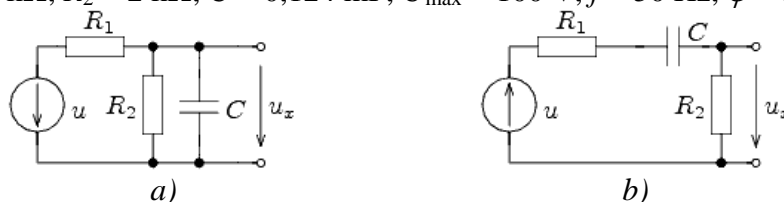


Príklad 1

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: $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$, $C = 0,124 \text{ mF}$, $U_{\max} = 100 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $\varphi = 1/4 \cdot \pi$.



Obr. 1 Schémy zapojenia elektrických obvodov

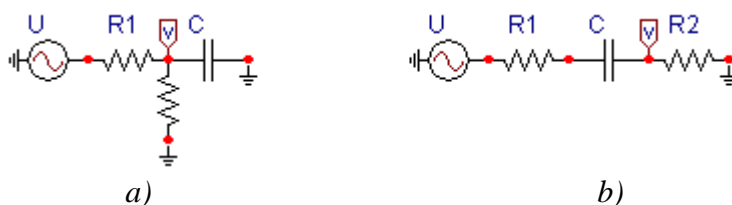
Riešenie

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

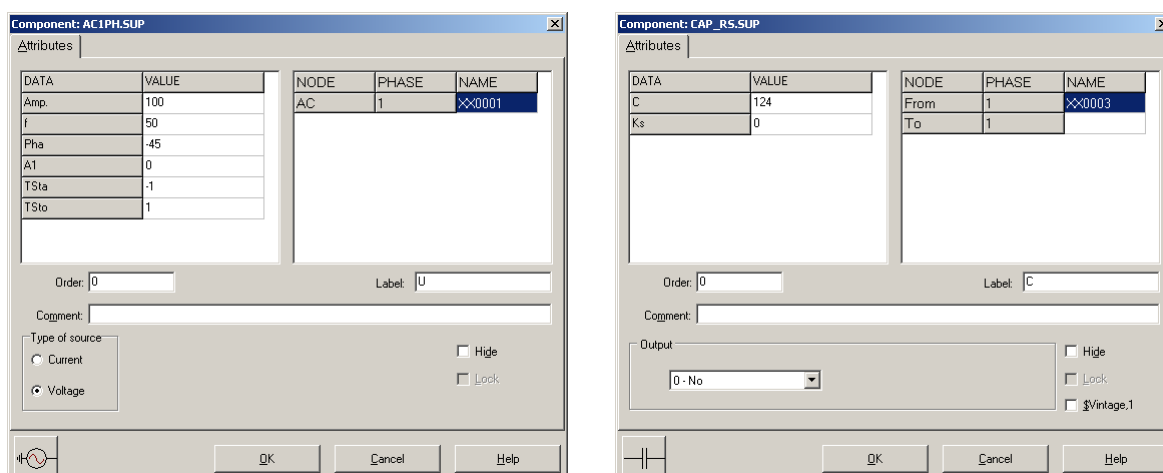
Na napät'ovom zdroji U sa nastaví maximálna hodnota napätia zdroja v položke **Amp** 100. V položke **Tsta** sa nastaví hodnota -1 a **Tsto** hodnota 1, čo má za následok stály napät'ový zdroj počas doby 1 sekundy. V položke **Type of source** sa ponechá voľba **Voltage**. Fázové natočenie sa zadá v 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.

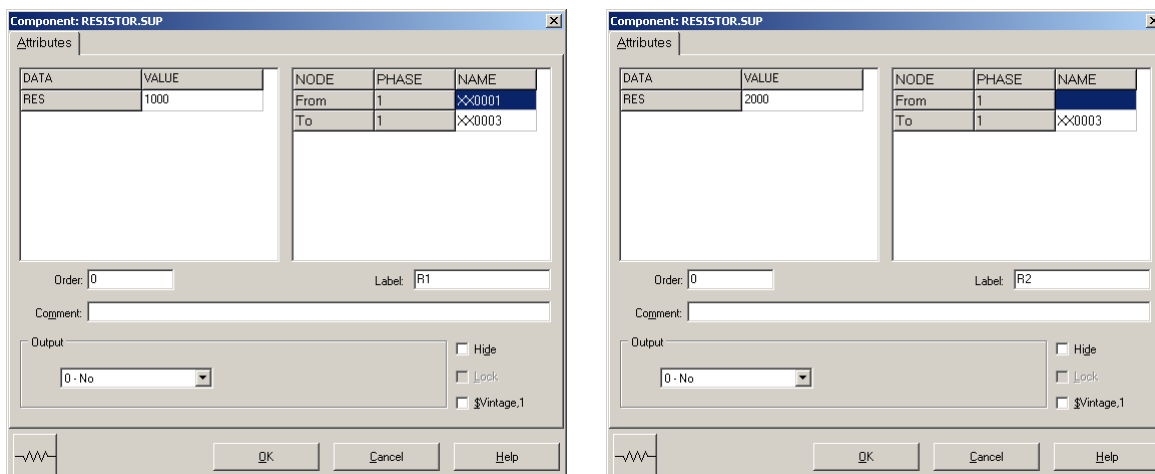
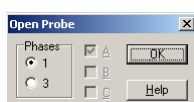
Na modeli prvku kondenzátora bude do kolónky **C** zadaná hodnota 124 (predvolené nastavenie je v μF (mikro farad), nie vo faradoch) (obr.3). Pri rezistore bude do **RES** zapísaná hodnota 1000 (pri rezistore R_1) a 2000 (pri rezistore R_2) (obr. 4).

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.



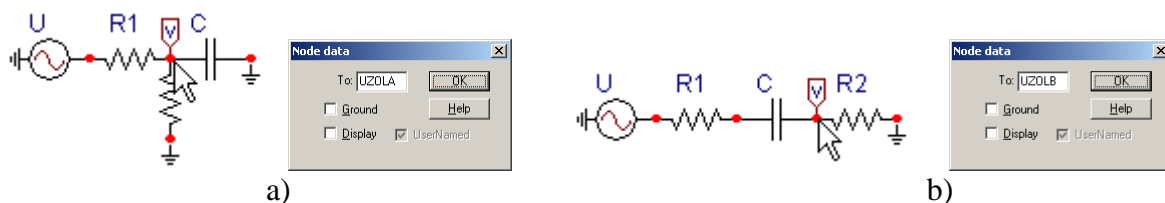
Obr. 2 Schémy zapojenia elektrického obvodu

Obr. 3 Nastavenie parametrov pre napät'ový zdroj U a kondenzátor C

Obr. 4 Nastavenie parametrov rezistorov R_1 a R_2 

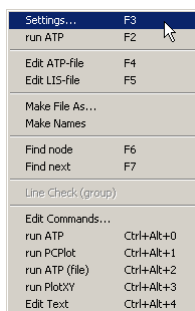
Obr. 5 Nastavenie parametrov voltmetra

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

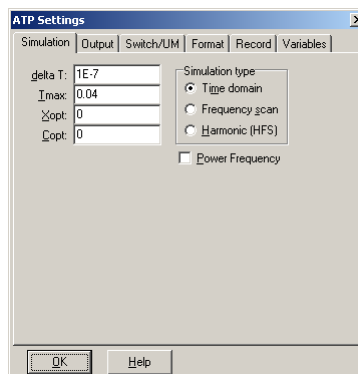


Obr. 6 Nastavenie parametrov uzlov

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} :

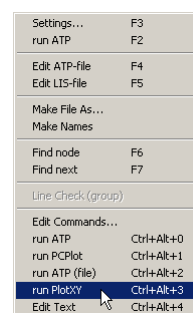
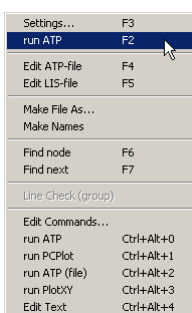
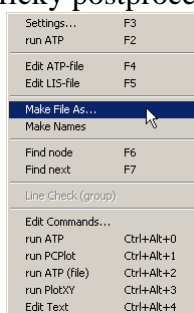
- hodnota induktora bude charakterizovaná indukčnosťou (mH), pokiaľ bude $X_{opt} = 0$,
- hodnota induktora bude charakterizovaná reaktanciou (Ω), pokiaľ bude $X_{opt} =$ sieťovej frekvencii.

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. 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. 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).

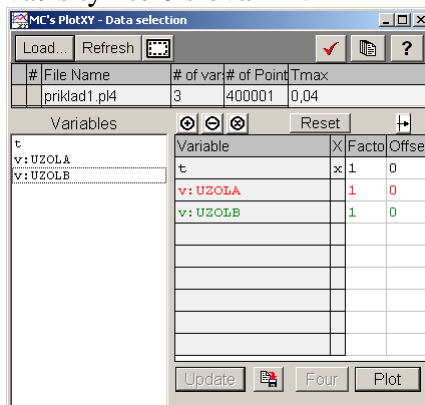


Obr. 9 ATP – Make File...

Obr. 10 ATP – Run ATP

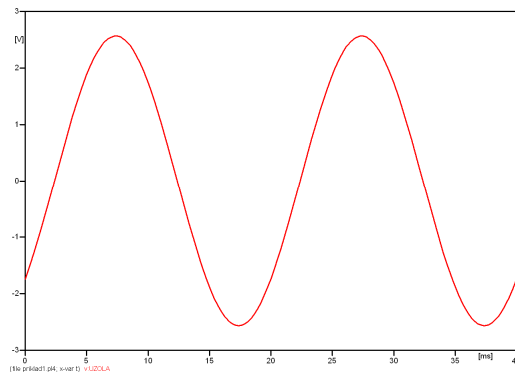
Obr. 11 ATP – run PlotXY

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 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.



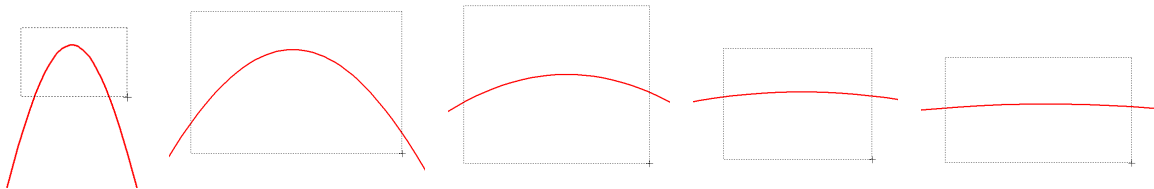
Obr. 12 Dialógové okno podprogramu PlotXY pre vykreslenie priebehov

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.

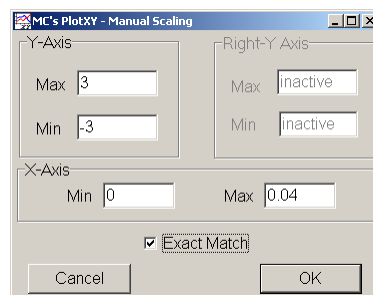


Obr. 14 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

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

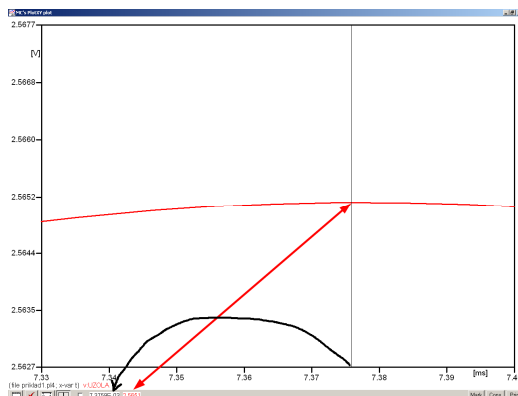


Obr. 16 Okno Manual Scaling

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

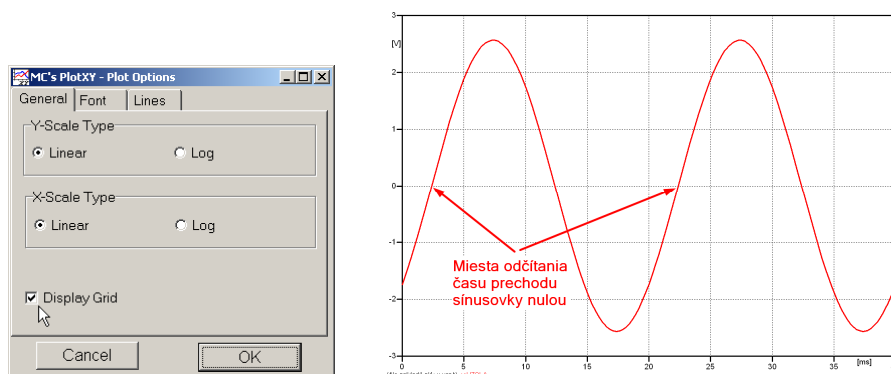
Z tohto priebehu je vidieť, že maximálna hodnota napätia je 2,5651 V. Čo sa týka fázového natočenia φ , tak je možné ho vypočítať rôznymi spôsobmi.

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

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

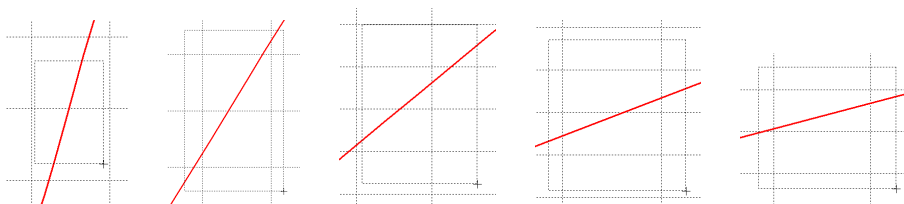
Kde φ je fázové natočenie, n je poradie periódy, t čas dosiahnutia prvého maxima sínusovky, T perióda $T = \frac{1}{f}$.

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

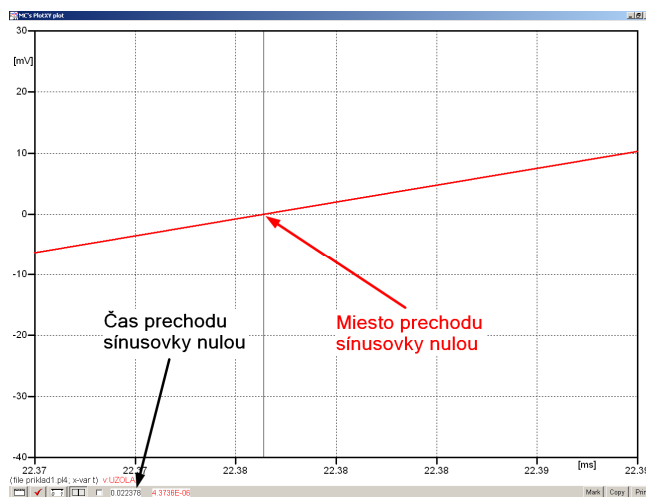
Oblasť v okolí *prechodu počiatku sínusovky nulou* dostatočne zväčšíme podobne, ako to bolo v predchádzajúcom prípade (obr. 14).



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; $t = 0,022378$ s a amplitúda – červenou farbou; $u_x = 4,3736 \cdot 10^{-6}$ V).



Obr. 21 Odčítanie času prechodu sínusovky nulou

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

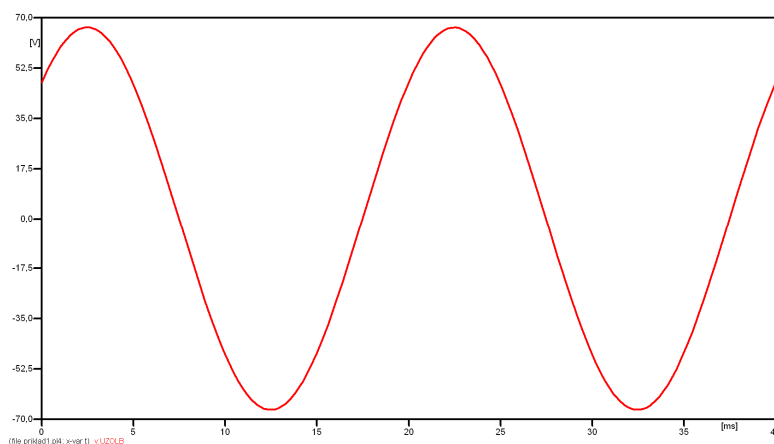
$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{0,022378}{0,02} \cdot 360^\circ = 317,196^\circ$$

Z obidvoch výrazov je vidieť dostatočnú zhodu φ .

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

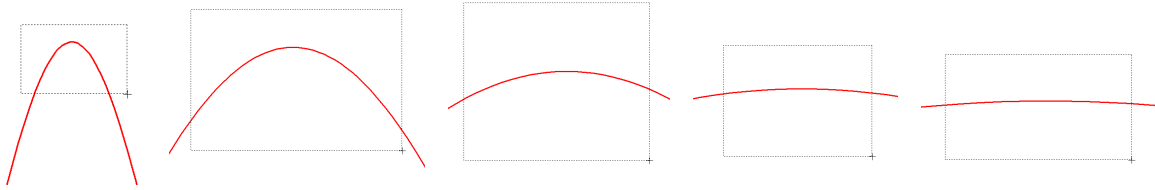
Podobne sa postupuje v prípade b).

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



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

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).

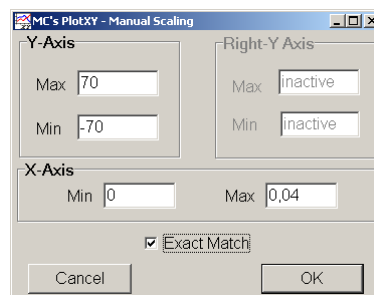


Obr. 23 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

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

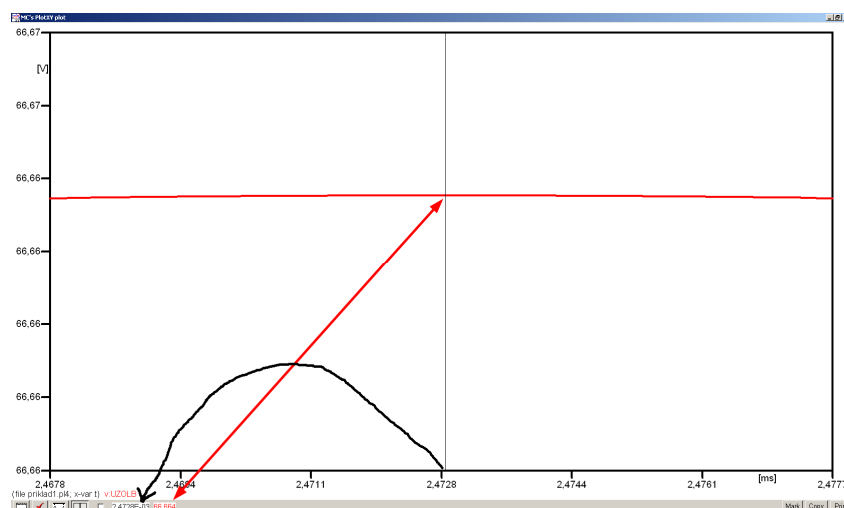


Obr. 25 Okno Manual Scaling

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

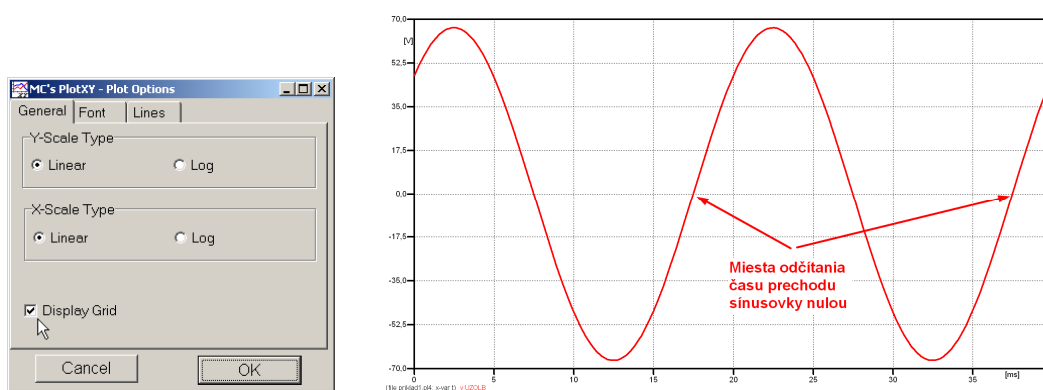
Z tohto priebehu je vidieť, že maximálna hodnota napätia je 66,664 V. Čo sa týka fázového natočenia φ , tak je možné ho vypočítať podobne ako v prípade a).

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

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

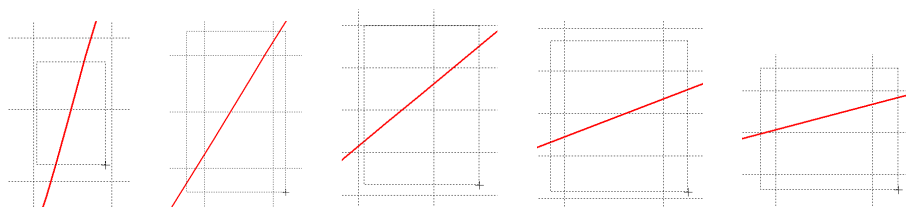
Kde φ je fázové natočenie, n je poradie periódy, t čas dosiahnutia prvého maxima sínusovky, T perióda $T = \frac{1}{f}$. Fázové natočenie je zvykom uvádzať v rozmedzí $\varphi \in \langle 0^\circ; 360^\circ \rangle$, preto bolo potrebné od uhla $405,5^\circ$ odčítať 360° .

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. 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

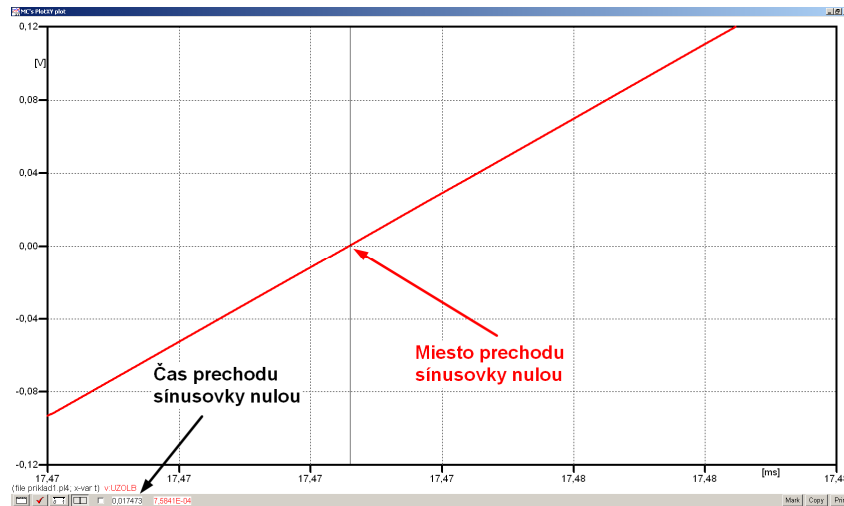
Oblasť v okolí **prechodu počiatku sínusovky nulou** dostatočne zväčšíme podobne, ako to bolo v predchádzajúcom prípade (obr. 23).



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; $t = 0,017473$ s a amplitúda – červenou farbou; $u_x = 7,5841 \cdot 10^{-4}$ V).



Obr. 30 Odčítanie času prechodu sínusovky nulou

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

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

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 .

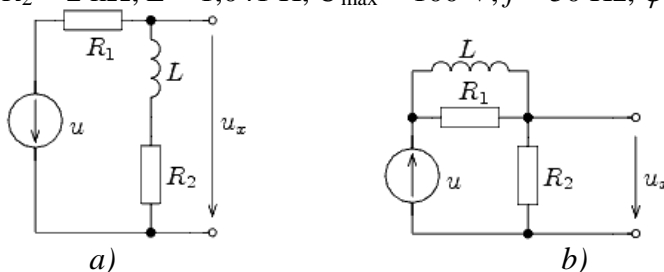
Výsledky:

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 $u(t) = U_{\max} \cdot e^{j\varphi}$, 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

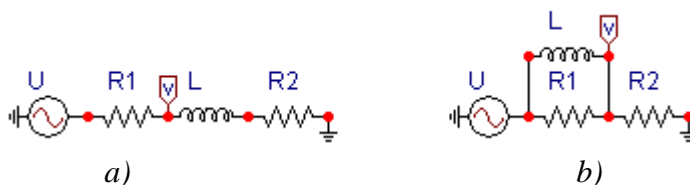
Riešenie

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

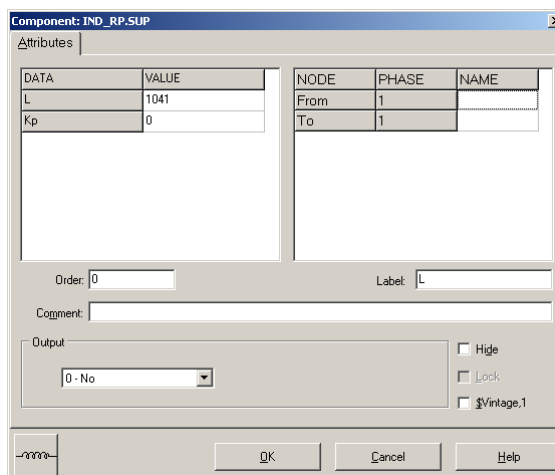
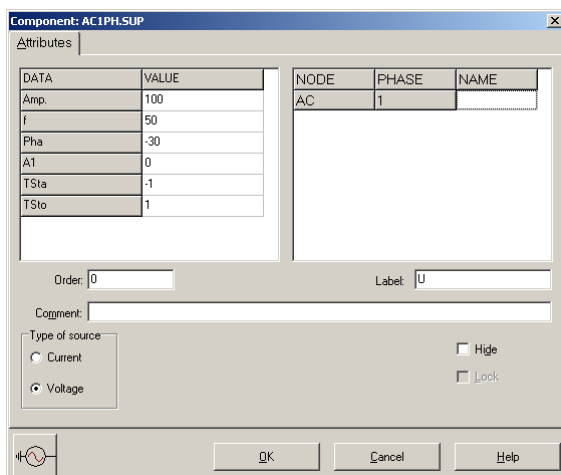
Na napät'ovom zdroji U sa nastaví maximálna hodnota napätia zdroja v položke **Amp** 100. V položke **Tsta** sa nastaví hodnota -1 a **Tsto** hodnota 1, čo má za následok stály napät'ový zdroj počas doby 1 sekundy. V položke **Type of source** sa ponechá voľba **Voltage**. Fázové natočenie sa zadá v položke **Pha** -30 (pretože implicitné nastavenie napät'ového 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).

