# ATP EMTP

*Miroslav Šafařík*
*Doc. Ing. Karel Noháč Ph.D.*

# ATP EMTP

- Práce s programem ATP spočívá, zjednodušeně řečeno, v nakreslení elektrického schématu pro sledovaný přechodný děj v ATPDraw a zadání příslušných hodnot v jednotlivých modelech prvků obvodu. Nato je vygenerován datový soubor a spuštěno řešení v jazyku Fortran. Vypočtené hodnoty je pak možno prohlížet některým z grafických postprocesorů.

# EMTP (ElektroMagnetic Transients Program)

- Historie - vyvinut v USA Bonneville Power administration (BPA), úřadu U.S. Department of Energy
- V městě Portland, státě Oregon
- 80. letech ho upravil Dr. W. S. Meyer a označil ATP (Alternative Transients Program)
- Použití EMTP – ATP: Elektrotechnický průmyslu používán pro simulaci přechodných elektromagnetických dějů.
- Program je napsán v jazyku Fortran
- Práci s ním dělá uživatelsky přístupnou grafický preprocesor ATPDraw.
- Pro grafické znázornění vypočtených průběhů existuje řada postprocesorů jako PlotXY, PCPlot, TPPlot, aj.
- O vývoj a koordinace distribuce programu v Evropě se stará organizace s názvem EEUG (European EMTP User Group e.V.), která byla založena v roce 1994.

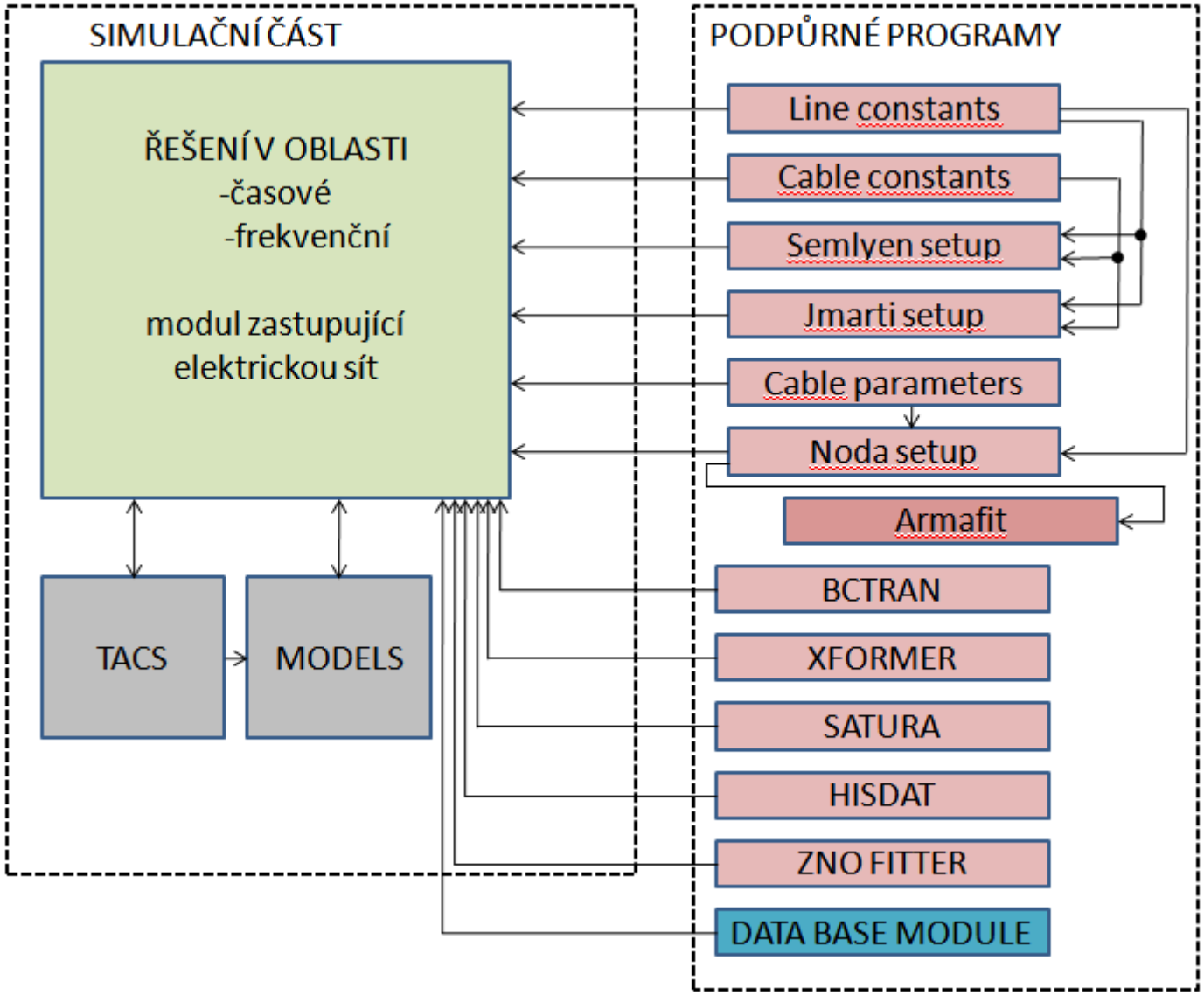
# Struktura EMTP – ATP

- *Vestavěné komponenty* - modely reálných prvků - nahrazují reálně existující prvky, např. vedení, transformátory, točivé stroje, polovodičové prvky.

- *Integrované simulační moduly* - provádějí simulaci modelovaných obvodů a to buď v časové či ve frekvenční oblasti (MODELS, TACS).

- *Integrované podpůrné programy* - napomáhají řešení přechodných dějů, využívají se například k vypočtení parametrů náhradních modelů reálných prvků, např. dlouhé vedení a jeho transformace na π článek.

# Struktura EMTP – ATP-včetně podpůrných programů



# Vestavěné komponenty - modely reálných prvků

Program EMTP – ATP obsahuje celou řadu modelů reálných elektrických prvků, které jsou rozděleny do několika skupin:

- **Lineární větve** – rezistor, kapacitor, induktor, obvod RLC, třífázové RLC do hvězdy, třífázové RLC do trojúhelníka atd.
- **Nelineární větve** – závislé rezistory, induktory, kapacitory atd.
- **Vedení se soustředěným parametry**
- **Vedení s rozprostřenými parametry**
- **Spínače** – systémové a statistické, dioda, tyristor, triak, závislé spínače atd.
- **Zdroje** – stejnosměrné ideální, střídavé ideální, generátory skoků atd.
- **Točivé stroje** – synchronní stroj, asynchronní motor, stejnosměrný motor atd.
- **Transformátory** – ideální, reálný (vliv sycení)
- **Uživatelem definované komponenty**

# Integrované simulační moduly

- **MODELS**– je to obecně srozumitelný jazyk, podporovaný celou řadou simulačních nástrojů ke zkoumání časově proměnných systémů.

- **TACS**–jedná se o simulační modul pro časově orientovanou analýzu systémů řízení, může být použit k simulaci: řízení měničů kmitočtu, řízení buzení synchronních strojů, výkonové elektroniky a pohonů, elektrických oblouků.

# Integrované podpůrné programy

- **LINE CONSTANTS** – slouží k výpočtu parametrů venkovního vedení ve frekvenční oblasti. Vypočítává např. impedanci na jednotku délky, kapacitní matici, parametry modelu CPDL (constant parameters distibuted line)

- **CABLE CONSTANTS / CABLE PARAMETERS** –slouží k výpočtu elektrických parametrů silových kabelů. CABLE PARAMETERS umožňuje navíc např. manipulaci s vodiči v libovolném směru.

- **JMARTI SETUP** –vytváří modely vyšších řádů frekvenčně závislých vedení a kabelů.

- **BCTRAN** - je integrovaný podpůrný program EMTP – ATP, který je užíván k derivaci lineární či maticové reprezentace jedno či třífázových transformátorů, který zohledňuje hodnoty vyšlé z měření naprázdno a nakrátko.

