

IT002 – SOBRETENSÕES EM SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA

Aula-05

Simulação de Transitórios no ATP

Prof. Dr. José Pissolato Filho (Unicamp)

Anderson Ricardo Justo de Araújo (Unicamp)

Jaimis Sajid Leon Colqui (Unicamp)

Setembro 2022

- ❑ Instalação e uso do ATPdraw
- ❑ Introdução aos Transitórios Eletromagnéticos no SEP.
- ❑ Simulação de circuitos elétricos RC, RL, LC e RLC.
- ❑ Simulação de Linhas de Transmissão (Energização)

Download/Instalação do ATP

Principal Sobre nós Ensino Pesquisa Extensão Institucional Contato

Prof José Pissolato Filho

- > [Disciplina Anterior](#)
- > Home
- > IT002 (2022)
- > IT308

Início » IT002 (2022)

IT002 (2022)

Ementa: Origem das sobretensões em sistemas de potência. Sobretensões provocadas por propagação e descontinuidade das linhas de transmissão, ondas viajantes para sistemas corona, análise de manobras típicas, modelagem dos elementos do sistema para estudo de ATP), métodos de controle de sobretensões, introdução à coordenação de isolamento.

Bibliografia:

(1)-Naidu, S.R. "Transitórios Eletromagnéticos em Sistemas de Potência", Editora Grafset;

APOSTILAS

1. ATP

- [Apostila 1-ATP](#)
- [Apostila 2- Manual](#)
- www.atpdraw.net

2. ONDAS GUIADAS

- [EE 754 – ONDAS GUIADAS \(A_p,1\)](#)
- [EE 754 – ONDAS GUIADAS \(A_p,2\)](#)

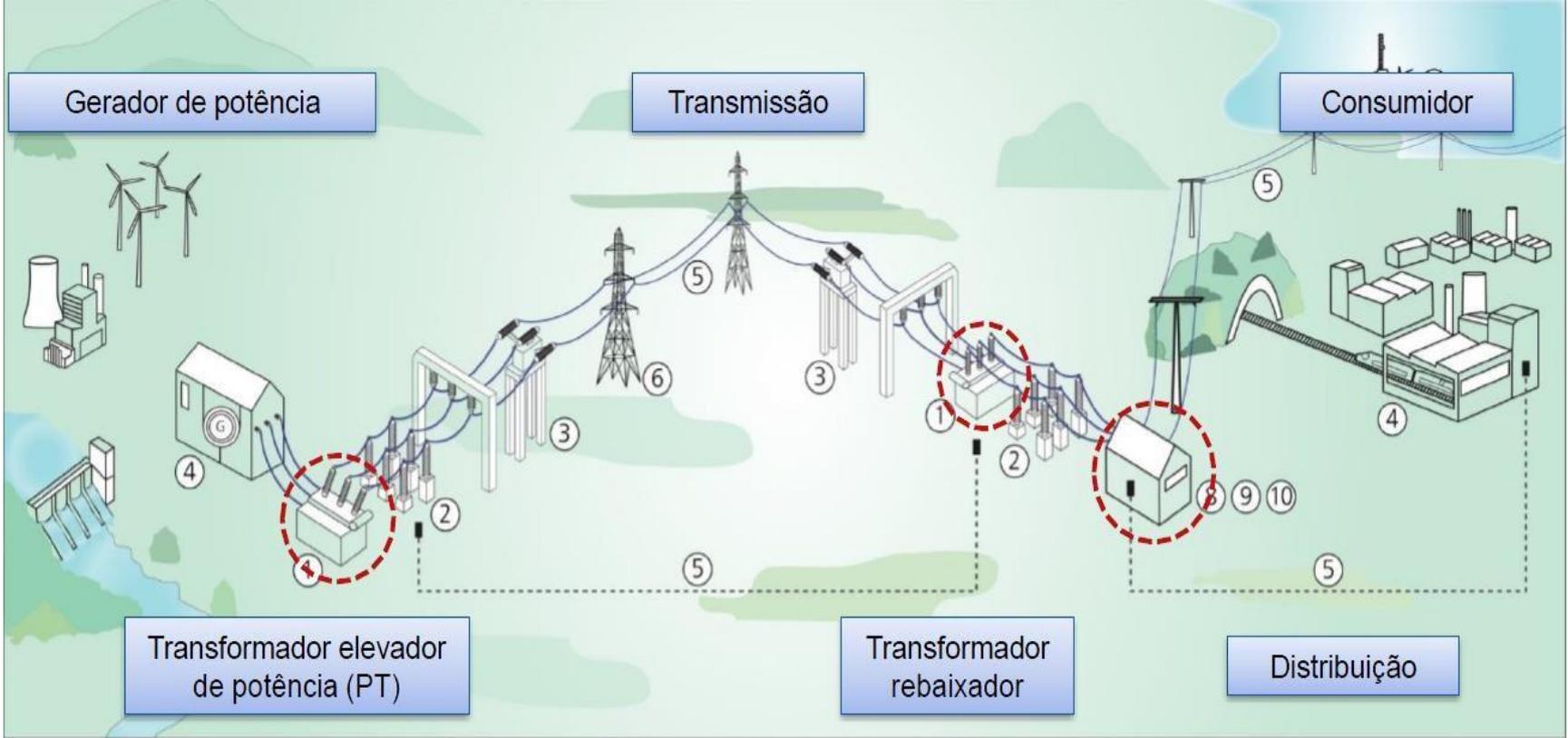
LIVROS

- [Livro Furnas-Transitórios Eletromagnéticos e Coordenação de Isolamento](#)
- [Livro Transmissão de Energia Elétrica em Corrente Alternada-Editora UFC](#)