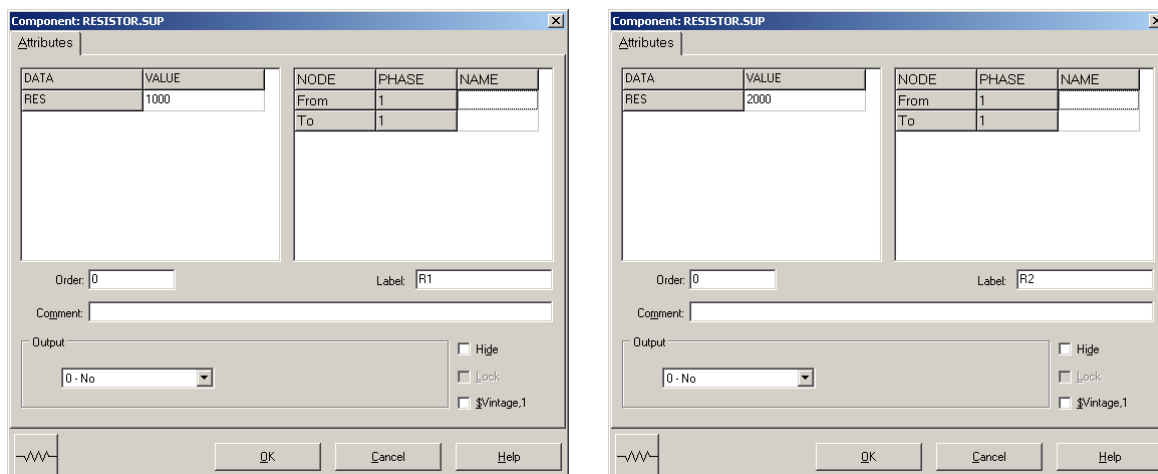
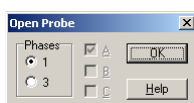
Ostatné hodnoty je možné ponechať nezmenené. Bližšie vysvetlenie ich významu sa zobrazí po stlačení tlačidla „help“ v aktuálnom okne prvku. Podrobnejší návod je obsiahnutý v literatúre Rule Book k programu EMTP-ATP.



Obr. 2 Schémy zapojenia elektrického obvodu

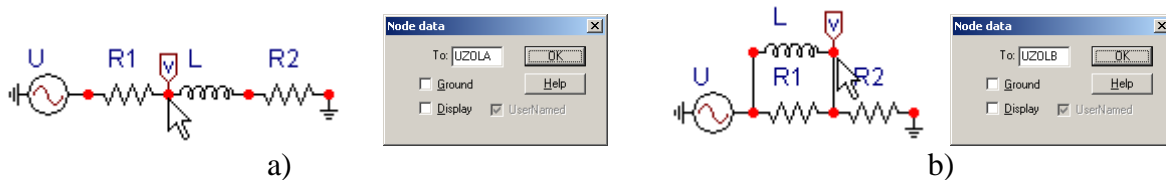


Obr. 3 Nastavenie parametrov pre napät'ový zdroj U a cievky L

Obr. 4 Nastavenie parametrov rezistorov R_1 a R_2 

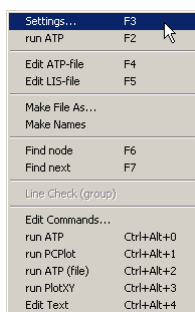
Obr. 5 Nastavenie parametrov voltmetra

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.

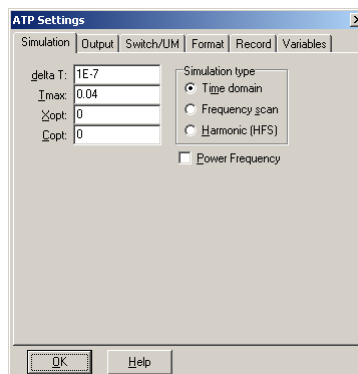


Obr. 6 Nastavenie parametrov uzlov

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} :

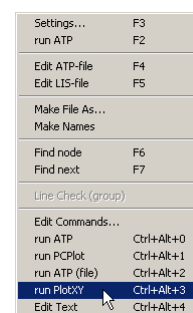
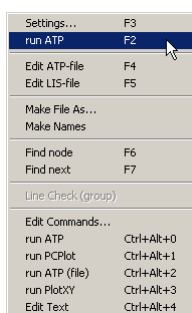
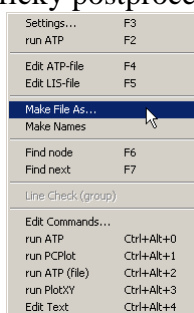
- hodnota induktora bude charakterizovaná indukčnosťou (mH), pokiaľ bude $X_{opt} = 0$,
- hodnota induktora bude charakterizovaná reaktanciou (Ω), pokiaľ bude $X_{opt} =$ sieťovej frekvencii.

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).

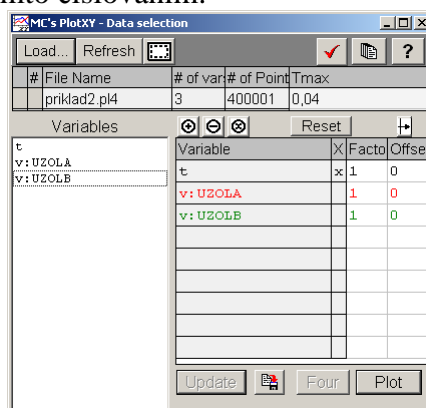


Obr. 9 ATP – Make File...

Obr. 10 ATP – Run ATP

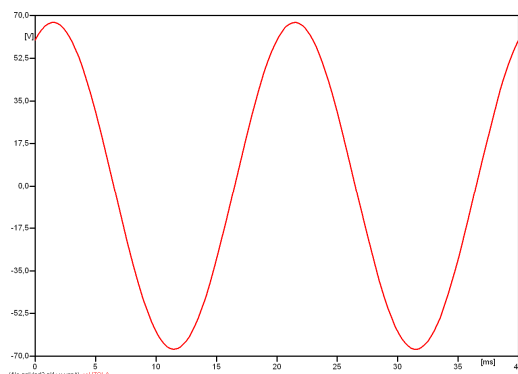
Obr. 11 ATP – run PlotXY

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.



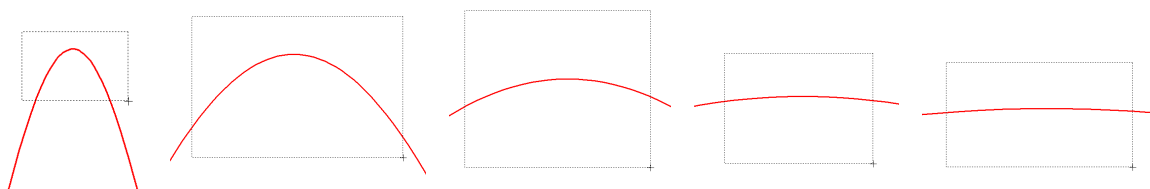
Obr. 12 Dialógové okno podprogramu PlotXY pre vykreslenie priebehov

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.

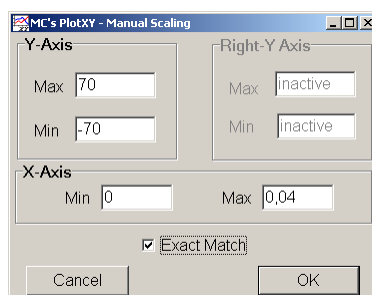


Obr. 14 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

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

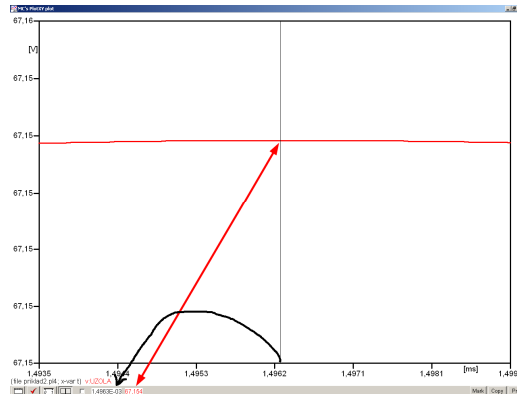


Obr. 16 Okno Manual Scaling

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

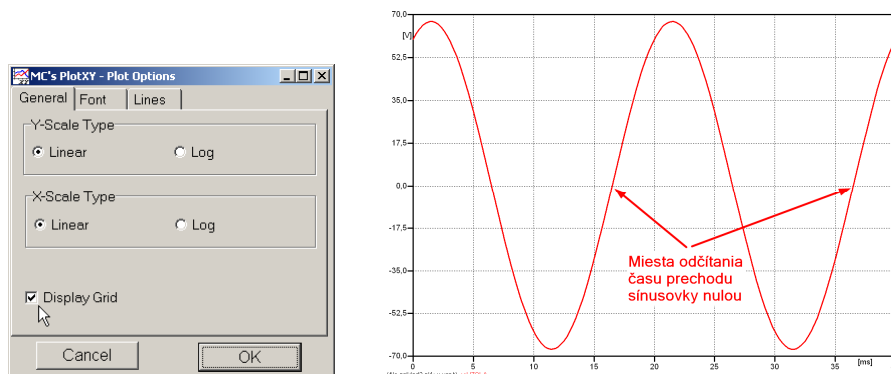
Z tohto priebehu je vidieť, že maximálna hodnota napätia je 67,154 V. Čo sa týka fázového natočenia φ , tak je možné ho vypočítať rôznymi spôsobmi.

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

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

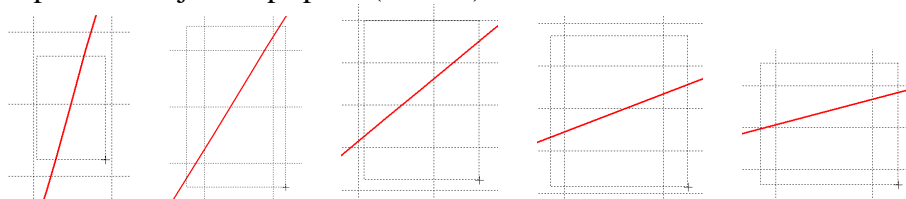
Kde φ je fázové natočenie, n je poradie periódy, t čas dosiahnutia prvého maxima sínusovky, T perióda $T = \frac{1}{f}$. Fázové natočenie je zvykom uvádzať v rozmedzí $\varphi \in \langle 0^\circ; 360^\circ \rangle$, preto bolo potrebné od uhla $423,07^\circ$ odčítať 360° .

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

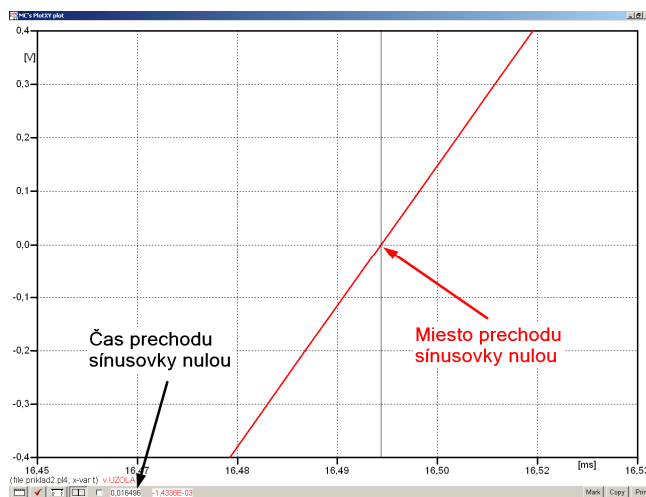
Oblasť v okolí *prechodu počiatku sínusovky nulou* dostatočne zväčšíme podobne, ako to bolo v predchádzajúcom prípade (obr. 14).



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; $t = 0,016496$ 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 vyčísliť fázové natočenie podľa vzťahu:

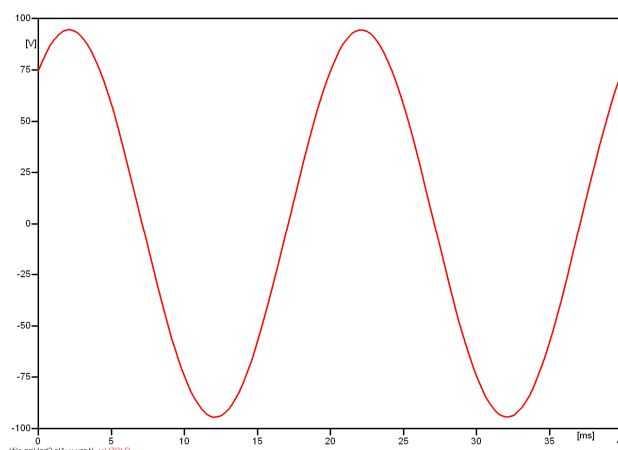
$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{0,016496}{0,02} \cdot 360^\circ = 63,07^\circ$$

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

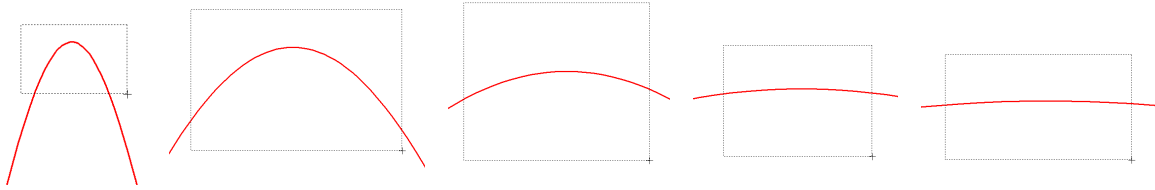
Podobne sa postupuje v prípade b).

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



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

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).

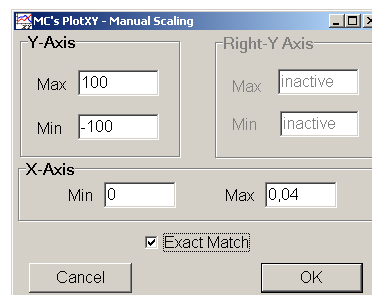


Obr. 23 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

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

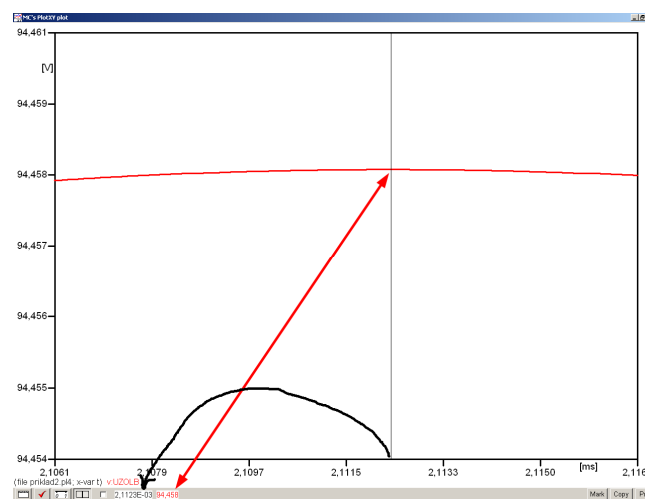


Obr. 25 Okno Manual Scaling

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

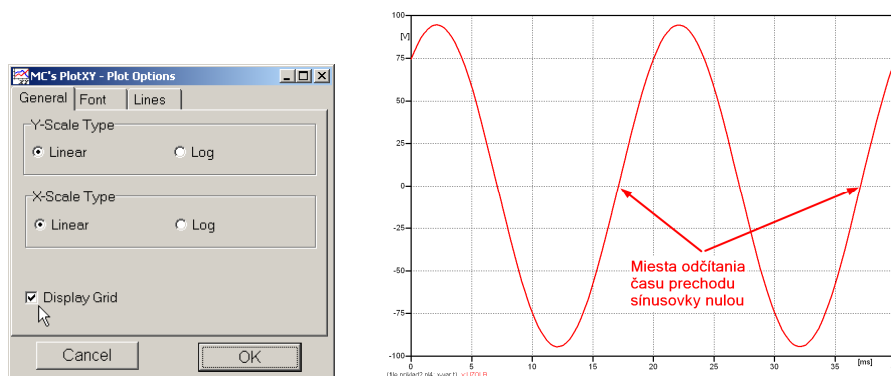
Z tohto priebehu je vidieť, že maximálna hodnota napätia je 94,458 V. Čo sa týka fázového natočenia φ , tak je možné ho vypočítať podobne ako v prípade a).

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

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

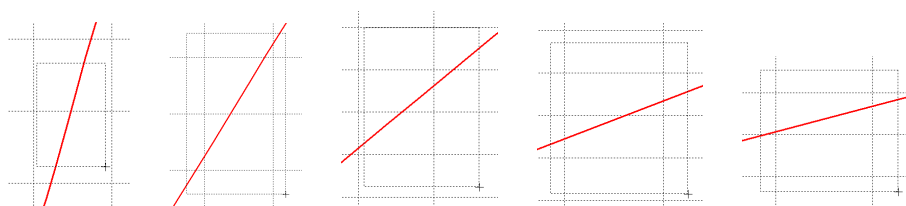
Kde φ je fázové natočenie, n je poradie periódy, t čas dosiahnutia prvého maxima sínusovky, T perióda $T = \frac{1}{f}$. Fázové natočenie je zvykom uvádzať v rozmedzí $\varphi \in \langle 0^\circ; 360^\circ \rangle$, preto bolo potrebné od uhla $411,98^\circ$ odčítať 360° .

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; $t = 0,017473$ s a amplitúda – červenou farbou; $u_x = 7,5841 \cdot 10^{-4}$ V).



Obr. 30 Odčítanie času prechodu sínusovky nulou

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

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

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.

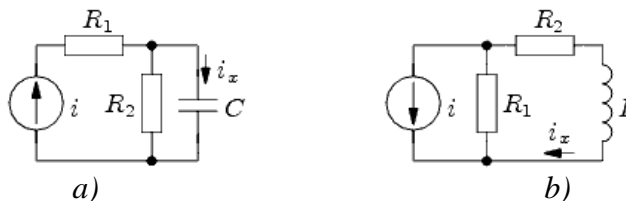
Výsledky:

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: $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$, $L = 1,041 \text{ H}$, $C = 124 \text{ }\mu\text{F}$, $I_{\max} = 1,12 \text{ A}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $\varphi = 1/3 \cdot \pi$.



Obr. 1 Schémy zapojenia elektrického obvodu

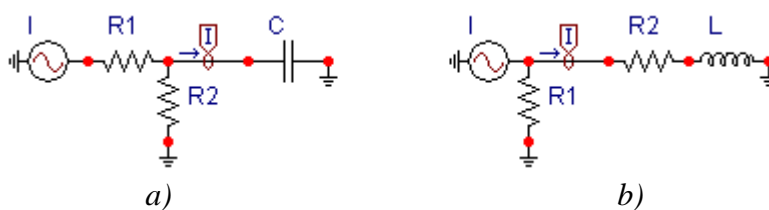
Riešenie

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

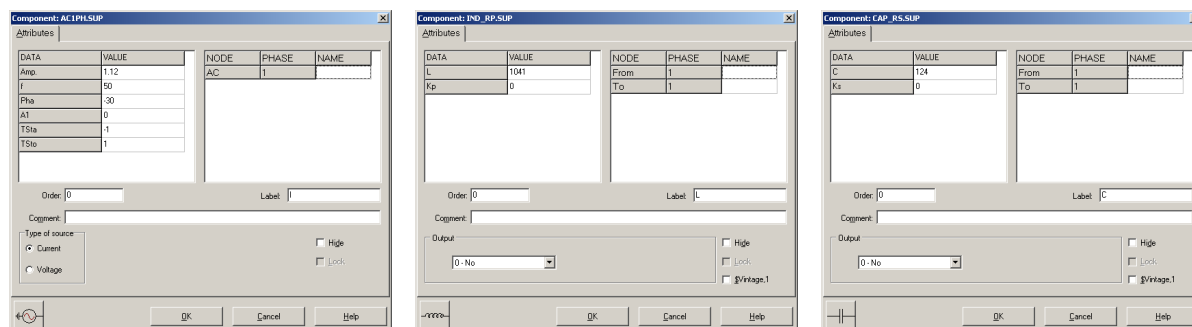
Na prúdovom zdroji I sa nastaví maximálna hodnota prúdu zdroja v položke **Amp** 1,12. V položke **Tsta** sa nastaví hodnota -1 a **Tsto** hodnota 1, čo má za následok stály prúdový zdroj počas doby 1 sekundy. V položke **Type of source** sa zvolí voľba **Current**. Fázové natočenie sa zadá v položke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

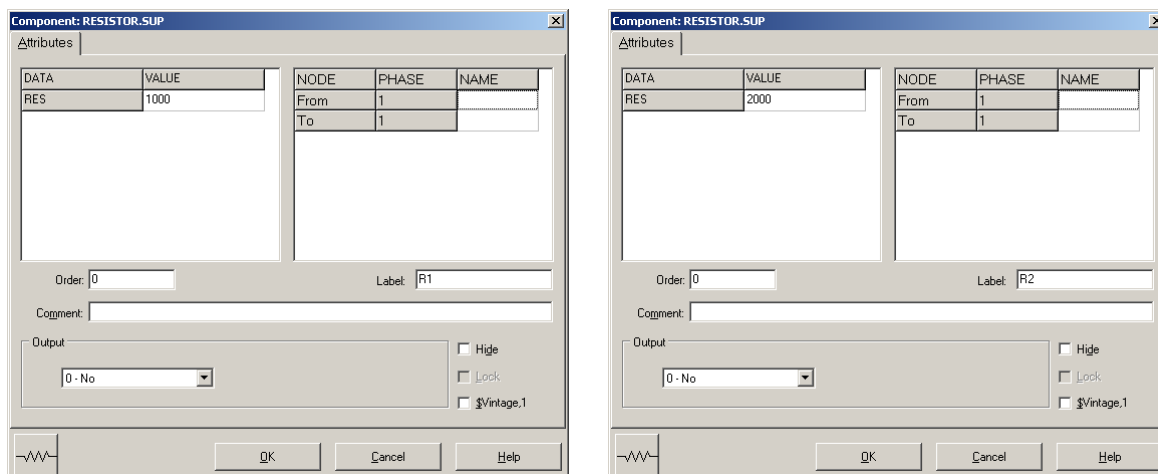
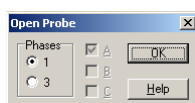
Ostatné hodnoty je možné ponechať nezmenené. Bližšie vysvetlenie ich významu sa zobrazí po stlačení tlačidla „help“ v aktuálnom okne prvku. Podrobnejší návod je obsiahnutý v literatúre Rule Book k programu EMTP-ATP.



Obr. 2 Schémy zapojenia elektrického obvodu

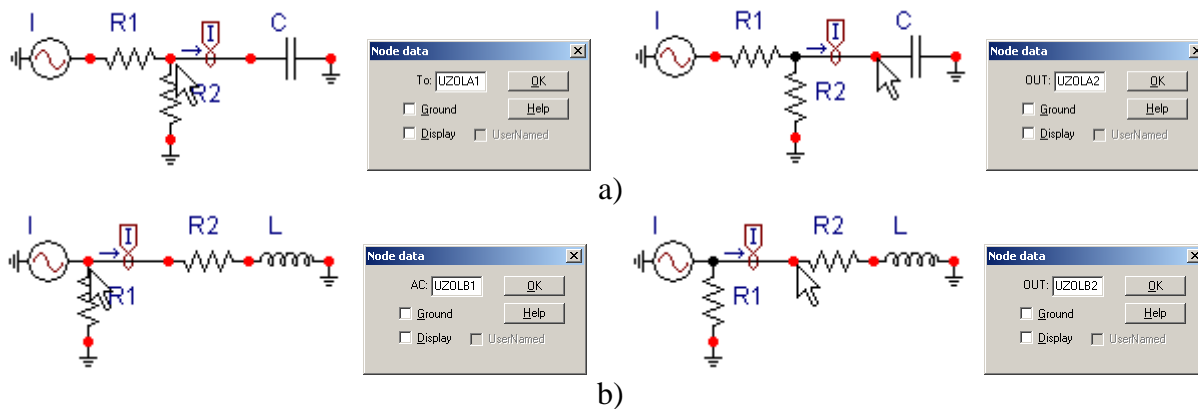


Obr. 3 Nastavenie parametrov pre prúdový zdroj I, cievky L a kondenzátora C

Obr. 4 Nastavenie parametrov rezistorov R_1 a R_2 

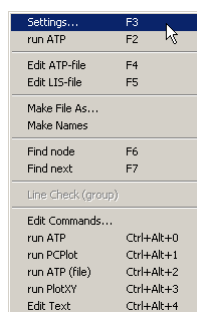
Obr. 5 Nastavenie parametrov voltmetra

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.

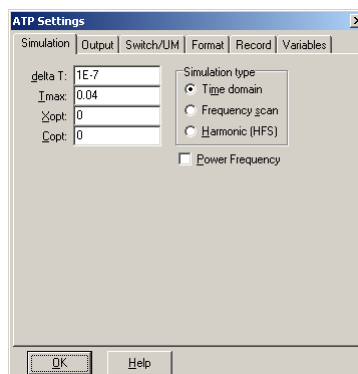


Obr. 6 Nastavenie parametrov uzlov

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 prispôsobiť 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} :

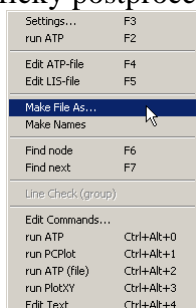
- hodnota induktora bude charakterizovaná indukčnosťou (mH), pokiaľ bude $X_{opt} = 0$,
- hodnota induktora bude charakterizovaná reaktanciou (Ω), pokiaľ bude X_{opt} = sieťovej frekvencii.

Pre C_{opt} :

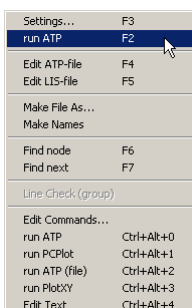
- hodnota kapacitora bude charakterizovaná kapacitou (μF), pokiaľ bude $C_{opt} = 0$,
- hodnota kapacitora bude charakterizovaná susceptanciou (μS), pokiaľ bude C_{opt} = sieťovej frekvencii.