- **XFORMER** – používá se k derivaci lineárního nahrazení jednofázových, dvou a třífázových vinutí na způsob RL spřažených větví.

# Omezení ATP

Maximální počty jednotlivých prvků:

**Tab. Základní tabulkové rozměry**

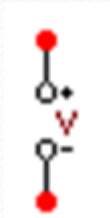
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Sběrnice** | 3000 | **Přepínače** | 1200 | Nelineární prvky | 460 |
| **Větve** | 3000 | **Zdroje** | 340 | Synchronní stroje | 45 |

Program využívá na řešení diferenciálních rovnic v časové oblasti lichoběžníkové integrační pravidlo. Nenulové podmínky mohou být určeny automaticky z ustáleného stavu, fázoru řešení nebo mohou být zadány uživatelem pro jednodušší komponenty.

# Charakteristika obvodových prvků

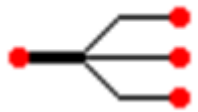
- **Sondy (Probes & 3-phase)** – Probe Volt-Napěťová sonda v daném uzlu určuje napětí proti zemi. V dialogovém okně se nastaví použití v jednofázovém nebo třífázovém obvodě (u třífázového se označí, která fáze bude měřena).

- **Probe Branch volt** - Napěťová sonda měří napětí větve mezi dvěma uzly. Nastavení je totožné s předchozím.




- **Probe Curr** - Proudová sonda.

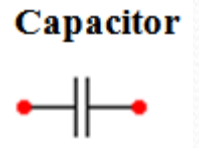
- **Splitter** - Tento prvek umožňuje sloučit tři vodiče trojfázové soustavy v jeden třífázový a naopak.



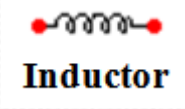
# Lineární větve (Branch Linear)

- **Resistor** - Hodnota odporu **R** je v dialogovém okně nastavení **(Attributes)** zadána v ohmech.
  - Označení uzlů je informační a nezadává se, podobné je to u dalších prvků:
  - **From** = počáteční uzel rezistoru
  - **To** = konečný uzel rezistoru

- **Capacitor -** Hodnota kapacitoru **C** je zadána v µF




- **Inductor** - Hodnota induktoru **L** se zadává v mH



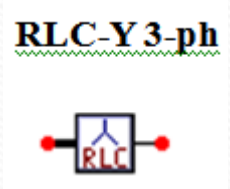

  - **RLC -** Prvky *R*,*L*,*C* zapojené v sérii. Nastavení sériového *RLC* obvodu je stejné jako pro každý jednotlivý prvek.

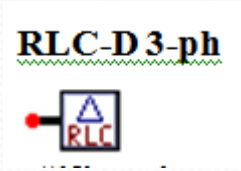
# TŘÍFÁZOVÉ VĚTVE

- **Pro kreslení třífázových větví se od verze 2 používá v ATPDraw jednopólové schéma. Uzly při automatickém generování označení mají jako poslední znak písmena A, B, a C pro jednotlivé fáze.**

- **RLC 3-ph** - Jedná se o třífázové provedení předchozího sériového RLC obvodu. Nastavení parametrů je stejné jako u předchozího typu, parametry jsou zadány pro každou fázi.

- **RLC-Y 3-ph** - Tak jako v předchozím případě se jedná o třífázové provedení RLC obvodu, nyní však v zapojení do hvězdy.



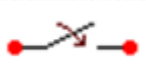




- **RLC-D 3-ph** - Třífázový RLC obvod v zapojení do trojúhelníku.

# Spínače (Switches)

- Program ATPDraw disponuje širokou škálou spínačů, od časově řízených až po inteligentně řízené.

- **Switch time controlled -** Časově řízený spínač. V dialogovém okně nastavení se určí okamžik rozepnutí spínače **T-op (s)**, okamžik sepnutí **T-cl (s)** a hranici proudu **Imar (A)** (spínač se otevře v okamžiku *t* > Top, jestliže je zároveň absolutní hodnota proudu menší než Imar).



- **Switch time 3-ph** - Časově řízený spínač v třífázovém provedení. Je možno nastavit podmínky spínání všech tří fází zvlášť.

- **Switch voltage contr.**- Napěťově řízený spínač. Nastavení hodnot **T-op** a **Imar** je stejné jako u časově řízeného. Hodnota **T-de** určuje minimální čas, kdy musí zůstat spínač sepnutý. **V-fl** je hodnota napětí, při jehož překročení dojde k uzavření spínače, jestliže současně platí, že *t* > T-cl.

# Zdroje (Sources)

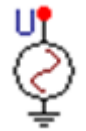
Pomocí **Type of source** je vybrán nepěťový nebo proudový zdroj:

- Current ... proudový
- Voltage ... napěťový

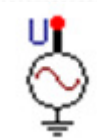
- Dále je třeba zadat amplitudu daného zdroje pomocí **Amp** ve voltech resp. ampérech. Mezi další parametry, které jsou společné pro většinu zdrojů, patří nastavení startovacího času zdroje **Tsta** a čas, kdy zdroj ukončí svoji činnost **Tsto**. Dané časy jsou zadány v sekundách.

- Pokud se jedná o střídavý zdroj, přibude k výše zmíněným parametrům nastavení frekvence zdroje **f** (Hz), dále fázový posuv zdroje **pha** ve stupních nebo sekundách. Jednotka, ve které bude posuv zadán, je určena parametrem **A1.** Pomocí všech dříve zmíněných parametrů jsou definovány střídavé zdroje AC type 14.

- **DC type 11** - Jednofázový uzemněný stejnosměrný zdroj.




- **AC type 14** - Jednofázový uzemněný střídavý zdroj (kosinusový průběh).




- **AC 3-ph. type 14** - Třífázový uzemněný střídavý zdroj, každá fáze se zadává samostatně.

# Modely vedení (Line Lumped)

- Modely vedení se soustředěnými parametry. Vedení se soustředěnými parametry je charakterizováno těmito obvodovými prvky:
  - - činný odpor *R* závislý na parametru vodiče (geometrické rozměry).
  - - indukčnost *L* charakterizuje uspořádání vodičů.
  - - kapacita *C* je dána vlastností prostředí mezi vodiči.
  - - svodová vodivost *G* je závislá na kvalitě izolace.

- **RLC Pi-equiv. 1 -** je pi článek v různých podobách a vzájemně se liší i jejich schémata. Parametry článku *L*, *R*, *C* se zadávají obdobně jako u lineárního prvku RLC.

- **RL Coupled 51 -** RL obvody se vzájemnou vazbou v různých podobách a vzájemně se liší i jejich schémata.

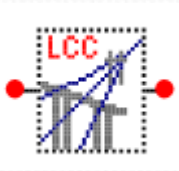
# Modely vedení (Line Distributed)

- Modely vedení s rozprostřenými parametry. Jsou to obvody, kde je magnetické a elektrické pole rozloženo rovnoměrně nebo nerovnoměrně podél všech úseků obvodu. Napětí a proudy jsou pak ještě funkcí prostorových souřadnic. Základní význam má analýza jevů v dlouhých vedeních. Jsou uvažovány parametry rozložené spojitě po celé délce vedení a jsou charakterizovány hodnotami vztaženými na jednotku délky.

- **Transp. lines (Clarke) -** Modely transponovaného 1, 2, 3, 6, 9fázového vedení. Model 6fázového vedení je i se vzájemnou vazbou.

- **Untransp. lines (KCLee) -** Model vedení KCLee 2 nebo 3fázového.

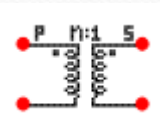
- **Line/Cable -** Modely vedení a kabelů (Pi, J.Marti, Bergeron…). Pomocí této procedury je možno vygenerovat požadovaný typ vedení/kabelu postupným zadáváním jednotlivých parametrů. Parametry vedení se vpisují do tabulek požadovaných hodnot v prostředí ATPDraw.



