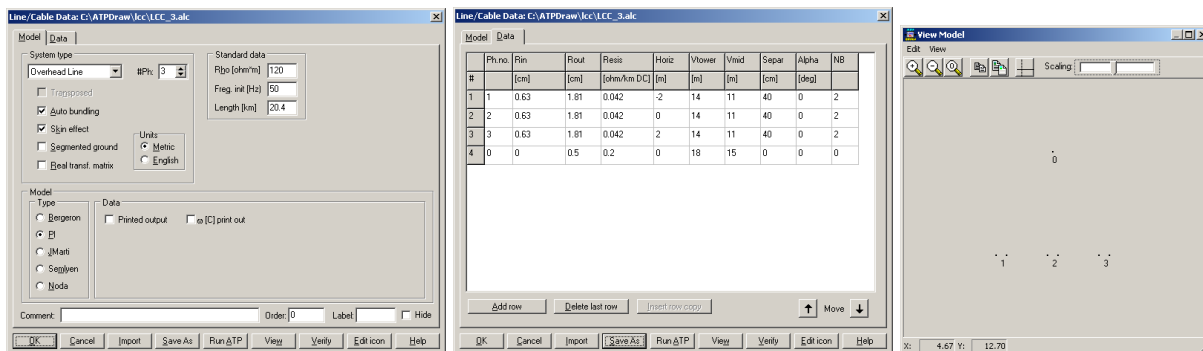


Obr. 7.2 Schéma zapojenia v ATPDraw

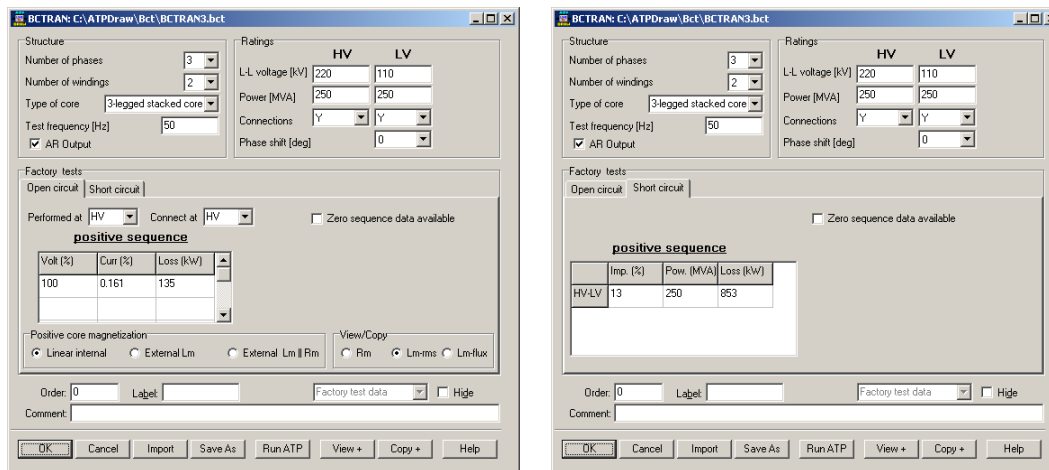
Komponenty a ich hodnoty:



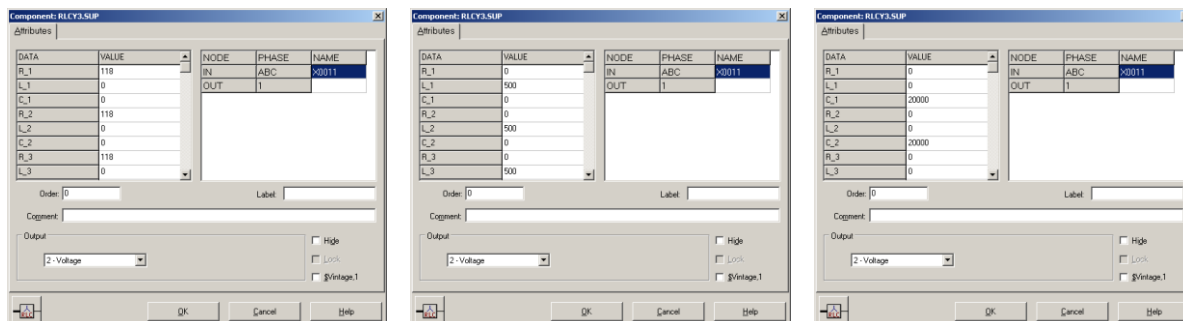
Obr. 7.3 Nastavenie parametrov napäťového zdroja a nastavenie parametrov 3-f vypínača



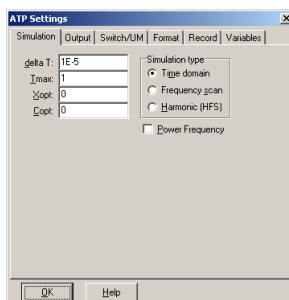
Obr. 7.4 Nastavenie parametrov vedenia Z_{v1}



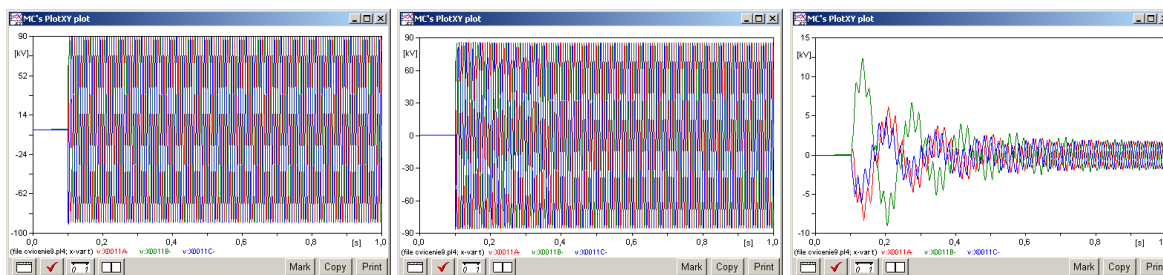
Obr. 7.5 Nastavenie parametrov transformátora



Obr. 7.6 Nastavenie parametrov záťaže a) $R = 118 \Omega$, b) $L = 0,5 \text{ H}$, c) $C = 20 \text{ mF}$



Obr. 7.7 Dialógové okno Settings – Simulation



Obr. 7.8 Zobrazenie priebehov napätí pri jednotlivých typoch zát'azí a), b), c)

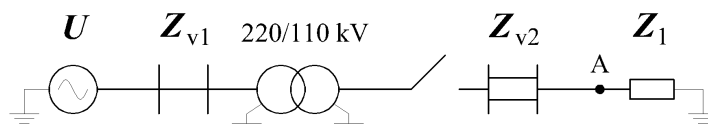
	$U_{max,prep}$ [V]	$U_{max,ust}$ [V]
U_R	91446	89290
U_L	86205	85353
U_C	12352	1882

Obr. 7.9 Tabuľka odčítaných hodnôt napätí pri jednotlivých typoch zát'azí

Ak by sa daná elektrická sieť rozšírila o ďalšie vedenie/vedenia, došlo by k poklesu napätia vplyvom úbytku napätia na samotnom vedení a bolo by potrebné zmeniť odbočku na transformátore.

Príklad 2

Podľa schémy zapojenia na obr. 7.10 určte prostredníctvom ATPDraw veľkosť prepätia a ustáleného napätia na zát'azi, ak daná vetva vedenia spolu so zát'azou sa pripojí do elektrizačnej sústavy v čase 0,1 s a parametre prvkov sústavy sú ako v predchádzajúcom *Príklade 1* (ďalšie parametre viď údaje uvedené nižšie).

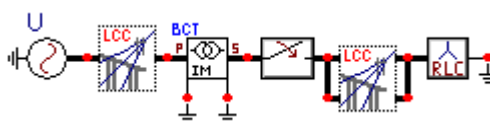


Obr. 7.10 Schéma zapojenia

Parametre vedenia v_2 :

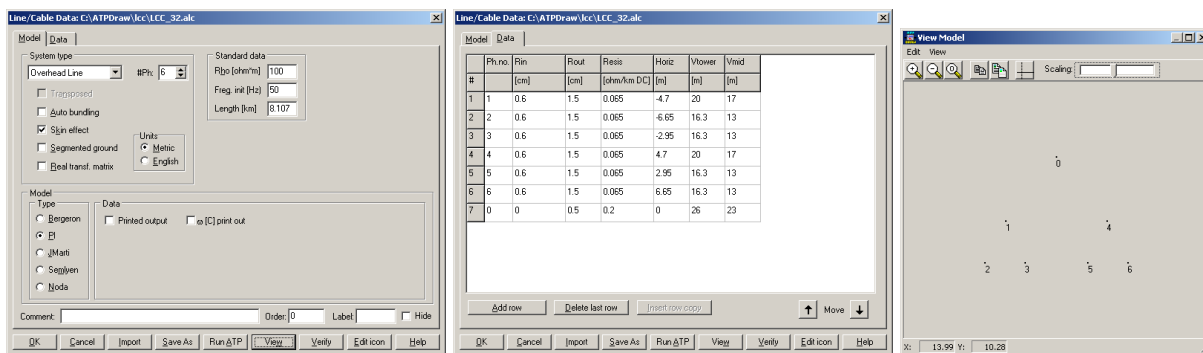
	vodič	h_{max} [m]	h_{min} [m]	x_{horiz} [m]		fázové vodiče	zemniace lano	$\rho_{el} = 100 \Omega \cdot m,$ $f = 50 \text{ Hz},$ $l = 8,107 \text{ km}$
	1, 4	20	17	4,7	r_{in} [cm]	0,6	0	
	2, 6	16,3	13	6,65	r_{out} [cm]	1,5	0,5	
	3, 5	16,3	13	2,95	R [Ω/km]	0,065	0,2	
	0	26	23	0	Počet fáz: 6 Typ modelu článku: π			

Riešenie



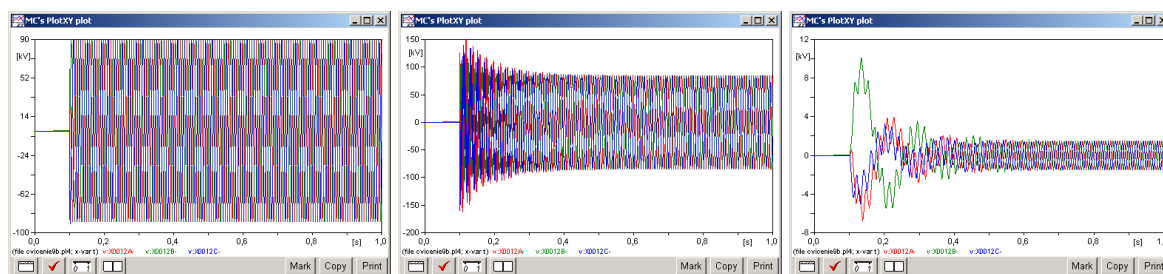
Obr. 7.11 Schéma zapojenia v ATPDraw

Parametre vedenia a ich hodnoty:



Obr. 7.12 Nastavenie parametrov vedenia Z_{v2}

Model LCC je na vstupe aj výstupe prepojený, teda využívajú sa obidva počahy sústavy vedenia.



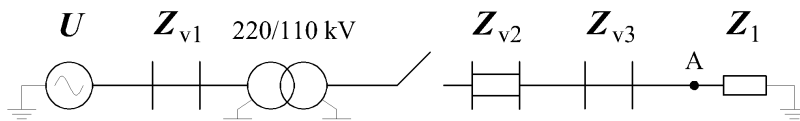
Obr. 7.13 Zobrazenie priebehov napätí pri jednotlivých typoch záťaží a), b), c)

	$U_{max,prep}$ [V]	$U_{max,ust}$ [V]
U_R	91184	89406
U_L	162100	84623
U_C	10082	1493

Obr. 7.14 Tabuľka odčítaných hodnôt napätí pri jednotlivých typoch záťaží

Príklad 3

Podľa schémy zapojenia na obr. 7.15 určte prostredníctvom ATPDraw veľkosť prepätia a ustáleného napätia na záťaži, ak daná vetva vedenia spolu so záťažou sa pripojí do elektrizačnej sústavy v čase 0,1 s a parametre prvkov sústavy sú ako v predchádzajúcom *Príklade 1* a v *Príklade 2* (ďalšie parametre viď údaje uvedené nižšie).

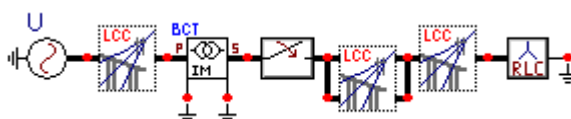


Obr. 7.15 Schéma zapojenia

Parametre vedenia v_3 :

	vodič	h_{max} [m]	h_{min} [m]	x_{horiz} [m]		fázové vodiče	zemniace lano	$\rho_{el} = 100 \Omega \cdot m,$ $f = 50 \text{ Hz},$ $l = 5,168 \text{ km}$
	1	16,8	14	2,6	r_{in} [cm]	0,4	0	
	2	18,4	15	2,5	r_{out} [cm]	1,07	0,5	
	3	15,2	12,5	3,4	R [Ω/km]	1,23	0,2	
	0	21,2	18,5	0	Počet fáz: 3 Typ modelu článku: π			

Riešenie

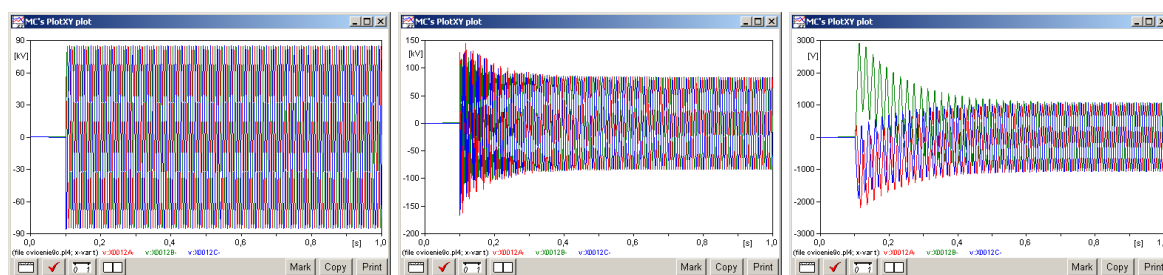


Obr. 7.16 Schéma zapojenia v ATPDraw

Parametre vedenia a ich hodnoty:

#	Ph.no.	Pin [cm]	Rout [cm]	Resis [ohm/km/DC]	Horiz [m]	Vlower [m]	Vmid [m]
1	1	0,4	1,07	1,23	-2,6	16,8	14
2	2	0,4	1,07	1,23	2,5	18,4	15
3	3	0,4	1,07	1,23	3,4	15,2	12,5
4	0	0	0,5	0,2	0	21,2	18,5

Obr. 7.17 Nastavenie parametrov vedenia Z_{v_3}



Obr. 7.18 Zobrazenie priebehov napätí pri jednotlivých typoch zát'azí a), b), c)

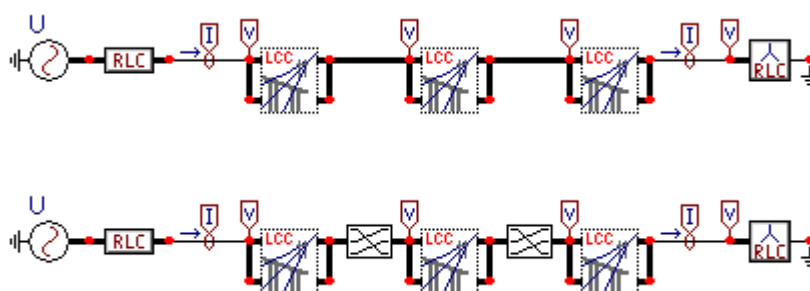
	$U_{max,prep}$ [V]	$U_{max,ust}$ [V]
U_R	85951	84879
U_L	166270	83493
U_C	2919	1063