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.

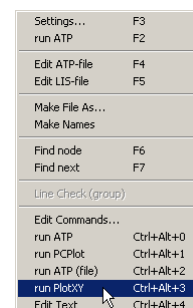
Príkazom **Make File As...** v hornom menu **ATP** sa vytvorí v podadresári ATP dátový súbor pre ATP s rovnakým názvom s príponou *.atp (t.j. príklad3.atp) (obr. 9). Príkazom **run ATP** v hornom menu **ATP** sa spustí výpočet v programe ATP, ktorého výsledkom sú súbory s príponou *.lis a *.pl4 (obr. 10). Súbor *.lis je výstupný dátový súbor a rovnako ako súbor *.atp dajú sa 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...

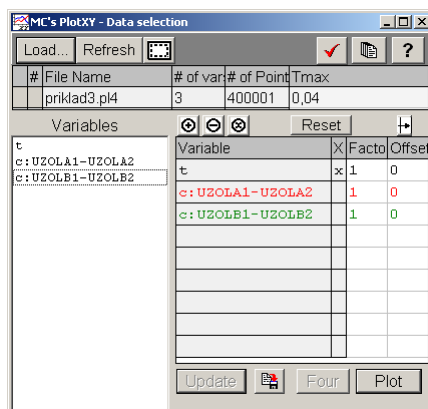


Obr. 10 ATP – Run ATP



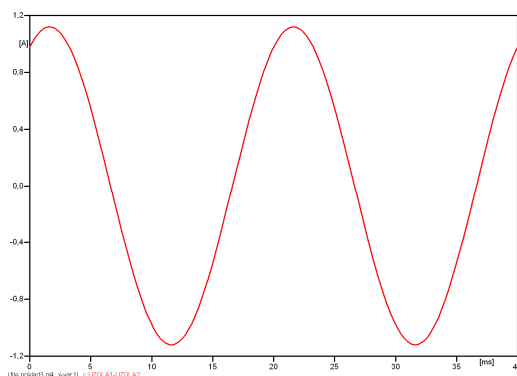
Obr. 11 ATP – run PlotXY

V grafickom postprocesore je s označením **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.



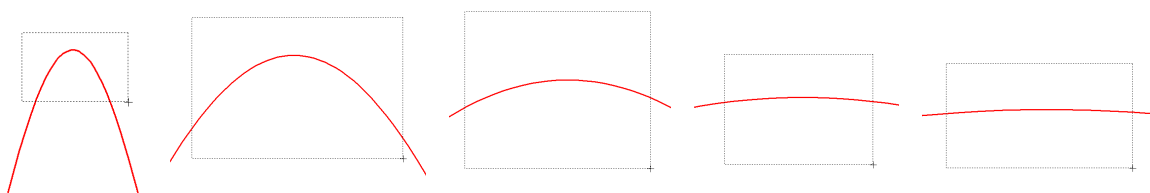
Obr. 12 Dialógové okno podprogramu PlotXY pre vykreslenie priebehov

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



Obr. 13 Zobrazenie priebehu prúdu i_{xa}

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.

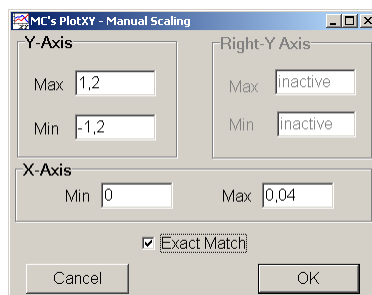


Obr. 14 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

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

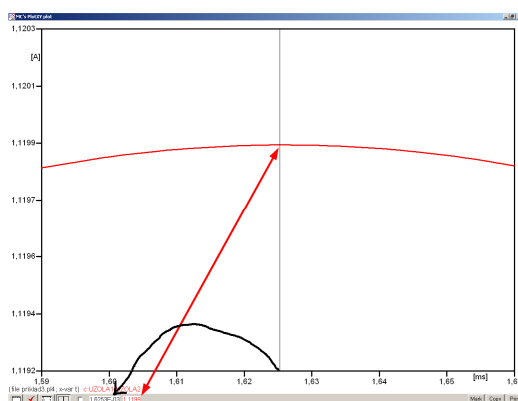


Obr. 16 Okno Manual Scaling

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

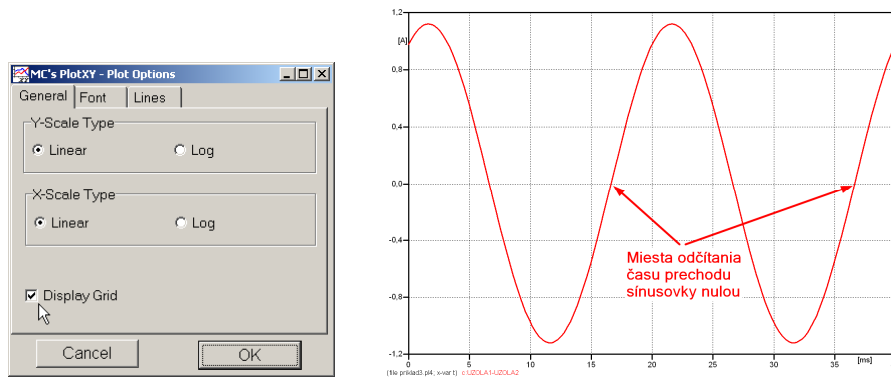
Z tohto priebehu je vidieť, že maximálna hodnota prúdu je 1,1199 A. Čo sa týka fázového natočenia φ , tak je možné ho vypočítať rôznymi spôsobmi.

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

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

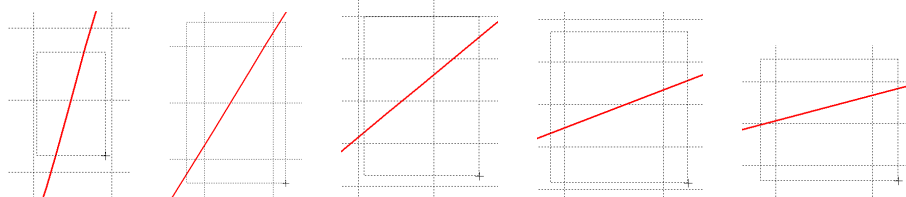
Kde φ je fázové natočenie, n je poradie periódy, t čas dosiahnutia prvého maxima sínusovky, T perióda $T = \frac{1}{f}$. Fázové natočenie je zvykom uvádzať v rozmedzí $\varphi \in \langle 0^\circ; 360^\circ \rangle$, preto bolo potrebné od uhla $420,75^\circ$ odčítať 360° .

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

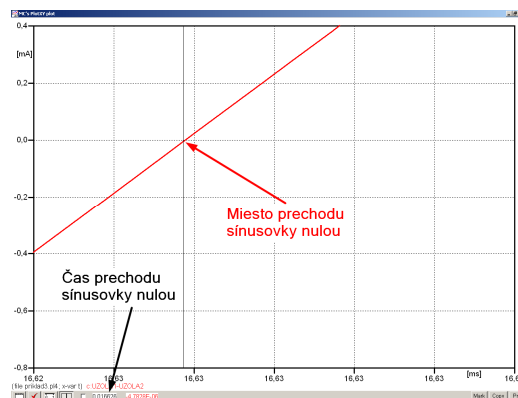
Oblasť v okolí **prechodu počiatku sínusovky nulou** dostatočne zväčšíme podobne, ako to bolo v predchádzajúcom prípade (obr. 14).



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; $t = 0,016626$ s a amplitúda – červenou farbou; $i_x = -4,7828 \cdot 10^{-6}$ A).



Obr. 21 Odčítanie času prechodu sínusovky nulou

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

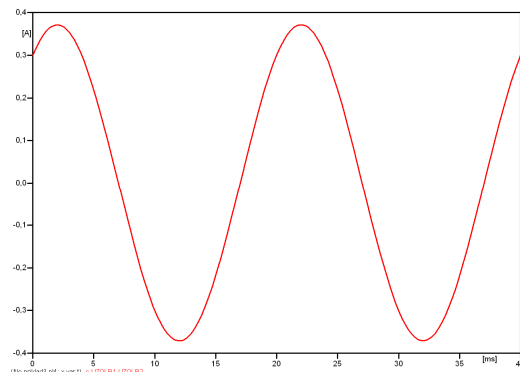
$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{0,016626}{0,02} \cdot 360^\circ = 60,73^\circ$$

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

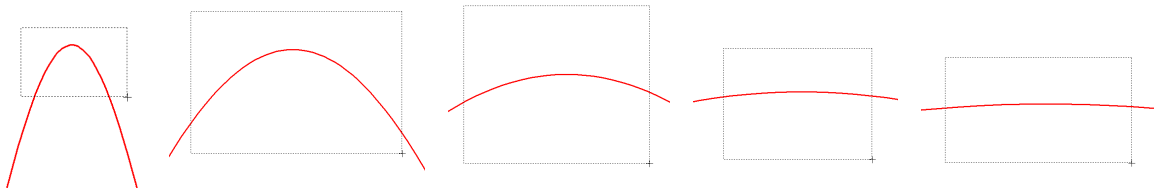
Podobne sa postupuje v prípade b).

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



Obr. 22 Zobrazenie priebehu prúdu i_{xb}

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).

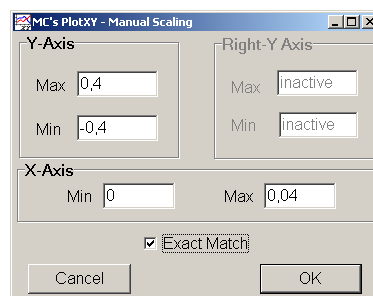


Obr. 23 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

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

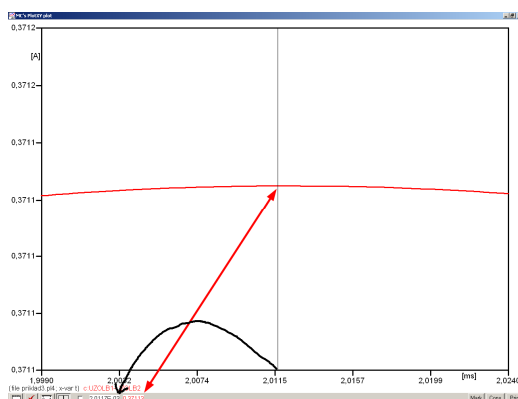


Obr. 25 Okno Manual Scaling

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

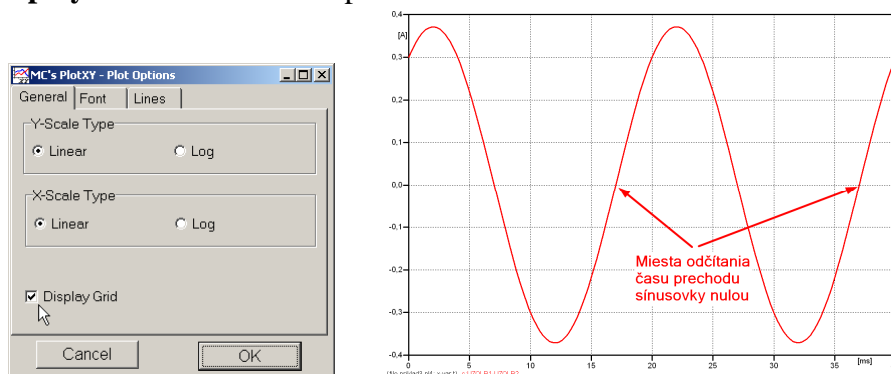
Z tohto priebehu je vidieť, že maximálna hodnota prúdu je 0,37113 A. Čo sa týka fázového natočenia φ , tak je možné ho vypočítať podobne ako v prípade a).

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

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

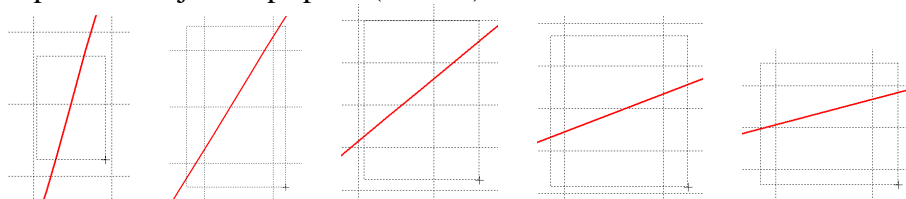
Kde φ je fázové natočenie, n je poradie periódy, t čas dosiahnutia prvého maxima sínusovky, T perióda $T = \frac{1}{f}$. Fázové natočenie je zvykom uvádzať v rozmedzí $\varphi \in \langle 0^\circ; 360^\circ \rangle$, preto bolo potrebné od uhla $413,79^\circ$ odčítať 360° .

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 prúdu nulou

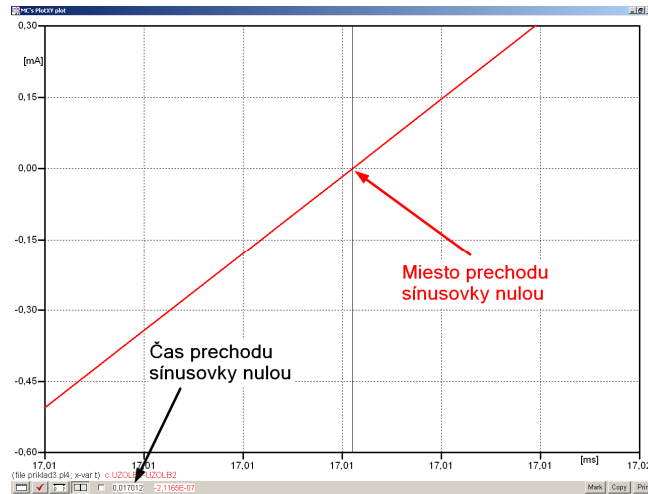
Oblasť v okolí *prechodu počiatku sínusovky nulou* dostatočne zväčšíme podobne, ako to bolo v predchádzajúcom prípade (obr. 23).



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 .

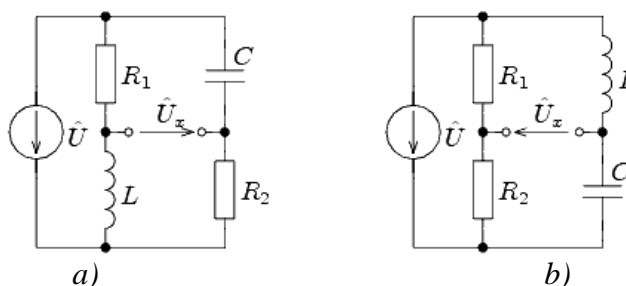
Výsledky:

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 $u(t) = U_{\max} \cdot e^{j \cdot \varphi}$, 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

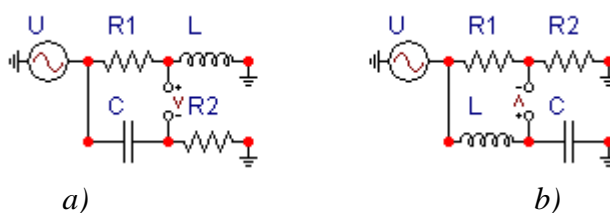
Riešenie

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

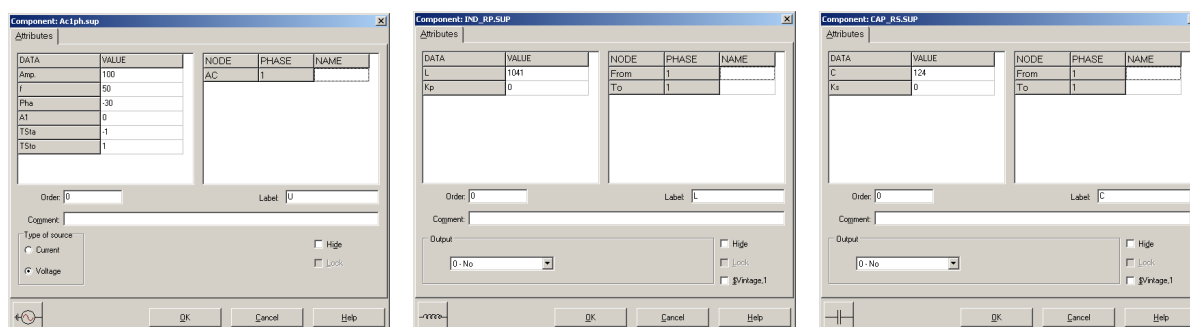
Na napätovom zdroji U sa nastaví maximálna hodnota napätia zdroja v položke **Amp** 100. V položke **Tsta** sa nastaví hodnota -1 a **Tsto** hodnota 1 , čo má za následok stály napätový zdroj počas doby 1 sekundy. V položke **Type of source** sa ponechá voľba **Voltage**. Fázové natočenie sa zadá v položke **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.

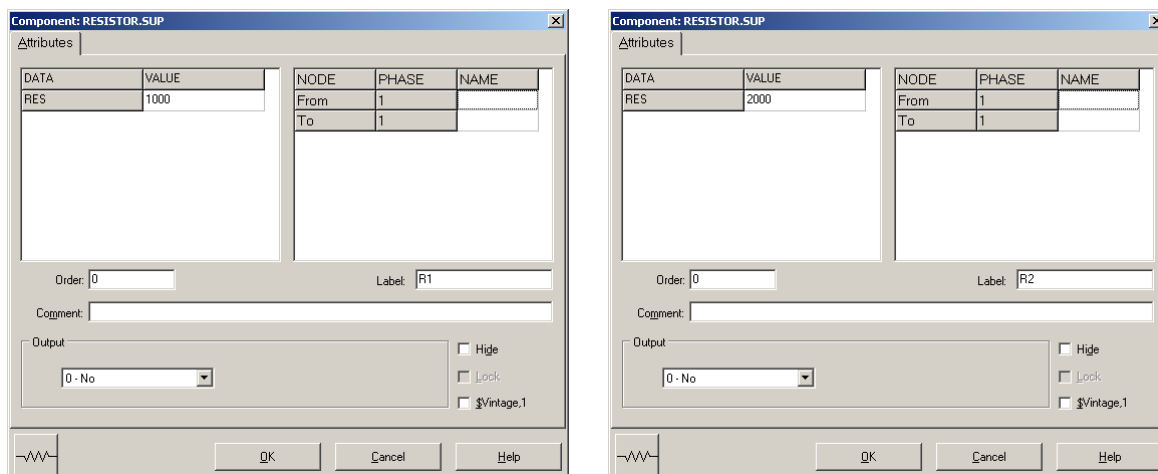
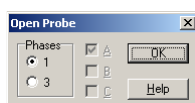
Na modeli prvku cievky bude do kolónky **L** zadaná hodnota 1041 (predvolené nastavenie je v mH (mili henry), nie v henry). Na modeli prvku kondenzátora bude do kolónky **C** zadaná hodnota 124 (predvolené nastavenie je v μF (mikro farad), nie vo faradoch) (obr.3). Pri rezistore bude do **RES** zapísaná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



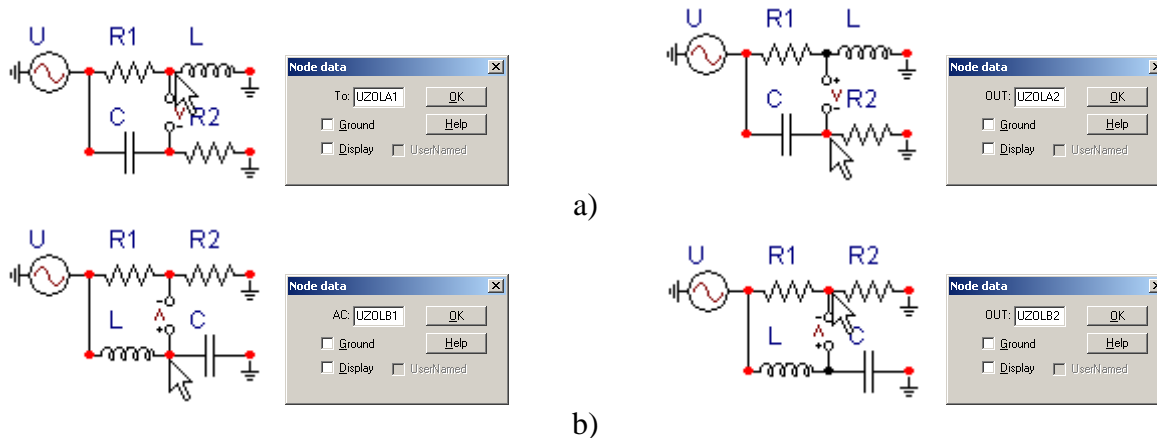
Obr. 2 Schémy zapojenia elektrického obvodu

Obr. 3 Nastavenie parametrov pre napätový zdroj U , cievky L a kondenzátora C

Obr. 4 Nastavenie parametrov rezistorov R_1 a R_2 

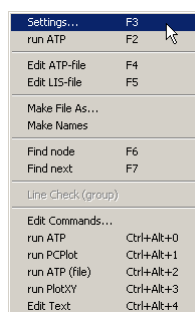
Obr. 5 Nastavenie parametrov voltmetra (Probe Branch volt.)

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.

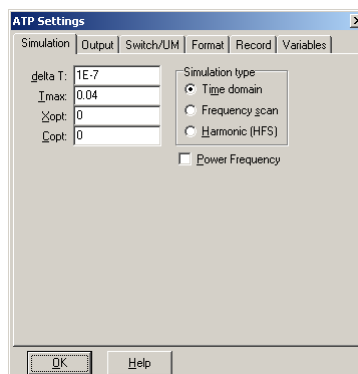


Obr. 6 Nastavenie parametrov uzlov

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} :

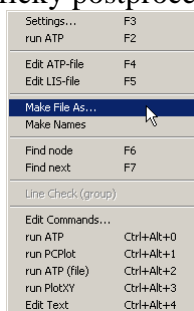
- hodnota induktora bude charakterizovaná indukčnosťou (mH), pokiaľ bude $X_{opt} = 0$,
- hodnota induktora bude charakterizovaná reaktanciou (Ω), pokiaľ bude X_{opt} = sieťovej frekvencii.

Pre C_{opt} :

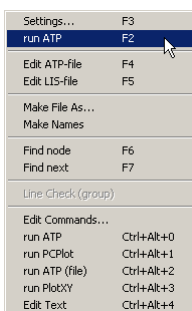
- hodnota kapacitora bude charakterizovaná kapacitou (μF), pokiaľ bude $C_{opt} = 0$,
- hodnota kapacitora bude charakterizovaná susceptanciou (μS), pokiaľ bude C_{opt} = sieťovej frekvencii.

Takto vytvorená schéma sa uloží príkazom CTRL-S so zvoleným názvom, napr. príklad4. 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.

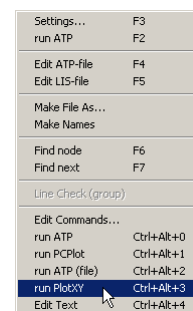
Príkazom **Make File As...** v hornom menu **ATP** sa vytvorí v podadresári ATP dátový súbor pre ATP s rovnakým názvom s príponou *.atp (t.j. príklad4.atp) (obr. 9). Príkazom **run ATP** v hornom menu **ATP** sa spustí výpočet v programe ATP, ktorého výsledkom sú súbory s príponou *.lis a *.pl4 (obr. 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...

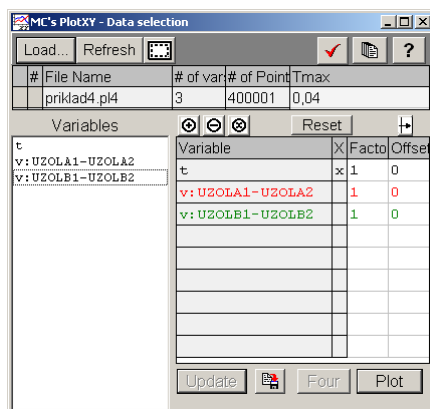


Obr. 10 ATP – Run ATP



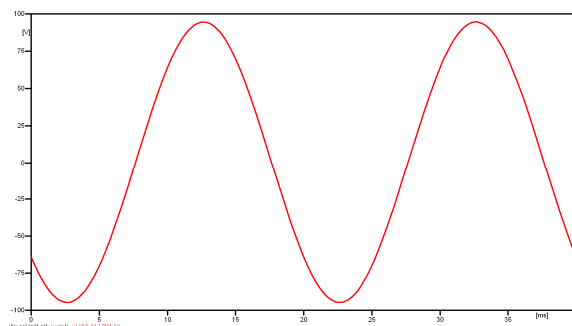
Obr. 11 ATP – run PlotXY

V grafickom postprocesore je s označením **v: UZOLA1 – UZOLA2** uvedený požadovaný priebeh napätia $u_{x,a}$ (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.

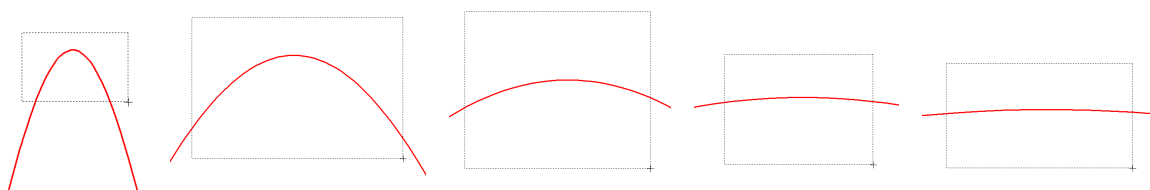


Obr. 12 Dialógové okno podprogramu PlotXY pre vykreslenie priebehov

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.