SOFTWARE ATP

- [Link para download e instalação](#)
- [ATP-Aula01-Introdução](#);
- [ATP-Aula-02-Exercício \(Linha de Transmissão\)](#)
- [ATP-Aula-03-Exercício \(Linha de Transmissão\)](#)

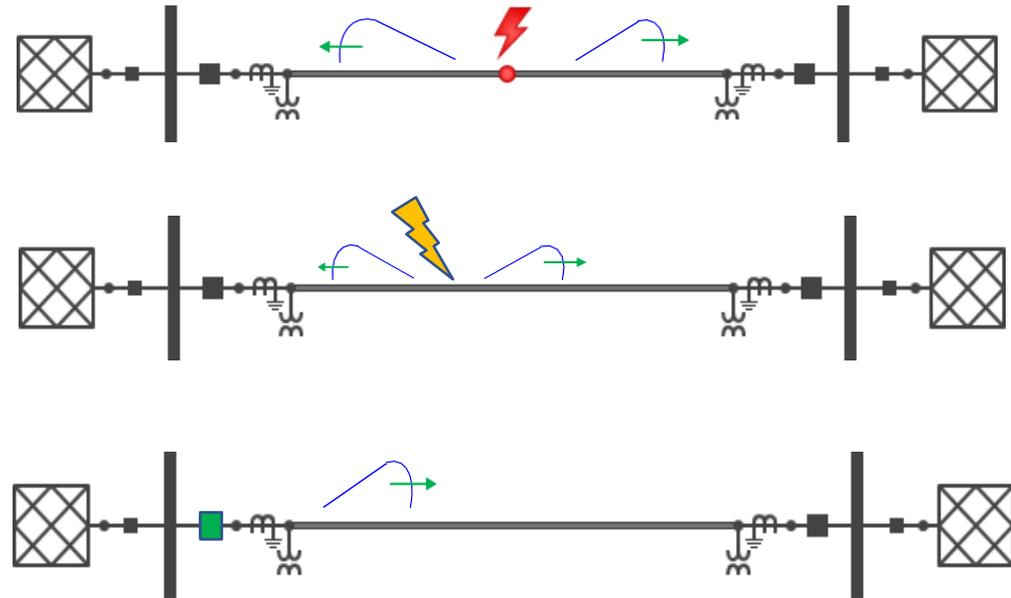
Introdução aos Transitórios Eletromagnéticos no SEP



Introdução aos Transitórios Eletromagnéticos no SEP

❖ Fenômenos que originam os transitórios

- ❑ Falta na Linha de Transmissão
- ❑ Descargas atmosféricas
- ❑ Energização da Linha de Transmissão
- ❑ Energização de reator de potência
- ❑ Energizar um transformador de potência



Introdução aos Transitórios Eletromagnéticos no SEP

❖ Para que estudar os fenômenos transitórios?

❖ Dimensionar os componentes do SEP

- ❑ Linhas de Transmissão
- ❑ Transformadores
- ❑ Interruptores
- ❑ Para-raios
- ❑ Cadeia de Isoladores
- ❑ Banco de reatores
- ❑ Banco de capacitores



Introdução aos Transitórios Eletromagnéticos no SEP

❖ Para que estudar os fenômenos transitórios?

❖ Prevenir o desgaste dos equipamentos

- ❑ Desgaste eletromecânico
- ❑ Desgaste do isolamento
- ❑ Aquecimento dos elementos do SEP
- ❑ Desligamentos no sistema
- ❑ Qualidade da energia fornecida