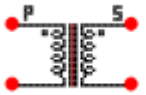
# Transformátory

- Programem ATP se dají modelovat různé druhy transformátorů.
- ATPDraw disponuje modelem :
  - Ideálního 1 fázového,
  - modelem 1fázového a 3fázového transformátoru s respektováním saturace
  - 3fázového transformátoru v zapojení Y-Y.
  - Saturable Transformer, kde je nutno zadat přímo obvodové parametry transformátoru
  - BCTRAN, která je obdobou procedur u vedení a obvodové parametry transformátoru opět určí program ATP po uzavření dialogového okna, ve kterém se vyplňují základní štítkové údaje transformátoru.
  - Hybridní model označený XFRM je dále vyvíjen.

- **Ideal 1 phase -** Model ideálního jednofázového transformátoru, kde převod *p* transformátoru se určí nastavením **n**.



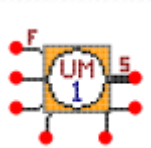

- **Saturable 1 phase -** Model jednofázového transformátoru s uvažováním saturace. V dialogovém okně se nastaví jednotlivé parametry. Magnetizační charakteristika transformátoru se zadává pomocí položky **Charakteristic**, jako závislost magnetického toku (resp. magnetické indukce ) na proudu, přibližně deseti body této charakteristiky v širším rozsahu hodnot.



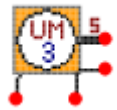
# Elektrické stroje (Machines)

- **SM59 -** Model synchronního stroje s možností řízení pomocí TACS.

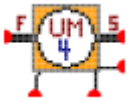
- **UM1 Synchronous -** Model synchronního stroje.



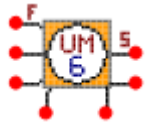

- **UM3 Induction -** Model třífázového asynchronního stroje s kotvou nakrátko.



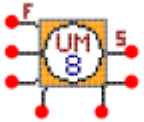

- **UM4 Indiction** - Model třífázového asynchronního stroje s kroužkovou kotvou.




- **UM6 Single phase** - Model jednofázového stroj



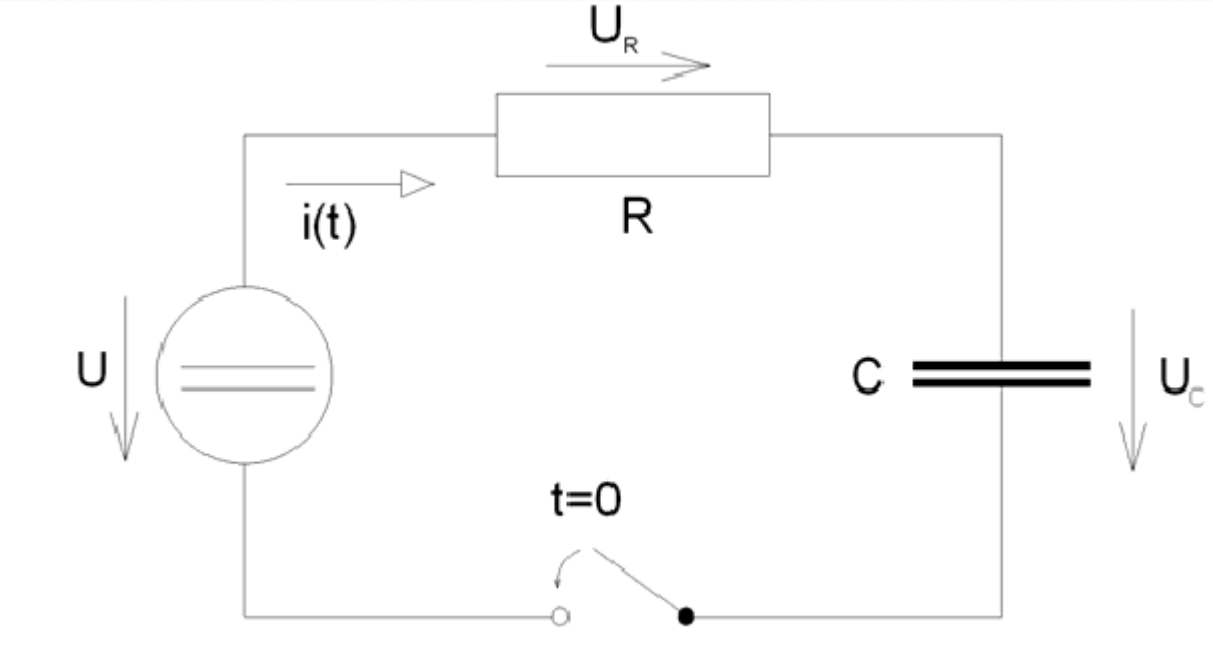

- **UM8 DC** - Model stejnosměrného stroje.



# Seznámení s ATP - simulace RC obvodu

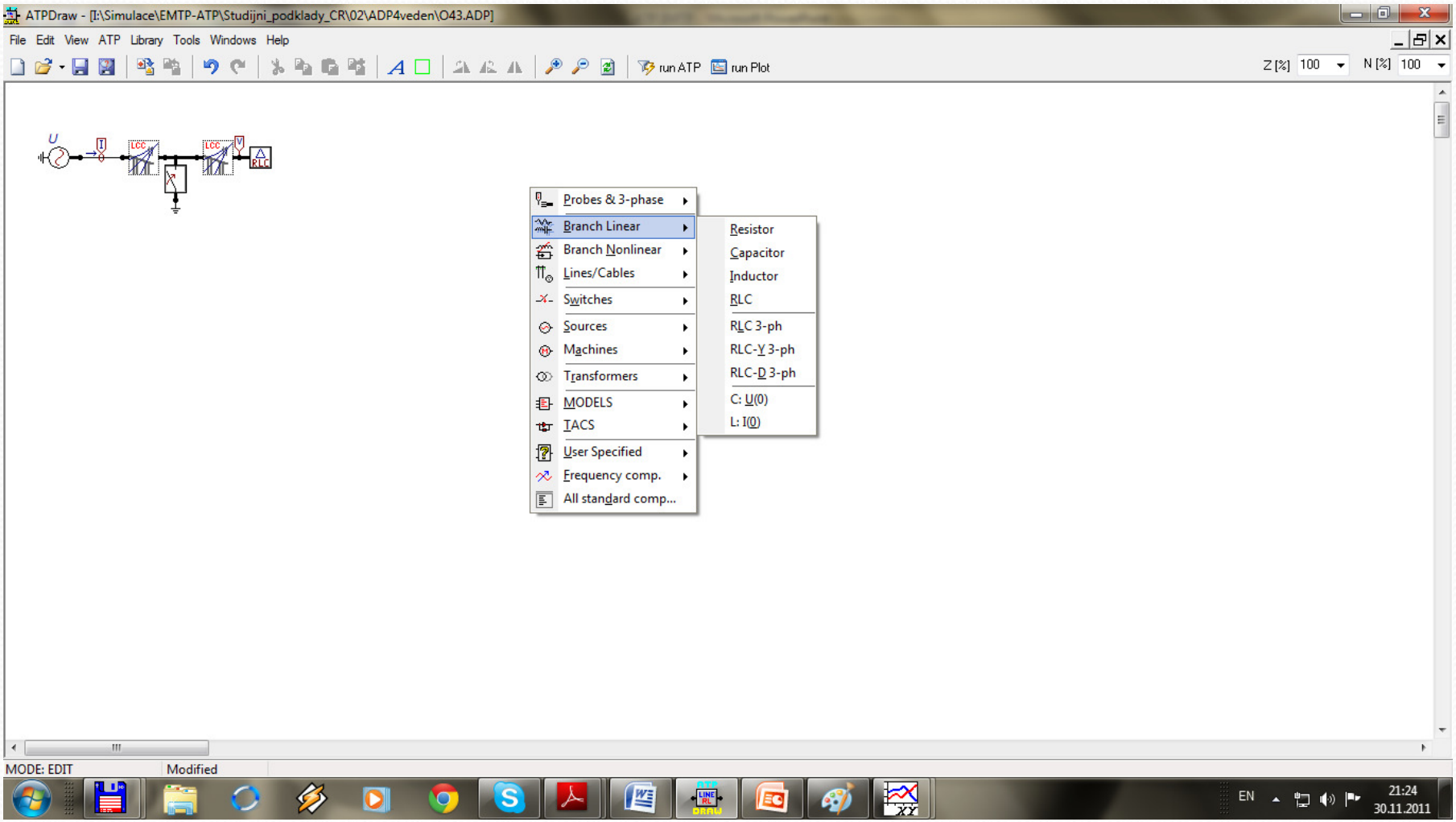
K prvnímu seznámení s programem ATP bude vytvořen jednoduchý RC obvod.