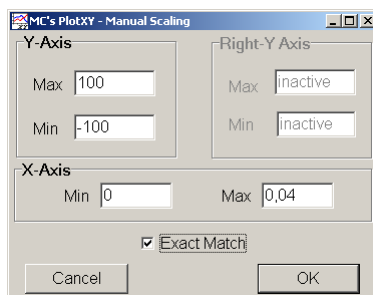


Obr. 14 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

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

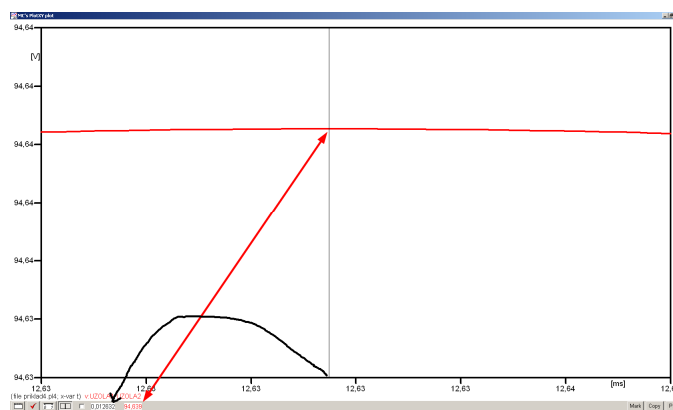


Obr. 16 Okno Manual Scaling

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

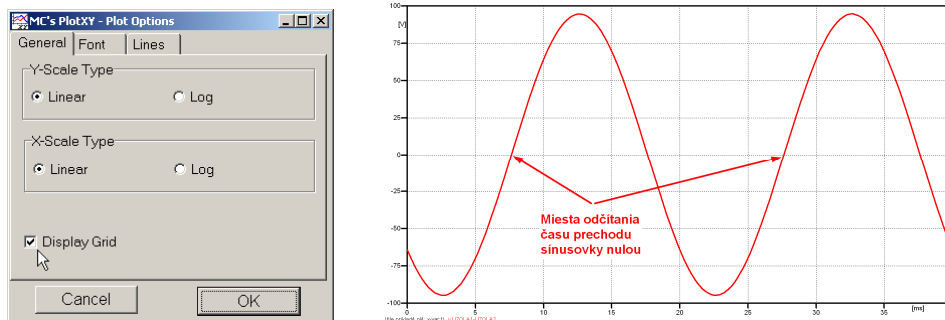
Z tohto priebehu je vidieť, že maximálna hodnota napätia je 94,639 V. Čo sa týka fázového natočenia φ , tak je možné ho vypočítať rôznymi spôsobmi.

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

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

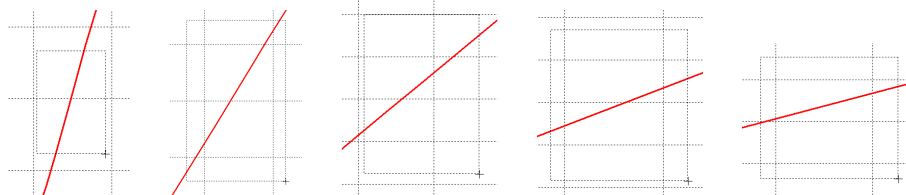
Kde φ je fázové natočenie, n je poradie periódy, t čas dosiahnutia prvého maxima sínusovky, T perióda $T = \frac{1}{f}$.

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

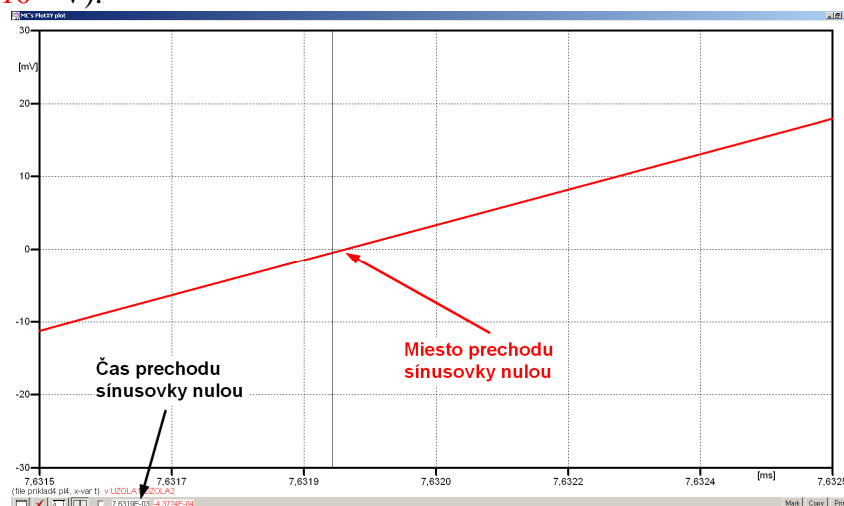
Oblasť v okolí **prechodu počiatku sínusovky nulou** dostatočne zväčšíme podobne, ako to bolo v predchádzajúcom prípade (obr. 14).



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; $t = 7,6319 \cdot 10^{-3}$ 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 vyčíslit' fázové natočenie podľa vzťahu:

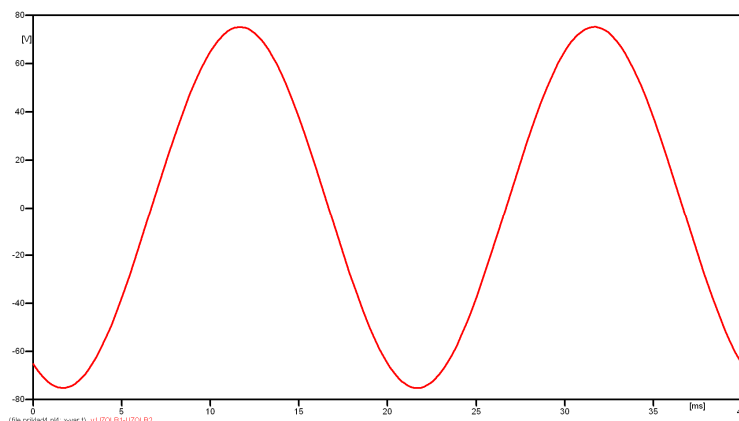
$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{7,6319 \cdot 10^{-3}}{0,02} \cdot 360^\circ = 222,5^\circ$$

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

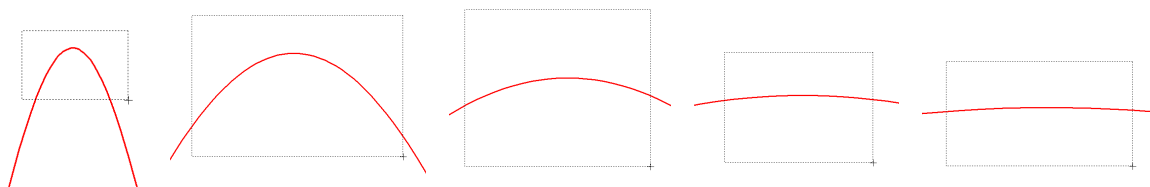
Podobne sa postupuje v prípade b).

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 zväčšení danej oblasti (obr. 23).

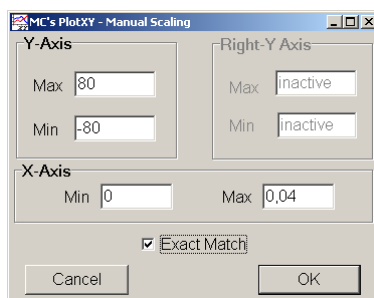


Obr. 23 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

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

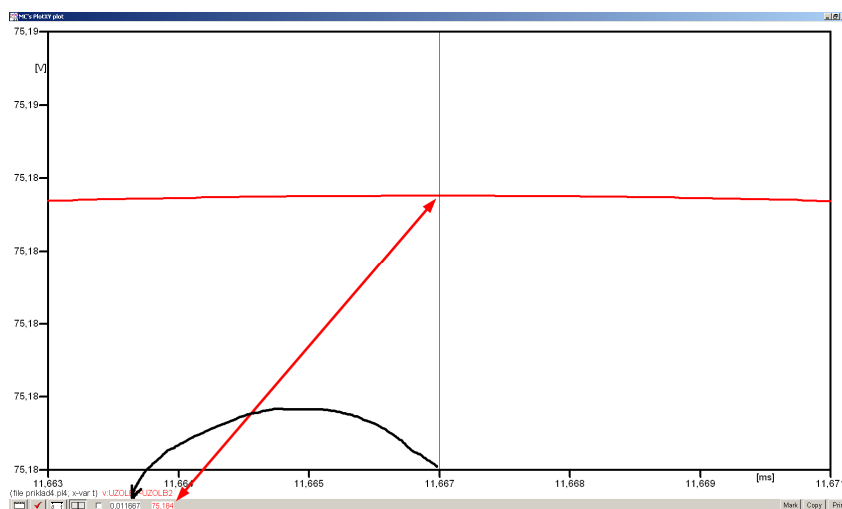


Obr. 25 Okno Manual Scaling

Následovným 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

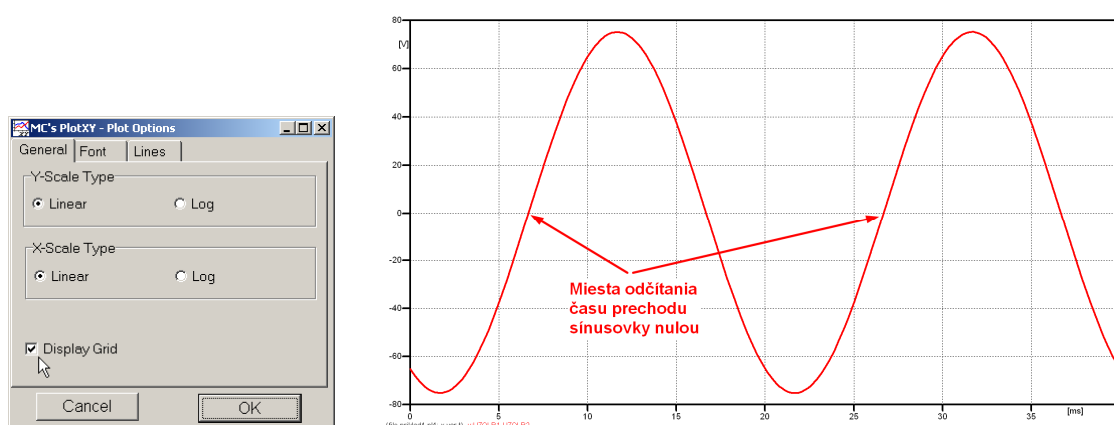
Z tohto priebehu je vidieť, že maximálna hodnota napätia je 75,184 V. Čo sa týka fázového natočenia φ , tak je možné ho vypočítať podobne ako v prípade a).

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

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

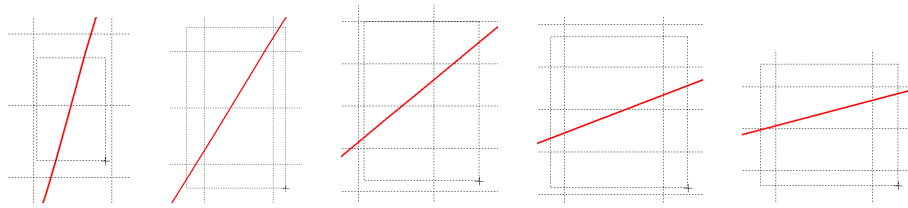
Kde φ je fázové natočenie, n je poradie periódy, t čas dosiahnutia prvého maxima sínusovky, T perióda $T = \frac{1}{f}$.

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

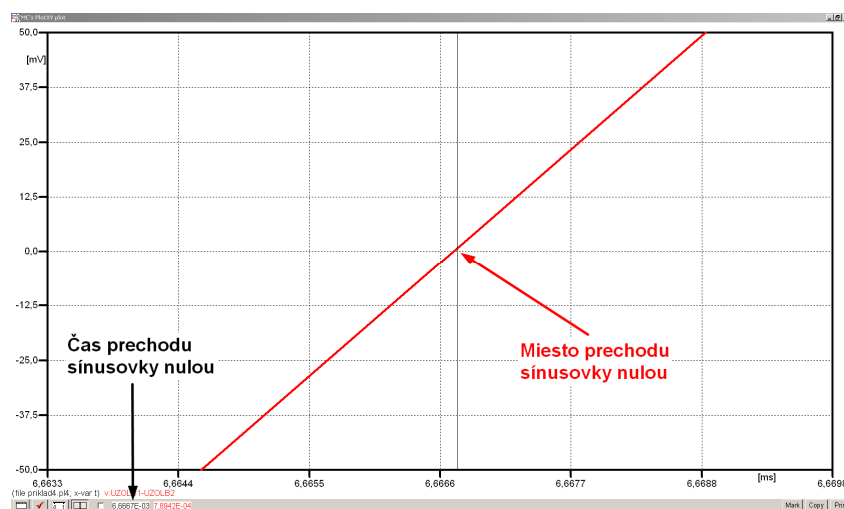
Oblasť v okolí **prechodu počiatku sínusovky nulou** dostatočne zväčšíme podobne, ako to bolo v predchádzajúcom prípade (obr. 23).



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; $t = 6,6664 \cdot 10^{-3}$ s a amplitúda – červenou farbou; $u_x = 7,8942 \cdot 10^{-4}$ V).



Obr. 30 Odčítanie času prechodu sinusovky nulou

Z času prechodu počiatku sinusovky nulou je možné vyčíslit' 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 .

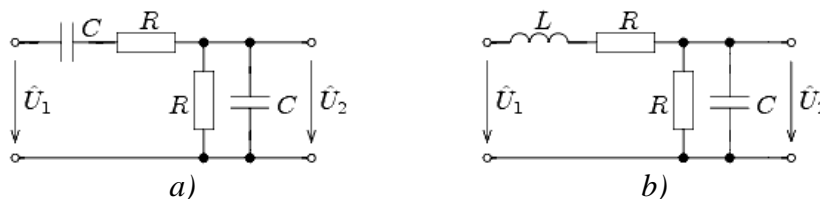
Výsledky:

a) $u_{x,a) = 94,639 \cdot e^{j222,5^\circ}$ 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

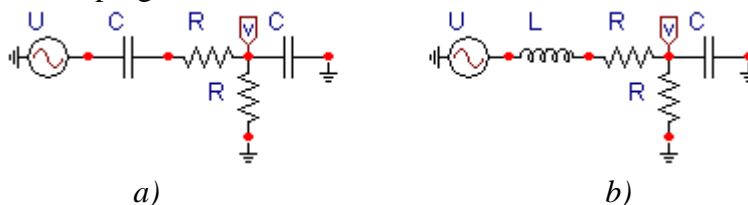
Riešenie

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

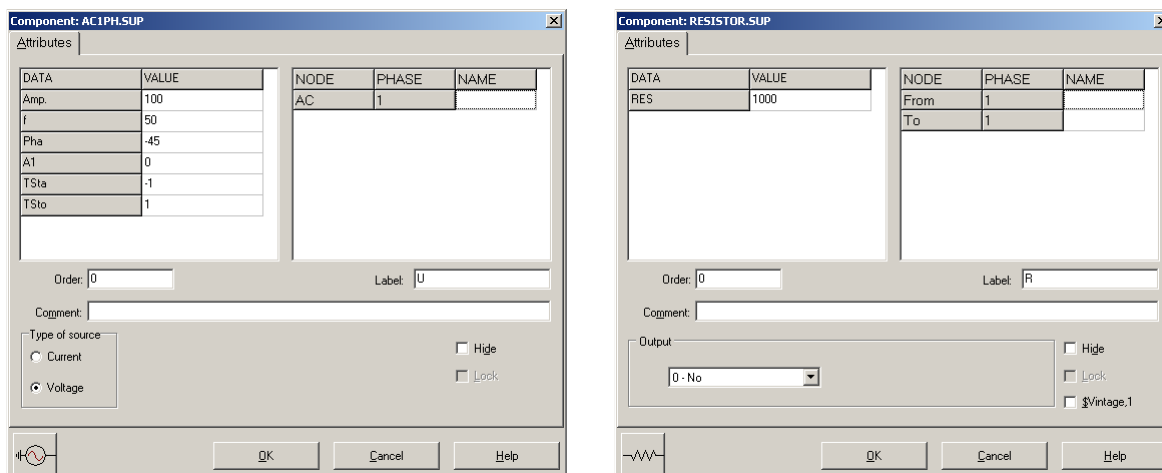
Na napät'ovom zdroji U sa nastaví maximálna hodnota napätia zdroja v položke **Amp** 100. V položke **Tsta** sa nastaví hodnota -1 a **Tsto** hodnota 1 , čo má za následok stály napät'ový zdroj počas doby 1 sekundy. V položke **Type of source** sa ponechá voľba **Voltage**. Fázové natočenie sa zadá v 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).

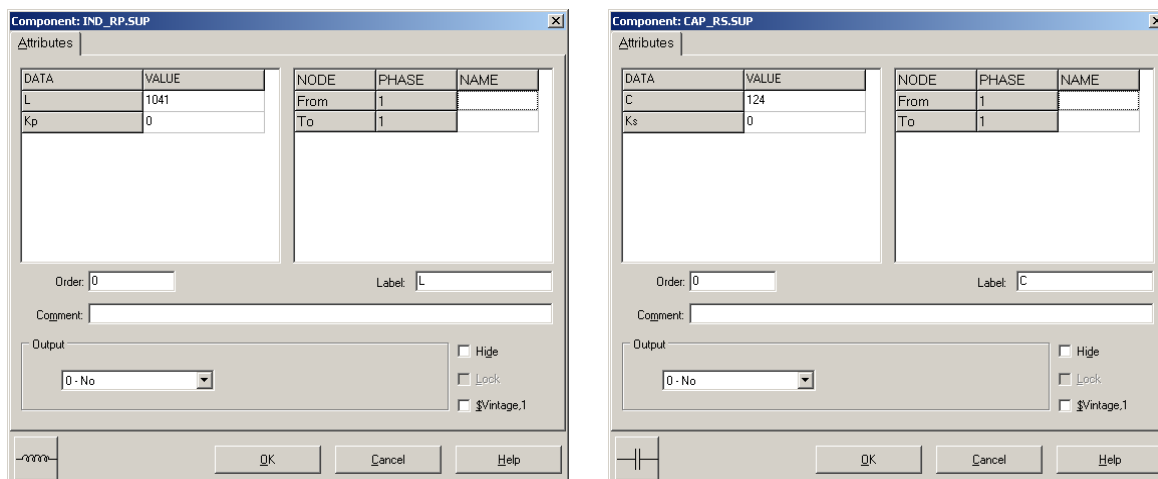
Na modeli prvku cievky bude do kolónky **L** zadaná hodnota 1041 (predvolené nastavenie je v mH (mili henry), nie v henry). Na modeli prvku kondenzátora bude do kolónky **C** zadaná hodnota 124 (predvolené nastavenie je v μF (mikro farad), nie vo faradoch) (obr.4).

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.

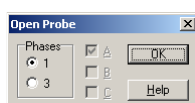


Obr. 2 Schémy zapojenia elektrického obvodu

Obr. 3 Nastavenie parametrov pre napät'ový zdroj U a rezistora R

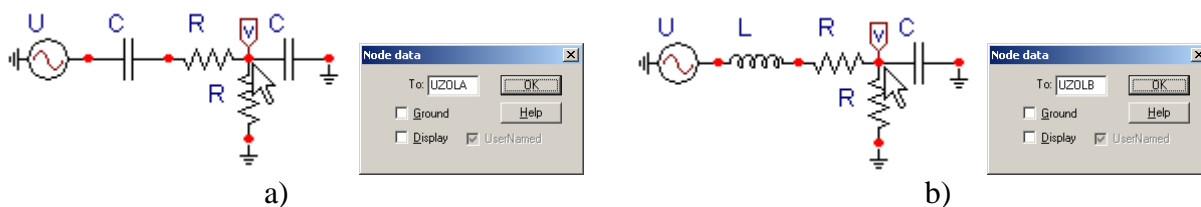


Obr. 4 Nastavenie parametrov cievky L a kondenzátora C



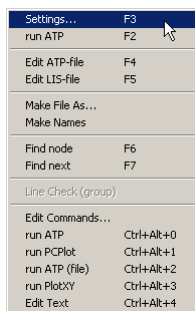
Obr. 5 Nastavenie parametrov voltmetra

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.

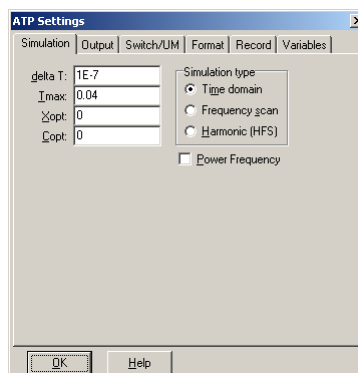


Obr. 6 Nastavenie parametrov uzlov

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} :

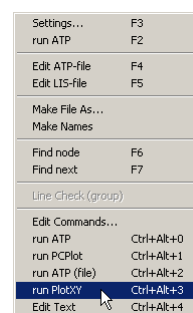
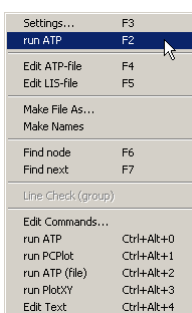
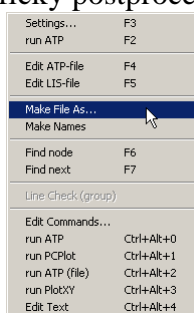
- hodnota induktora bude charakterizovaná indukčnosťou (mH), pokiaľ bude $X_{opt} = 0$,
- hodnota induktora bude charakterizovaná reaktanciou (Ω), pokiaľ bude $X_{opt} =$ sieťovej frekvencii.

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. 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).

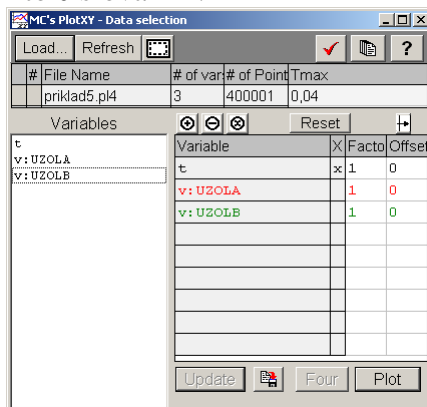


Obr. 9 ATP – Make File...

Obr. 10 ATP – Run ATP

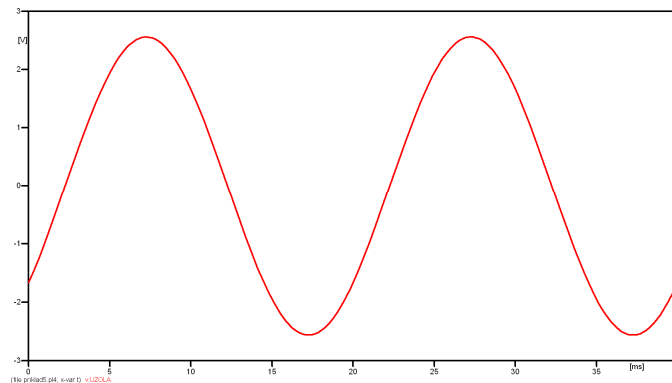
Obr. 11 ATP – run PlotXY

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.



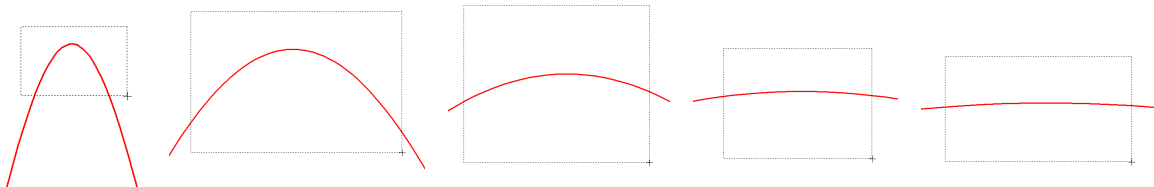
Obr. 12 Dialógové okno podprogramu PlotXY pre vykreslenie priebehov

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.

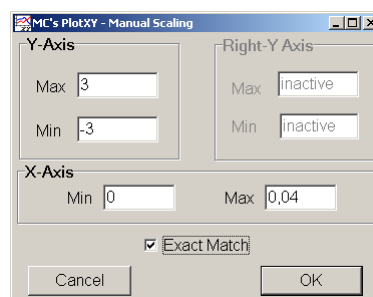


Obr. 14 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

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

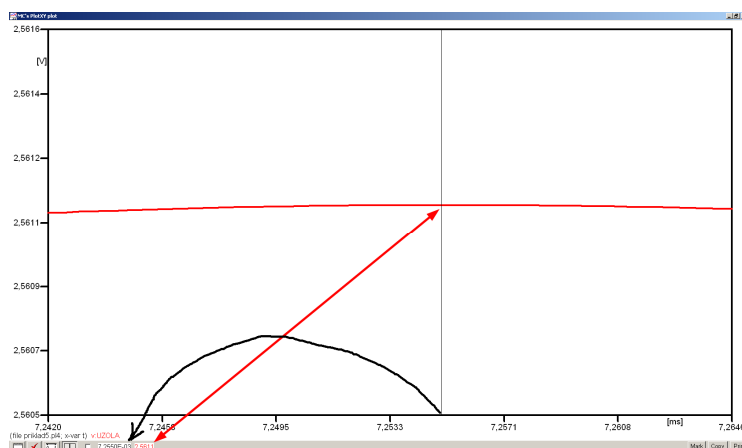


Obr. 16 Okno Manual Scaling

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

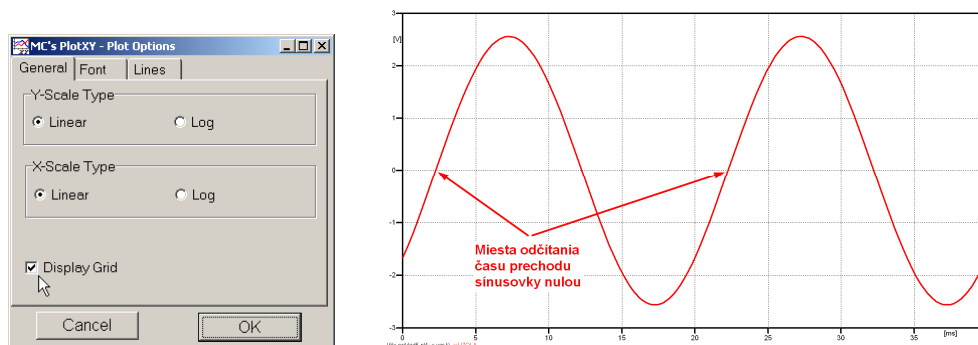
Z tohto priebehu je vidieť, že maximálna hodnota napätia je 2,5611 V. Čo sa týka fázového natočenia φ , tak je možné ho vypočítať rôznymi spôsobmi.