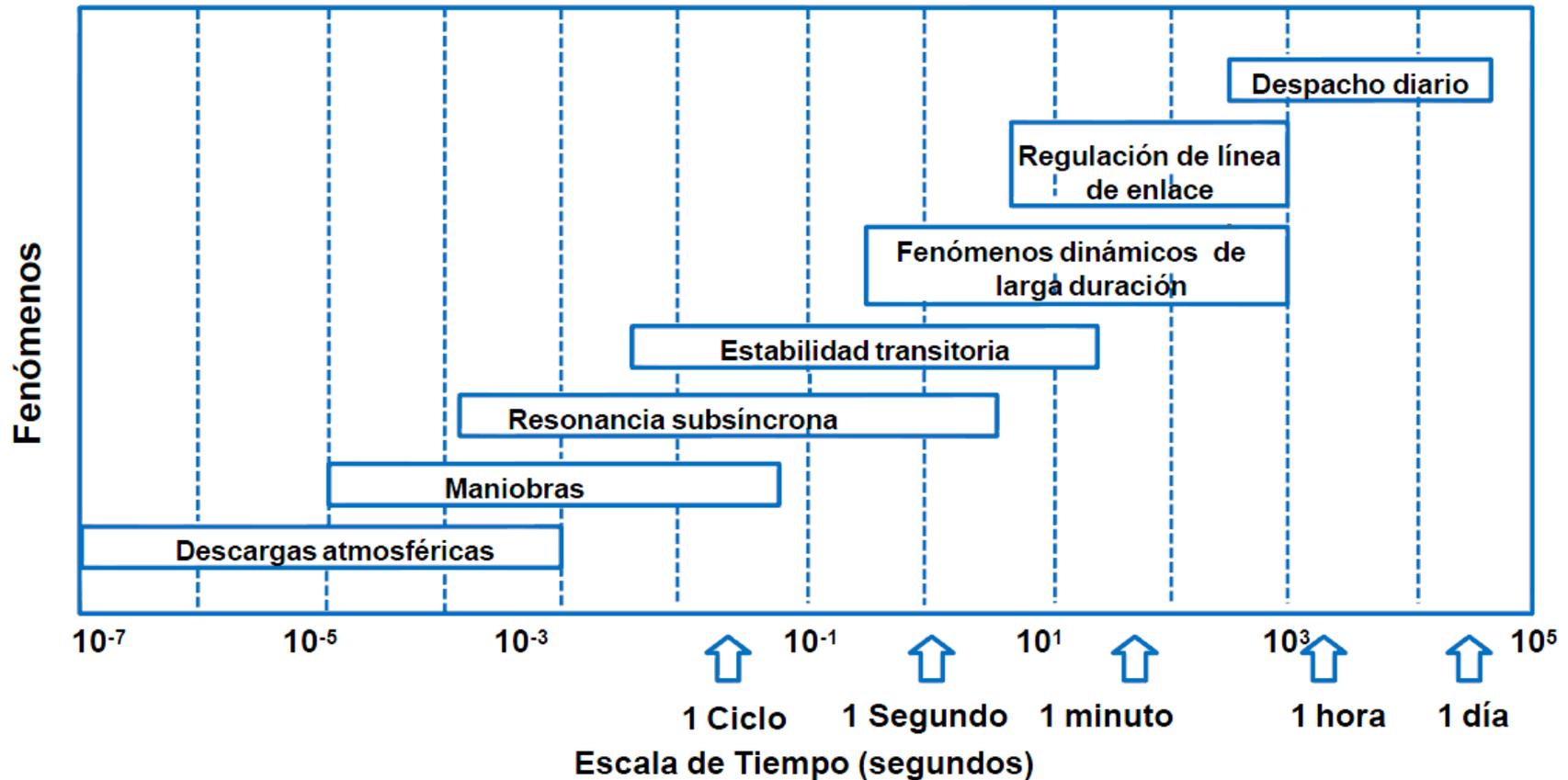
Introdução aos Transitórios Eletromagnéticos no SEP

- ❖ Para que estudar os fenômenos transitórios?
- ❖ Garantir a continuidade e qualidade da energia
 - ❑ Continuidade do serviço de energia
 - ❑ Prevenir as paradas não programadas
 - ❑ Tempo, identificação e reparo do defeito
 - ❑ Localização de Falhas
 - ❑ Diminuição dos custos para reparos e perdas econômicas



Introdução aos Transitórios Eletromagnéticos no SEP

❖ Escala do tempo dos fenômenos transitórios



Introdução aos Transitórios Eletromagnéticos no SEP

❖ Classificação dos fenômenos transitórios

Transitórios rápidos

Transitórios eletromagnéticos

Faixa de tempo [1 μ s – 0.1 s]

- Descargas atmosféricas
- Sobretensões de manobra
- Faltas

Transitórios de media duração

Transitórios eletromecânicos

Faixa de tempo [0.1 s – 10 s]

- Estabilidade transitória
- Ressonância subsíncrona
- Arranque de motores

Transitórios de longa duração

Fenômenos dinâmicos

Faixa de tempo [0.5 s – min]

- Estabilidade dinâmica
- Controle de frequência
- Regulação de linhas

Introdução aos Transitórios Eletromagnéticos no SEP

❖ Comparação tempo vs frequência.

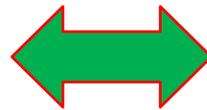
Transitórios rápidos

Transitórios eletromagnéticos

Faixa de tempo [1 μ s – 0.1 s]

- Descargas atmosféricas
- Sobretensões de manobra
- Faltas

Domínio do tempo



Transitórios rápidos

Transitórios eletromagnéticos

Faixa de frequência [10 Hz – 10 MHz]

- Descargas atmosféricas 100 kHz – 10 MHz
- Sobretensões de manobra 100 Hz – 100 kHz
- Faltas 10 Hz – 10 kHz