Hodnoty jsou R=10Ω, C=10μF a napětí zdroje je U=10V.



# Seznámení s ATP - simulace RC obvodu

- Program ATP není v podstatě jeden komplexní program, jedná se o několik programů, které pracují samostatně.
- První program, který využijeme, je ATP Draw.
- Po otevření vytvoříme nový list. Vkládání nových komponentů se provádí kliknutím pravého tlačítka myši na plochu. Po vybrání komponenty pak pravé tlačítko myši slouží k otáčení komponentů a levé tlačítko nastavuje parametry.
- Při zadávání hodnot je potřeba psát místo desetinné čárky desetinou tečku.
- Nastavení parametrů uvádí stručný help v dialogovém okně. U kondenzátoru je třeba uvedeno, že kapacita se zadává v μF.


ATPDraw - [I:\Simulace\EMTP-ATP\Studijni_podklady_CR\02\ADP4veden\O43.ADP]
File Edit View ATP Library Tools Windows Help
run ATP
run Plot
Z [%] 100
N [%] 100
Probes & 3-phase
Branch Linear
Branch Nonlinear
Lines/Cables
Switches
Sources
Machines
Transformers
MODELS
TACS
User Specified
Frequency comp.
All standard comp...
Resistor
Capacitor
Inductor
RLC
RLC 3-ph
RLC-Y 3-ph
RLC-D 3-ph
C: U(0)
L: I(0)
MODE: EDIT
Modified
EN
21:24
30.11.2011

| Součástka | Název v programu | Složka | Nastavení | Hodnota |
|---|---|---|---|---|
| SS zdroj napětí | DC type 11 | Source | Amp | 100 |
| Proudový senzor | Probe Curr | probes & 3-phase | | |
| Časový spínač | Switch time controlled | Switches | T-op | 1E-3 |
| Rezistor | Rezistor | Branch linear | RES | 10 |
| Kondensátor | Capacitor | Branch linear | C | 10 |

Komponenty a hodnoty RC obvodu

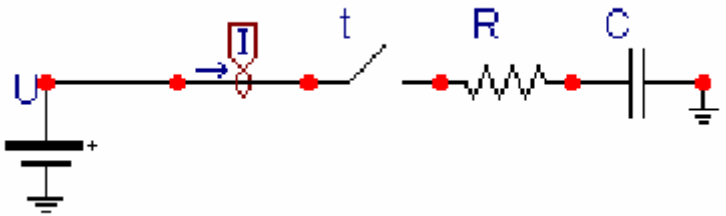



Schéma zapojení v ATPDraw

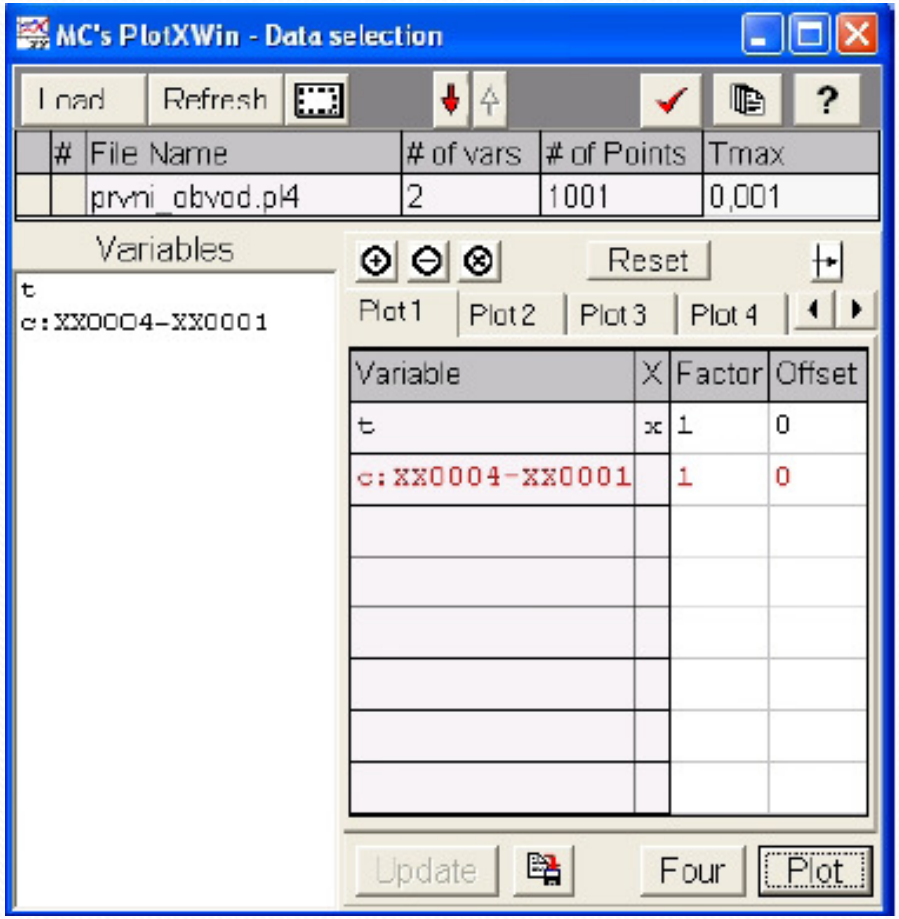
- Před samotným výpočtem musejí být nastaveny podmínky, které lze nastavit ATP -› Settings -› Simulation. Ponecháme simulaci v časové oblasti (time domain), krok výpočtu (delta T) $10^{-5}$ s a dobu výpočtu (T max) nastavíme na 1ms. Po té již schéma uložíme pod zvoleným názvem. Uložením vznikne soubor s příponou *.ADP. Nedoporučuje se používat názvy souboru s diakritikou a mezerami.

- Dalším krokem je vytvoření datového souboru pro program ATP, ten se vytvoří ATP -› Make File , tím se vytvoří ve zvoleném adresáři soubor se stejným názvem a příponou *.ATP.