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

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

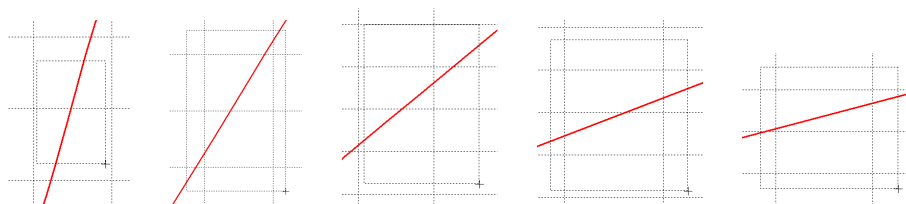
Kde φ je fázové natočenie, n je poradie periódy, t čas dosiahnutia prvého maxima sínusovky, T perióda $T = \frac{1}{f}$.

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

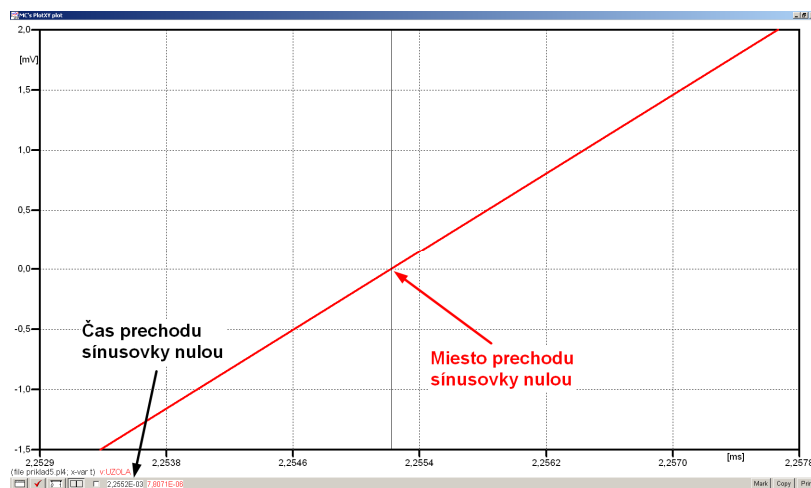
Oblasť v okolí *prechodu počiatku sínusovky nulou* dostatočne zväčšíme podobne, ako to bolo v predchádzajúcom prípade (obr. 14).



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; $t = 2,2552 \cdot 10^{-3}$ 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 vyčíslíť fázové natočenie podľa vzťahu:

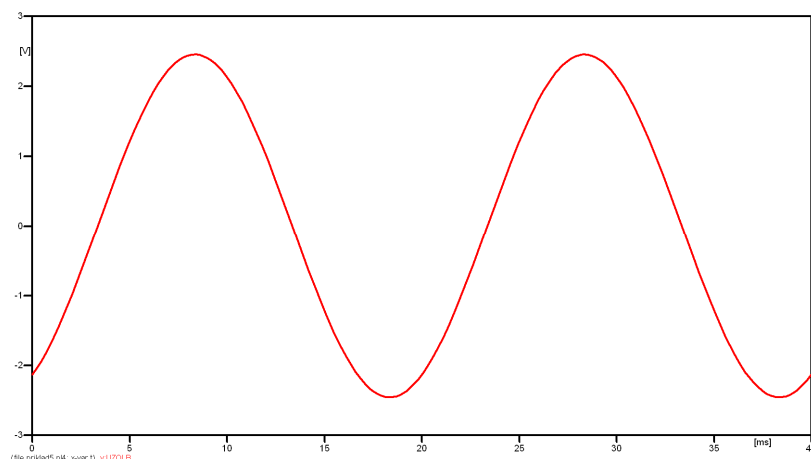
$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{2,2552 \cdot 10^{-3}}{0,02} \cdot 360^\circ = 319,41^\circ$$

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

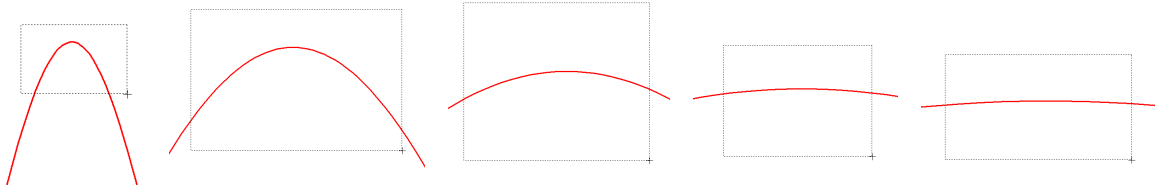
Podobne sa postupuje v prípade b).

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).

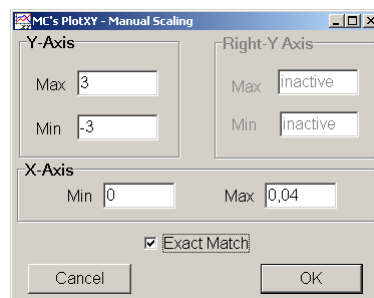


Obr. 23 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

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

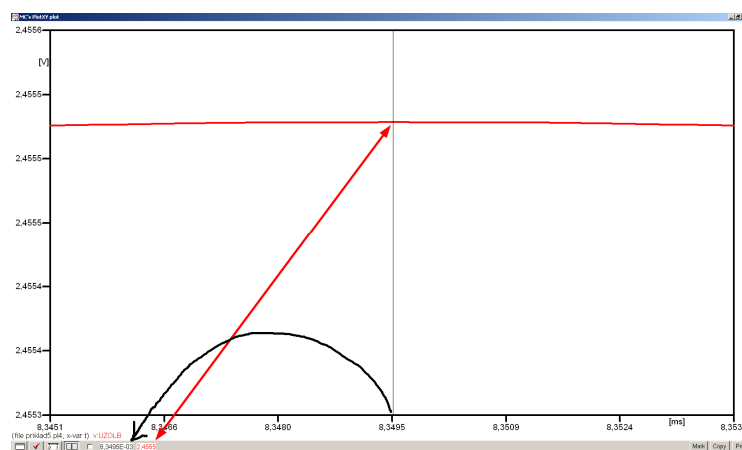


Obr. 25 Okno Manual Scaling

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

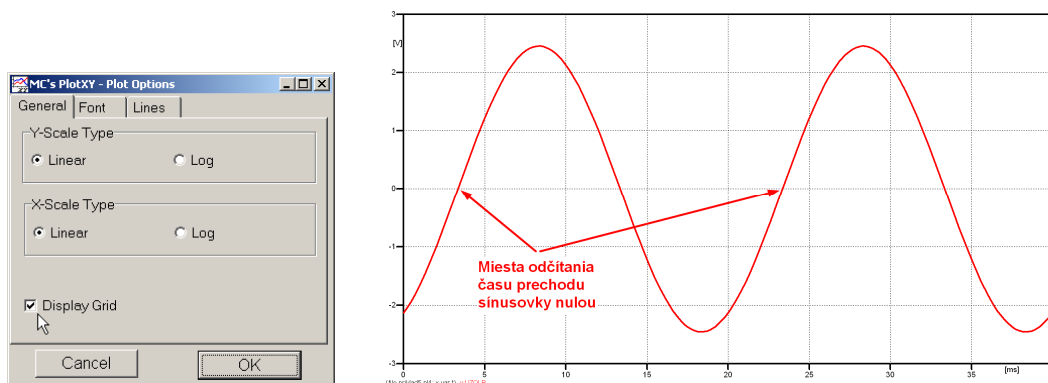
Z tohto priebehu je vidieť, že maximálna hodnota napätia je 2,4555 V. Čo sa týka fázového natočenia φ , tak je možné ho vypočítať podobne ako v prípade a).

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

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

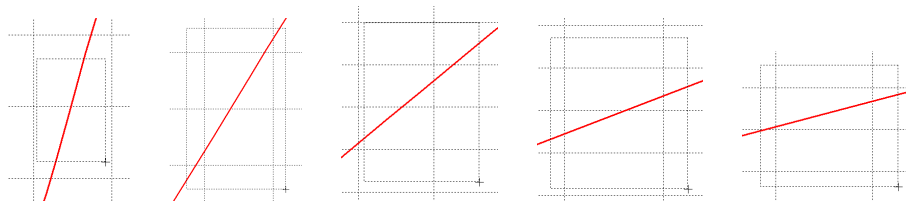
Kde φ je fázové natočenie, n je poradie periódy, t čas dosiahnutia prvého maxima sínusovky, T perióda $T = \frac{1}{f}$.

Ďalšou z metód určenia fázového natočenia φ , je z času *priesečníka 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

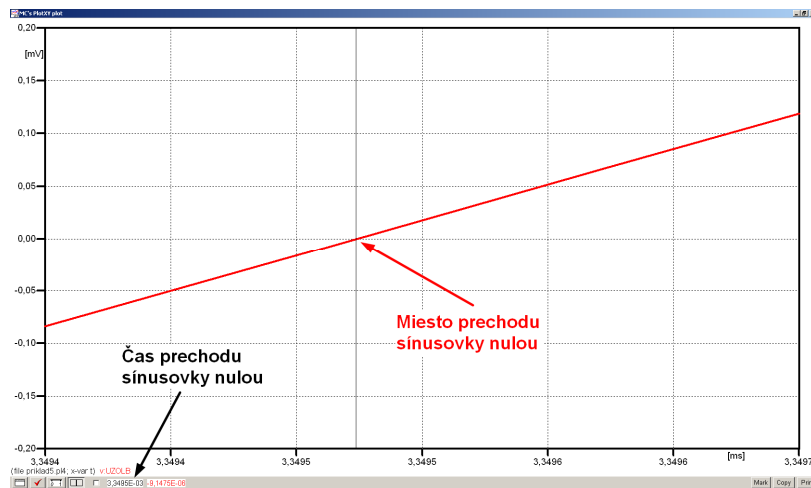
Oblasť v okolí *prechodu počiatku sínusovky nulou* dostatočne zväčšíme podobne, ako to bolo v predchádzajúcom prípade (obr. 23).



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; $t = 3,3495 \cdot 10^{-3}$ 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 vyčíslit' fázové natočenie podľa vzťahu:

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

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 .

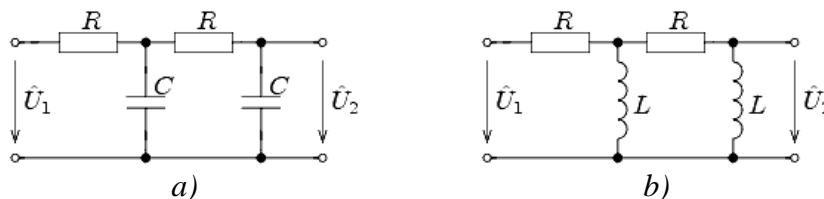
Výsledky:

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

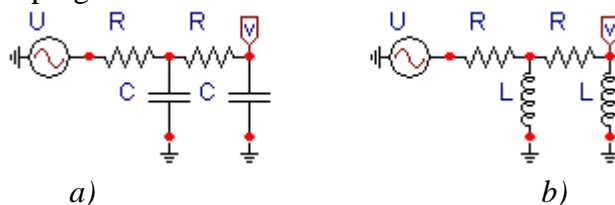
Riešenie

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

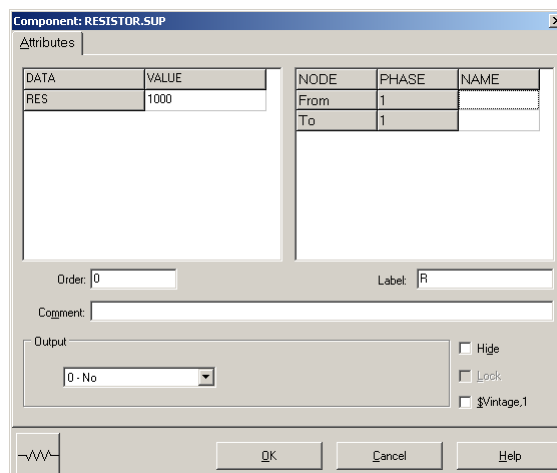
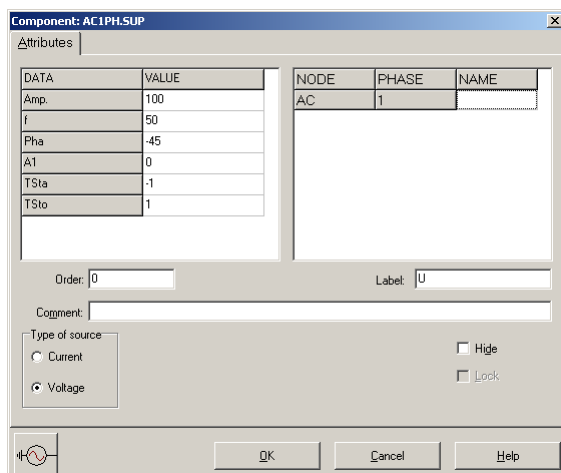
Na napät'ovom zdroji U sa nastaví maximálna hodnota napätia zdroja v položke **Amp** 100. V položke **Tsta** sa nastaví hodnota -1 a **Tsto** hodnota 1 , čo má za následok stály napät'ový zdroj počas doby 1 sekundy. V položke **Type of source** sa ponechá voľba **Voltage**. Fázové natočenie sa zadá v 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).

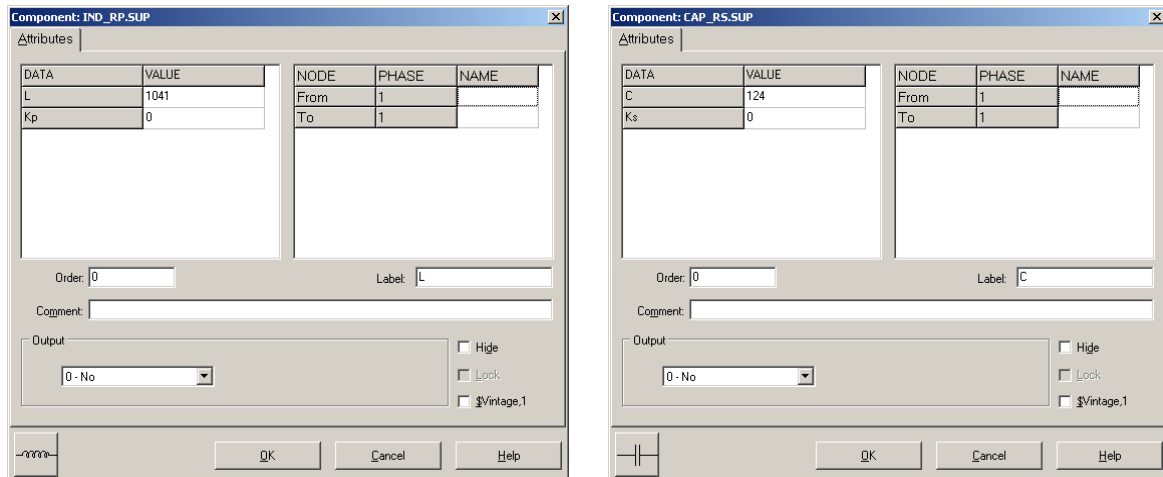
Na modeli prvku cievky bude do kolónky **L** zadaná hodnota 1041 (predvolené nastavenie je v mH (mili henry), nie v henry). Na modeli prvku kondenzátora bude do kolónky **C** zadaná hodnota 124 (predvolené nastavenie je v μF (mikro farad), nie vo faradoch) (obr.4).

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.

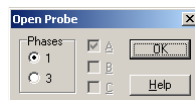


Obr. 2 Schémy zapojenia elektrického obvodu

Obr. 3 Nastavenie parametrov pre napät'ový zdroj U a rezistora R

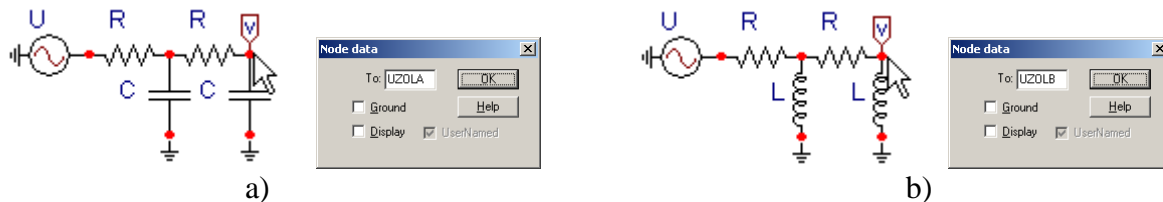


Obr. 4 Nastavenie parametrov cievky L a kondenzátora C



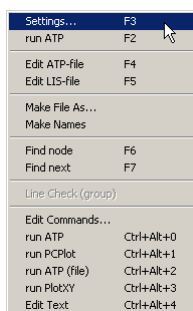
Obr. 5 Nastavenie parametrov voltmetra

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.

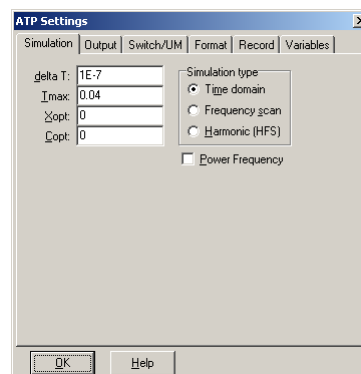


Obr. 6 Nastavenie parametrov uzlov

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} :

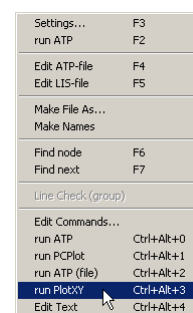
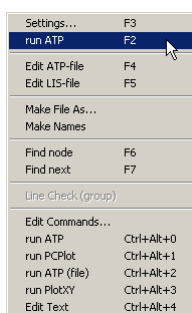
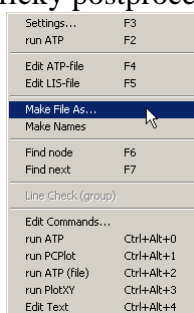
- hodnota induktora bude charakterizovaná indukčnosťou (mH), pokiaľ bude $X_{opt} = 0$,
- hodnota induktora bude charakterizovaná reaktanciou (Ω), pokiaľ bude $X_{opt} =$ sieťovej frekvencii.

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).

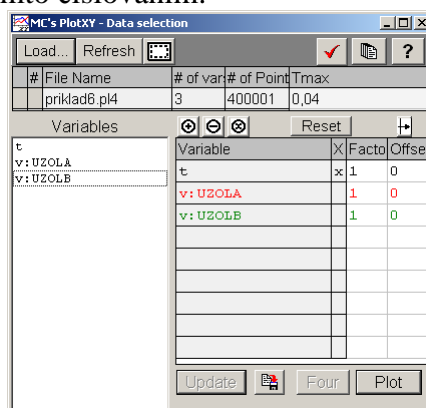


Obr. 9 ATP – Make File...

Obr. 10 ATP – Run ATP

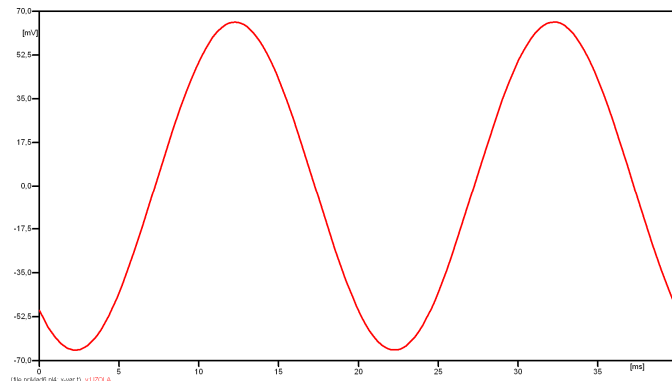
Obr. 11 ATP – run PlotXY

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.



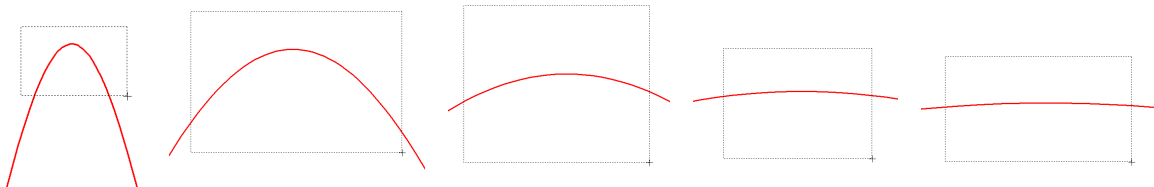
Obr. 12 Dialógové okno podprogramu PlotXY pre vykreslenie priebehov

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.

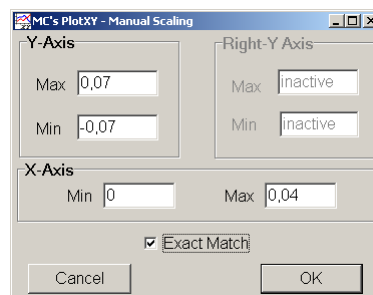


Obr. 14 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

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

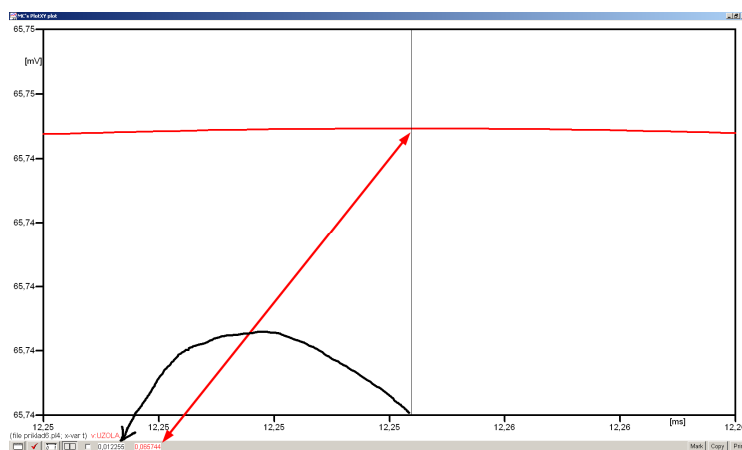


Obr. 16 Okno Manual Scaling

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

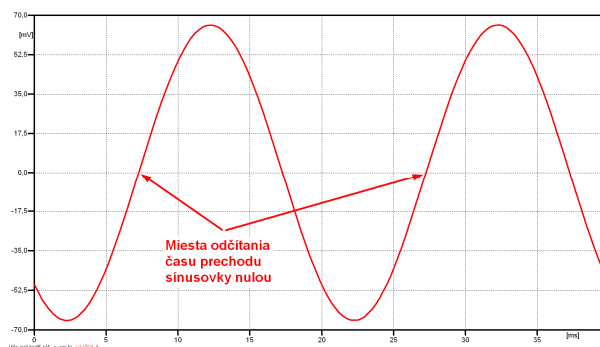
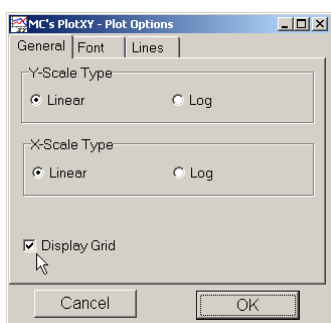
Z tohto priebehu je vidieť, že maximálna hodnota napätia je 0,065744 V. Čo sa týka fázového natočenia φ , tak je možné ho vypočítať rôznymi spôsobmi.

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:

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

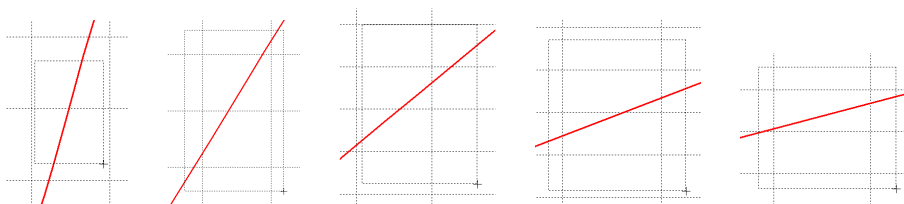
Kde φ je fázové natočenie, n je poradie periódy, t čas dosiahnutia prvého maxima sínusovky, T perióda $T = \frac{1}{f}$.

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

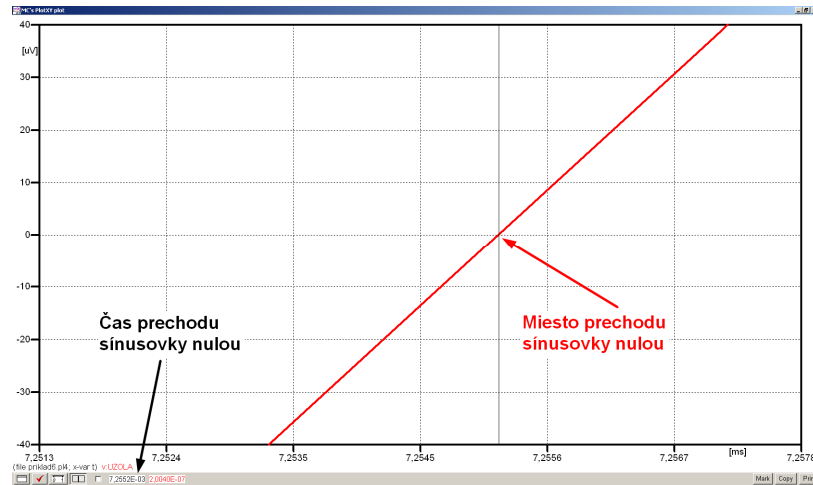
Oblasť v okolí *prechodu počiatku sínusovky nulou* dostatočne zväčšíme podobne, ako to bolo v predchádzajúcom prípade (obr. 14).