Obr. 7.19 Tabuľka odčítaných hodnôt napätí pri jednotlivých typoch zát'azí

8 TRANSPOZÍCIA VEDENIA

Príklad 1

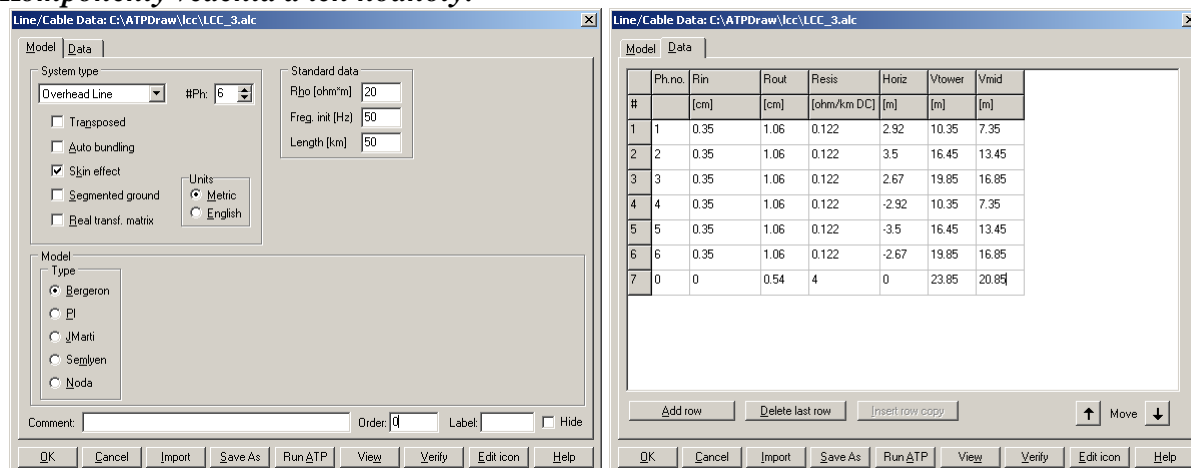
Štandardným problémom pri dlhých vedeniach je nesymetria pozdĺžnej a priečnej impedancie vedenia. Táto nesymetria sa rieši transpozíciou vedenia. Jedná sa prakticky o výmenu uloženia vodičov jednotlivých fáz. Podľa dĺžky vedenia je možné uskutočniť jednu alebo aj viac transpozícií. V modeli sú rovnaké vedenia, jedno z nich je po tretinách transponované. Je možné jednoduchým spôsobom zmeniť parametre zdroja a aj zátáže. Pri vedeniach je možné meniť dĺžku úsekov medzi miestom transpozície a taktiež parametre vedenia ako pri ostatných modeloch.



Obr. 8.1 Schéma zapojenia

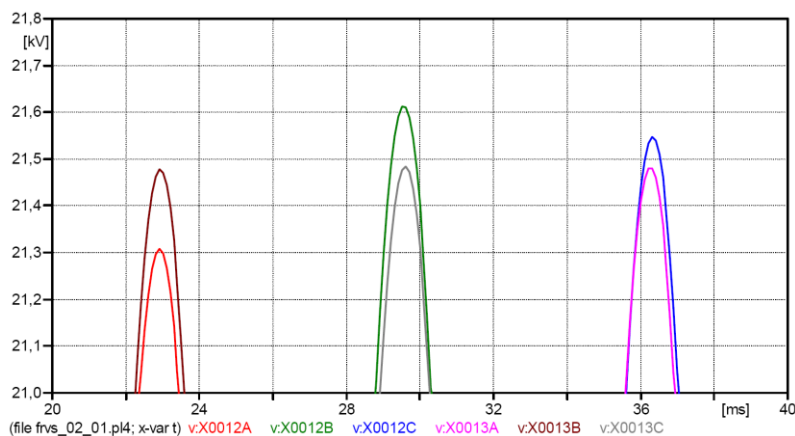
Komponenty a ich hodnoty:

Elektrický prvok	Názov v programe	Zložka	Nastavenie	Hodnota
3f striedavý zdroj napätia	AC 3-ph type 14	Source	Amp	$150000 \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$
			f	50
			Pha	-90
3f-RLC symetrická zátáž	RLC_3	Standard Component ...	R	5
			L	180
			C	0
Ampérmeter	Probe Curr	Probes & 3-phase		
Voltmeter	Probe Volt	Probes & 3-phase		
Model vedenia	LCC	Lines / Cables		
Transpozícia ABC → BCA	Transp ABC-BCA	Probes & 3-phase		

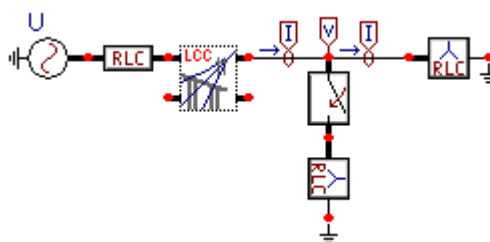
Komponenty vedenia a ich hodnoty:**Obr. 8.2 Komponenty vedenia a ich parametre**

Model LCC je na vstupe aj výstupe prepojený, teda využívajú sa obidva počahy sústavy vedenia. Pri modeli záťaže je úmyselne zvolená nízka hodnota odporu kvôli väčším úbytkom napätia na modeli vedenia.

Na nasledujúcom obrázku sú znázornené vrcholové hodnoty napätia na záťaži pre transponované a aj pre netransponované vedenie. Netransponované vedenie je charakterizované krivkami červená, zelená, modrá (v poradí fáz A, B, C, pri zdroji), transponované vedenie sériou kriviek ružová, hnedá a sivá (podľa napätia zdroja fázy A, B, C). Z obrázku je zrejmé, že každou transpozíciou sa posunie fáza zdroja A na fázu B záťaže ($B \rightarrow C$, $C \rightarrow A$). V našom prípade je teda posun „o dve fázy.“ Je zřejmý tiež rozdiel hodnôt napätia, ktorý je v danom prípade na úrovni 100 až 200 V.

**Obr. 8.3 Špičkové hodnoty napätia na záťaži****Príklad 2**

Ďalším z bežných problémov v elektrizačnej sústave je kompenzácia induktívnej záťaže. V našich podmienkach sa používa paralelná kompenzácia kondenzátorovou batériou. Pre jednoduchú ukážku je vytvorený model podľa nasledujúcej schémy zapojenia. Daný model je použitý dvakrát, s tým rozdielom, že je pomocou vypínača odpojená kondenzátorová batéria (tým sa získa možnosť porovnať priebehy v jednom grafe).



Obr. 8.4 Schéma zapojenia

Komponenty a ich hodnoty:

Elektrický prvok	Názov v programe	Zložka	Nastavenie	Hodnota
3f striedavý zdroj napätia	AC 3-ph type 14	Source	Amp	$90000 \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$
			f	50
			Pha	-90
3f-RLC symetrická záťaž	RLC_3	Standard Component ...	R	5
			L	180
			C	0
3f-RLC symetrická záťaž	RLC-Y 3ph	Branch Linear	R	400
			L	300
			C	0
3f-RLC symetrická záťaž	RLC-Y 3ph	Branch Linear	R	0
			L	0
			C	300
Ampérmeter	Probe Curr	Probes & 3-phase		
Voltmeter	Probe Volt	Probes & 3-phase		
Model vedenia	LCC	Lines / Cables		
Časovo riadený vypínač	Switch time 3-ph	Switches		

Komponenty vedenia a ich hodnoty:

#	Ph.no.	Rin [cm]	Rout [cm]	Resis [ohm/km DC]	Horiz [m]	Vtower [m]	Vmid [m]
1	1	0.35	1.06	0.122	2.92	10.35	7.35
2	2	0.35	1.06	0.122	3.5	16.45	13.45
3	3	0.35	1.06	0.122	2.67	19.85	16.85
4	4	0.35	1.06	0.122	-2.92	10.35	7.35
5	5	0.35	1.06	0.122	-3.5	16.45	13.45
6	6	0.35	1.06	0.122	-2.67	19.85	16.85
7	0	0	0.54	4	0	23.85	20.85

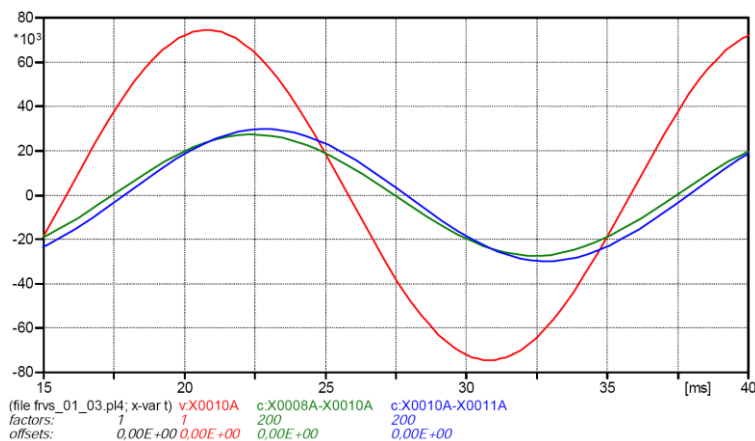
Obr. 8.5 Komponenty vedenia a ich parametre

V modeli LCC sú na vstupe aj výstupe dva poľahy, pričom sa využíva len jeden z nich.

Na priebehu rôznych veličín si ukážeme účinok kompenzácie.

Porovnaním **prúdov**:

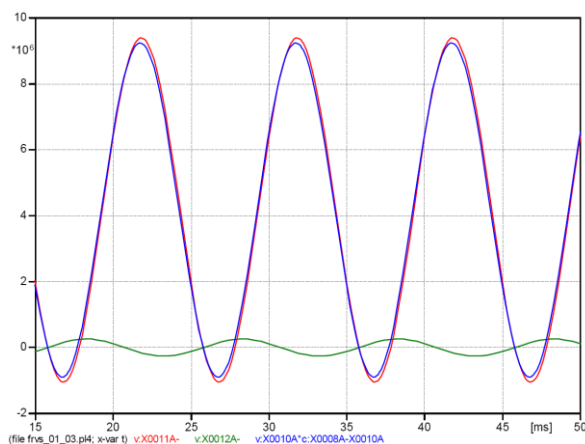
Na nasledujúcom obrázku je znázornený priebeh napätia v mieste kompenzácie a prúdy pred miestom kompenzácie (zelená krivka) a za miestom kompenzácie (modrá krivka). Je zrejmé, že prúd pred miestom kompenzácie má menšiu amplitúdu a tiež fázový posun voči napätiu. (**Pozn.:** pre potrebu zobrazenia bola amplitúda prúdu znásobená 200×).



Obr. 8.6 Priebeh napätia a prúdov v mieste kompenzácie

Porovnaním **výkonov**:

Činný výkon je definovaný ako stredná hodnota priebehu okamžitého výkonu $p(t) = u(t) \cdot i(t)$. Porovnaním nasledovných kriviek vidíme vplyv kompenzácie:



Obr. 8.7 Priebeh okamžitých hodnôt výkonov pri kompenzácii

kde:

Červená krivka je okamžitý výkon meraný na záťaži fázy A. Je zrejmé, že integrovaním v intervale jednej periódy a delením dobou jednej periódy získame nenulovú hodnotu, ktorá odpovedá činnému výkonu spotrebovanému na odporovej časti záťaže. Pokles výkonu do zápornej hodnoty znamená jalovú časť výkonu, ktorá sa akumulovaním a vybíjaním indukčnosti vzájomne pri integrácii odčíta.

Zelená krivka je okamžitý výkon meraný na kondenzátorovej batérii. Je zrejmé, že integráciou po dobu periódy dostaneme nulovú hodnotu (pri čisto indukčnej záťaži). To znamená, že sa jedná o čisto jalovú spotrebu výkonu.

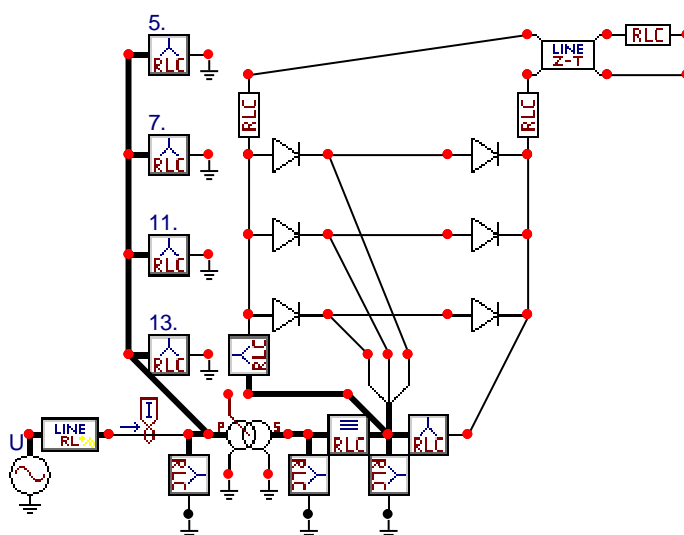
Modrá krivka je okamžitý výkon v mieste kompenzácie $p(t)=u(t)\cdot i(t)$. Vzhľadom k tomu, že kondenzátorová batéria nie je pripojená paralelne k čistej indukčnosti, ale k sériovej kombinácii rezistor a indukčnosť, nie je možné potlačiť jalovú zložku úplne (alebo priamym odčítaním výkonu kondenzátorov). Je však viditeľný úbytok v kladnej a aj v zápornej časti výkonovej charakteristiky, čo znamená, že časť jalovej energie pre záťaž je odoberaná z kondenzátora a nie zo zdroja.

9 TROJFÁZOVÉ VÝKONOVÉ MENIČE

Analýza obvodov výkonových meničov prináša v dôsledku opakovaného spínania a v dôsledku javov spojených so spínaním množstvo rôznych komplikácií, ktoré obmedzujú použitie matematických analýz. Našťastie v dnešnej dobe existujú výpočtové programy ako EMTP a PSPICE, ktoré umožňujú úspešne realizovať presné výpočty pri riešení problému. V tejto kapitole je popísaný princíp analýzy takého obvodu, a to na jednoduchom príklade trojfázového usmerňovača (vid'. *Preklad textov prof. Eiichi Haginomoriho pre prácu s EMTP-ATP*, kapitola 8).

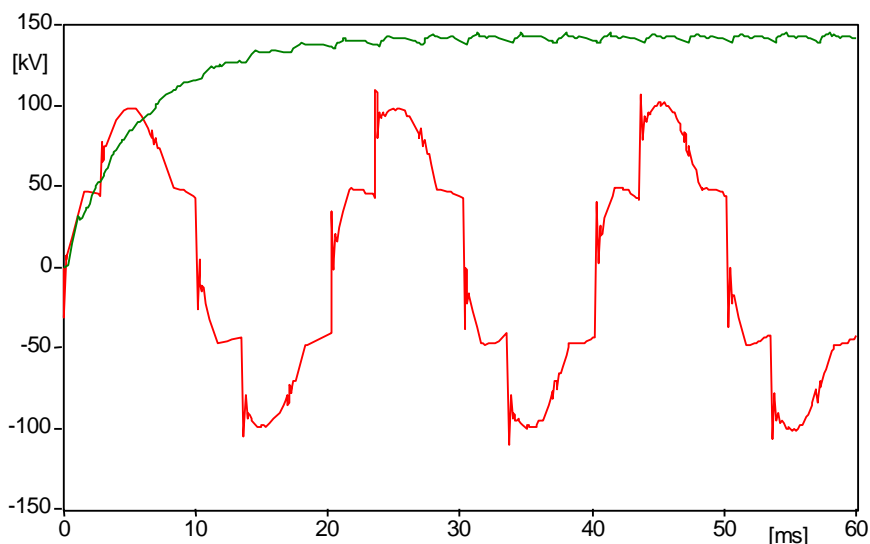
9.1 Popis zapojenia

Obr. 9.1 ukazuje schému, v ktorej sú k zdroju pripojené prídavné filtračné obvody (5., 7., 11. a 13. harmonickej) a k jednotlivým diódam sú pripojené prepäťové ochrany. K transformátoru je pripojený striedavý trojfázový zdroj s vnútornou impedanciou a s napätím 287,5 kV. Na jednosmernú stranu zdroja je cez jednosmerné reaktory pripojené prenosové 100 km vedenie. Na koniec vedenia je pripojená záťaž.