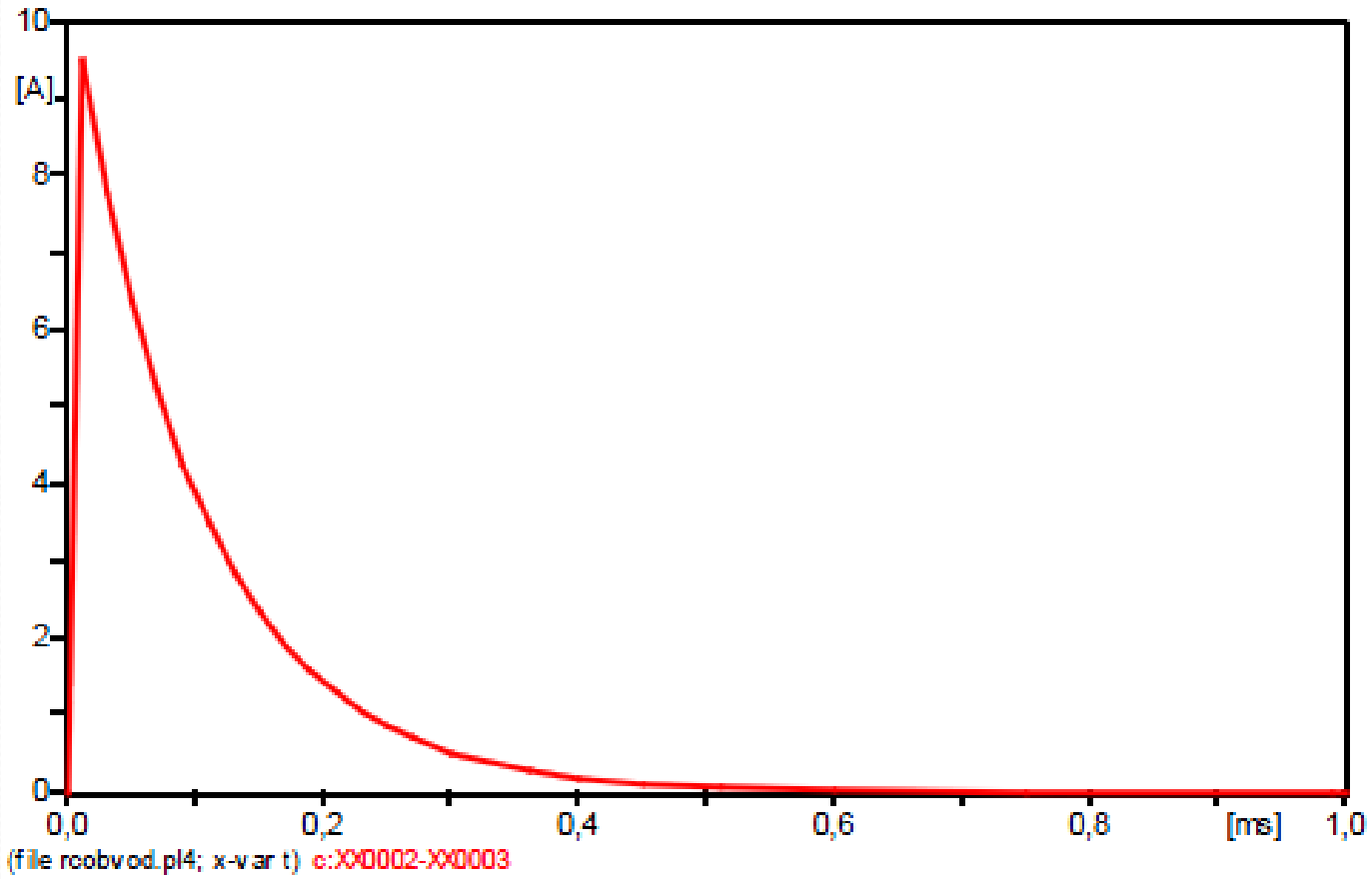
- Samostatné spuštění výpočtu se provádí příkazem ATP -› run , který vytvoří soubory s příponami *.LIS a *.PL4.
- Výstupní datový soubor *.LIS je možno prohlížet v ATPDraw příkazem ATP -› Edit.

- Grafické soubory mají příponou .PL4 a lze je prohlížet v různých grafických postprocesorech, v tomto případě budeme využívat PlotXWin, který naleznete ve stejném adresáři jako ATPDraw.

- Grafické prostředí je možno vidět na obrázku.
- Na levé straně pod nápisem Variables jsou všechny proměnné, které byly sledovány a jsou uloženy v souboru.
- Na pravé straně jsou proměnné, které budou vykreslené v grafu.
- V tomto případě osa x bude časová a na ose y bude proud, který má označení c: XX0004-XX0001.
- Tlačítkem Plot se zvolené průběhy vykreslí.




Grafické prostředí programu PlotXWin



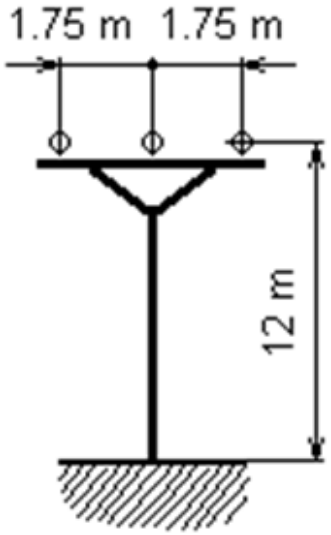

Graf – průběh proudu v RC obvodu

# Jiné příklady v ATP

- Je uvažováno jednoduché 110 kV vedení AlFe6 120 mm$^2$ o délce 20 km.
- Ke 3fázovému zkratu dojde ve vzdálenosti 10 km od zdroje.
- Vedení je modelováno pomocí procedury Line Constants s uvážením Skin efektu.

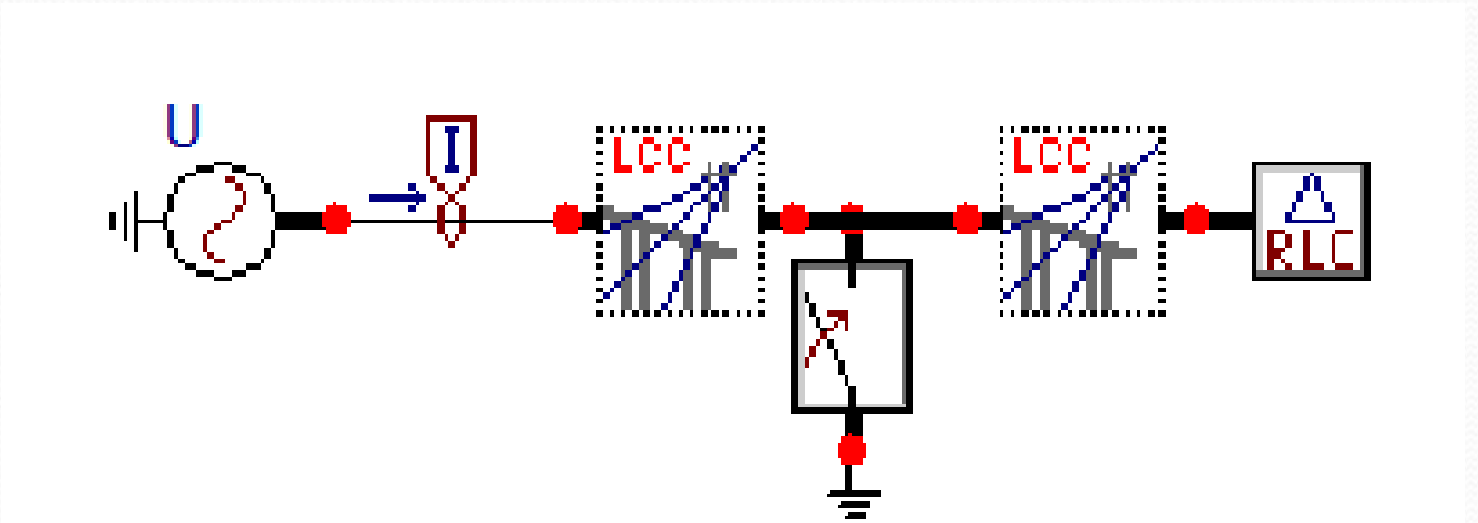
| **Phase no** číslo fáze | **Rin** (cm) poloměr ocelové duše vodiče | **Rout** (cm) vnější poloměr vodiče-lana | **Resis** (Ω/km) odpor vodiče na jeden kilometr délky | **Horiz** (m) Horizontální vzdálenost lana od středu stožáru | **Vtower** (m) výška lana nad zemí u stožáru | **Vmid** (m) výška lana nad zemí v místě největšího prověšení |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.258 | 1.565 | 0.234 | -1.75 | 12 | 12 |
| 2 | 0.258 | 1.565 | 0.234 | 0 | 12 | 12 |
| 3 | 0.258 | 1.565 | 0.234 | 1.75 | 12 | 12 |