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 vyčíslíť fázové natočenie podľa vzťahu:

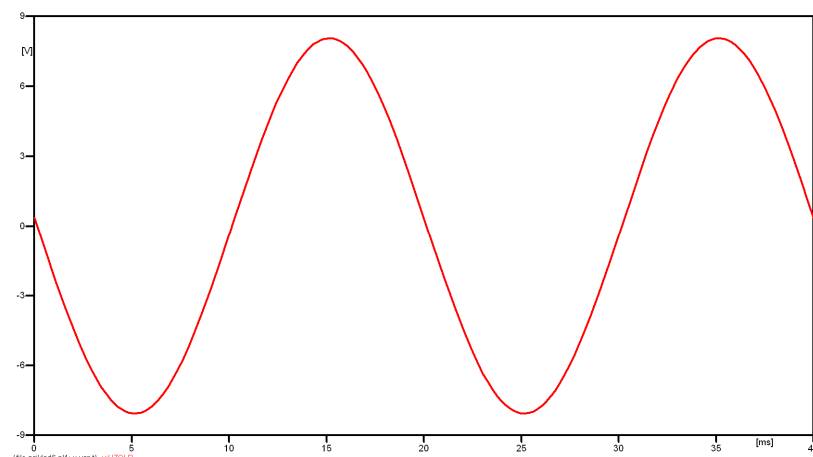
$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{7,2552 \cdot 10^{-3}}{0,02} \cdot 360^\circ = 229,41^\circ$$

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

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

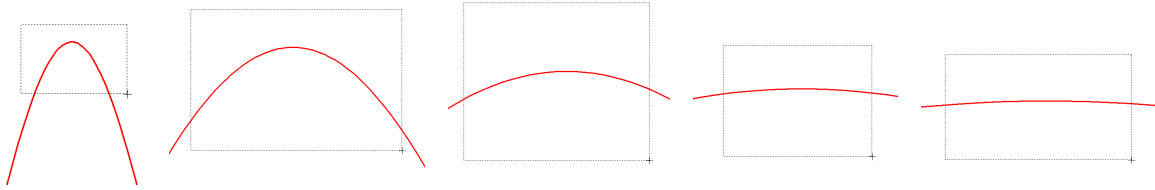
Podobne sa postupuje v prípade b).

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).

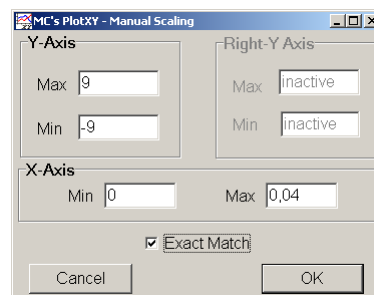


Obr. 23 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

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

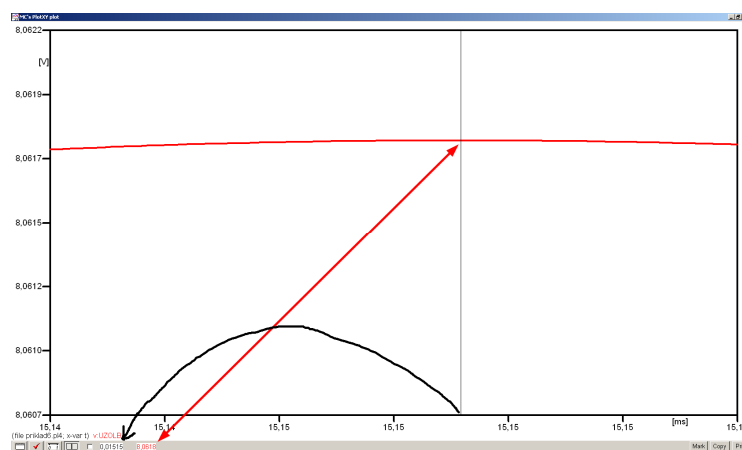


Obr. 25 Okno Manual Scaling

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

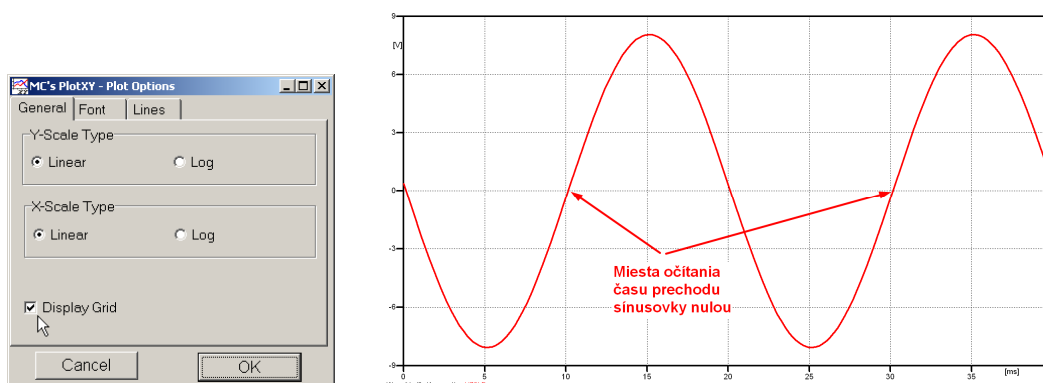
Z tohto priebehu je vidieť, že maximálna hodnota napätia je 8,0618 V. Čo sa týka fázového natočenia φ , tak je možné ho vypočítať podobne ako v prípade a).

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:

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

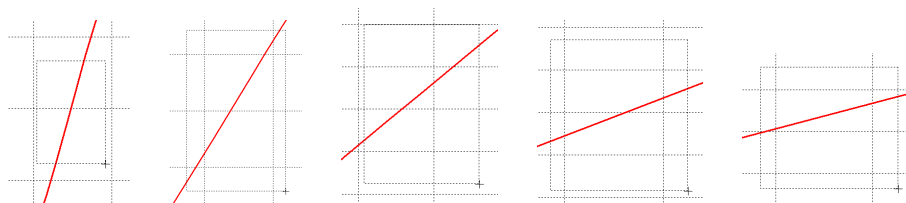
Kde φ je fázové natočenie, n je poradie periódy, t čas dosiahnutia prvého maxima sínusovky, T perióda $T = \frac{1}{f}$.

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

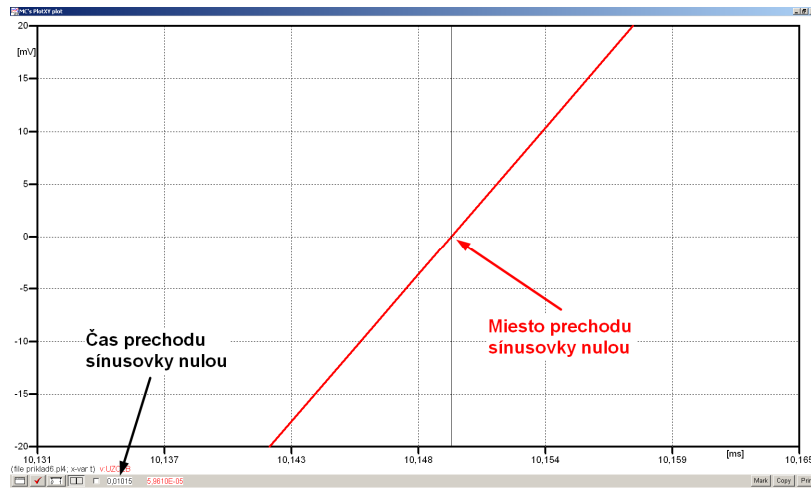
Oblasť v okolí *prechodu počiatku sínusovky nulou* dostatočne zväčšíme podobne, ako to bolo v predchádzajúcom prípade (obr. 23).



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; $t = 0,01015$ s a amplitúda – červenou farbou; $u_2 = 5,961 \cdot 10^{-5}$ V).



Obr. 30 Odčítanie času prechodu sínusovky nulou

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

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

Z obidvoch výrazov je vidieť dostatočnú zhodu φ .

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

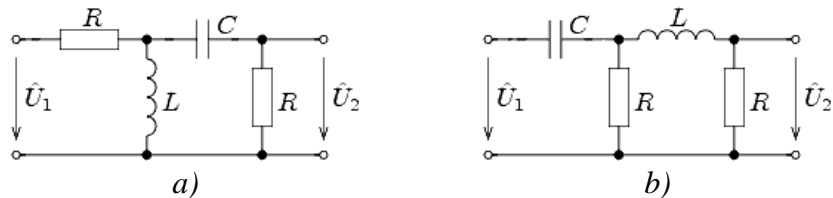
Výsledky:

a) $u_{2,a)} = 0,06574 \cdot e^{j229,41^\circ}$ V

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

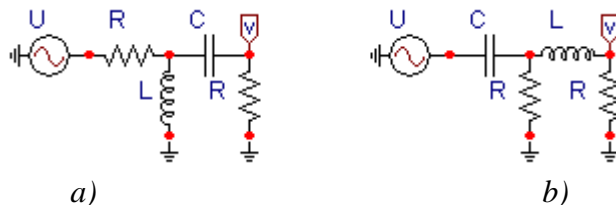
Riešenie

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

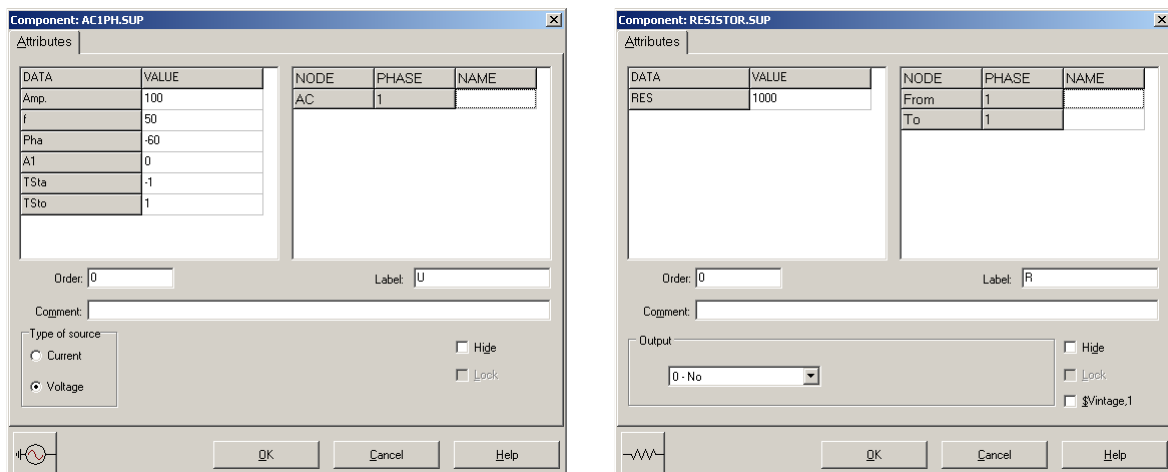
Na napät'ovom zdroji U sa nastaví maximálna hodnota napätia zdroja v položke **Amp** 100. V položke **Tsta** sa nastaví hodnota -1 a **Tsto** hodnota 1 , čo má za následok stály napät'ový zdroj počas doby 1 sekundy. V položke **Type of source** sa ponechá voľba **Voltage**. Fázové natočenie sa zadá v položke **Pha** -60 (pretože implicitné nastavenie napät'ového 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).

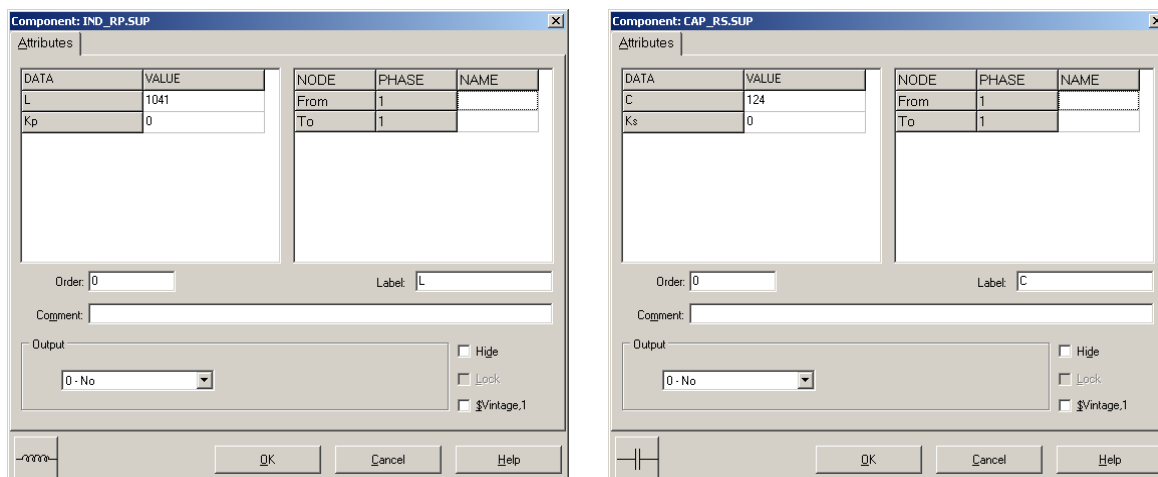
Na modeli prvku cievky bude do kolónky **L** zadaná hodnota 1041 (predvolené nastavenie je v mH (mili henry), nie v henry). Na modeli prvku kondenzátora bude do kolónky **C** zadaná hodnota 124 (predvolené nastavenie je v μF (mikro farad), nie vo faradoch) (obr.4).

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.

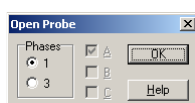


Obr. 2 Schémy zapojenia elektrického obvodu

Obr. 3 Nastavenie parametrov pre napät'ový zdroj U a rezistora R

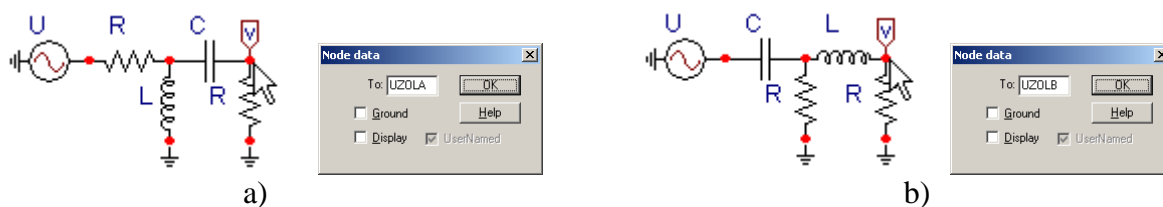


Obr. 4 Nastavenie parametrov cievky L a kondenzátora C



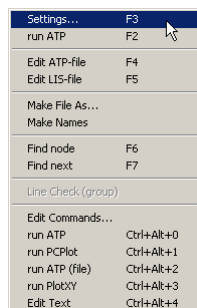
Obr. 5 Nastavenie parametrov voltmetra

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.

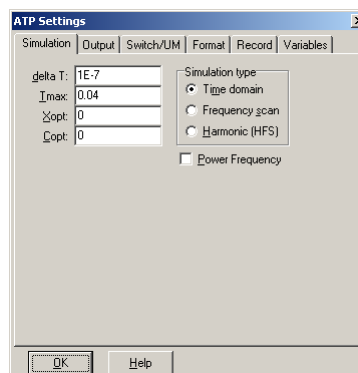


Obr. 6 Nastavenie parametrov uzlov

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} :

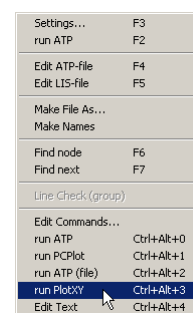
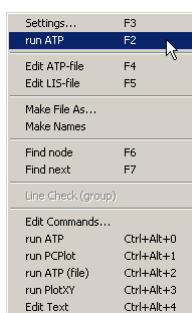
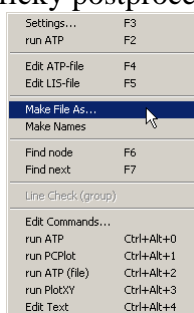
- hodnota induktora bude charakterizovaná indukčnosťou (mH), pokiaľ bude $X_{opt} = 0$,
- hodnota induktora bude charakterizovaná reaktanciou (Ω), pokiaľ bude $X_{opt} =$ sieťovej frekvencii.

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. príklad7. 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. príklad7.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).

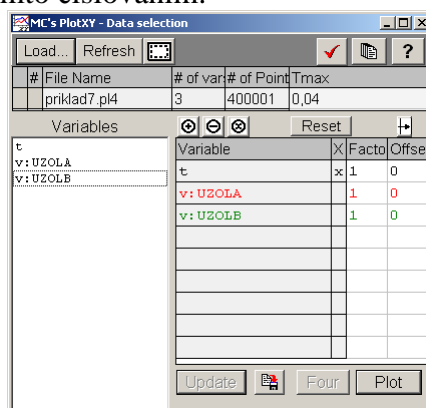


Obr. 9 ATP – Make File...

Obr. 10 ATP – Run ATP

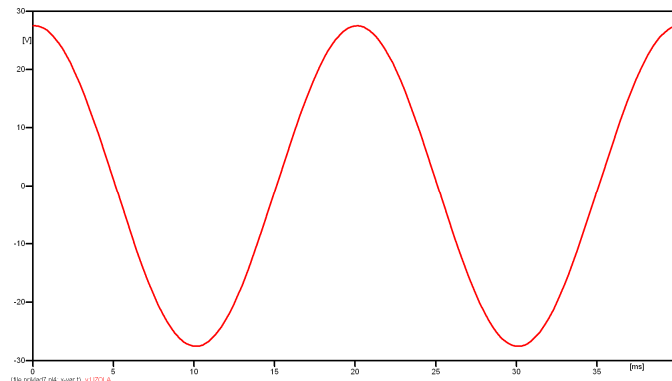
Obr. 11 ATP – run PlotXY

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.



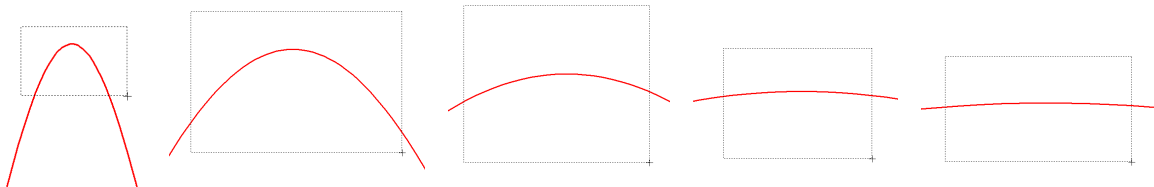
Obr. 12 Dialógové okno podprogramu PlotXY pre vykreslenie priebehov

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.

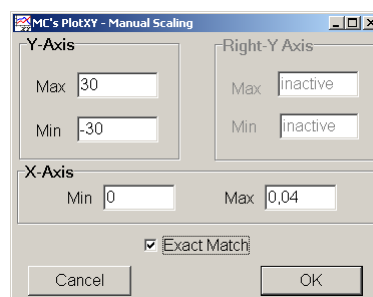


Obr. 14 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

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

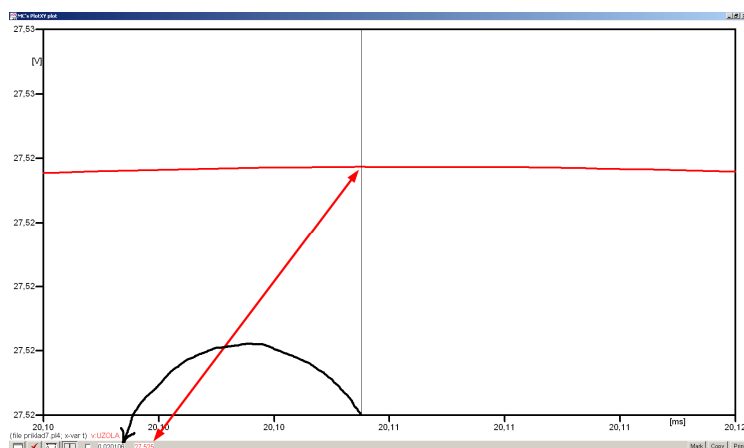


Obr. 16 Okno Manual Scaling

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

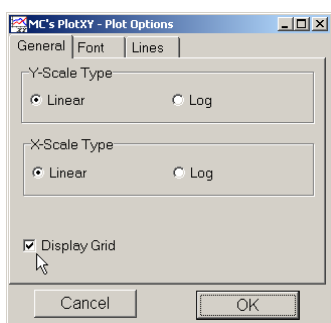
Z tohto priebehu je vidieť, že maximálna hodnota napätia je 27,525 V. Čo sa týka fázového natočenia φ , tak je možné ho vypočítať rôznymi spôsobmi.

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

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

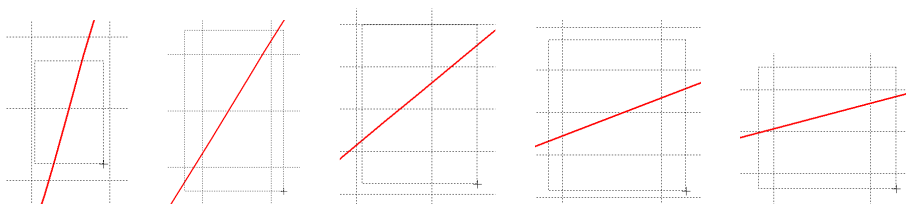
Kde φ je fázové natočenie, n je poradie periódy, t čas dosiahnutia prvého maxima sínusovky, T perióda $T = \frac{1}{f}$.

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 odškrtnú 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

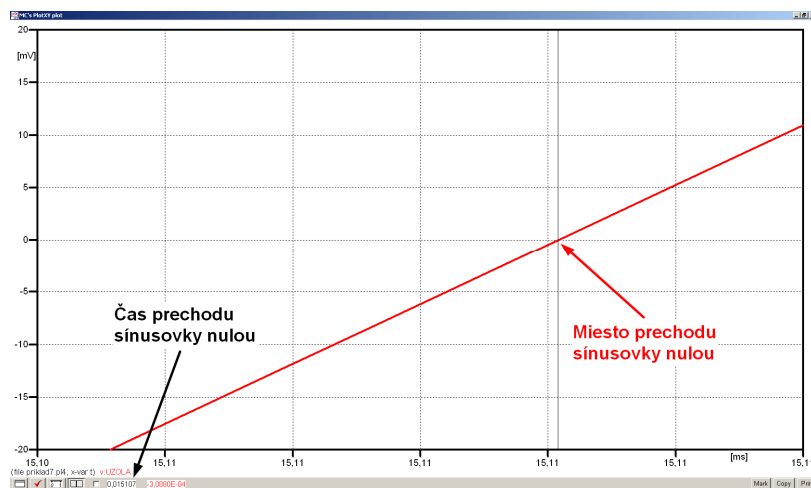
Oblasť v okolí *prechodu počiatku sínusovky nulou* dostatočne zväčšíme podobne, ako to bolo v predchádzajúcom prípade (obr. 14).



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; $t = 0,015107$ s a amplitúda – červenou farbou; $u_2 = -3,088 \cdot 10^{-4}$ V).



Obr. 21 Odčítanie času prechodu sínusovky nulou

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

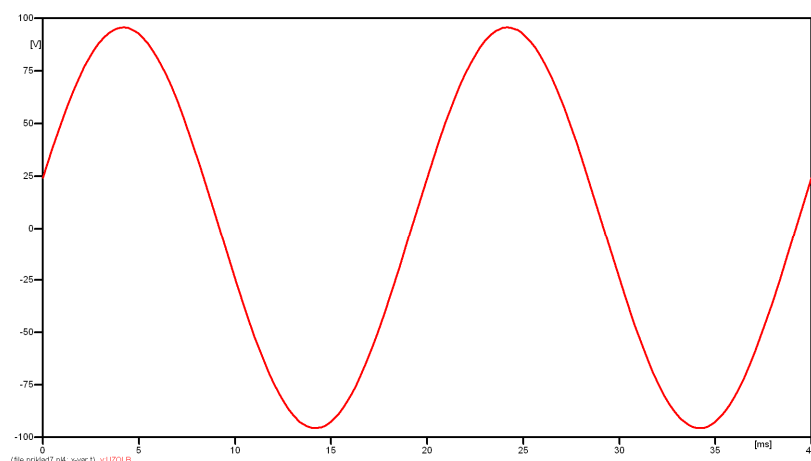
$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{0,015107}{0,02} \cdot 360^\circ = 88,07^\circ$$

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

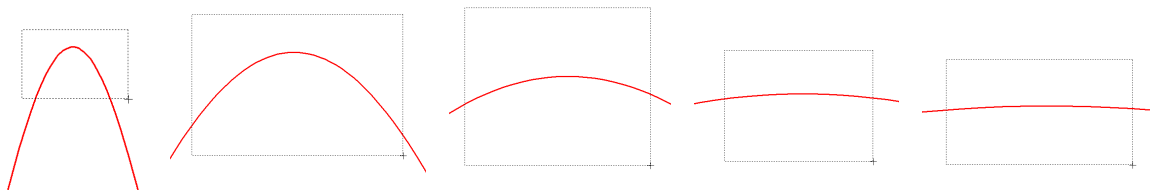
Podobne sa postupuje v prípade b).

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).

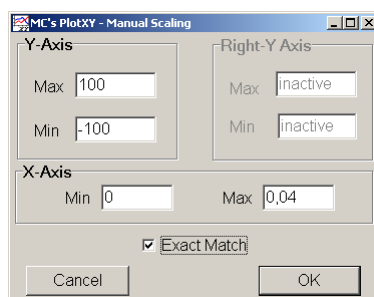


Obr. 23 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

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

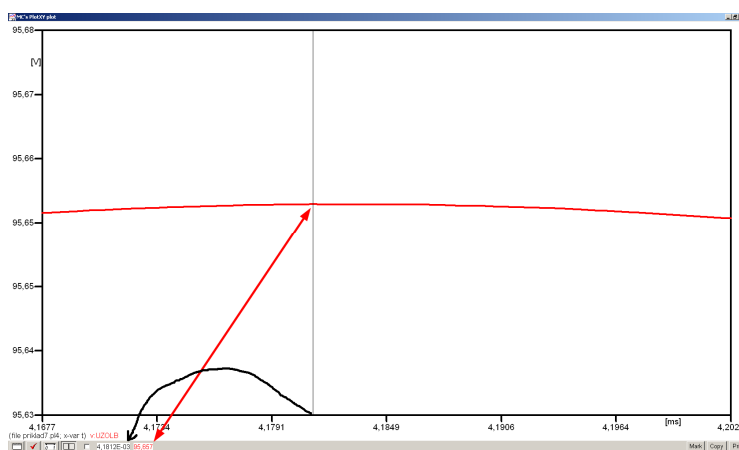


Obr. 25 Okno Manual Scaling

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

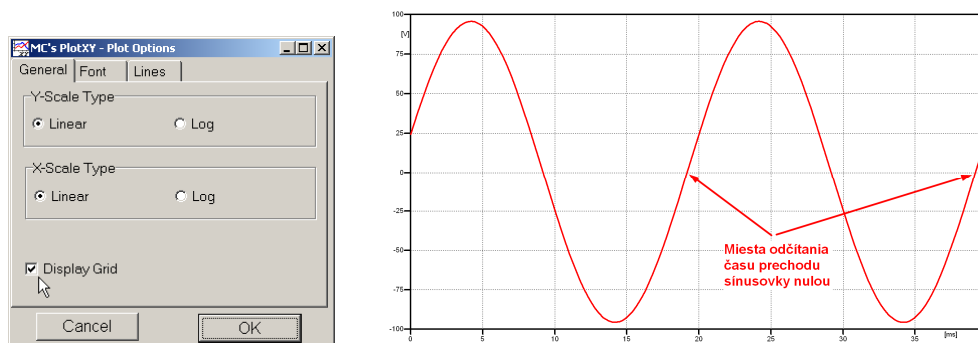
Z tohto priebehu je vidieť, že maximálna hodnota napätia je 95,657 V. Čo sa týka fázového natočenia φ , tak je možné ho vypočítať podobne ako v prípade a).