Domínio da frequência

Introdução aos Transitórios Eletromagnéticos no SEP

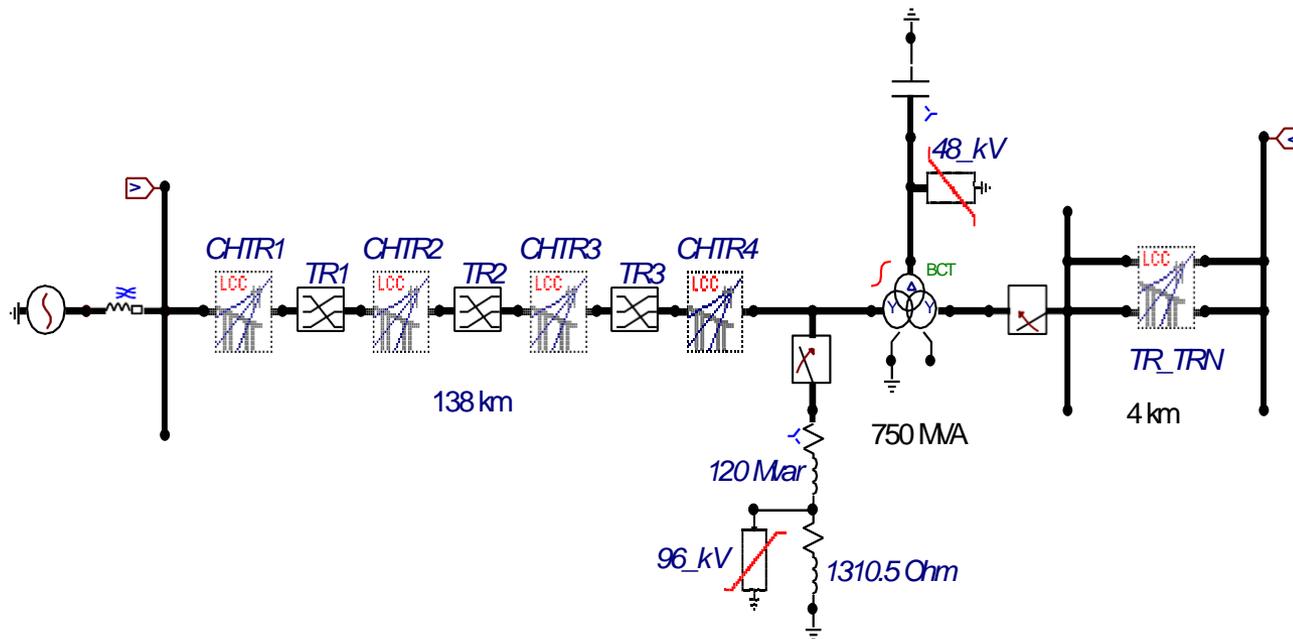
❖ Principais faixas de frequência de transitórios

Tipo de Perturbação	Faixa de Frequências
Energização de Transformadores	0,1 – 1 kHz
Ferroresonâncias	0,1 Hz – 1 kHz
Perda de Carga	0,1 – 1 kHz
Energização de Linhas de Transmissão (LT)	50/60 Hz – 20 kHz
Faltas em LT	50/60 Hz – 20 kHz
Faltas em Sub-Estações	10 kHz – 3 MHz
Descargas Atmosféricas	10 kHz – 3 MHz
Manobras em SF6	100 kHz – 50 MHz

Introdução aos Transitórios Eletromagnéticos no SEP

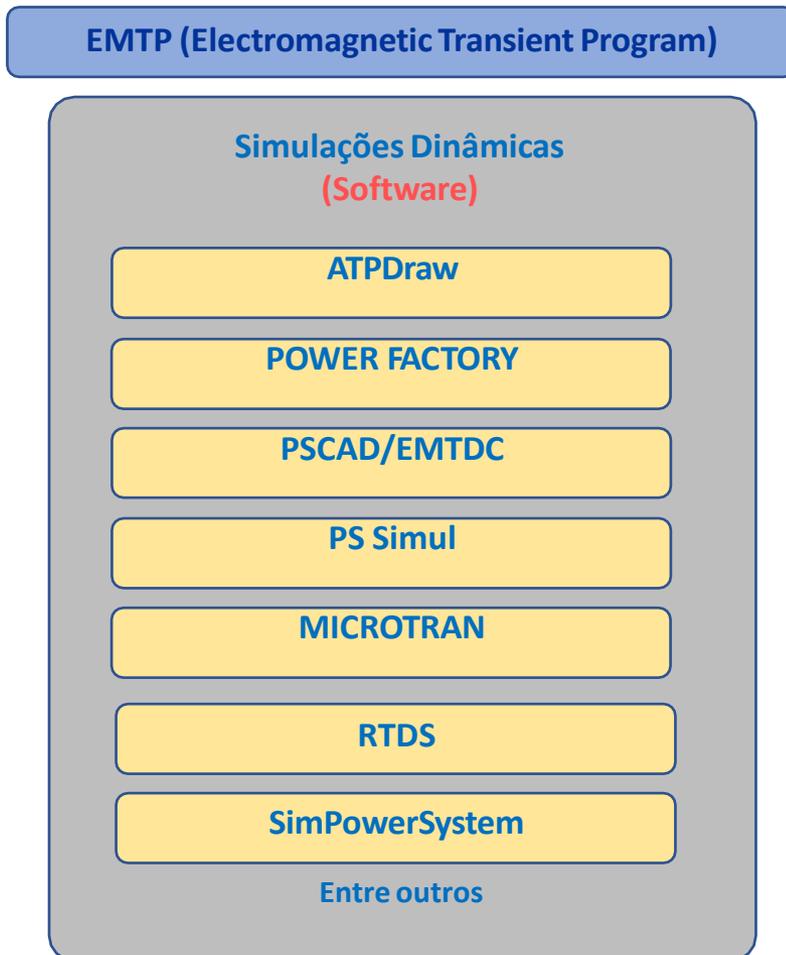
❖ Modelos para a representação dos fenômenos transitórios

- ❑ Uma correta simulação de um fenômeno transitório requer de uma **correta representação dos componentes do sistema** para uma ampla faixa de frequências (DC → MHz).
- ❑ Podemos usar modelos válidos para determinadas faixas de frequências e/ou modelar o sistema elétrico segundo a faixa de ocorrência do fenômeno transitório de interesse.