. Parametry přenosového vedení 110 kV



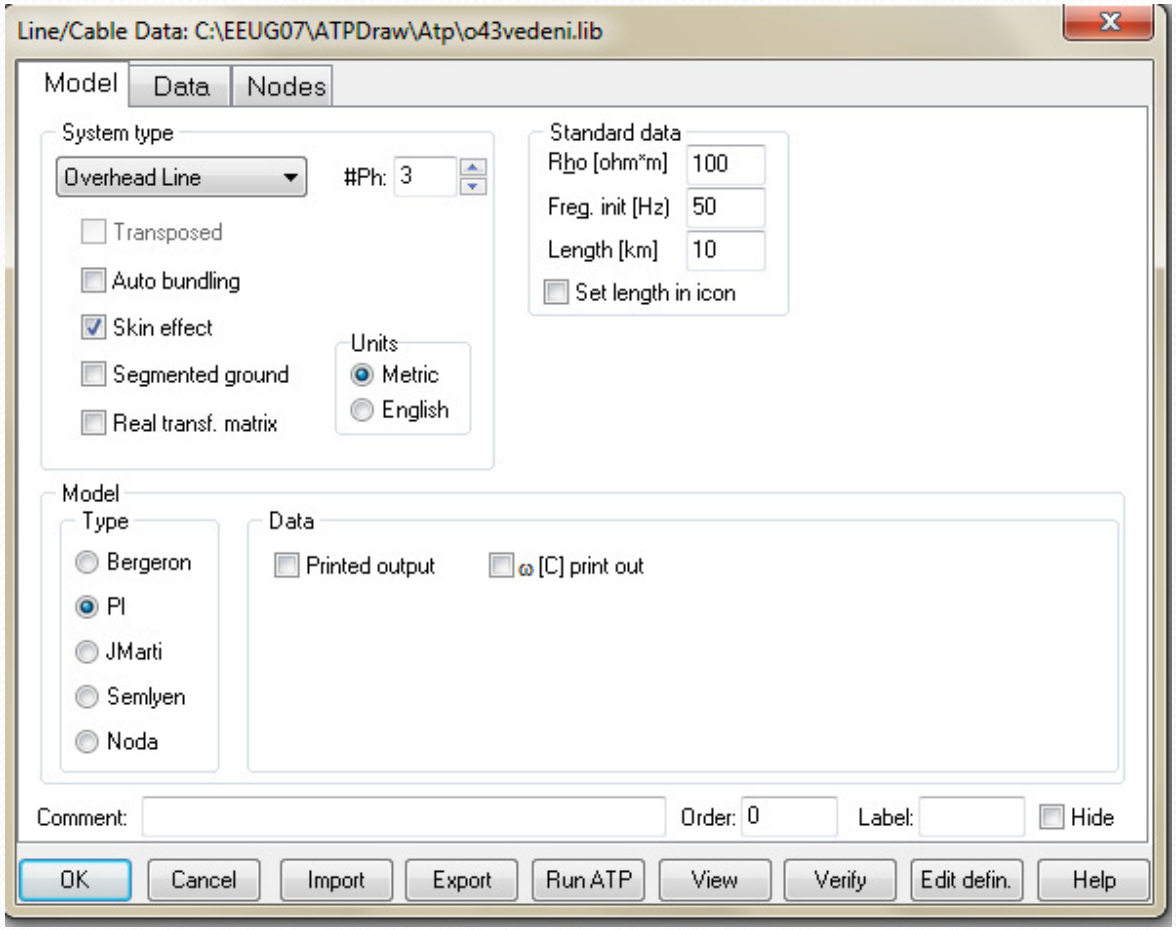

Zátěž je realizována pomocí 3fázového *RLC* obvodu v zapojení trojúhelník s parametry $R1 = R2 = R3 =$ 300 Ω a
$L1 = L2 = L3 =$ 0,1 mH. Průběh proudu je sledován ve větvi fáze A.

# Řešení programem ATP

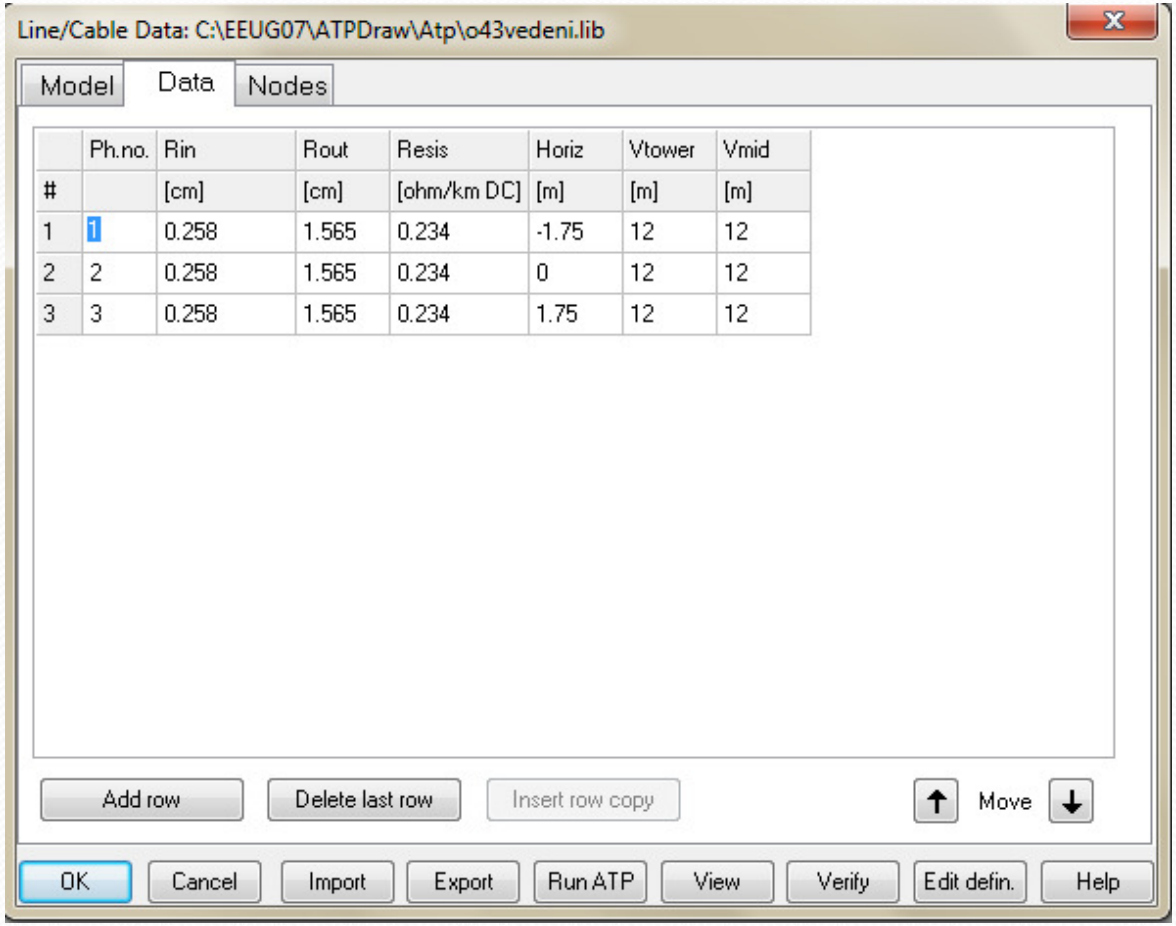



- Schéma zapojení v AtpDraw pro 3fázový kovový zkrat napájený ideálním zdrojem napětí