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:

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

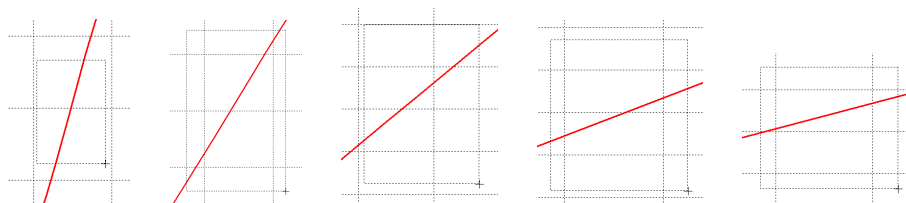
Kde φ je fázové natočenie, n je poradie periódy, t čas dosiahnutia prvého maxima sínusovky, T perióda $T = \frac{1}{f}$. Fázové natočenie je zvykom uvádzať v rozmedzí $\varphi \in \langle 0^\circ; 360^\circ \rangle$, preto bolo potrebné od uhla $374,74^\circ$ odčítať 360° .

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

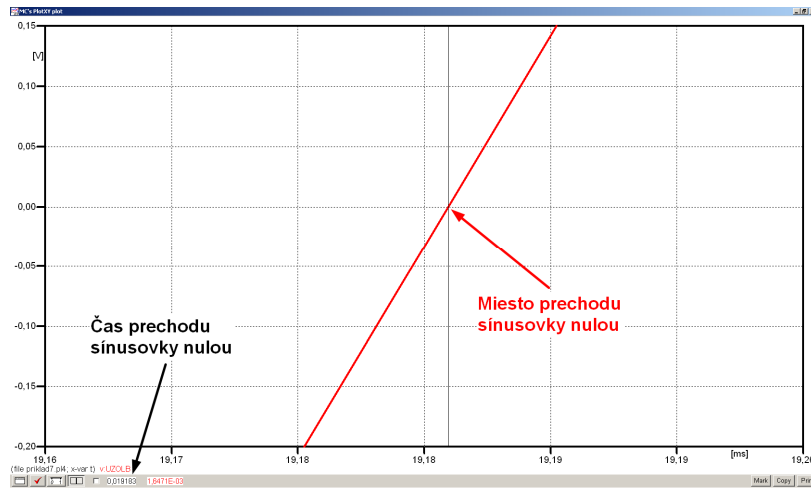
Oblasť v okolí *prechodu počiatku sínusovky nulou* dostatočne zväčšíme podobne, ako to bolo v predchádzajúcom prípade (obr. 23).



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; $t = 0,019183$ s a amplitúda – červenou farbou; $u_2 = 1,6471 \cdot 10^{-3}$ V).



Obr. 30 Odčítanie času prechodu sínusovky nulou

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

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

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.

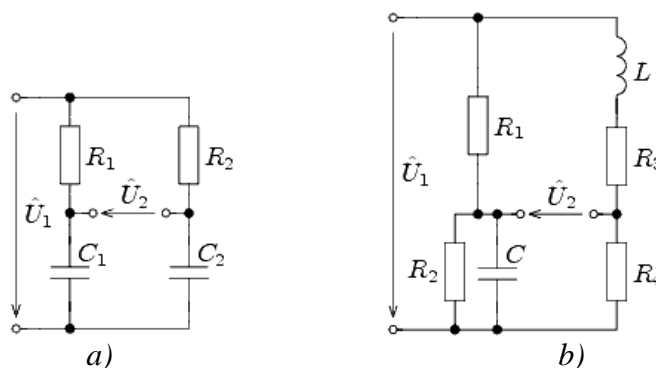
Výsledky:

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 $u_2(t) = U_{2\max} \cdot e^{j\varphi}$, 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

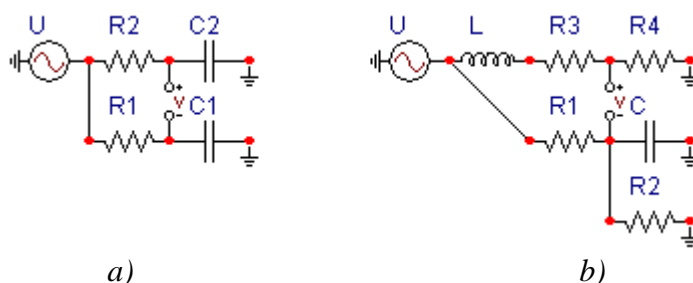
Riešenie

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

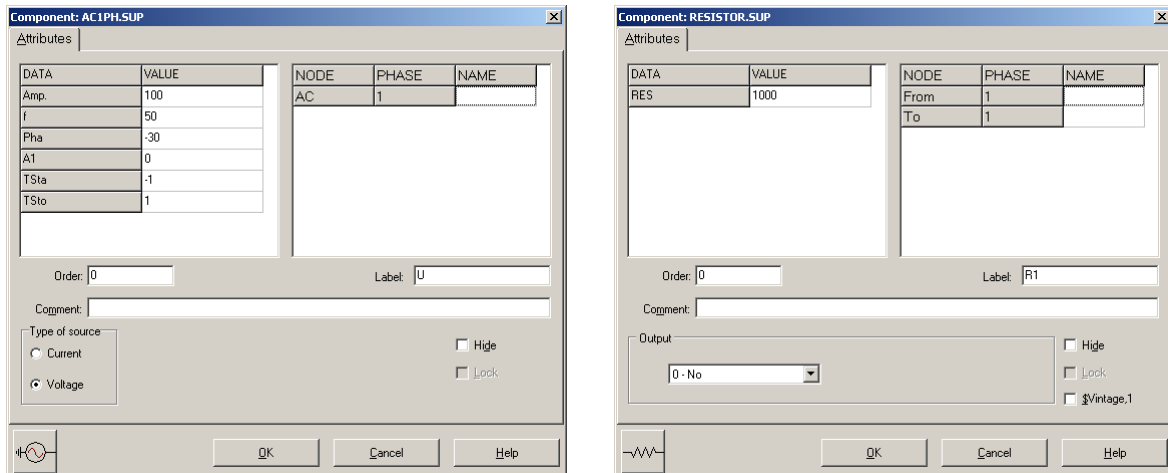
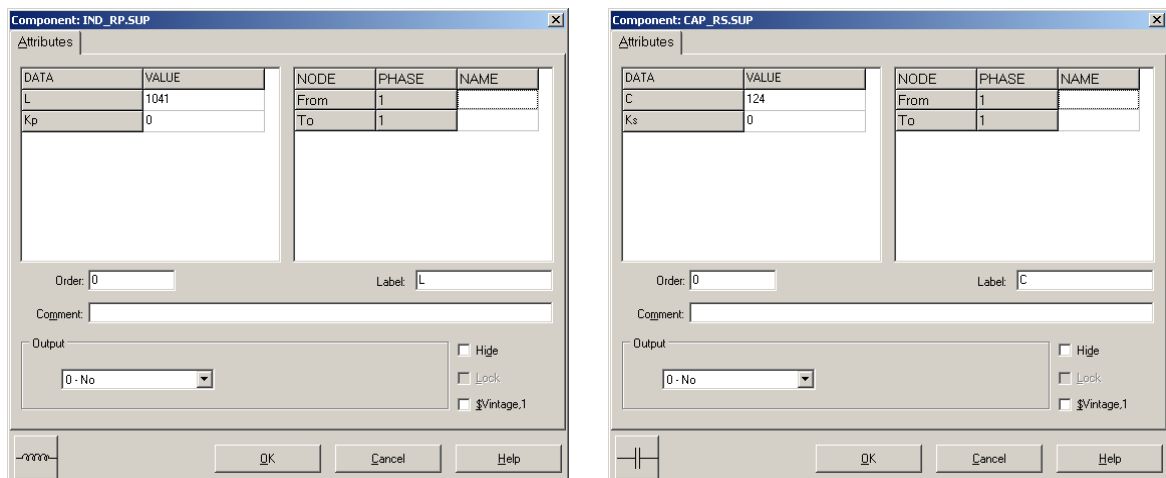
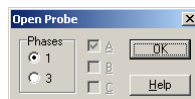
Na napät'ovom zdroji U sa nastaví maximálna hodnota napätia zdroja v položke **Amp** 100. V položke **Tsta** sa nastaví hodnota -1 a **Tsto** hodnota 1 , čo má za následok stály napät'ový zdroj počas doby 1 sekundy. V položke **Type of source** sa ponechá voľba **Voltage**. Fázové natočenie sa zadá v položke **Pha** -30 (pretože implicitné nastavenie napät'ového 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.

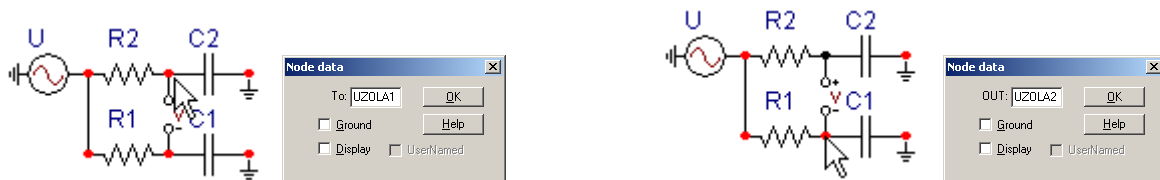


Obr. 2 Schémy zapojenia elektrického obvodu

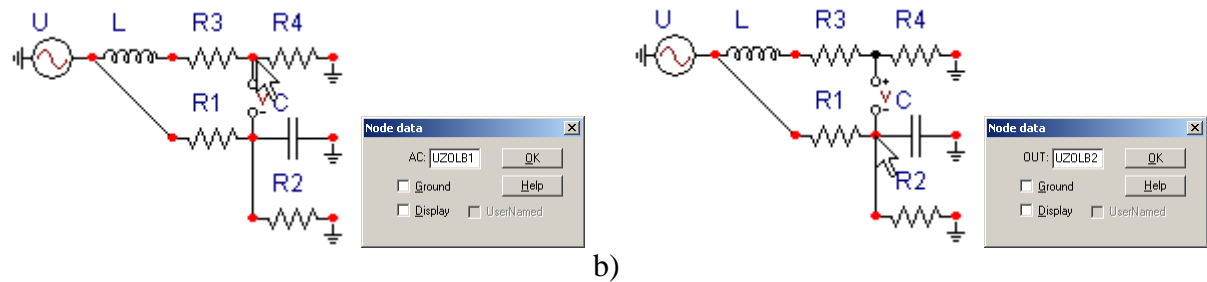
Obr. 3 Nastavenie parametrov pre napätový zdroj U a rezistora R_1 Obr. 4 Nastavenie parametrov cievky L a kondenzátora C 

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.

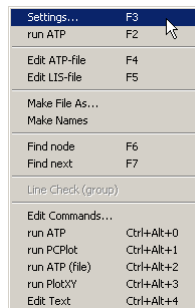


a)

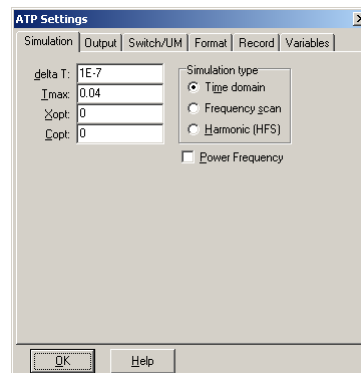


Obr. 6 Nastavenie parametrov uzlov

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

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

Pre X_{opt} :

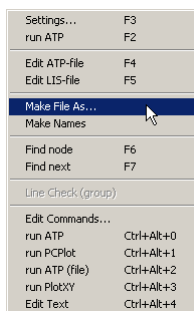
- hodnota induktora bude charakterizovaná indukčnosťou (mH), pokiaľ bude $X_{opt} = 0$,
- hodnota induktora bude charakterizovaná reaktanciou (Ω), pokiaľ bude $X_{opt} =$ sieťovej frekvencii.

Pre C_{opt} :

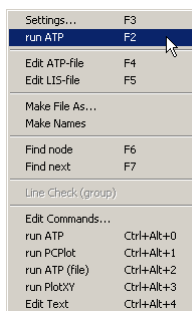
- hodnota kapacitora bude charakterizovaná kapacitou (μF), pokiaľ bude $C_{opt} = 0$,
- hodnota kapacitora bude charakterizovaná susceptanciou (μS), pokiaľ bude $C_{opt} =$ sieťovej frekvencii.

Takto vytvorená schéma sa uloží príkazom CTRL-S so zvoleným názvom, napr. 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.

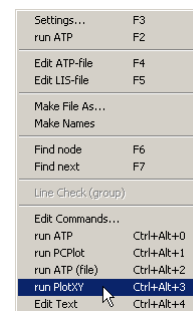
Príkazom **Make File As...** v hornom menu **ATP** sa vytvorí v podadresári ATP dátový súbor pre ATP s rovnakým názvom s príponou *.atp (t.j. príklad8.atp) (obr. 9). Príkazom **run ATP** v hornom menu **ATP** sa spustí výpočet v programe ATP, ktorého výsledkom sú súbory s príponou *.lis a *.pl4 (obr. 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...

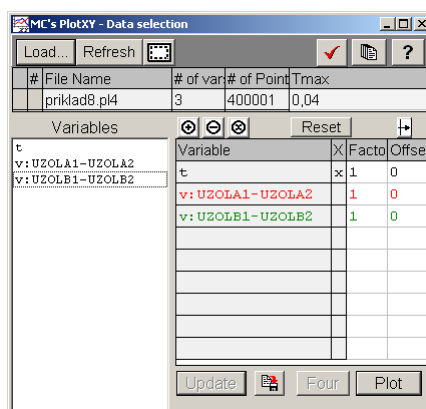


Obr. 10 ATP – Run ATP



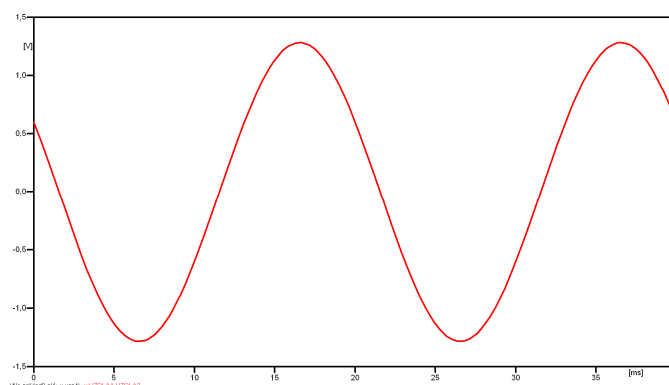
Obr. 11 ATP – run PlotXY

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.

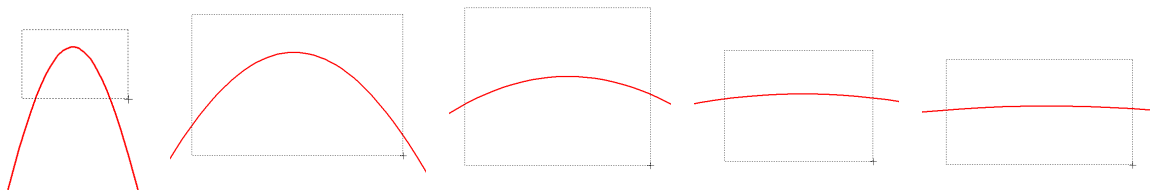


Obr. 12 Dialógové okno podprogramu PlotXY pre vykreslenie priebehov

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.

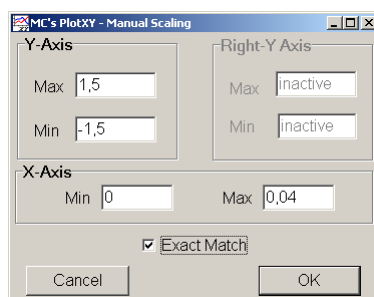


Obr. 14 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

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

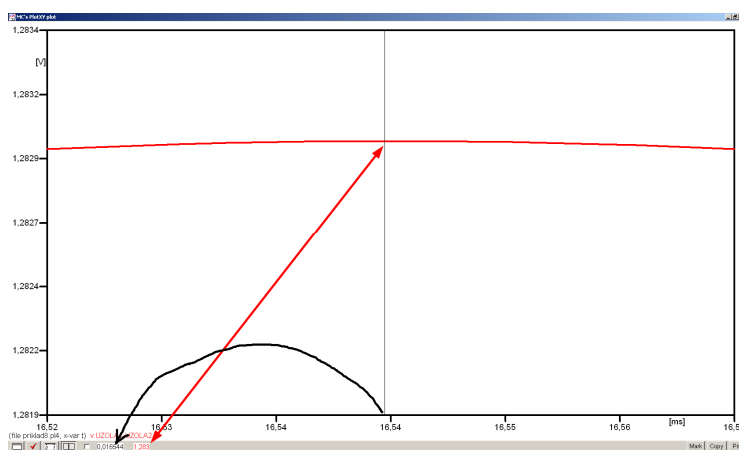


Obr. 16 Okno Manual Scaling

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

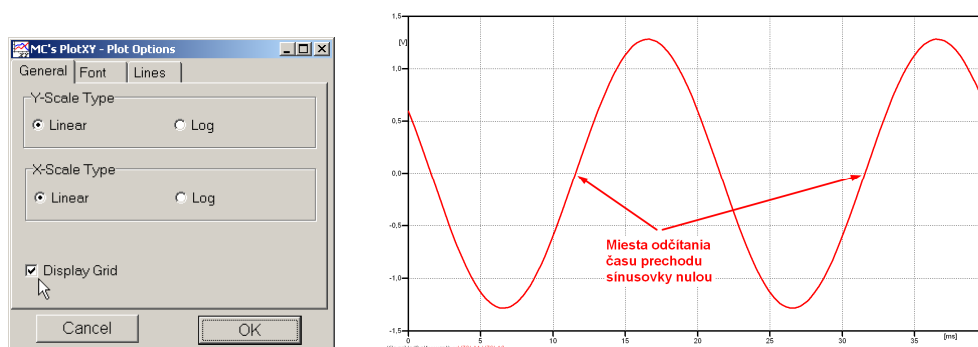
Z tohto priebehu je vidieť, že maximálna hodnota napätia je 1,283 V. Čo sa týka fázového natočenia φ , tak je možné ho vypočítať rôznymi spôsobmi.

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

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

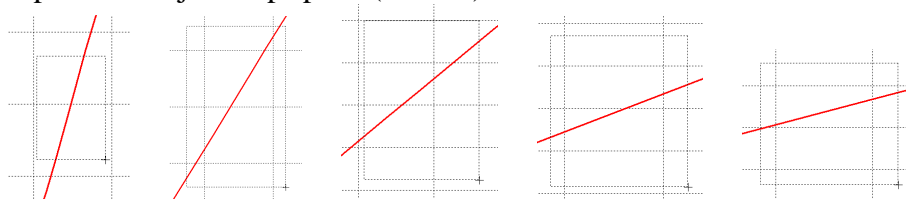
Kde φ je fázové natočenie, n je poradie periódy, t čas dosiahnutia prvého maxima sínusovky, T perióda $T = \frac{1}{f}$.

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

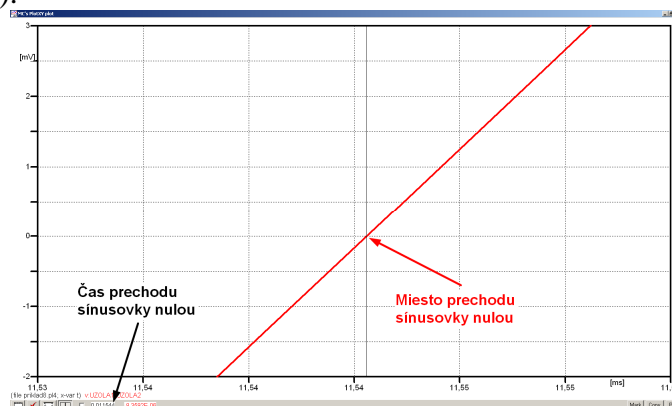
Oblasť v okolí **prechodu počiatku sínusovky nulou** dostatočne zväčšíme podobne, ako to bolo v predchádzajúcom prípade (obr. 14).



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; $t = 0,011544$ 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 vyčíslit' fázové natočenie podľa vzťahu:

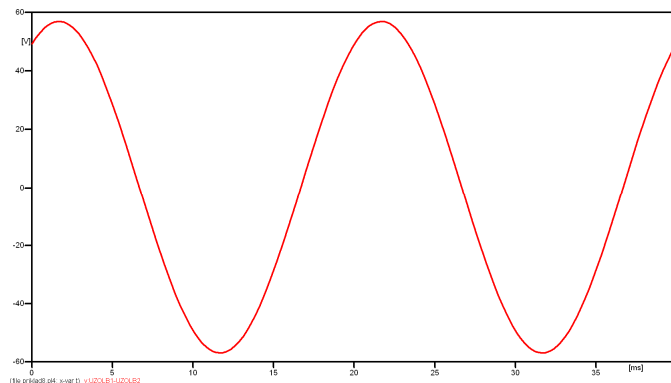
$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{0,011544}{0,02} \cdot 360^\circ = 152,21^\circ$$

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

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

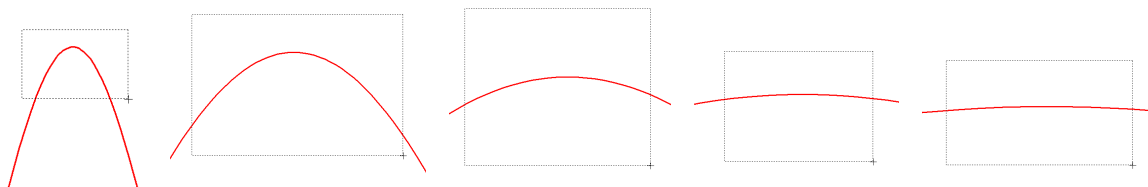
Podobne sa postupuje v prípade b).

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).

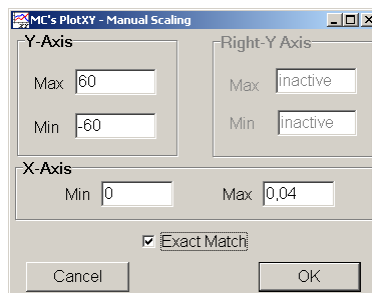


Obr. 23 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

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

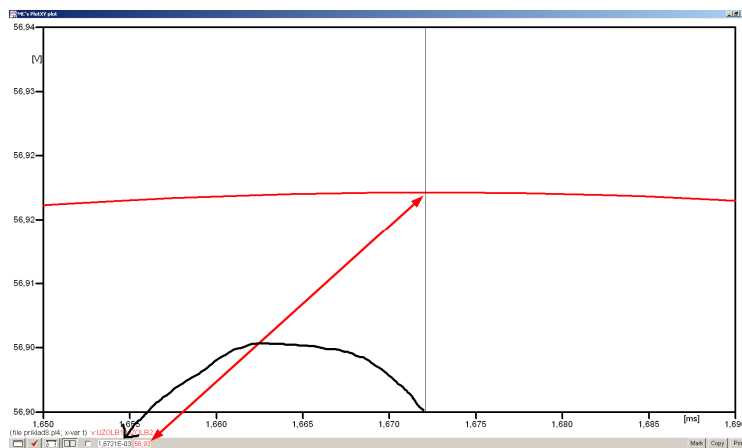


Obr. 25 Okno Manual Scaling

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

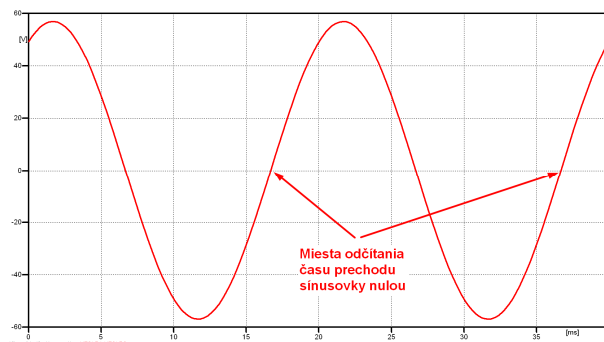
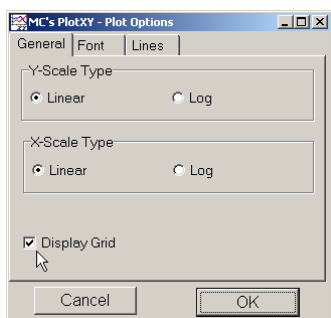
Z tohto priebehu je vidieť, že maximálna hodnota napätia je 56,92 V. Čo sa týka fázového natočenia φ , tak je možné ho vypočítať podobne ako v prípade a).

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:

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

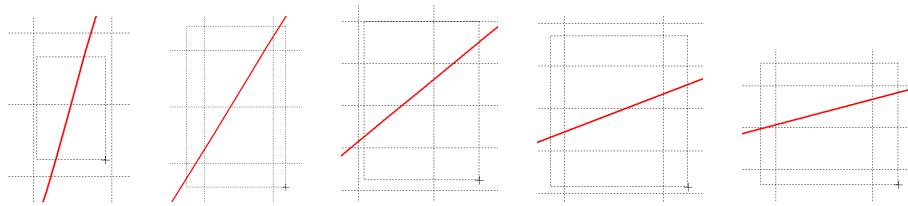
Kde φ je fázové natočenie, n je poradie periódy, t čas dosiahnutia prvého maxima sínusovky, T perióda $T = \frac{1}{f}$. Fázové natočenie je zvykom uvádzať v rozmedzí $\varphi \in (0^\circ; 360^\circ)$, preto bolo potrebné od uhla $419,9^\circ$ odčítať 360° .