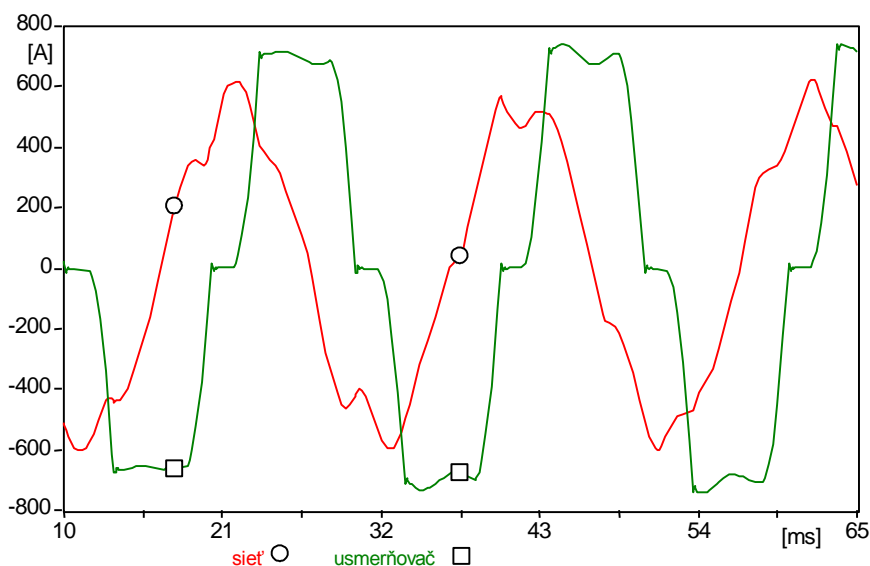


Obr. 9.1 Schéma trojfázového neriadeného usmerňovača s filtráciou vyšších harmonických sieťového prúdu

Pri použití tyristorov v riadenom usmerňovači by sa privedenie impulzu na riadiacu elektródu tyristora realizovalo riadiacim systémom TACS. Na sekundárnej strane transformátora je napätie 120 kV. Obr. 9.2 ukazuje jednosmerné napätie na záťaži a priebeh napätia fázy A na vstupe do usmerňovača. Na obr. 9.3 je primárny prúd a prúd tečúci z fázy A do usmerňovača. Bez použitia filtra má sieťový prúd prakticky rovnaký priebeh ako prúd do usmerňovača. Vplyv filtra vyšších harmonických sa dá posúdiť z obsahu vyšších harmonických. S použitým filtrom je najvyššia úroveň pri 5. harmonickej 5 % vzhľadom k prvej harmonickej, zatiaľ čo bez filtra bola pri 5. harmonickej hodnota 16 % a pri 7. harmonickej 8 %. Na eliminovanie vplyvu vyšších harmonických sa okrem filtrácie používajú tiež viacfázové zapojenia usmerňovačov.



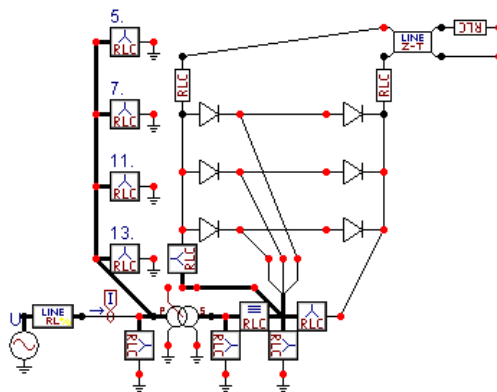
Obr. 9.2 Napätie na zát'aži a priebeh napätia fázy A na vstupe do usmerňovača



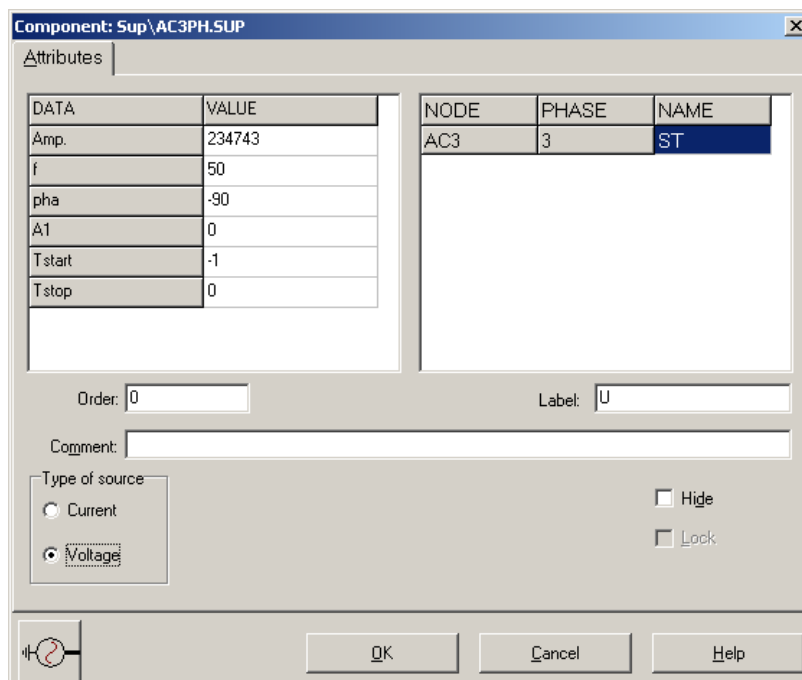
Obr. 9.3 Priebeh prúdov fázy A – prúd siete a prúd do usmerňovača

Postupnosť krokov pri zadávaní údajov v programe ATP:

V ATPDraw sa vytvorí schéma zapojenia podľa obr. 9.4. Na napäťovom zdroji nastavíme v položke **Amp** hodnotu 234743 (t.j. $\frac{287500\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$), v položke **Tstart** hodnotu -1 a v položke **Tstop** hodnotu 0, čo má za následok nekonečný napäťový zdroj. V **Type of source** ponecháme voľbu **Voltage**. Fázové natočenie zvolíme v položke **Pha** -90 a frekvenciu v položke **f** 50. (obr. 9.5).

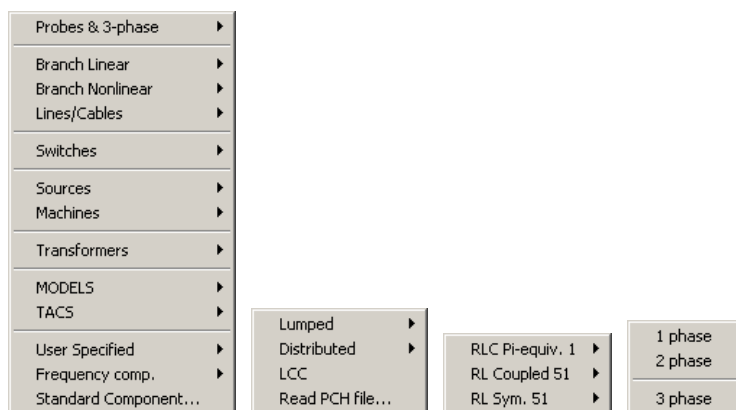


Obr. 9.4 Schéma zapojenia v ATPDraw



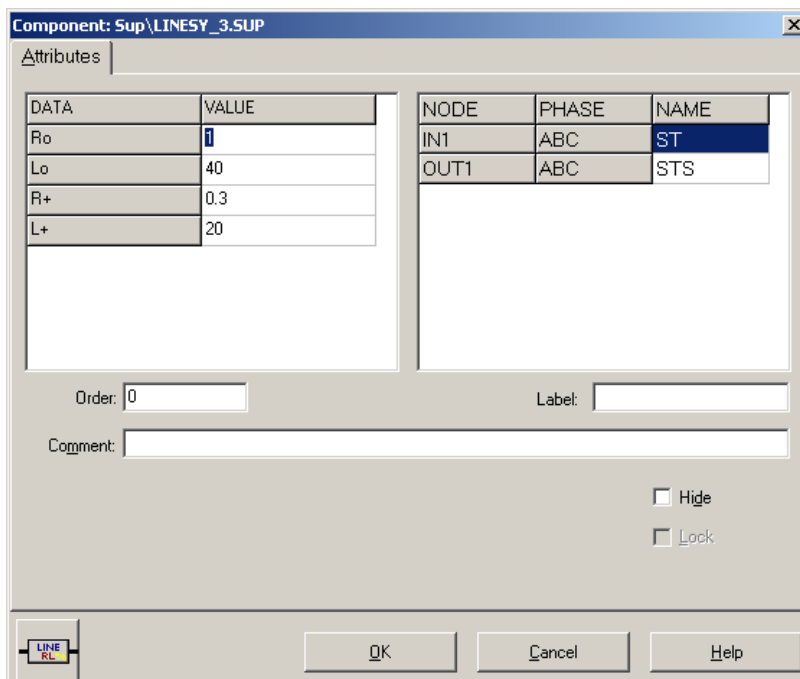
Obr. 9.5 Nastavenie parametrov pre napäťový zdroj *U*

Nasledovným postupom (obr. 9.6) vyberieme vnútornú impedanciu transformátora, charakterizované vedením RL (Lines/Cables → Lumped → RLC Pi-equiv. 1 → 3 phase).



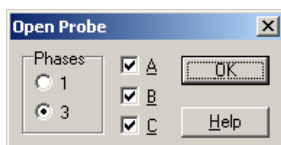
Obr. 9.6 Vloženie prvku – vedenie *RL* – do schémy

V tomto prvku zadáme do položky **R_o** hodnotu 1, do **L_o** hodnotu 40, do **R₊** hodnotu 0.3 a do **L₊** hodnotu 20.



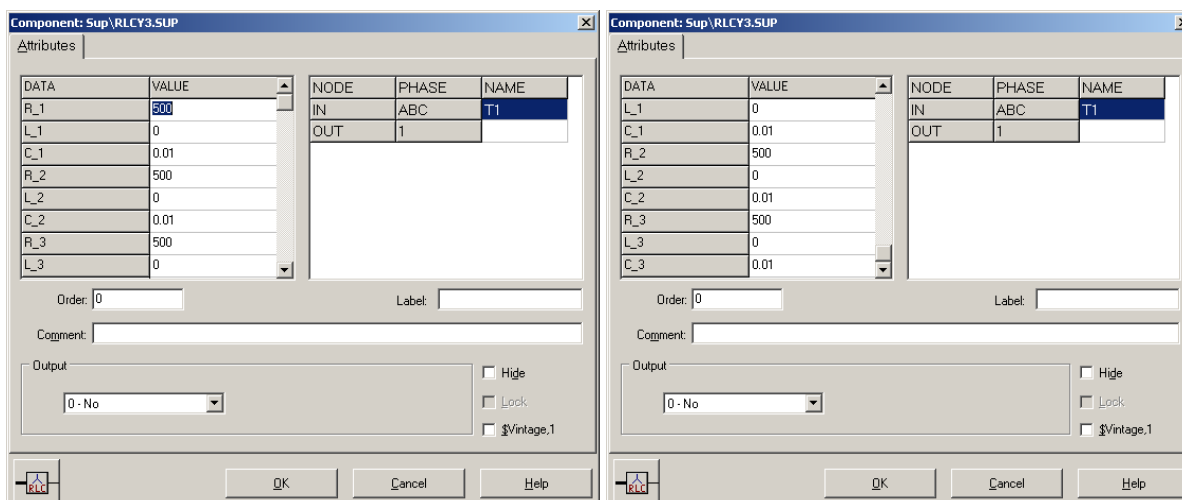
Obr. 9.7 Nastavenie parametrov pre vnútornú impedanciu transformátora

Prúd budeme snímať vo všetkých fázach, preto nastavíme počet fáz 3 (obr. 9.8).



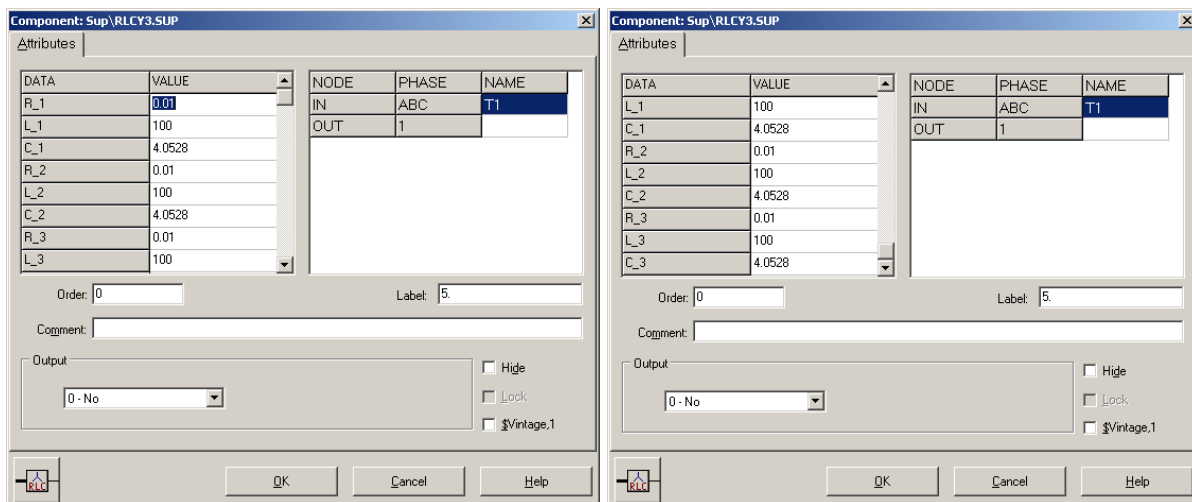
Obr. 9.8 Nastavenie počtu fáz

V prvom filtračnom prvku zadáme hodnoty podľa nasledujúcej tabuľky.

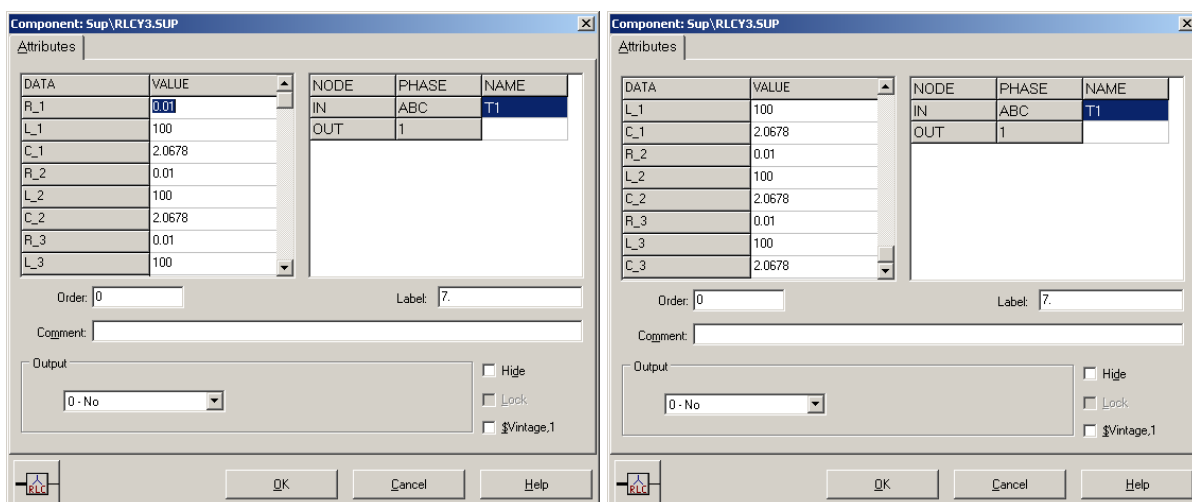


Obr. 9.9 Nastavenie parametrov filtračného člena

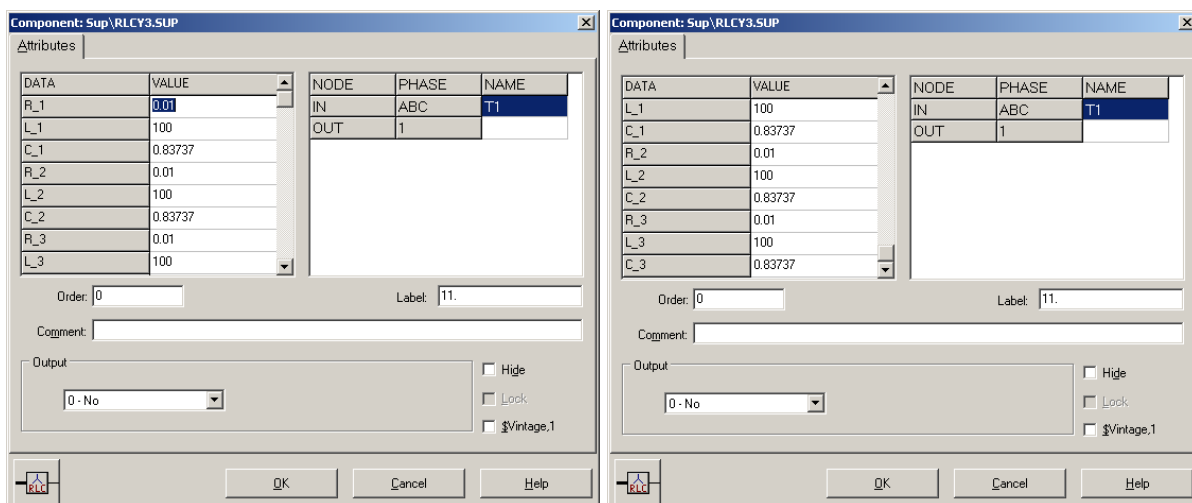
Podobne zadáme hodnoty pre filtre 5., 7., 11. a 13. harmonickej zložky napätia podľa nasledujúcich tabuliek.