Introdução aos Transitórios Eletromagnéticos no SEP

❖ Simuladores Digitais para transitórios eletromagnéticos



ATP Draw

PSCAD

PS Simul



SILENT
DIG

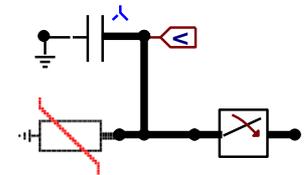
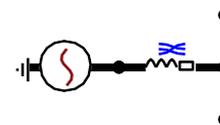
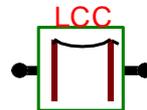
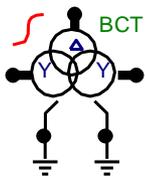
MATLAB®
& SIMULINK®

PSS® Netomac

Instalação e uso do ATP/EMTP

ATP Draw

- ❑ O ATPDraw é um programa computacional que permite simular fenômenos transitórios de natureza eletromagnética, eletromecânica e sistemas de controle associados a sistemas elétricos polifásicos.
- ❑ O ATPDraw é um pre-processador gráfico do ATP que funciona em entorno Windows.
- ❑ O ATPDraw gerar graficamente o SEP que serão simulados na versão ATP (Alternative Transient Program) do EMTP (Electromagnetic Transient Program).
- ❑ Por meio do ATPDraw é possível modelar os sistemas elétricos, reproduzindo o mais próximo possível a configuração elétrica das redes.



Instalação e uso do ATP/EMTP

❖ ATPDraw: Tipos de Estudos que se realizam no ATPdraw

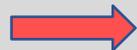
Tipos de Estudos



Projeto de equipamentos, isolamento, sistemas de proteção e controle, etc.



Estudos de problemas de operação (faltas em linhas, sobretensões por manobra, descargas atmosféricas, etc.).



Entrada de novos componentes elétricos (LT, geradores, reatores de potencia, transformadores, etc.) no SEP.

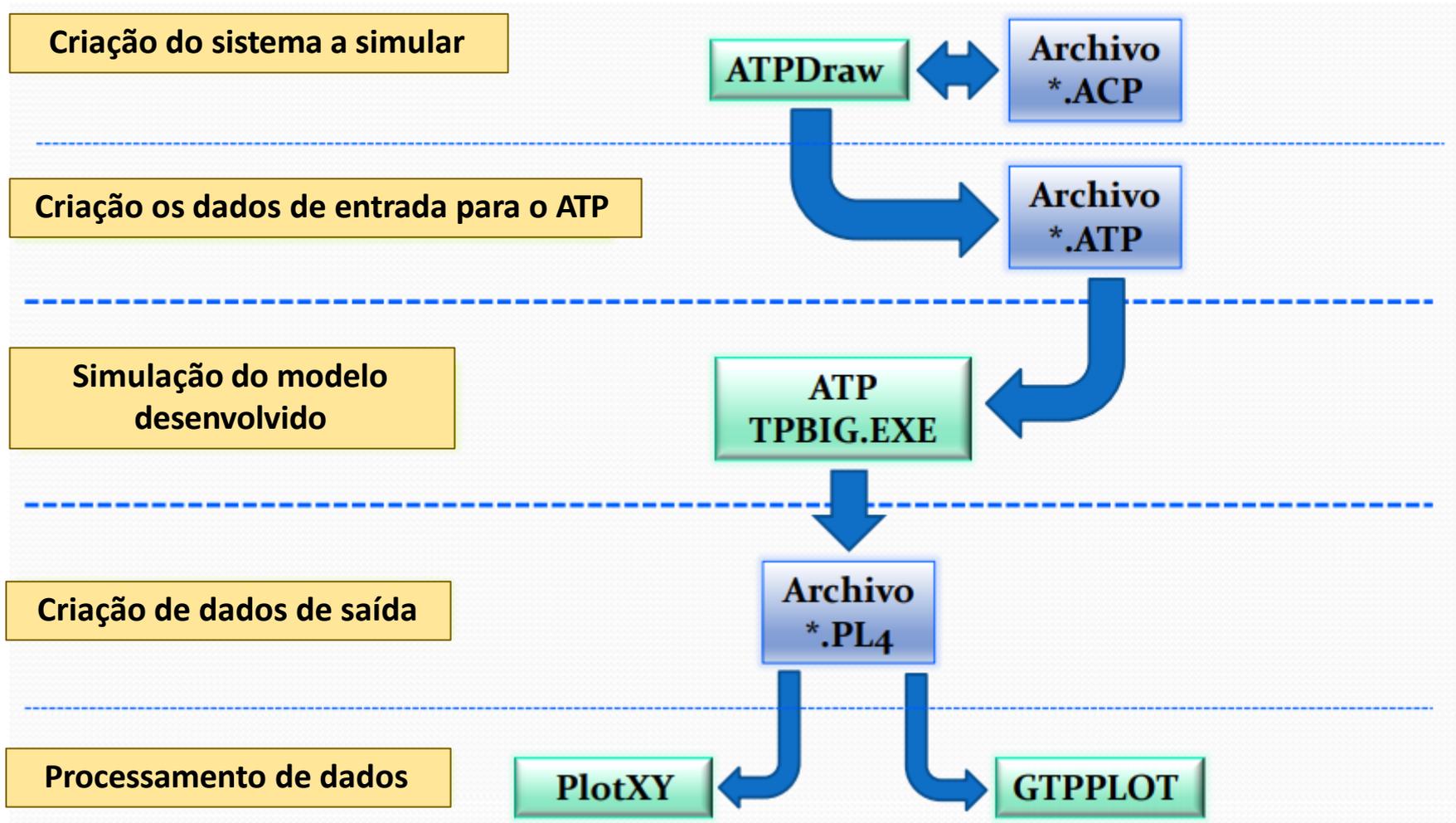
Instalação e uso do ATP/EMTP

❖ ATPDraw: Tipos de Análises

- ❑ **Análise de Transitórios:** Surtos de manobra, descargas atmosféricas, *inrush* em transformadores.
- ❑ **Análise em Frequência:** Variação de impedâncias (*Frequency scan*), Propagação de Harmônicos (*Harmonic Frequency Scan*).
- ❑ **Análise de Harmônicos:** Verificação de harmônicos de tensão e corrente.
- ❑ **Análise Estatístico:** Densidade de probabilidade de sobretensões por manobras, Método de Monte-Carlo para tempos de fechamento e abertura de interruptores.