# Nastavení parametrů vedení

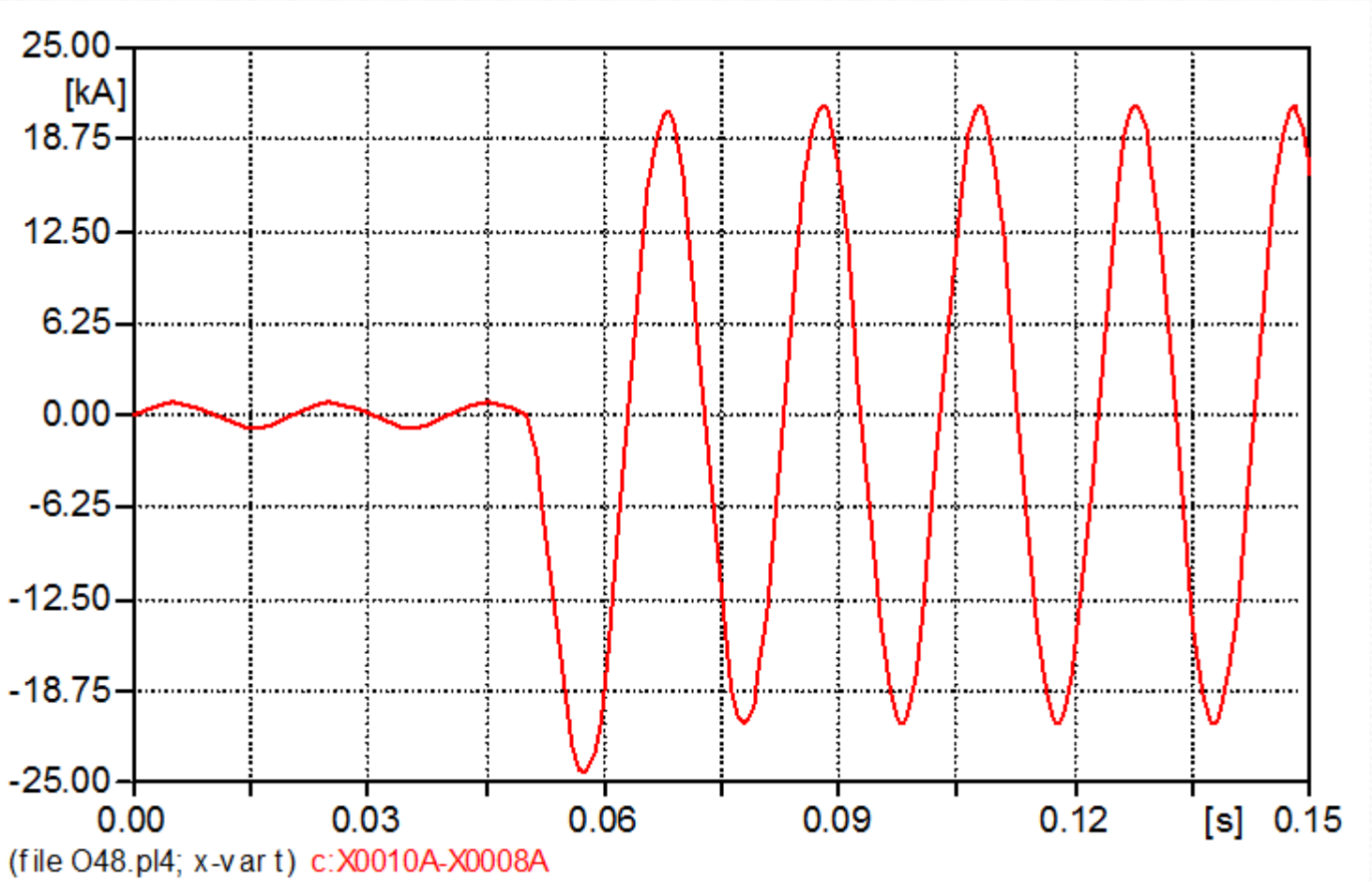


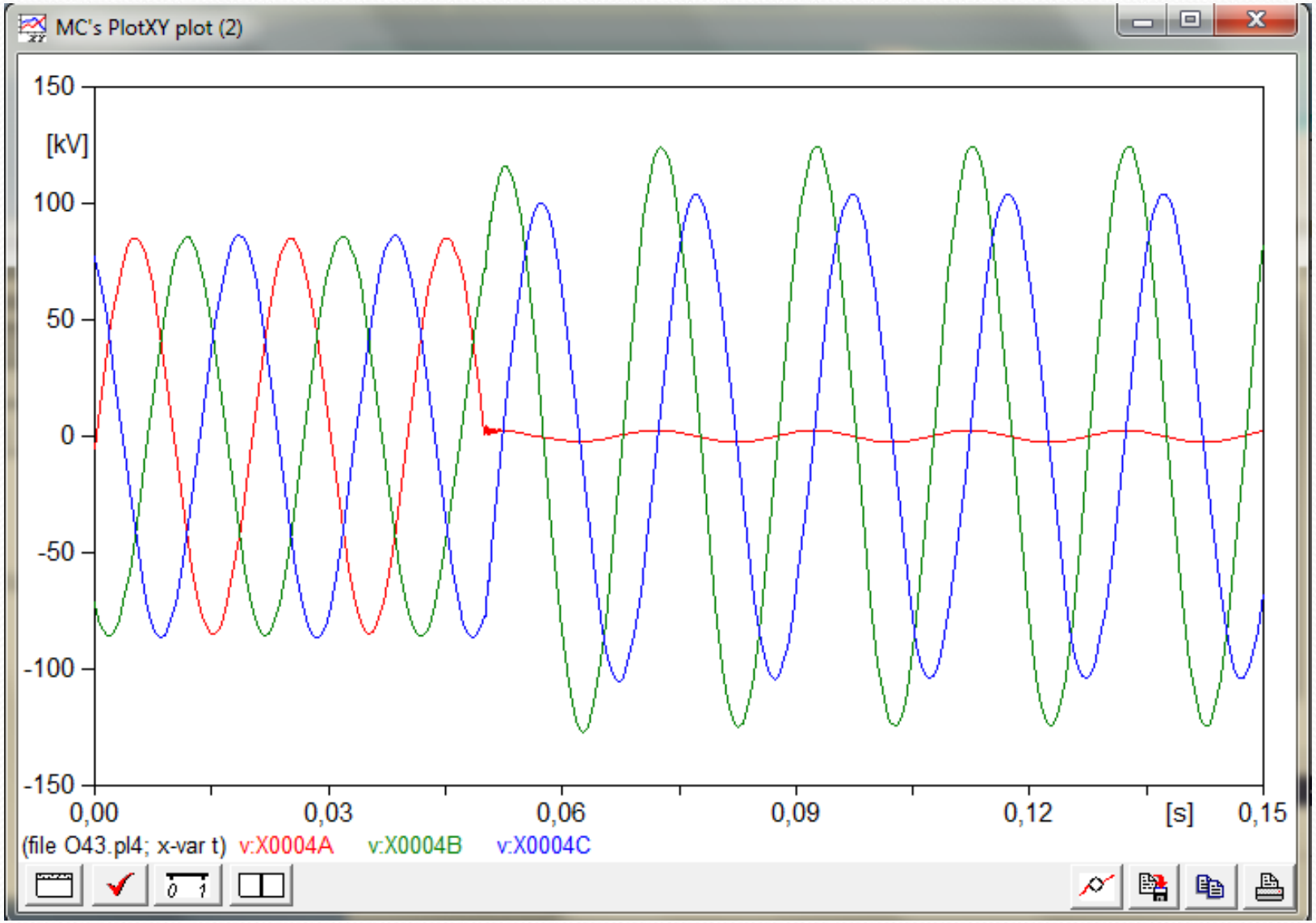
# Nastavení parametrů vedení



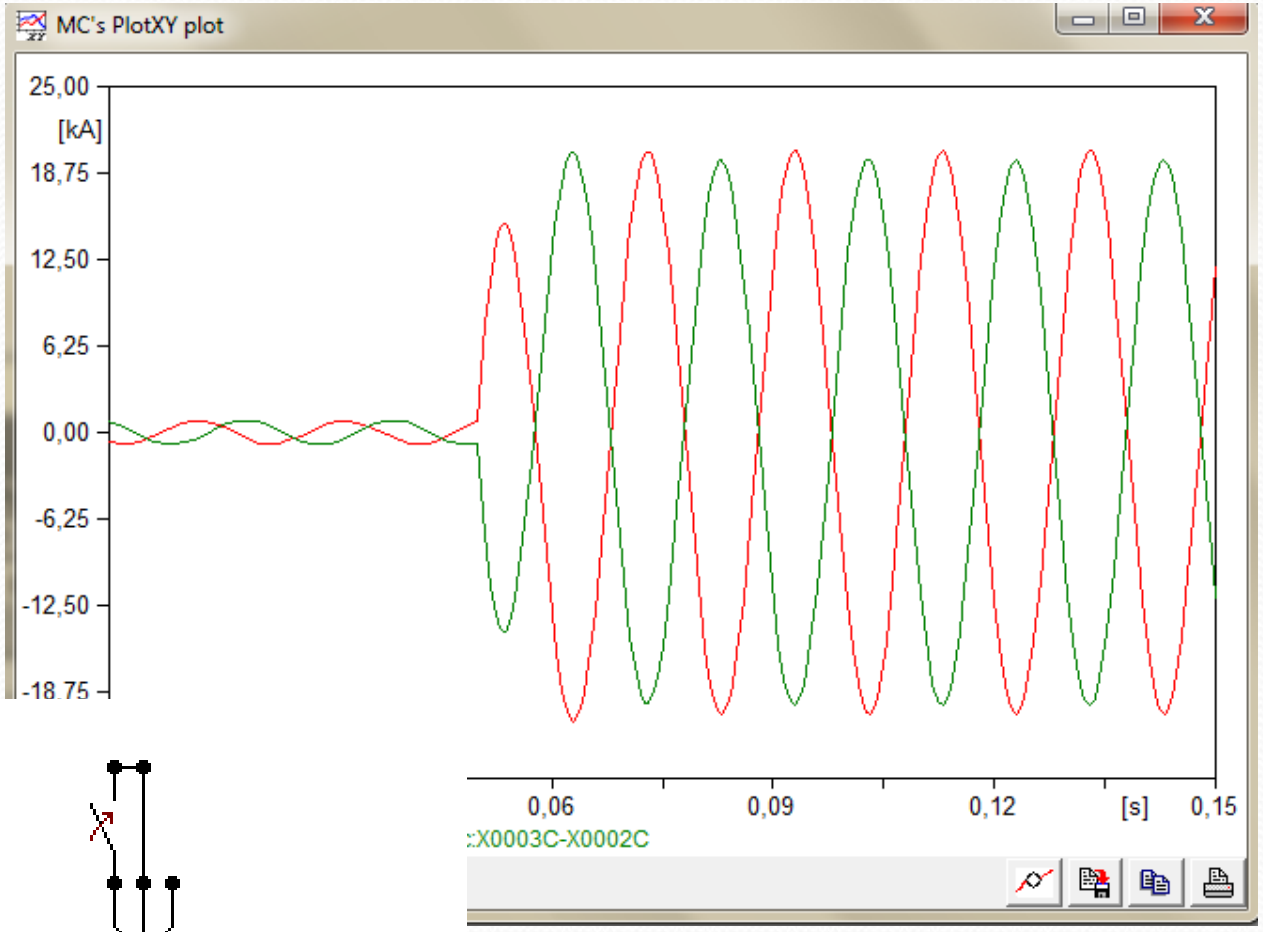

| | Ph.no. | Rin | Rout | Resis | Horiz | Vtower | Vmid |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| # | | [cm] | [cm] | [ohm/km DC] | [m] | [m] | [m] |
| 1 | 1 | 0.258 | 1.565 | 0.234 | -1.75 | 12 | 12 |
| 2 | 2 | 0.258 | 1.565 | 0.234 | 0 | 12 | 12 |
| 3 | 3 | 0.258 | 1.565 | 0.234 | 1.75 | 12 | 12 |