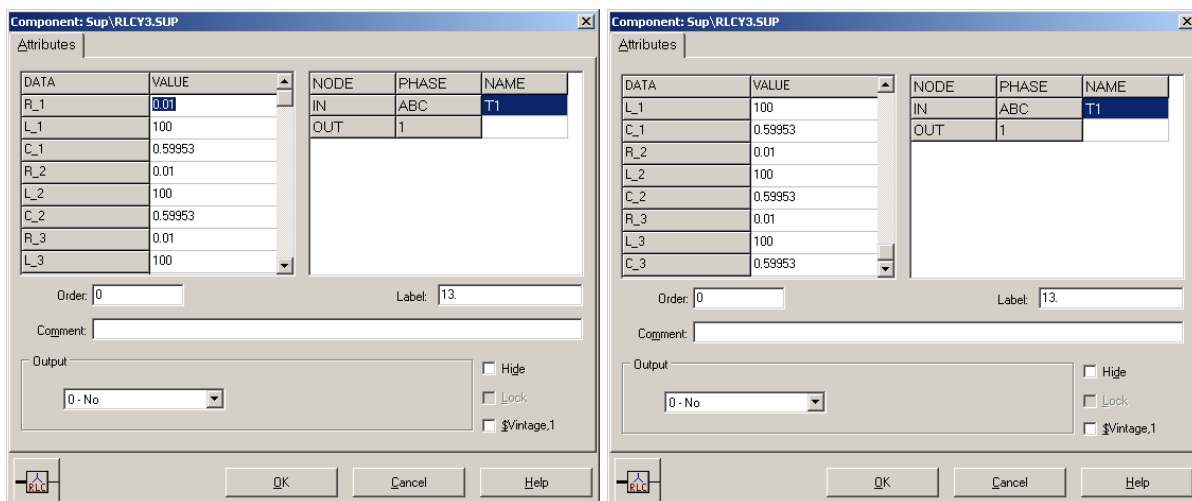
Obr. 9.10 Nastavenie parametrov filtračného člena 5. harmonickej



Obr. 9.11 Nastavenie parametrov filtračného člena 7. harmonickej

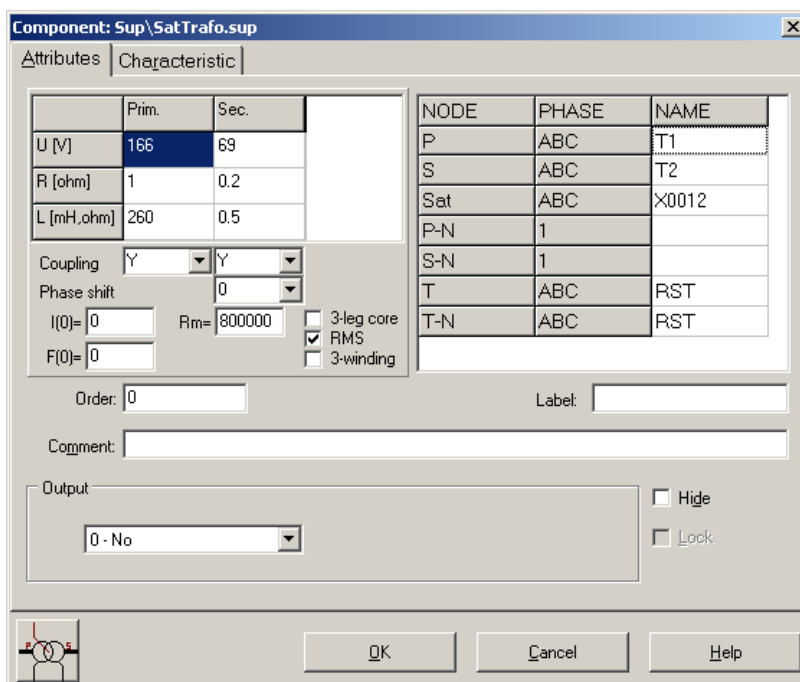


Obr. 9.12 Nastavenie parametrov filtračného člena 11. harmonickej

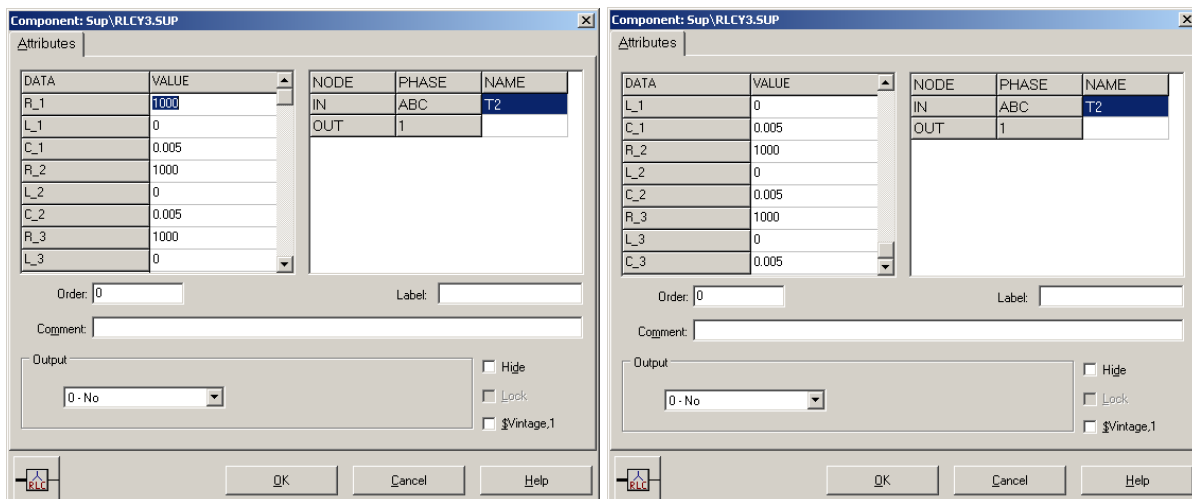


Obr. 9.13 Nastavenie parametrov filtračného člena 13. harmonickej

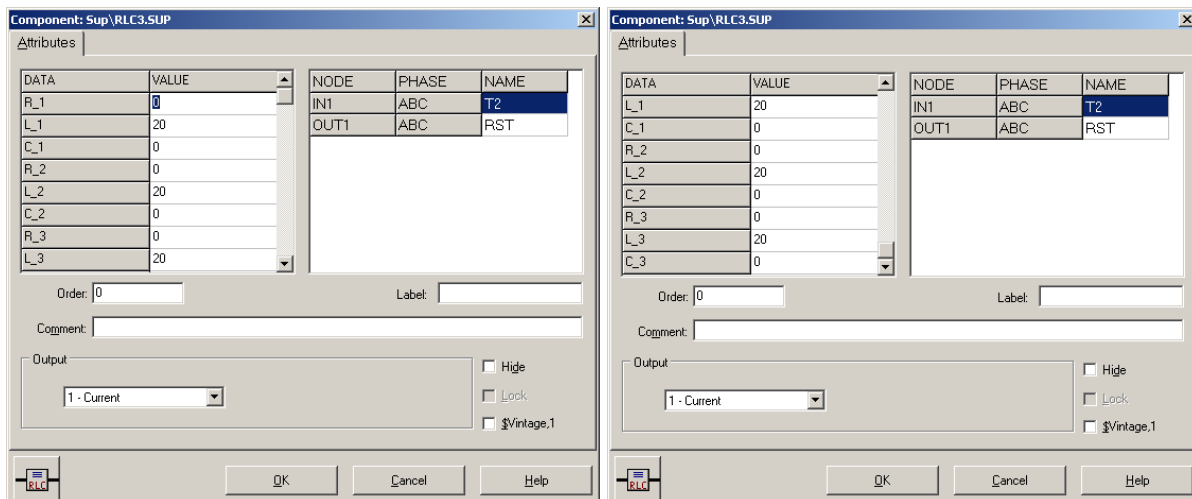
Vo vlastnostiach saturačného 2-vinut’ového transformátora zadáme hodnoty primárneho ($\frac{287,5}{\sqrt{3}} = 166\text{ kV}$) a sekundárneho napätia ($\frac{120}{\sqrt{3}} = 69,3\text{ kV}$) a hodnoty rezistancie **R** a induktancie **L** primárneho a sekundárneho vinutia a ďalšie údaje podľa nasledovnej tabuľky.



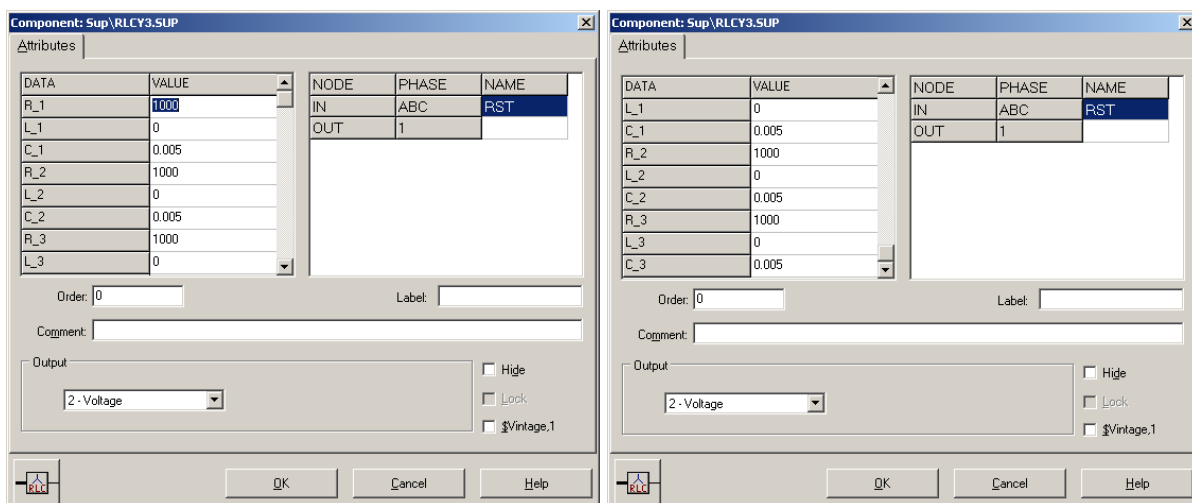
Obr. 9.14 Nastavenie parametrov transformátora



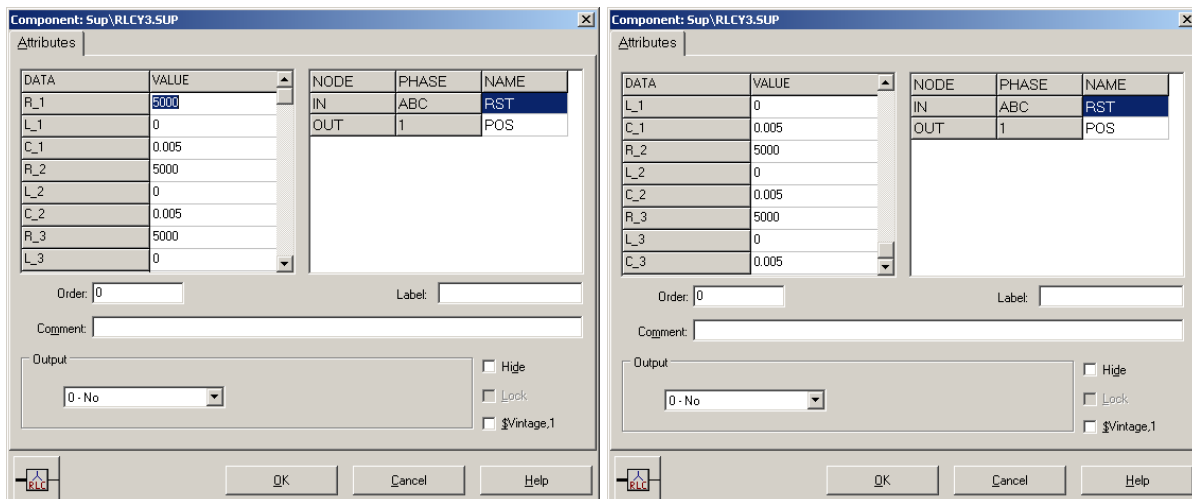
Obr. 9.15 Nastavenie parametrov paralelnej vetvy náhradného článku



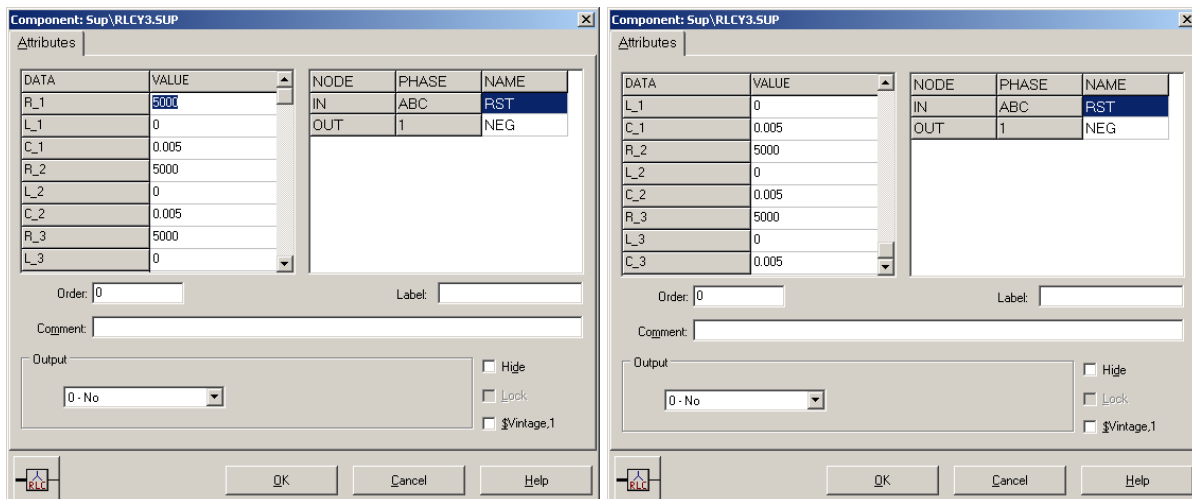
Obr. 9.16 Nastavenie parametrov sériovej vetvy náhradného článku