Instalação e uso do ATP/EMTP

❖ Esquema de funcionamento



Instalação e uso do ATP/EMTP

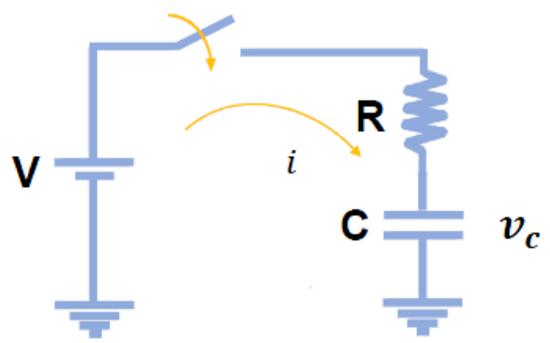
❖ Vantagens do ATPDraw

- ❑ É gratuito
- ❑ Ambiente de trabalho amigável.
- ❑ Integra todos os programas necessários para realizar uma simulação.
- ❑ Contém ajuda em janelas para a utilização dos diversos modelos.
- ❑ Integra varias rotinas auxiliares, facilitando seu uso
- ❑ Permite incorporar modelos de usuários

Exemplos -Simulação de circuitos elétricos RC, RL, LC e RLC

❖ Exemplo 1: Circuito Elétrico R-C

❑ Circuito básico



❑ O que sabemos?

$$V - v_c = R i$$

$$i = C \frac{dv_c}{dt}$$

❑ Desenvolvimento

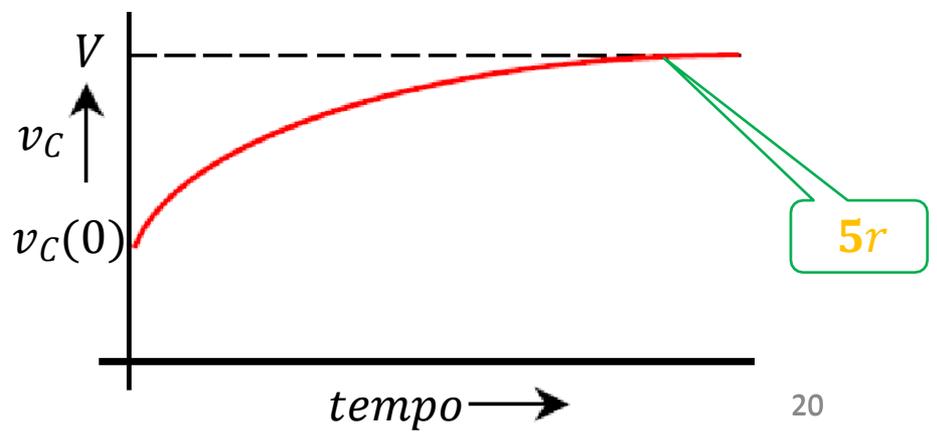
$$V - v_c = RC \frac{dv_c}{dt} \quad \rightarrow \quad \mathfrak{D} \frac{dv_c}{V - v_c} = \mathfrak{D} \frac{1}{RC} dt$$