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

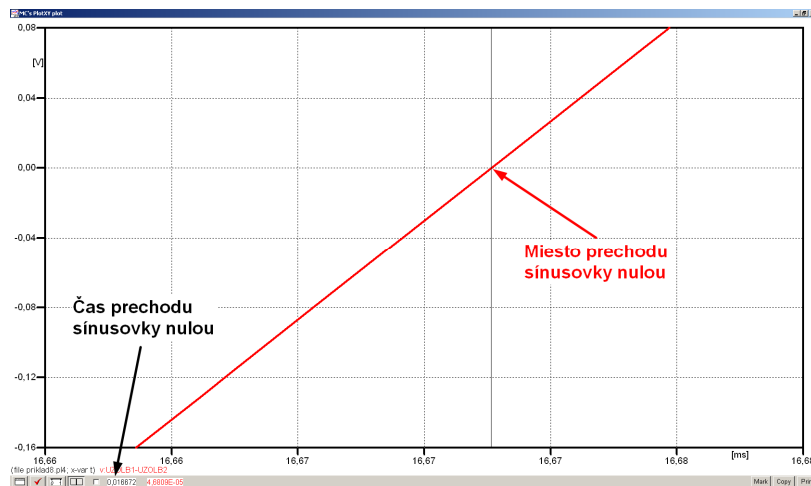
Oblasť v okolí **prechodu počiatku sínusovky nulou** dostatočne zväčšíme podobne, ako to bolo v predchádzajúcom prípade (obr. 23).



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 vyčíslieť fázové natočenie podľa vzťahu:

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

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 .

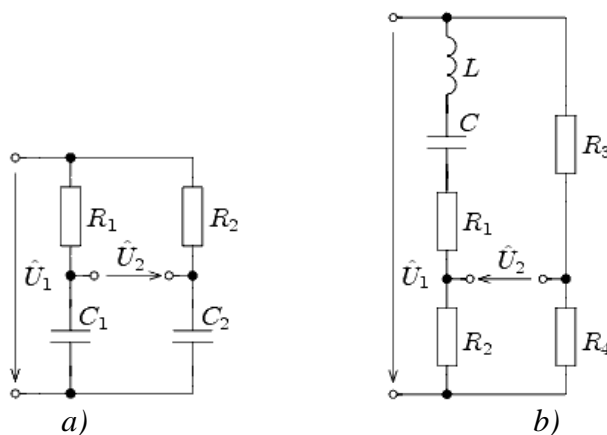
Výsledky:

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

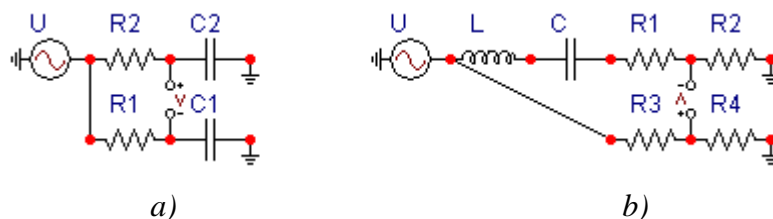
Riešenie

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

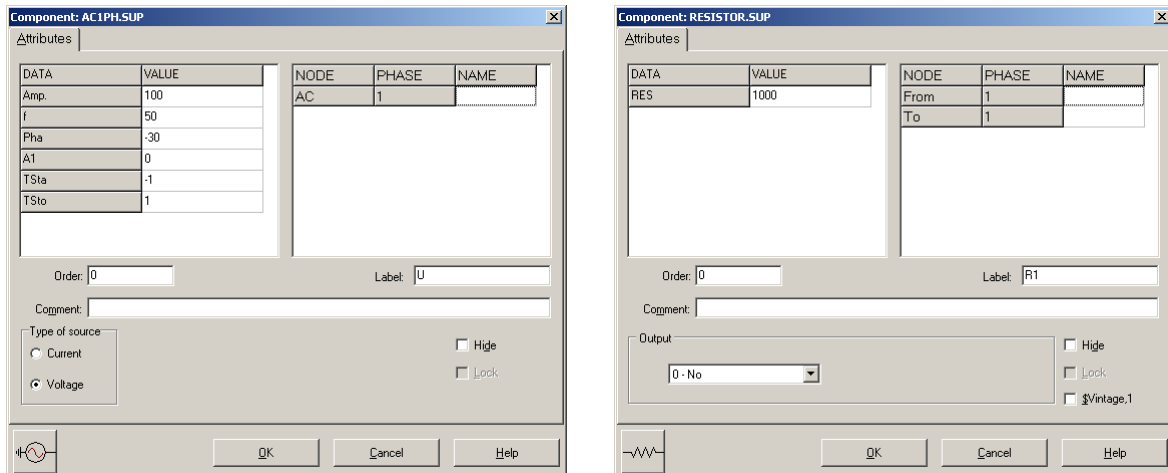
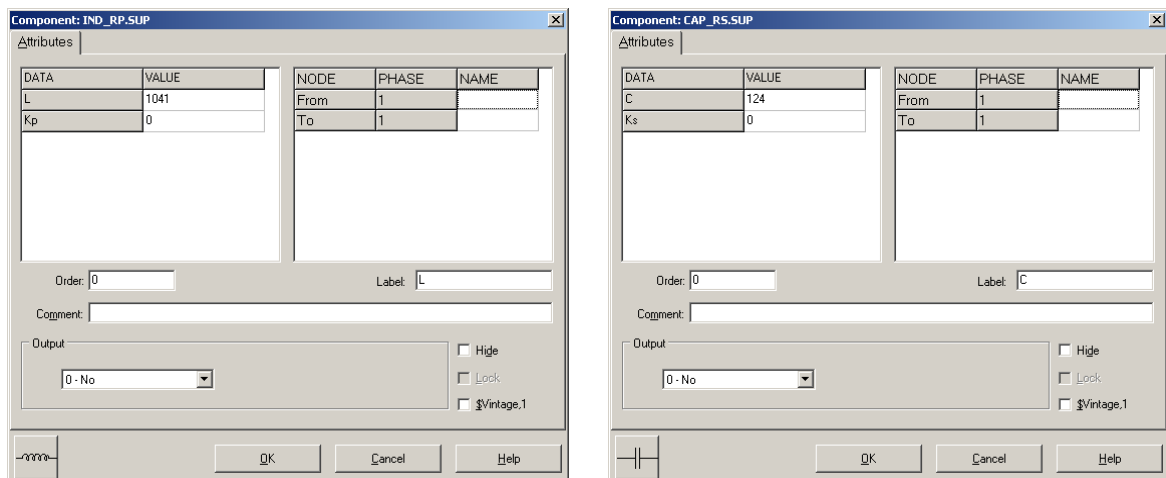
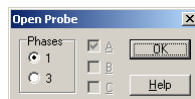
Na napät'ovom zdroji U sa nastaví maximálna hodnota napätia zdroja v položke **Amp** 100. V položke **Tsta** sa nastaví hodnota -1 a **Tsto** hodnota 1 , čo má za následok stály napät'ový zdroj počas doby 1 sekundy. V položke **Type of source** sa ponechá voľba **Voltage**. Fázové natočenie sa zadá v položke **Pha** -30 (pretože implicitné nastavenie napät'ového 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.

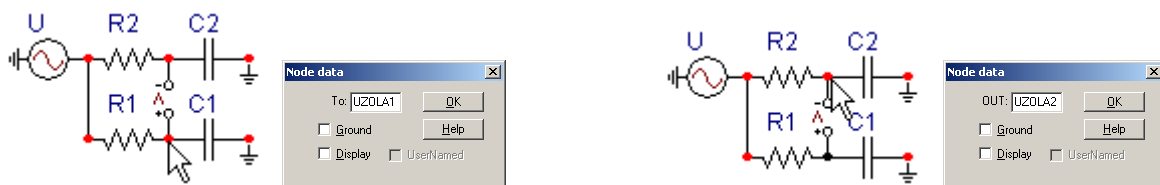


Obr. 2 Schémy zapojenia elektrického obvodu

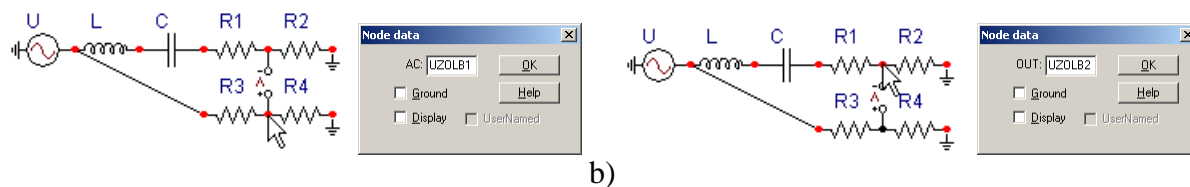
Obr. 3 Nastavenie parametrov pre napätový zdroj U a rezistora R_1 Obr. 4 Nastavenie parametrov cievky L a kondenzátora C 

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 myši 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.



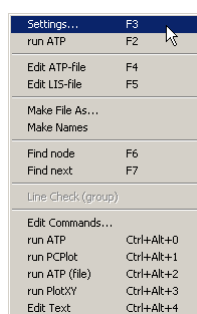
a)



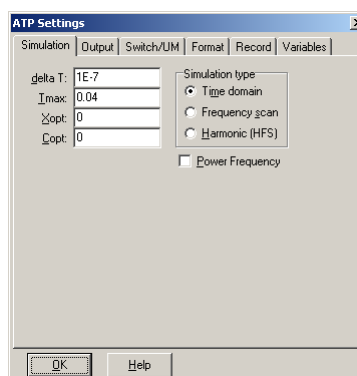
b)

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 X_{opt} a C_{opt} platí:

Pre X_{opt} :

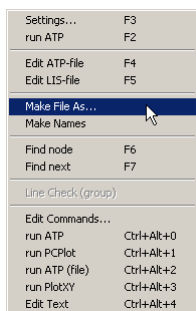
- hodnota induktora bude charakterizovaná indukčnosťou (mH), pokiaľ bude $X_{opt} = 0$,
- hodnota induktora bude charakterizovaná reaktanciou (Ω), pokiaľ bude $X_{opt} =$ sieťovej frekvencii.

Pre C_{opt} :

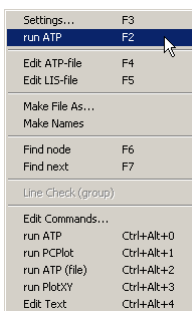
- hodnota kapacitora bude charakterizovaná kapacitou (μF), pokiaľ bude $C_{opt} = 0$,
- hodnota kapacitora bude charakterizovaná susceptanciou (μS), pokiaľ bude $C_{opt} =$ sieťovej frekvencii.

Takto vytvorená schéma sa uloží príkazom CTRL-S so zvoleným názvom, napr. priklad9. 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.

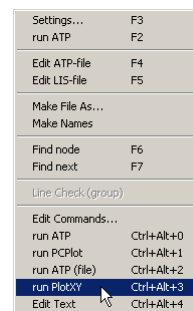
Príkazom **Make File As...** v hornom menu **ATP** sa vytvorí v podadresári ATP dátový súbor pre ATP s rovnakým názvom s príponou *.atp (t.j. priklad9.atp) (obr. 9). Príkazom **run ATP** v hornom menu **ATP** sa spustí výpočet v programe ATP, ktorého výsledkom sú súbory s príponou *.lis a *.pl4 (obr. 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...

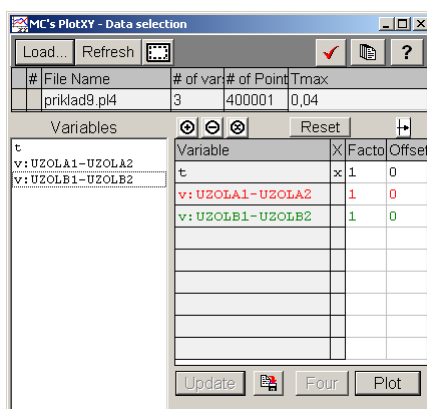


Obr. 10 ATP – Run ATP



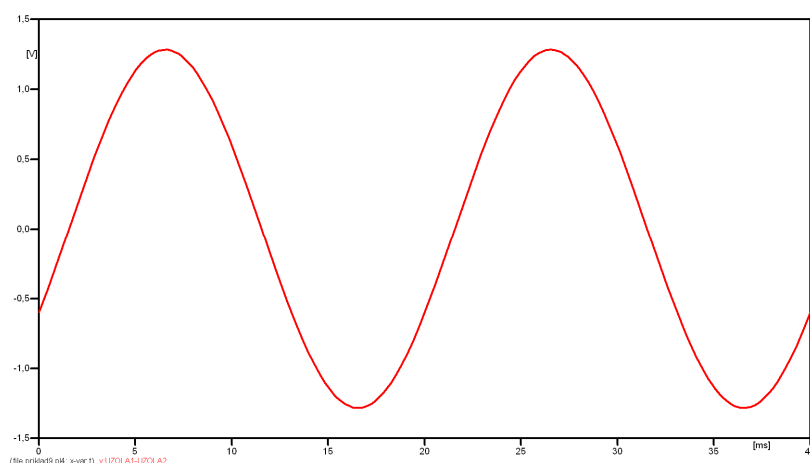
Obr. 11 ATP – run PlotXY

V grafickom postprocesore je s označením **v: UZOLA1 – UZOLA2** uvedený požadovaný priebeh napätia $u_{2,a}$ (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.

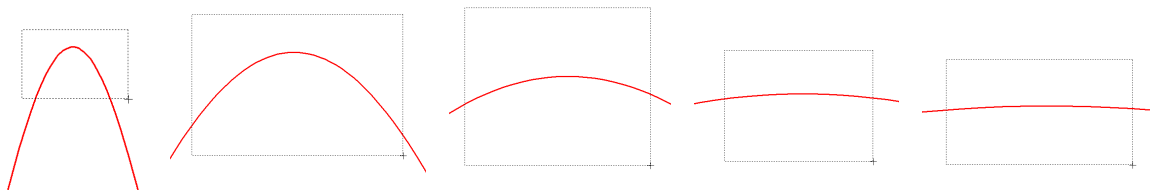


Obr. 12 Dialógové okno podprogramu PlotXY pre vykreslenie priebehov

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.

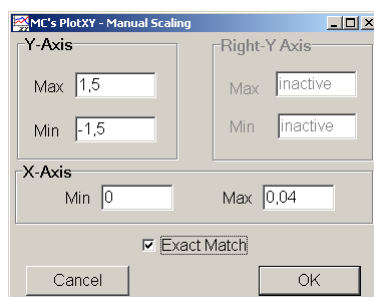


Obr. 14 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

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

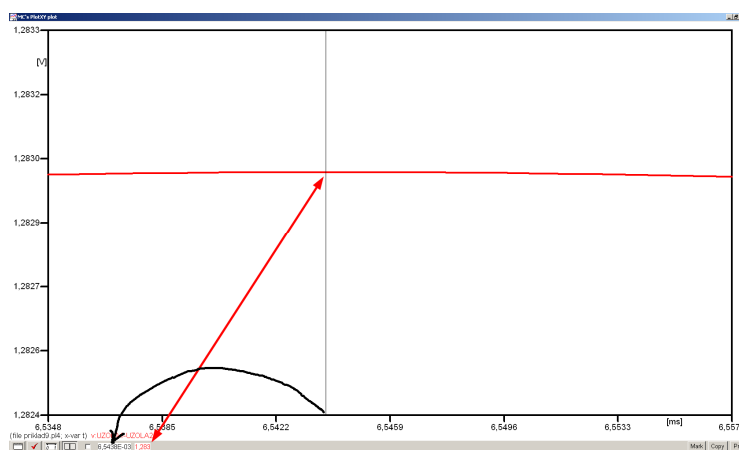


Obr. 16 Okno Manual Scaling

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

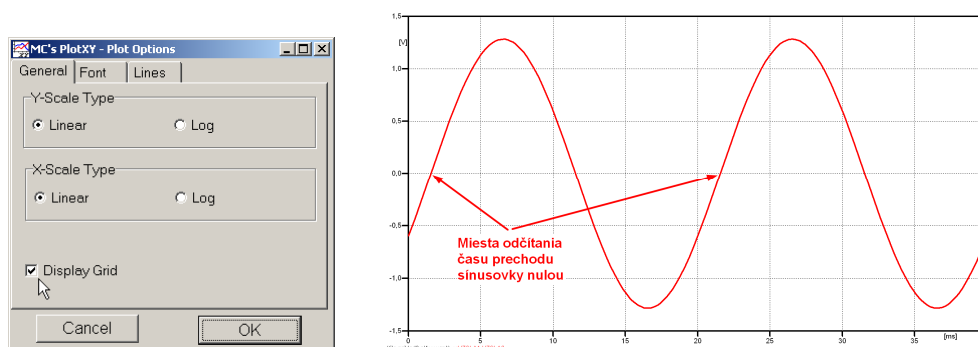
Z tohto priebehu je vidieť, že maximálna hodnota napätia je 1,283 V. Čo sa týka fázového natočenia φ , tak je možné ho vypočítať rôznymi spôsobmi.

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

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

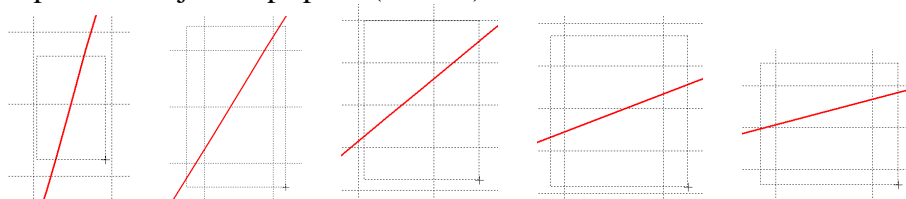
Kde φ je fázové natočenie, n je poradie periódy, t čas dosiahnutia prvého maxima sínusovky, T perióda $T = \frac{1}{f}$.

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

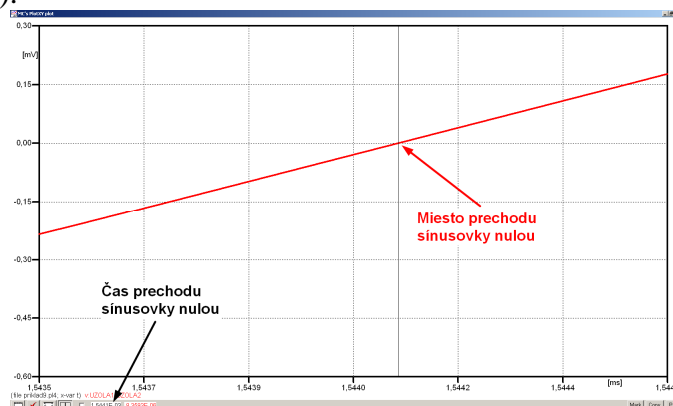
Oblasť v okolí **prechodu počiatku sínusovky nulou** dostatočne zväčšíme podobne, ako to bolo v predchádzajúcom prípade (obr. 14).



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; $t = 1,5441 \cdot 10^{-3}$ 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:

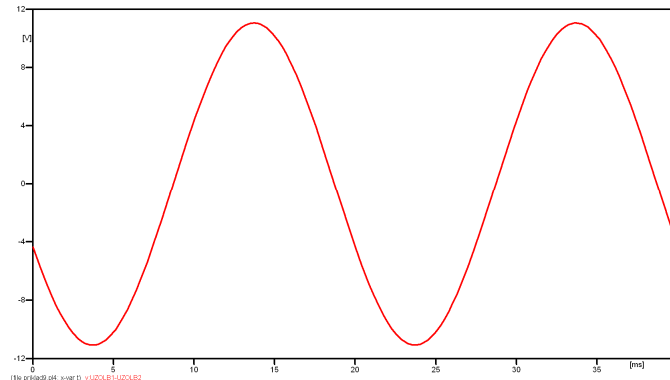
$$\varphi = 360^\circ \cdot n - \frac{t}{T} \cdot 360^\circ = 360^\circ \cdot 1 - \frac{1,5441 \cdot 10^{-3}}{0,02} \cdot 360^\circ = 332,21^\circ$$

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

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

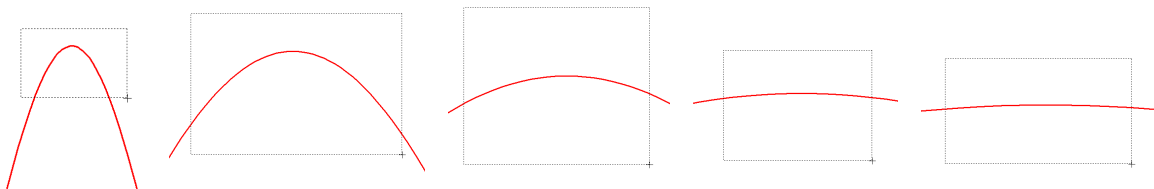
Podobne sa postupuje v prípade b).

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).

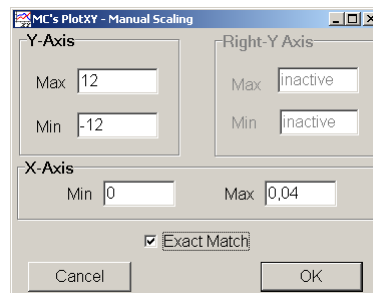


Obr. 23 Postupné vyznačenie oblastí kurzorom myšky pre zväčšenie

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

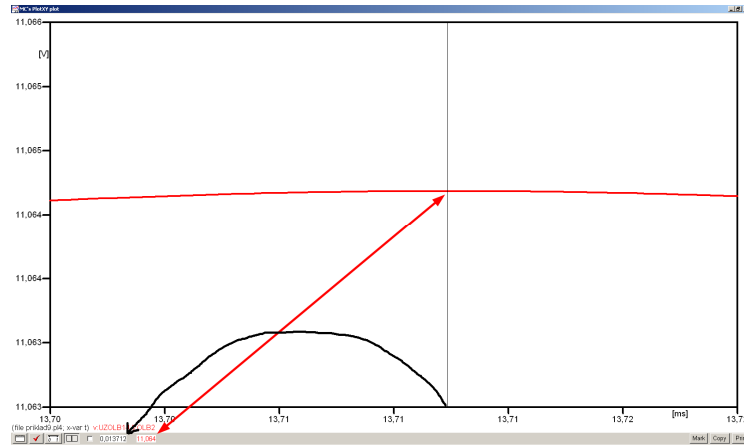


Obr. 25 Okno Manual Scaling

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

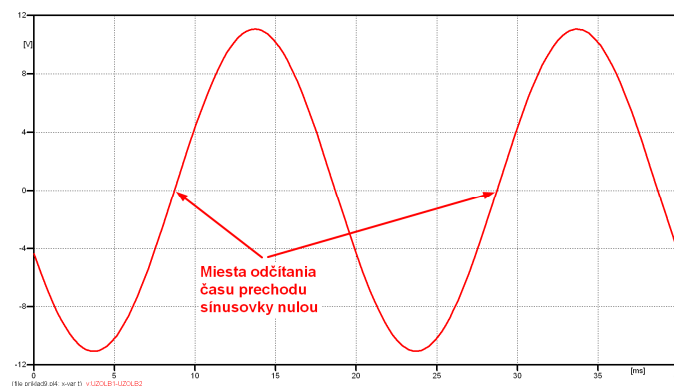
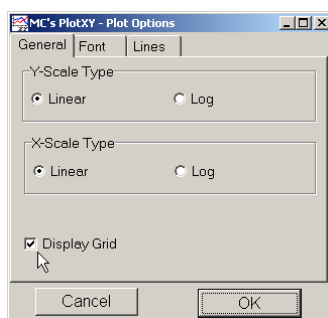
Z tohto priebehu je vidieť, že maximálna hodnota napätia je 11,064 V. Čo sa týka fázového natočenia φ , tak je možné ho vypočítať podobne ako v prípade a).

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

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

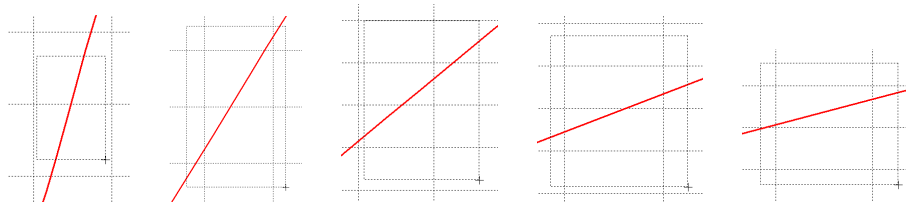
Kde φ je fázové natočenie, n je poradie periódy, t čas dosiahnutia prvého maxima sínusovky, T perióda $T = \frac{1}{f}$.

Ďalšou z metód určenia fázového natočenia φ , je z času **priesečníka 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

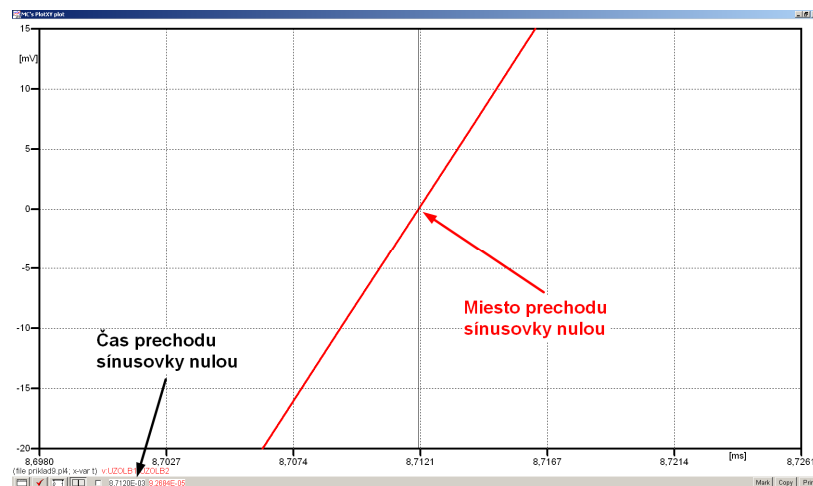
Oblasť v okolí **prechodu počiatku sínusovky nulou** dostatočne zväčšíme podobne, ako to bolo v predchádzajúcom prípade (obr. 23).



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; $t = 8,712 \cdot 10^{-3}$ 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: $u_{2,b)} = 11,064 \cdot e^{j203,2^\circ}$ V .

Výsledky:

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

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