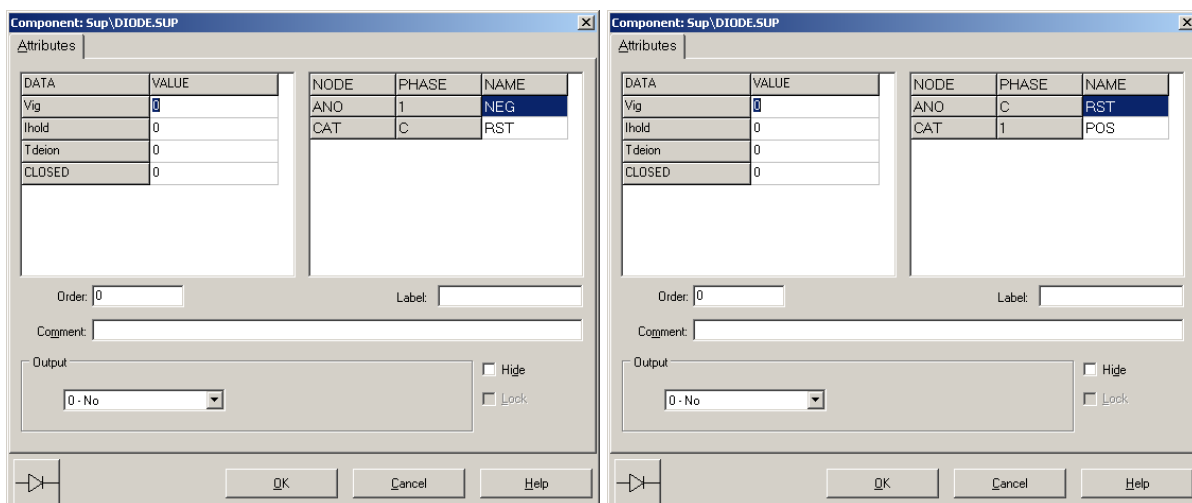
Obr. 9.17 Nastavenie parametrov paralelnej vetvy náhradného článku



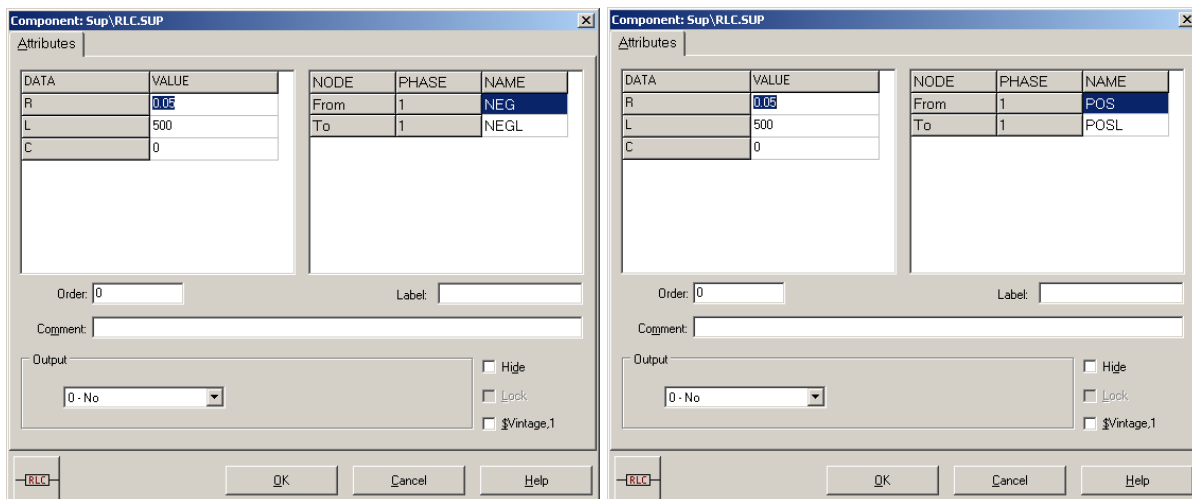
Obr. 9.18 Nastavenie parametrov prepät'ovej ochrany



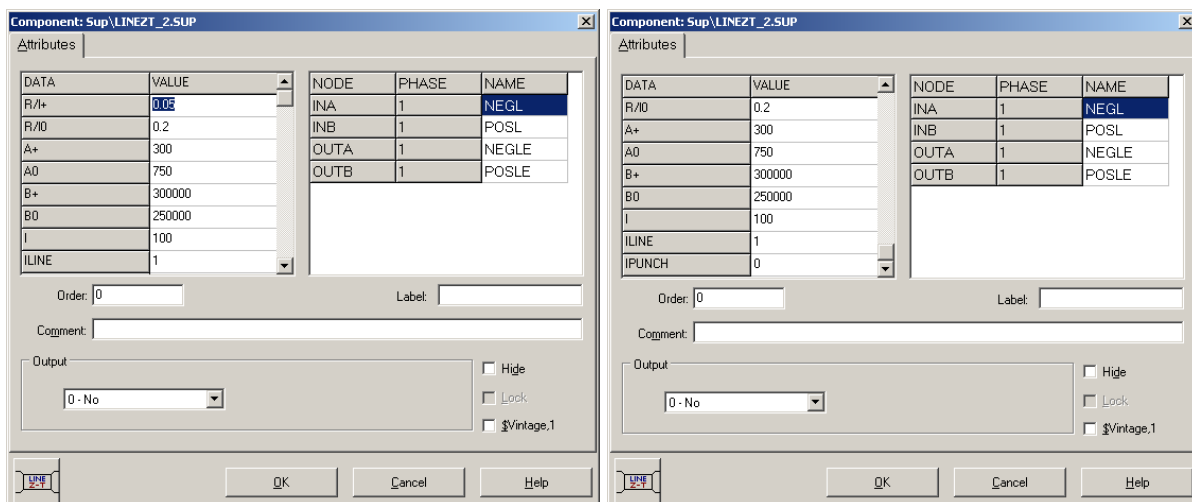
Obr. 9.19 Nastavenie parametrov prepät'ovej ochrany



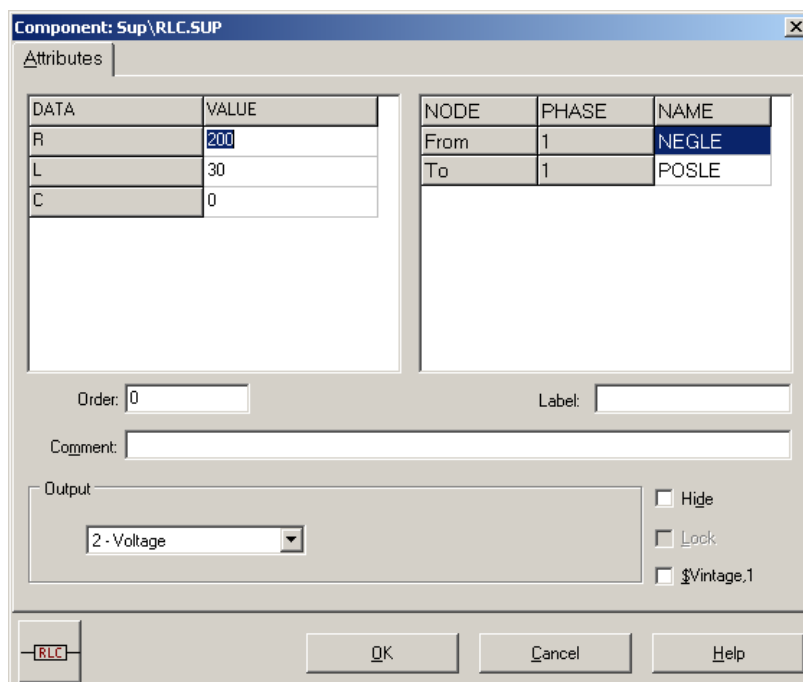
Obr. 9.20 Nastavenie parametrov usmerňovacích diód



Obr. 9.21 Nastavenie parametrov pre jednosmerné reaktory na vyhladenie napätia

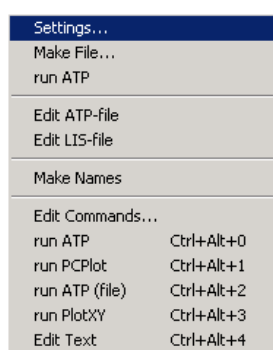


Obr. 9.22 Nastavenie parametrov prenosového 100 km vedenia

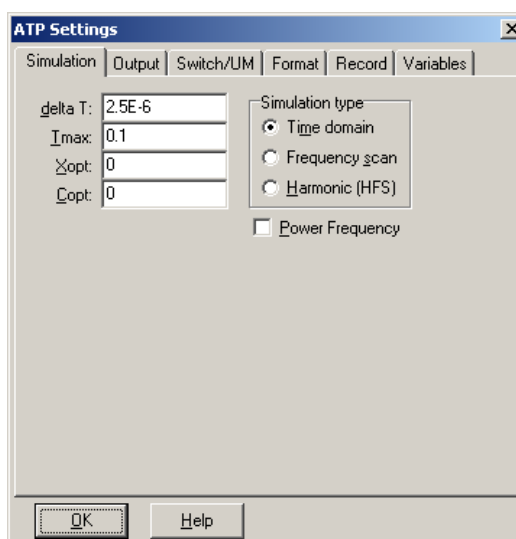


Obr. 9.23 Nastavenie parametrov zát'aže

Časové podmienky simulácie sa nastavujú voľbou z horného menu **ATP Settings** a **Simulation** (obr. 9.24). Keďže sa jedná o krátky prechodný dej, krok výpočtu musíme tomu prispôbiť **delta T** $2.5E-6$ s a podobne aj doba výpočtu, napr. **Tmax** 0.1 s (obr. 9.25).

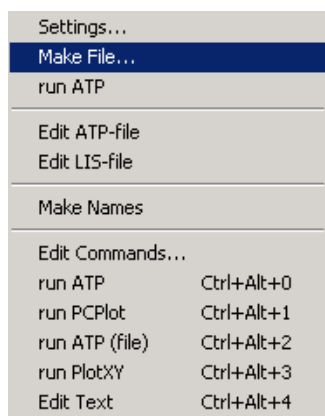


Obr. 9.24 ATP – Settings

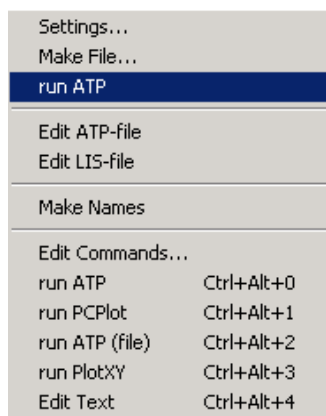


Obr. 9.25 Dialógové okno Settings – Simulation

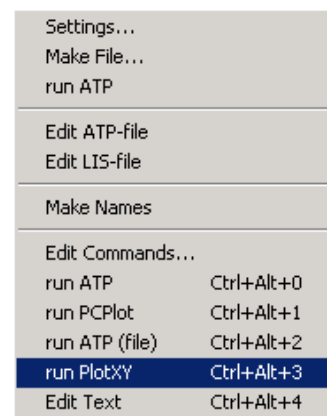
Príkazom **Make File** v hornom menu **ATP** sa vytvorí v podadresári ATP dátový súbor pre ATP s rovnakým názvom s príponou *.atp (obr. 9.26). Príkazom **run ATP** v hornom menu **ATP** sa spustí výpočet v programe ATP, ktorého výsledkom sú súbory s príponou *.lis a *.pl4 (obr. 9.27). V prostredí ATPDraw sa voľbou z horného menu **ATP run PlotXY** spustí grafický postprocesor (obr. 9.28).



Obr. 9.26 ATP – Make File...

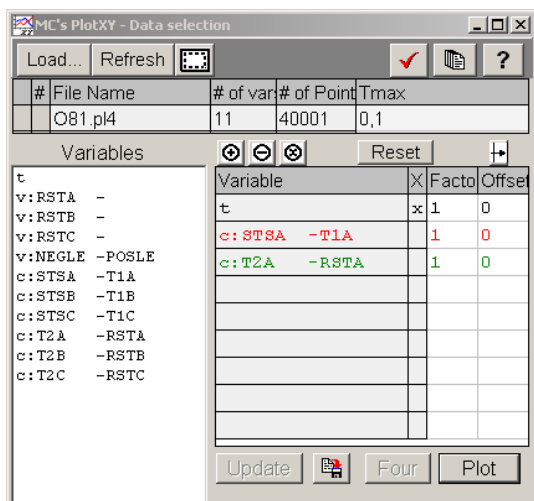


Obr. 9.27 ATP – run ATP

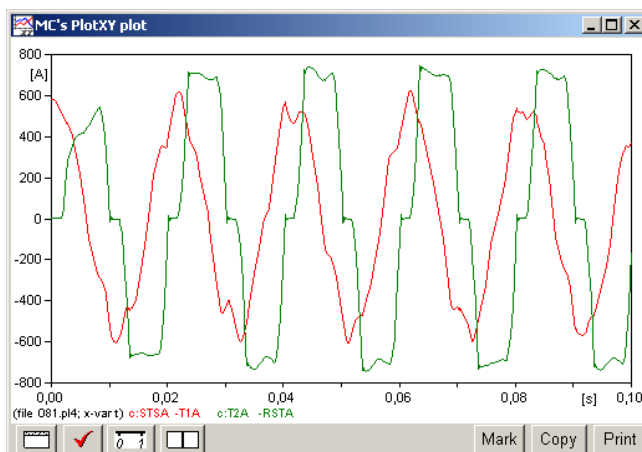


Obr. 9.28 ATP – run PlotXY

A v ňom je s označením **c: STSA-T1A** uvedený prúd siete a **c: T2A-RSTA** priebeh prúdu do usmerňovača fázy A. Stlačením ľavého tlačidla myši sa dané priebehy označia pre zobrazenie a stlačením tlačidla **Plot** sa následne zobrazia.

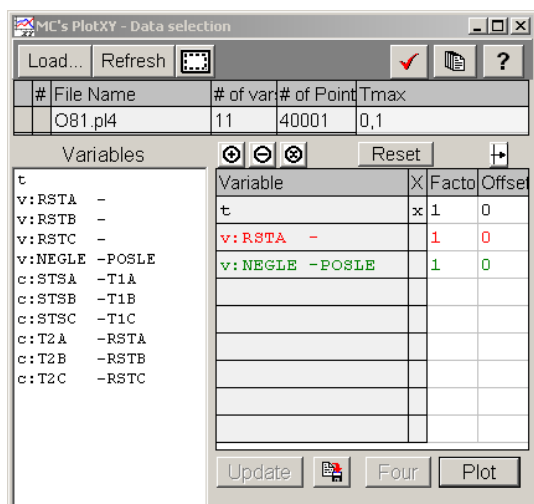


Obr. 9.29 Dialógové okno programu PlotXY pre vykreslenie priebehov

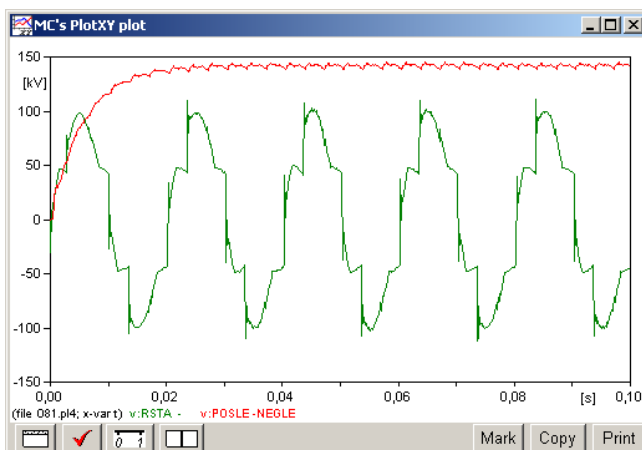


Obr. 9.30 Priebeh prúdov fázy A – prúd siete a prúd do usmerňovača

Podobne, s označením **v: RSTA-** je uvedené napätie na záťaži a **v: NEGLE-POSLE** priebeh napätia fázy A na vstupe do usmerňovača. Stlačením ľavého tlačidla myši sa dané priebehy označia pre zobrazenie a stlačením tlačidla **Plot** sa následne zobrazia.