$$v_c(t) = V - Ae^{-t/RC} \quad v_c(t=0) = V - A$$

$$v_c(t) = V - [V - v_c(0)]e^{-t/RC}$$

$$i(t) = \frac{1}{R} [V - v_c(0)]e^{-t/RC}$$

$$r = RC$$

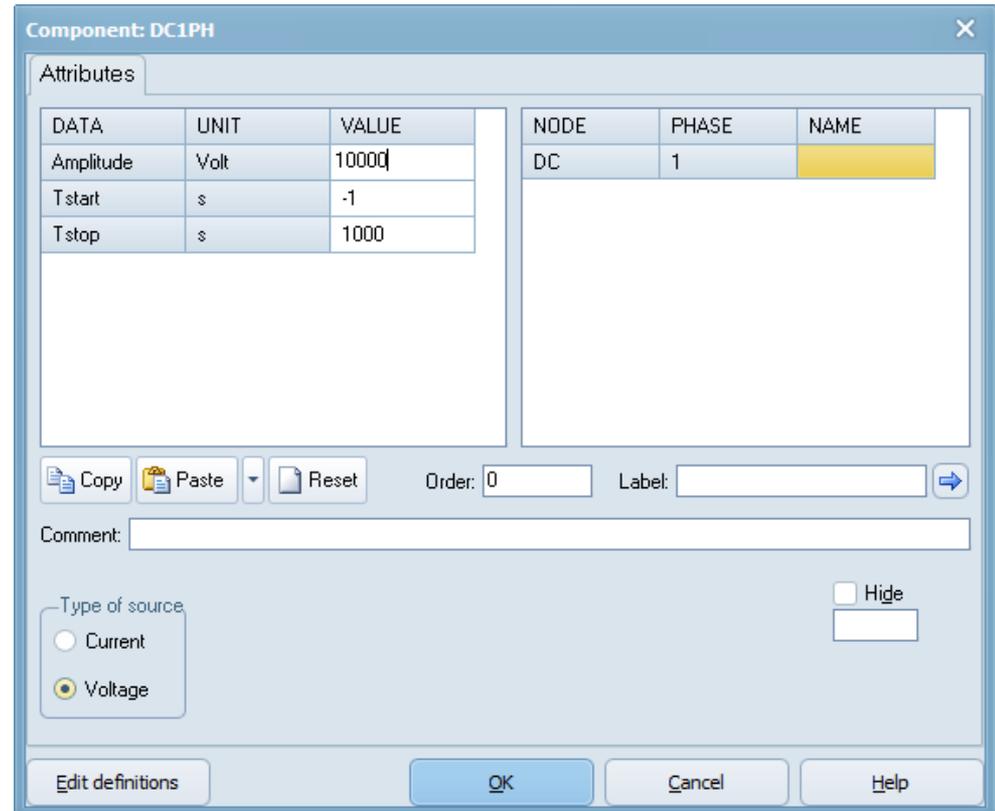
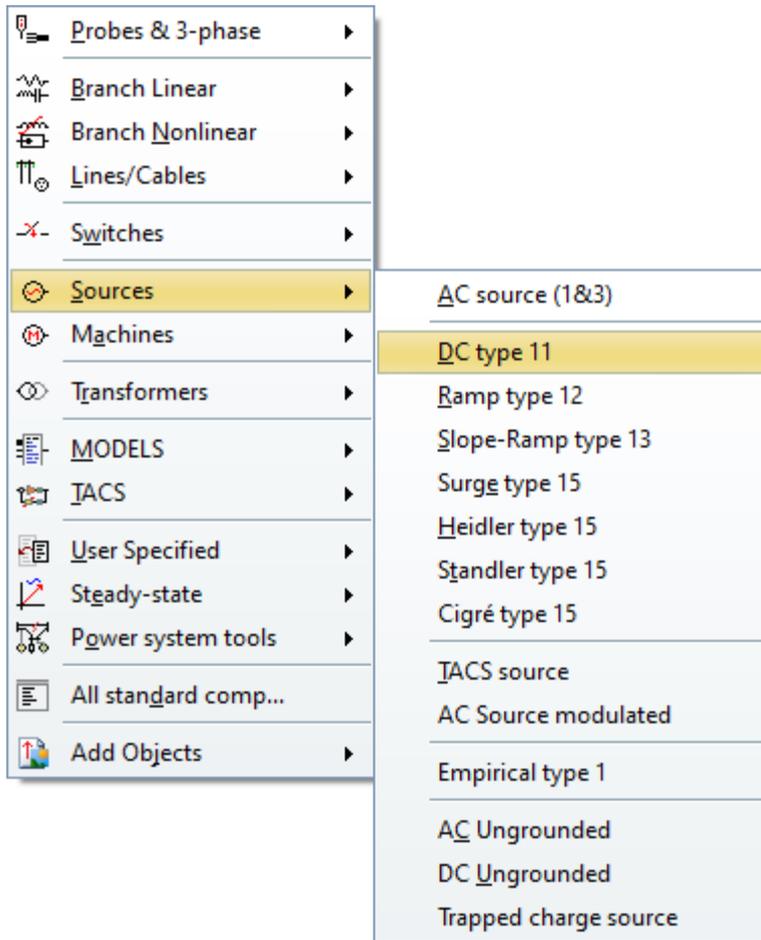