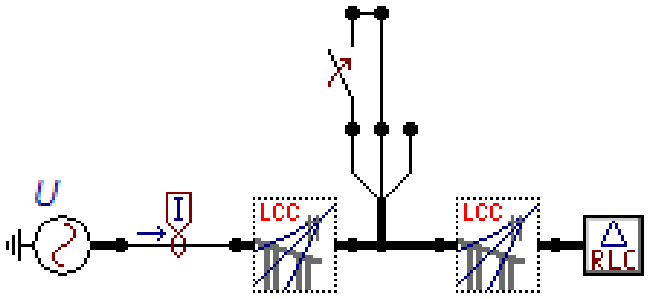
# Průběh proudu před a po zkratu ve fázi A



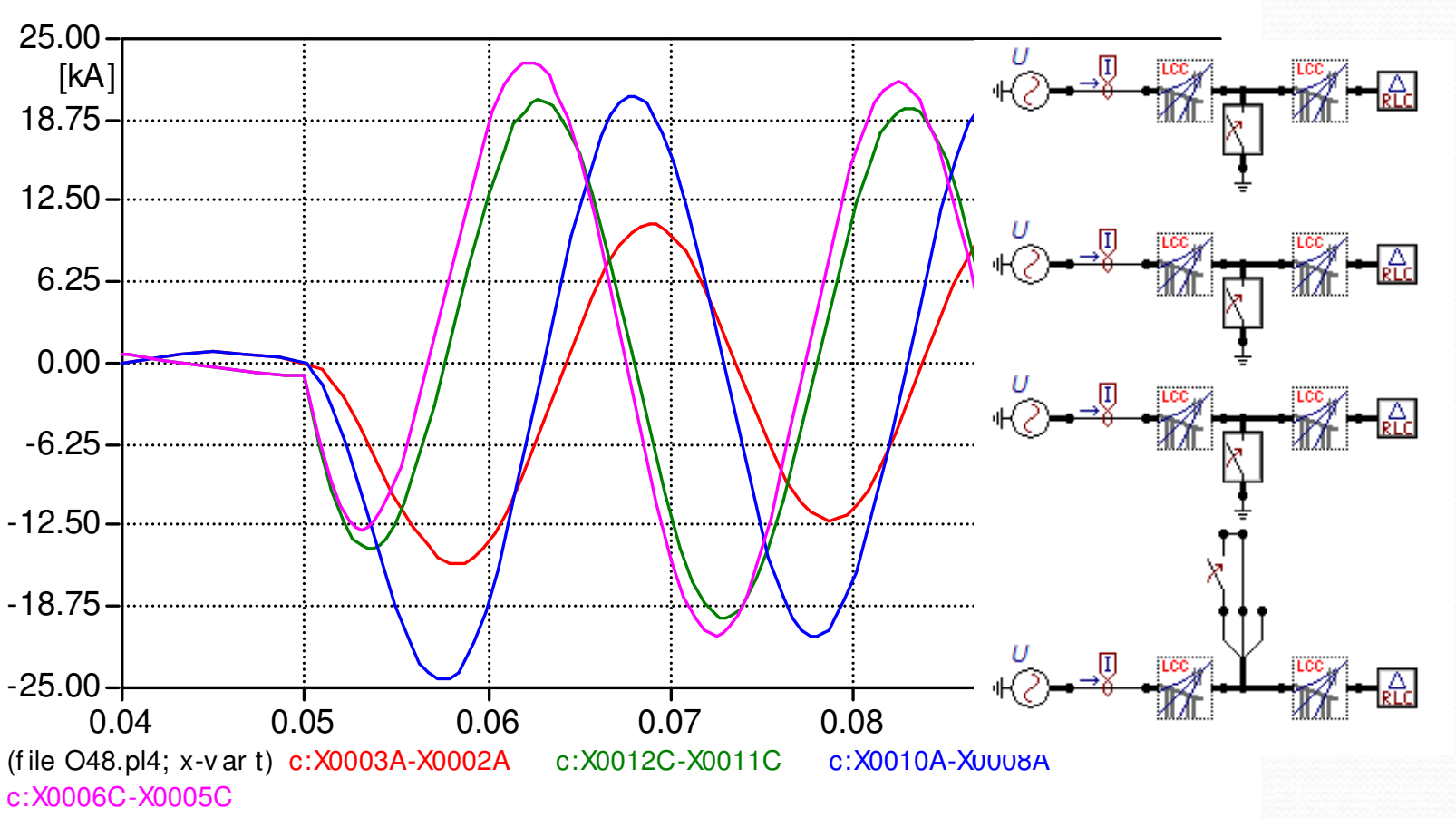

MC's PlotXY plot (2)
150
[kV]
100
50
0
-50
-100
-150
0,00
0,03
0,06
0,09
0,12
[s]
0,15
(file O43.pl4; x-var t) v:X0004A v:X0004B v:X0004C

# Průběh proudu před a po 2fázovém zkratu ve fázi B a C



# Srovnání průběhů proudů při různých druzích zkratů




- X0003A-X0002A 1fázový zkrat, X0012C-X0011C 2fázový, X0006C-X0005C 2fázový zkrat zemní zkrat, X0010A-X0008A 3fázový zkrat.

Děkuji za pozornost