Obr. 9.31 Dialógové okno programu PlotXY pre vykreslenie priebehov



Obr. 9.32 Usmernené napätie na záťaži a priebeh napätia fázy A na vstupe do usmerňovača

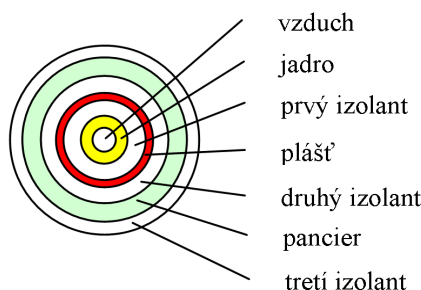
10 KÁBLE

Elektromagnetické vlny sa šíria rôzne vo vnútri kábla (medzi jadrom a plášťom) a vonkajškom kábla, v dôsledku rozdielnych permitívít (vo vnútri $150 \text{ m}/\mu\text{s}$, vonku 250 až $300 \text{ m}/\mu\text{s}$). Preto hlavne pre výpočet vysokofrekvenčných prechodných javov je potrebné správne zadať permitivitu aj vo vnútri kábla, aj vonku. Najjednoduchší model kábla je možné vytvoriť všeobecným prvkom s rozloženými parametrami, ten ale modeluje iba vnútro kábla. To sa dá použiť v prípade, že napätie plášťa je zanedbateľné (dokonale uzemnený kábel). Inak sa môže použiť kombinácia vonkajších a vnútorných väzieb, ako je tomu pri ideálnom transformátore. Pre modelovanie káblov sa v EMTP používa predovšetkým procedúra CABLE CONSTANTS a CABLE PARAMETERS. Ide o nasledujúce typy káblov: (viď. *Preklad textov prof. Eiichi Haginomoriho pre prácu s EMTP-ATP*, kapitola 5).

Multifázový otvorený káblový systém

Vlastnosti:

- Vhodné pre káble umiestnené vo vzduchu a v zemi
- Nákres kábla je na Obr. 1
- Je možné vynechať druhý izolant, pancier a tretí izolant
- Používa sa predovšetkým pre jednofázové káble v zemi



Obr. 1 Rez jednožilovým káblom

Multifázový káblový systém uzatvorený v trubici

Vlastnosti:

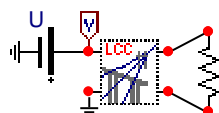
- Trubica môže byť i z materiálu s veľmi nízkou vodivosťou ako je napríklad betón
- Nákres kábla je na Obr. 2
- Používa sa pre viacfázové káble



Obr. 2 Rez trojžilovým káblom

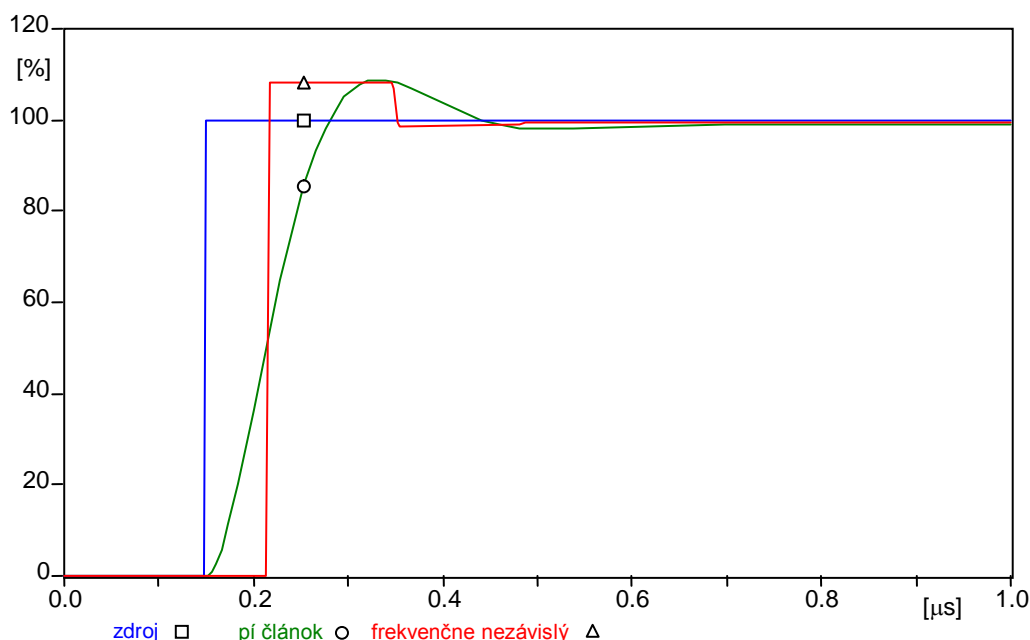
Pre oba typy káblov sa používajú rovnaké modely ako pre vonkajšie vedenia. Pri kábloch je vyššia kapacita na svorkách. Plášte a pancier sa môžu rôzne uzemniť, je možné aj krížové prepojenie plášťov.

Ako príklad je uvedený nadzemný koaxiálny kábel s polomerom jadra 2,5 mm, plášť má polomery 10 a 11 mm a obal 12,5 mm. Relatívna permitivita izolantu je 4, dĺžka kábla 10 m a kábel je 0,1 m nad zemou. Kábel je na konci zaťažený odporom 50Ω (to zodpovedá takmer impedančnému prispôsobeniu) a na jeho začiatok sa privádza jednotkový skok napätia, vid'. Obr. 3.



Obr. 3 Porovnanie modelov koaxiálneho kábla

Na Obr. 4 sú znázornené priebehy napätia na zdroji a napätia na konci kábla s použitím modelu π článku a frekvenčne nezávislého modelu vedenia.

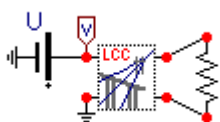


Obr. 4 Odozva na skok napätia v rôznych modeloch koaxiálneho kábla

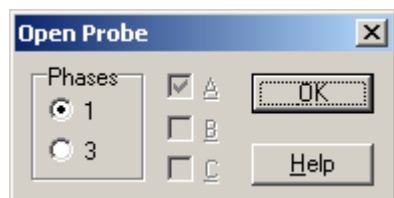
Pre model π článku je nutné brať do úvahy, že v pozdĺžnych parametroch je udávaná reaktancia, a preto je potrebné kontrolovať nastavenie parametra X_{opt} . Pre zlepšenie prehľadnosti nie je na Obr. 4 uvedený priebeh pri frekvenčne závislých modeloch, ale aj tak sa príliš nelíši od priebehu nezávislého modelu, lebo preň bola volená vysoká frekvencia 5 MHz. Pre jednotlivé typy káblov a ich umiestnenie: **pozemný**, **nadzemný** a kábel umiestnený **v zemi** ponúka dialóg ATPDraw niekoľko modelov a je vecou praktických skúseností, ktorý z adekvátnych modelov (frekvenčne závislých) je vhodné v danom prípade použiť.

10.1 Postupnosť krokov pri zadávaní údajov v programe ATP

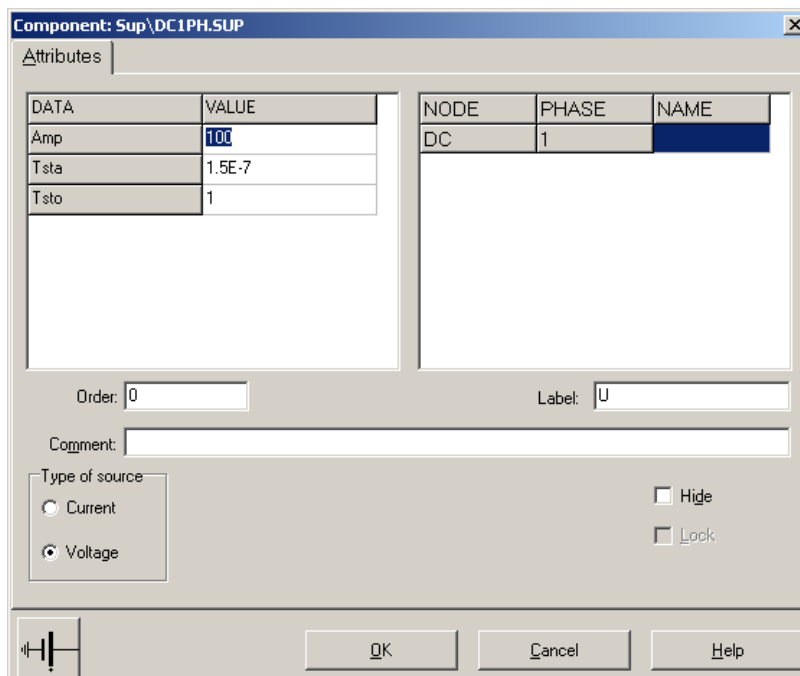
V ATPDraw sa vytvorí schéma zapojenia podľa obr. 5. Na napätovom zdroji nastavíme v položke **Amp** hodnotu 100, v položke **Tsta** hodnotu $1.5E-7$ a v položke **Tsto** hodnotu 1, čo má za následok napätový zdroj po dobu 1 sekundy. V **Type of source** ponecháme voľbu **Voltage** (obr. 6). Budeme snímať 1-fázový prúd, preto nastavíme počet fáz 1 (obr. 7).



Obr. 5 Schéma zapojenia v ATPDraw

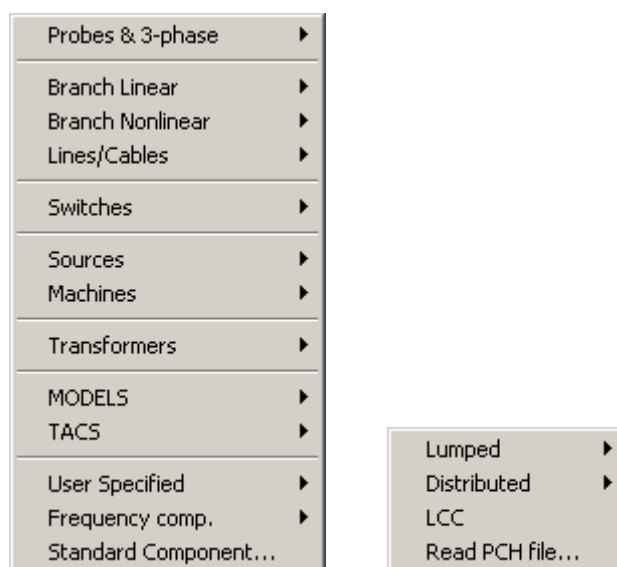


Obr. 7 Nastavenie počtu fáz



Obr. 6 Nastavenie parametrov pre napätový zdroj U

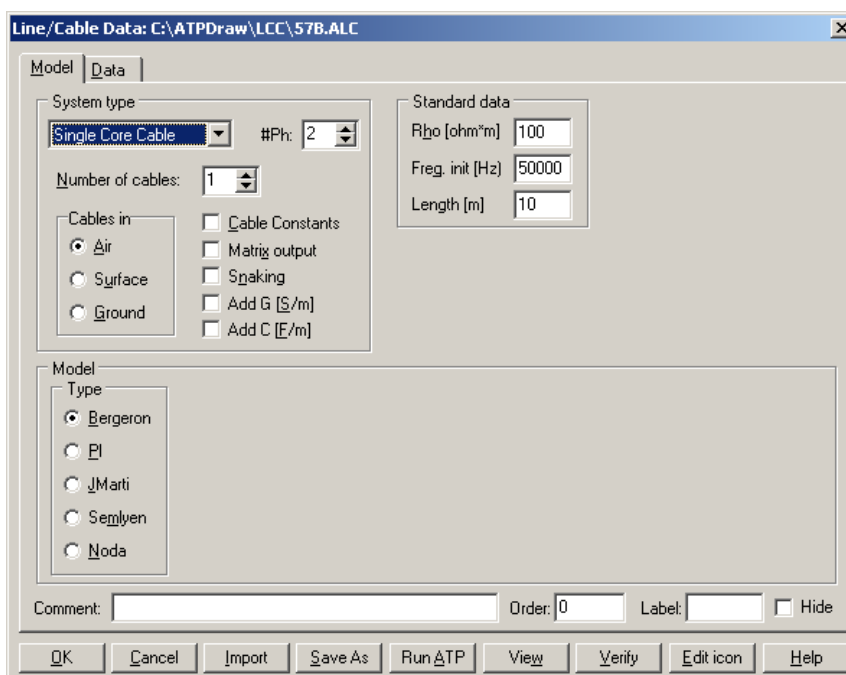
Nasledovným postupom (obr. 8) vyberieme typ kábla (Lines/Cables → LCC).



Obr. 8 Vloženie prvku – kábla – do schémy

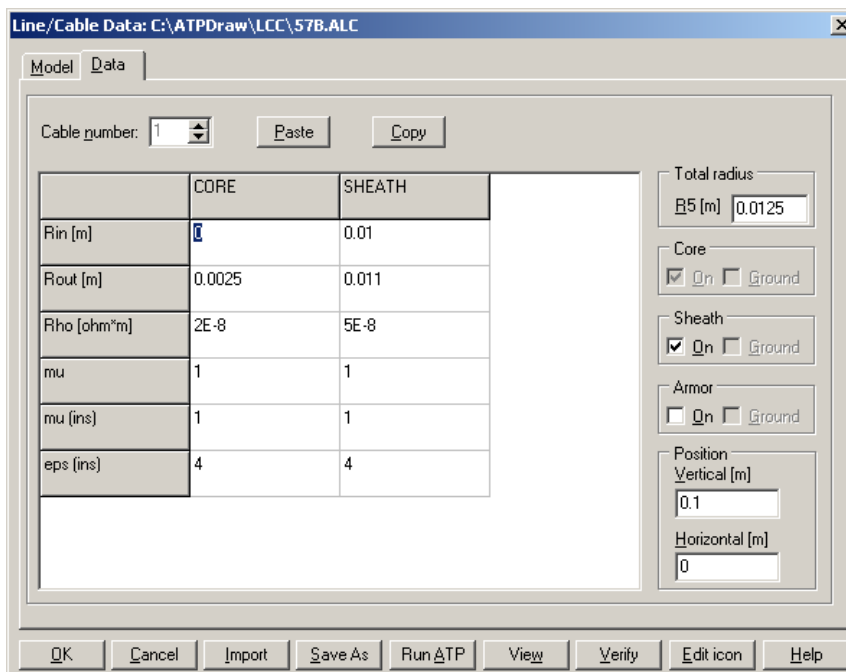
V nastaveniach kábla zmeníme v záložke **Model** v bloku **System type** voľbu na **Single Core Cable**, počet fáz **#Ph** na 2, počet káblov v **Number of cables** na 1, v položke **Cables in** nastavíme vo vzduchu (**Air**), V bloku **Model** a v položke **Type** zvolíme typ

Bergeron (konštantné parametre) a v bloku **Standard data** postupne zadáme zemnú rezistivitu **Rho** 100, frekvenciu **Freg. init** 50000 a dĺžku vonkajšieho vedenia **Length** 10.



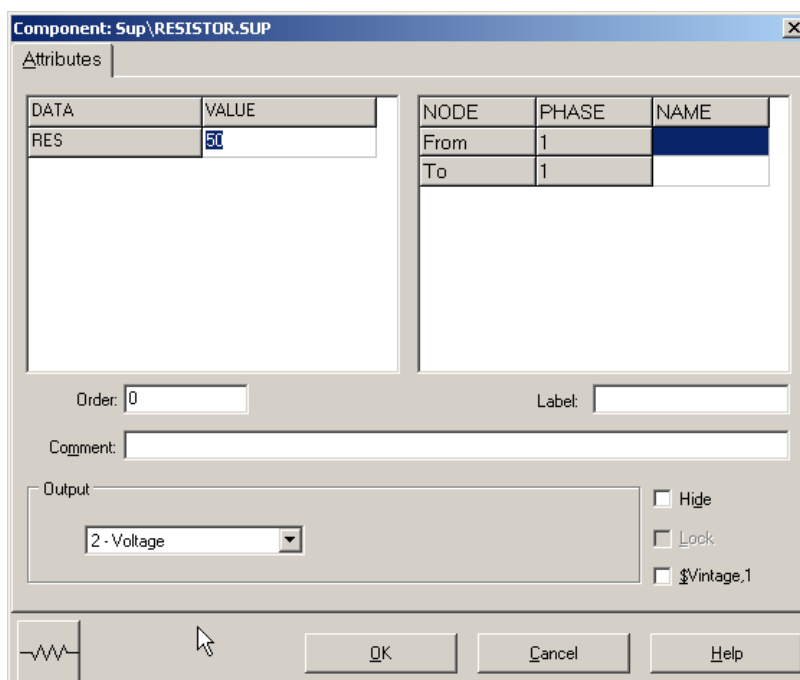
Obr. 9 Nastavenie parametrov kábla

V nastaveniach kábla zmeníme v záložke **Data** hodnotu celkového polomeru kábla **Total radius** 0.0125, nastavíme plášť odškrtnutím voľby **Sheath**, a v bloku **Position** zmeníme vertikálnu hodnotu **Vertical** na 0.1 a horizontálnu **Horizontal** ponecháme rovnú 0. Postupne zadáme hodnoty pre jadro a plášť podľa obr. 10.



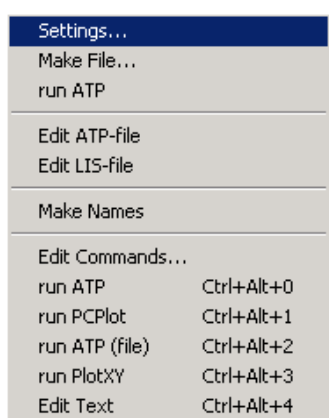
Obr. 10 Nastavenie parametrov kábla

Hodnotu zát'aže nastavíme v položke **RES** na 50. Keďže chceme zistiť veľkosť napätia na zát'aži, v položke **Output** nastavíme voľbu **Voltage**.

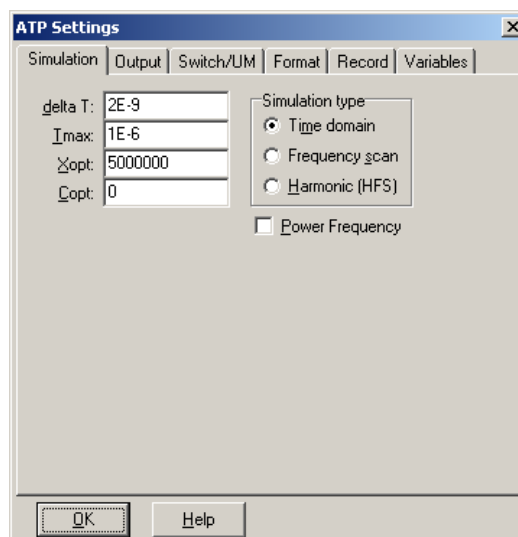


Obr. 11 Nastavenie parametrov zát'aže

Časové podmienky simulácie sa nastavujú voľbou z horného menu **ATP Settings** a **Simulation** (obr. 12). Keďže sa jedná o krátky prechodný dej, krok výpočtu musíme tomu prispôbiť **delta T** $1E-6$ s a podobne aj doba výpočtu, napr. **Tmax** $1E-6$ s. V položke **Xopt** zmeníme hodnotu na 5000000 (t.j. 5 MHz) (obr. 13).

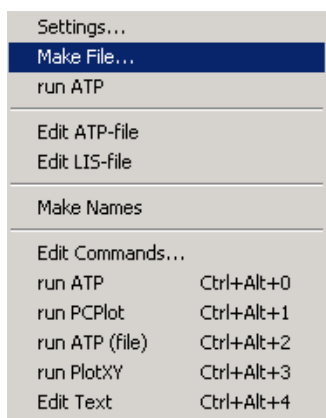


Obr. 12 ATP – Settings

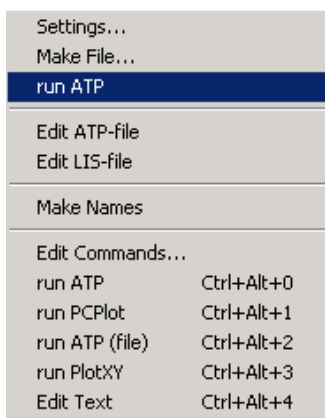


Obr. 13 Dialógové okno Settings – Simulation

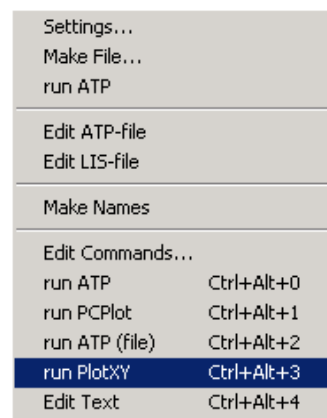
Príkazom **Make File** v hornom menu **ATP** sa vytvorí v podadresári ATP dátový súbor pre ATP s rovnakým názvom s príponou *.atp (obr. 14). Príkazom **run ATP** v hornom menu **ATP** sa spustí výpočet v programe ATP, ktorého výsledkom sú súbory s príponou *.lis a *.pl4 (obr. 15). V prostredí ATPDraw sa voľbou z horného menu **ATP run PlotXY** spustí grafický postprocesor (obr. 16).



Obr. 14 ATP – Make File...

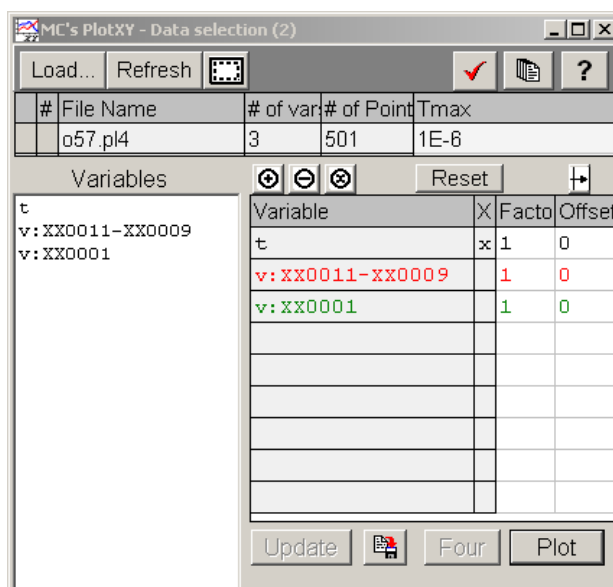


Obr. 15 ATP – run ATP

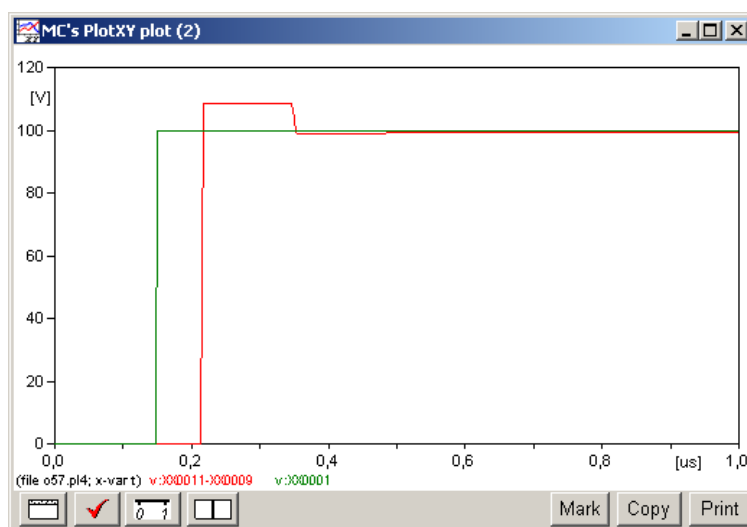


Obr. 16 ATP – run PlotXY

A v ňom je s označením **v: XX0001** uvedený priebeh napätia zo zdroja a **v: XX0011 – XX0009** priebeh napätia na záťaži. Stlačením ľavého tlačidla myši sa dané priebehy označia pre zobrazenie a stlačením tlačidla **Plot** sa následne zobrazia.

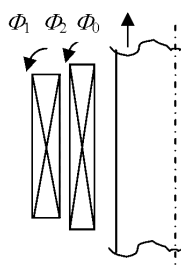


Obr. 17 Dialógové okno programu PlotXY pre vykreslenie priebehov



Obr. 18 Priebeh napätia vo vyššie uvedenom obvode

11 TRANSFORMÁTORY



Obr. 1 Dvojvinuťový transformátor

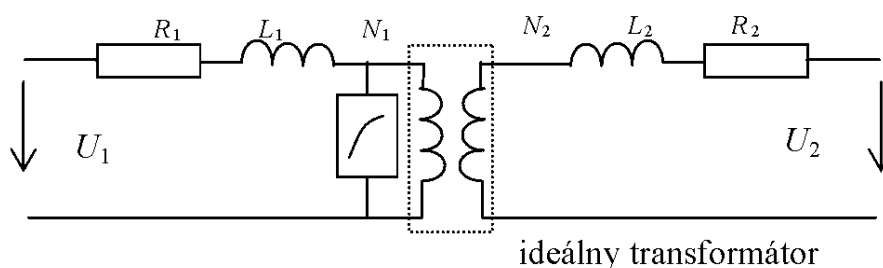
Na Obr. 1 je naznačený rez dvojvinuťovým transformátorom, pre ktorý platia rovnice:

$$u_1 = \frac{d}{dt}(\Phi_0 + \Phi_1) \cdot N_1 + i_1 \cdot R_1 \quad u_2 = \frac{d}{dt}(\Phi_0 + \Phi_2) \cdot N_2 + i_2 \cdot R_2 \quad (1)$$

kde Φ_0 , Φ_1 a Φ_2 sú toky spojované všeobecne s oboma vinutiami (primárne, sekundárne). Tok Φ_0 sa uplatňuje predovšetkým vo vnútri železného jadra a určuje magnetizačnú charakteristiku. Tok Φ_0 je spoločný v oboch rovniciach a z rovníc (1) vyplýva:

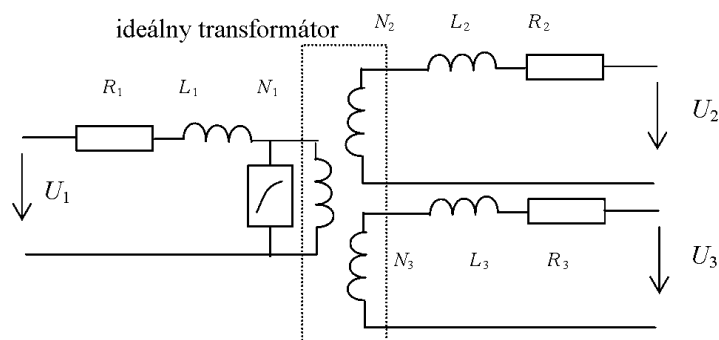
$$N_2 \cdot \left(u_1 - \frac{d}{dt} \Phi_1 - i_1 \cdot R_1 \right) = N_1 \cdot \left(u_2 - \frac{d}{dt} \Phi_2 - i_2 \cdot R_2 \right) \quad (2)$$

Táto rovnica zodpovedá náhradnej schéme s ideálnym transformátorom podľa Obr. 2. Obvod toku Φ_0 (magnetizačného toku) môže byť pripojený na akúkoľvek stranu ideálneho transformátora. Rozptylovým tokom Φ_1 a Φ_2 zodpovedajú indukčnosti L_1 , L_2 a R_1 , R_2 sú odpory vinutí.



Obr. 2 Náhradná schéma dvojvinuťového transformátora

Model transformátora s tromi vinutiami je znázornený na Obr. 3. Tento model zodpovedá predpokladu, že každé vinutie má svoj tok. V skutočnosti nemôže mať vinutie 1 a vinutie 2 celkom rovnaký tok, ako vinutie 2 a vinutie 3. Ale pre väčšinu prípadov je model dostatočne presný. Uvedené modely sú použiteľné do frekvencií niekoľko kHz. Pre vyššie frekvencie, nad 10 kHz, alebo v prípade atmosférického alebo spínacieho prepätia nie je rozloženie napätia v primárnom vinutí lineárne v dôsledku parazitných kapacít voči zemi a vo vnútri vinutia. Pre takéto prípady by malo byť prvé vinutie modelované vo viacerých sekciách. Každá sekcia má svoju vlastnú a vzájomnú indukčnosť k ostatným.

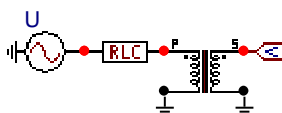


Obr. 3 Náhradná schéma trojvinuťového transformátora

Potom je celkové vinutie vrátane primárneho, sekundárneho, atď. reprezentované tzv. indukčnou maticou. Súčasne je potrebné poznať prevedenie kovového jadra. Pri vysokých frekvenciách už nedochádza takmer k žiadnemu prieniku toku dovnútra kovového jadra. Pre frekvenčný rozsah zodpovedajúci atmosférickým impulzom nahradí železné jadro vzduch. Indukčná matica má tvar (L sú vlastné a M vzájomné indukčnosti jednotlivých, v tomto prípade štyroch, cievok):

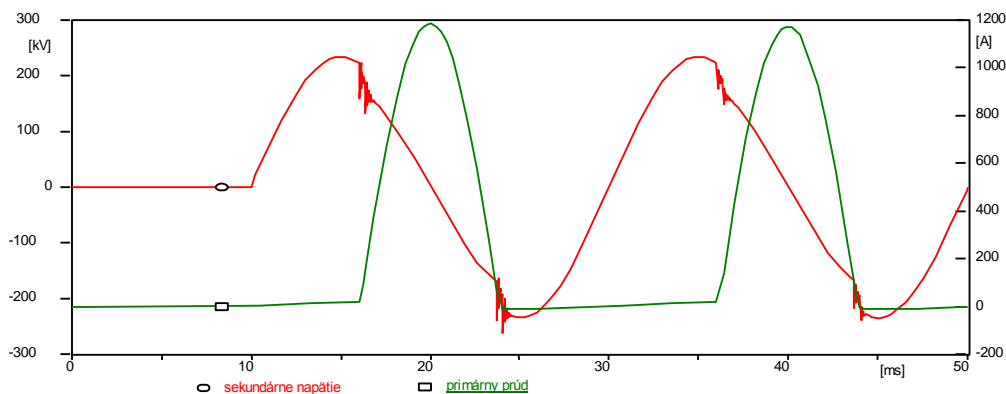
$$\begin{matrix} L_{11} \\ M_{12} & L_{22} \\ M_{13} & M_{23} & L_{33} \\ M_{14} & M_{24} & M_{34} & L_{44} \end{matrix} \quad (3)$$

Príklad pripojenia transformátora 550/300 kV k sieti na Obr. 4 uvažuje jednopólovú schému a v EMTP využíva procedúru SATURABLE TRANSFORMER, ktorou sa v ATPDraw zadávajú hodnoty prvkov náhradnej schémy vrátane charakteristiky naprázdno: (viď. *Preklad textov prof. Eiichi Haginomoriho pre prácu s EMTP-ATP*, kapitola 5).



Obr. 4 Jednofázový dvojvinuťový transformátor pripojený k sieti

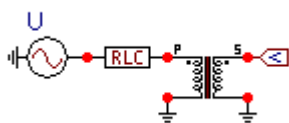
V dôsledku saturácie danej magnetizačnou charakteristikou tečie v okamihu pripojenia transformátora k sieti do transformátora veľký magnetizačný jednosmerný prúd, ako ukazuje Obr. 5.



Obr. 5 Pripojenie transformátora k sieti a priebehy sekundárneho napätia a primárneho prúdu

11.1 Postupnosť krokov pri zadávaní údajov v programe ATP

V ATPDraw sa vytvorí schéma zapojenia podľa obr. 6. Na napätovom zdroji nastavíme v položke **Amp** hodnotu 428660.7, v položke **Tsta** hodnotu 0.01 a v položke **Tsto** hodnotu 1, čo má za následok napätový zdroj po dobu 1 sekundy. V **Type of source** ponecháme voľbu **Voltage**. Fázové natočenie zvolíme v položke **Pha** -90 a frekvenciu v položke **f** 50. (obr. 7).



Obr. 6 Schéma zapojenia
v ATPDraw

DATA	VALUE	NODE	PHASE	NAME
Amp.	428660.7	AC	1	XX0001
f	50			
Pha	-90			
A1	0			
TSta	0.01			
TSto	1			

Order: 0 Label: U

Comment:

Type of source:
 Current
 Voltage

Hide
 Lock

Buttons: OK, Cancel, Help

Obr. 7 Nastavenie parametrov pre napätový zdroj U

V RLC prvku zadáme do položky **R** hodnotu 0.5, do **L** hodnotu 30 a do **C** hodnotu 0. Keďže chceme snímať veľkosť prúdu na tomto prvku, v položke **Output** nastavíme voľbu **Current**.

DATA	VALUE	NODE	PHASE	NAME
R	0.5	From	1	XX0001
L	30	To	1	XX0003
C	0			

Order: 0 Label:

Comment:

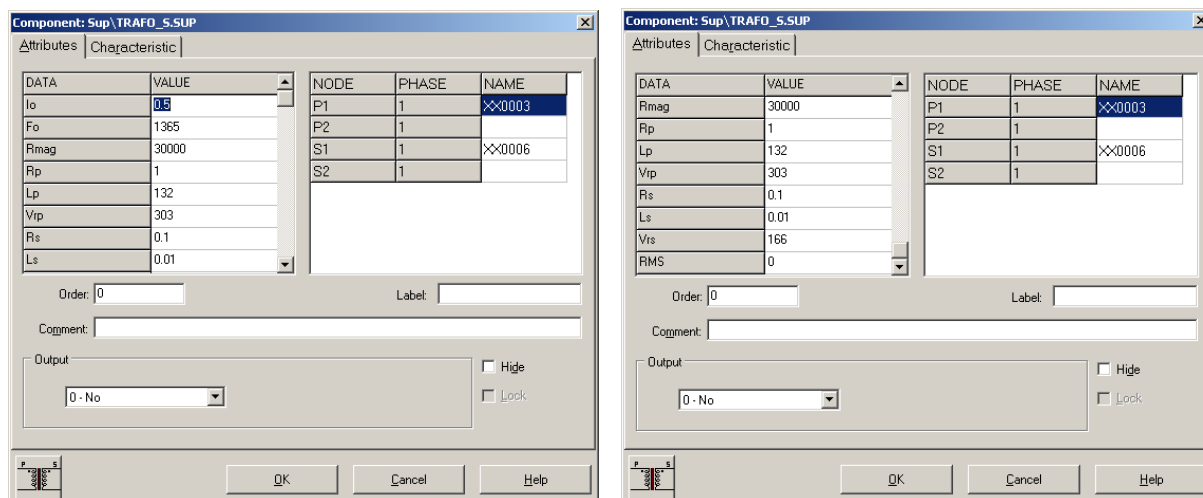
Output:
 1 - Current

Hide
 Lock
 \$Vintage.1

Buttons: OK, Cancel, Help

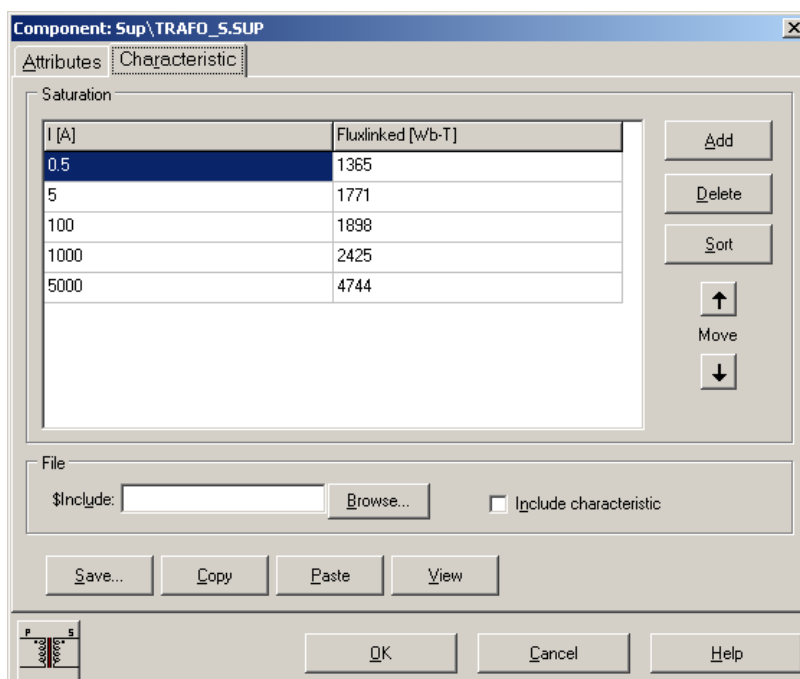
Obr. 8 Nastavenie parametrov RLC prvku

Pre transformátor zadáme v záložke **Attributes** do jednotlivých položiek hodnoty podľa nasledovnej tabuľky.



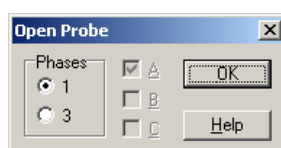
Obr. 9 Nastavenie parametrov saturačného transformátora

Podobne, v záložke **Characteristic** zadáme hodnoty krivky saturácie podľa nasledovnej tabuľky.



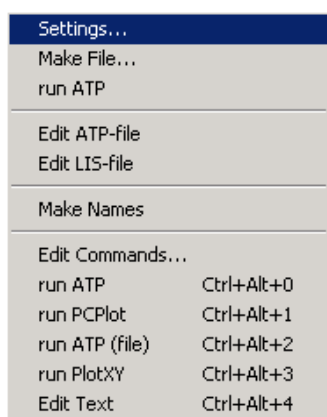
Obr. 10 Nastavenie parametrov saturačného transformátora

Budeme snímať 1-fázové napätie, preto nastavíme počet fáz 1 (obr. 11).

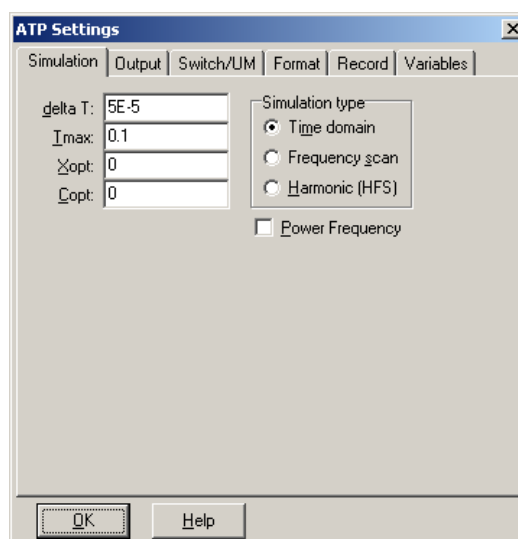


Obr. 11 Nastavenie počtu fáz

Časové podmienky simulácie sa nastavujú voľbou z horného menu **ATP Settings** a **Simulation** (obr. 12). Keďže sa jedná krátky prechodný dej, krok výpočtu musíme tomu prispôbiť **delta T** $5E-5$ s a podobne aj doba výpočtu, napr. **Tmax** 0.1 s (obr. 13).

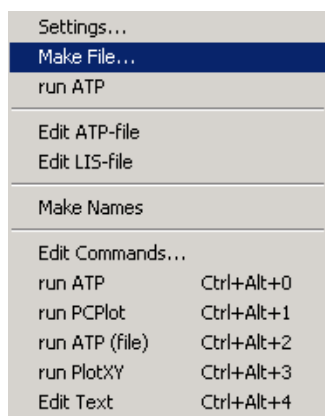


Obr. 12 ATP – Settings

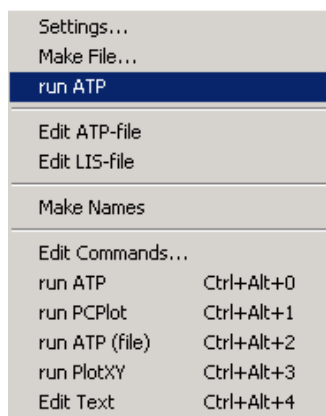


Obr. 13 Dialógové okno Settings – Simulation

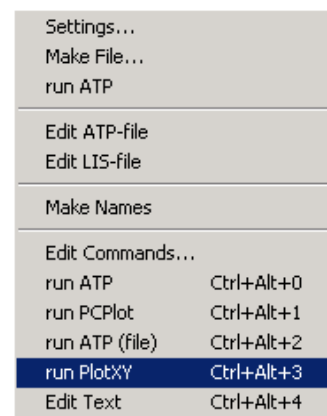
Príkazom **Make File** v hornom menu **ATP** sa vytvorí v podadresári ATP dátový súbor pre ATP s rovnakým názvom s príponou *.atp (obr. 14). Príkazom **run ATP** v hornom menu **ATP** sa spustí výpočet v programe ATP, ktorého výsledkom sú súbory s príponou *.lis a *.pl4 (obr. 15). V prostredí ATPDraw sa voľbou z horného menu **ATP run PlotXY** spustí grafický postprocesor (obr. 16).



Obr. 14 ATP – Make File...

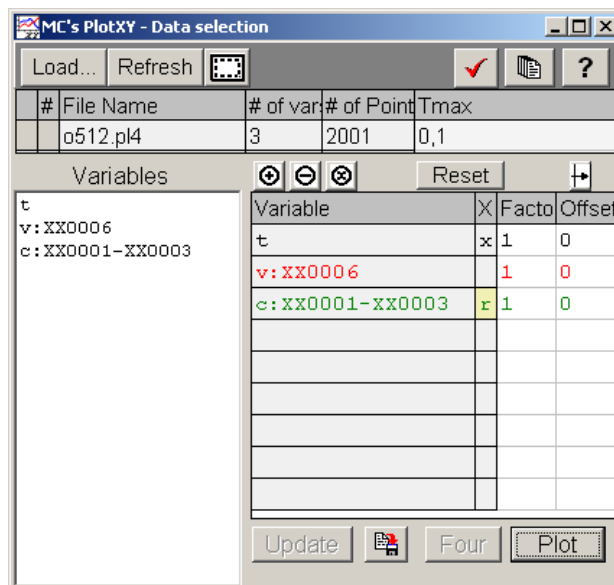


Obr. 15 ATP – run ATP

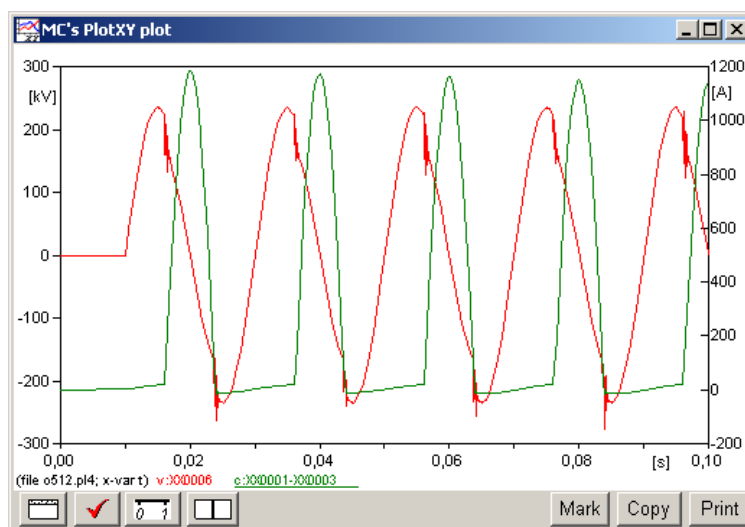


Obr. 16 ATP – run PlotXY

A v ňom je s označením **v: XX0006** uvedený priebeh sekundárneho napätia na vinutí transformátora a **c: XX0001 – XX0003** priebeh prúdu na RLC prvku (primárny prúd). Stlačením ľavého tlačidla myši (označenie priebehu napätia) a pravého tlačidla myši (označenie priebehu prúdu) sa dané priebehy označia pre zobrazenie a stlačením tlačidla **Plot** sa následne zobrazia.



Obr. 17 Dialógové okno programu PlotXY pre vykreslenie priebehov



Obr. 18 Priebeh prúdu a napätia vo vyššie uvedenom obvode

POUŽITÁ A ODPORÚČANÁ LITERATÚRA

- [1] Meyer, W. S. – Liu, T.-H.: *Alternative Transient Program (ATP) Rule Book*. Canadian/American EMTP User Group, 1987-2000.
- [2] Kizilcay, M.: *Power System Transients and Their Computation*. Osnabrück, 2000.
- [3] Prikler, L. – Høidalen, H. K.: *ATPDraw User's Manual*, 1998-2009.
- [4] Mach, V.: *EMTP – ATP*. [Online] [citované 1. júl 2011] Dostupné na <<http://homen.vsb.cz/~mah30/>>.
- [5] Medveď, D. – Hvizdoš, M.: *Modelovanie v prostredí EMTP-ATP*. – 1. vyd – Košice : TU - 2011. - 74 s. - ISBN 978-80-553-0776-3.
- [6] Mešter, M. – Hvizdoš, M. – Chladný, V.: *Alternative Transient Program – The Professional Tool for Power Engineering Simulations*. In: The Oradea University Annals, Electrotechnical Section, Oradea, 2003, p. 179-184. ISSN 1223-2106.
- [7] Medveď, D.: *Electric losses modeling of decentralized power sources connection using EMTP ATP*. In: ELEN 2010, ČVUT Praha, 2010, p. 1-9. ISBN 978-80-254-8089-2.
- [8] Kizilcay, M.: *Alternative Transients Program Features*. [Online] [citované 1. júl 2011] Dostupné na <<http://www.emtp.org/>>.
- [9] Haginomori, E.: *Applied ATP-EMTP to Highly-sophisticated electric power systems*. [Online] [citované 1. júl 2011] Dostupné na <<http://gundam.eei.eng.osaka-u.ac.jp/haginomori/index.html>>.
- [10] Rot, D. – Kožený, J.: *Modelování startu tavby oxidů kovů elektromagnetickou indukci ve studeném kelímku*. ElectroScope, 2010, roč. 2010, č. 4, s. 1-6. ISSN: 1802-4564.
- [11] Mešter, M. – Hvizdoš, M. – Chladný, V.: *Alternative Transient Program – profesionálny nástroj pre modelovanie prechodných javov v elektrizačných sústavách*. In: EE – Časopis pre elektrotechniku a energetiku, Bratislava, Vol. 9, No. 5/S, 2003, p. 15-17. ISSN 1335-2547.
- [12] Hvizdoš, M. – Mešter, M.: *Modelovanie výkonových transformátorov s využitím programu ATP*. In: EE – Časopis pre elektrotechniku a energetiku, Bratislava, Vol. 10, No. 5/S, 2004, p. 45-48. ISSN 1335-2547.
- [13] Hvizdoš, M. – Mešter, M.: *Modelovanie zemných porúch na vonkajších vedeniach*. In: EPE 2005, VŠB – TU Ostrava, 2005, p. 1-9. ISBN 80-248-0842-0.
- [14] Hvizdoš, M.: *Modelovanie prevádzkových a poruchových stavov v elektrizačnej sústave*. In: E2006/10 – Simulace a dynamické modelování systémů a procesů v elektrizační soustavě, EGÚ Praha, 2006, p. 1-16.
- [15] Medveď, D.: *Modelovanie prechodných dejov pri pripojovaní rozptýlených zdrojov energie v prostredí EMTP ATP*. In: Elektroenergetika, Vol. 3, No. 7, 2010, p. 15-18. ISSN 1337-6756.

Dušan Medveď

MODELOVANIE V ELEKTROENERGETIKE

Zbierka príkladov I

Vydal: Technická univerzita v Košiciach v r. 2012

Náklad: 50 ks

ISBN 978-80-553-1188-3