Construção do circuito

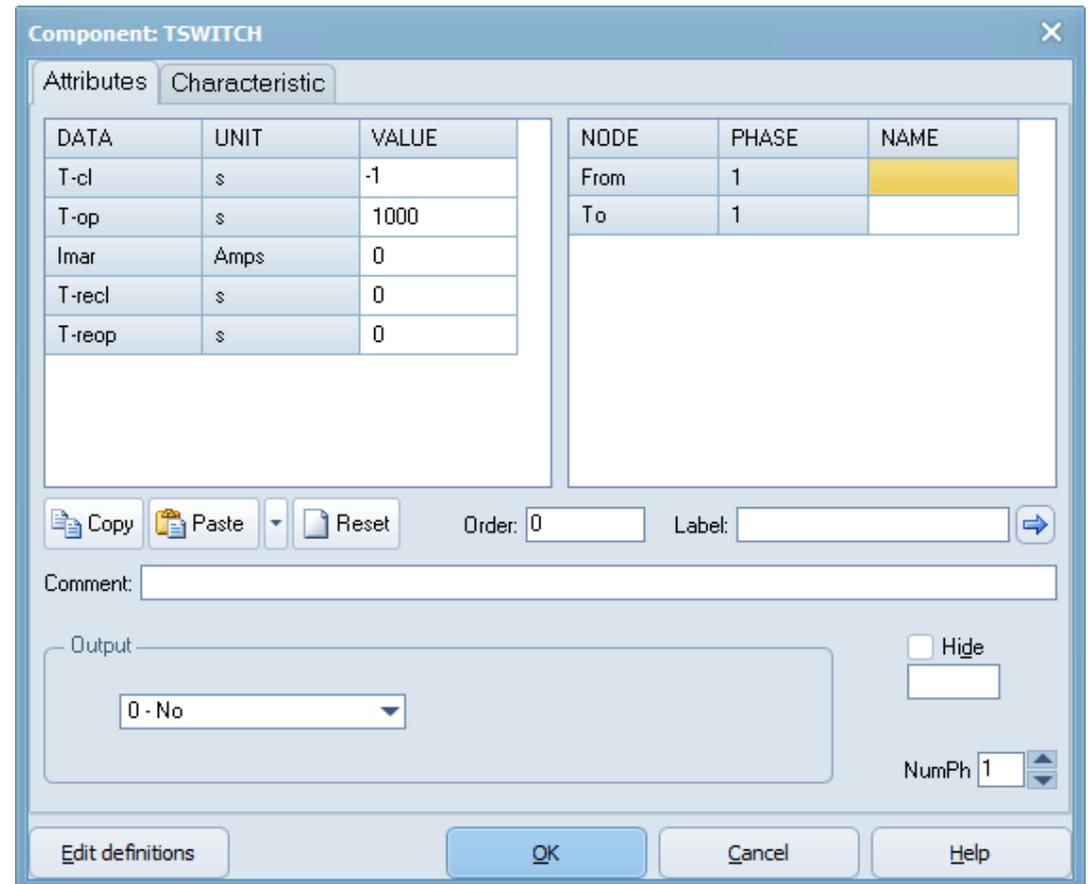
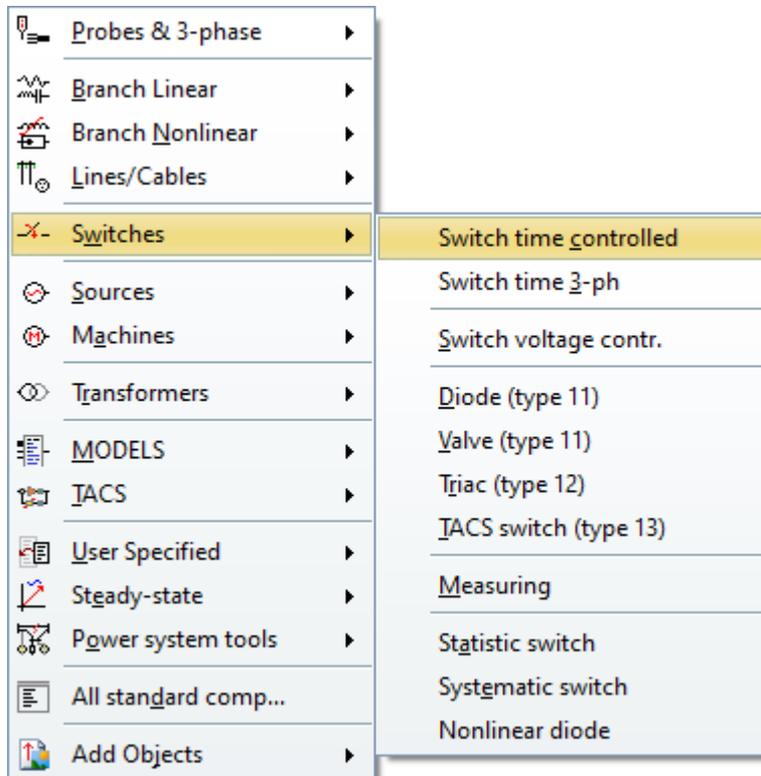
The image shows the ATPDraw software interface. The main window has a menu bar with File, Edit, View, ATP, Library, Tools, Windows, Web, and Help. A blue circle highlights the 'View' menu, with an arrow pointing to a smaller inset window showing the 'View' menu open. The 'View' menu options are: Status Bar, Side Bar, Tool Bar, Zoom in Num +, Zoom out Num -, Centre circuit, Lock circuit, Refresh Ctrl+Q, Set Circuit Font, and View Options... A blue arrow points from the 'View' menu in the main window to the inset window. Another blue arrow points from the inset window to a blue callout box on the right. The callout box contains the text: 'Click com botão direito para buscar cada elemento de circuito'. The left sidebar contains simulation settings like 'Simulation type' (Time domain, Frequency scan, Harmonic (HFS)), 'delta T: 1E-6', 'Tmax: 0.001', 'Xopt: 0', 'Copt: 0', 'Epsilon: 0', 'Frequency: 50', and checkboxes for 'Auto-detect ATP errors', 'Sorting by order', 'Sorting by X-pos', 'UM Automatic initialization', 'UM Prediction method', and 'Use internal parser'. At the bottom left, there is a table with columns 'NAME' and 'EXPRESSION'.

Click com botão direito para buscar cada elemento de circuito

Fonte de tensão



Chave (Switch)



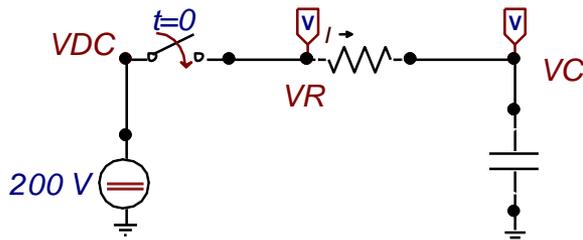
Resistor

The screenshot shows a software menu with the following items:

- Probes & 3-phase
- Branch Linear
- Branch Nonlinear
- Lines/Cables
- Switches
- Sources
- Machines
- Transformers
- MODELS
- IACS
- User Specified
- Steady-state
- Power system tools
- All standard comp...
- Add Objects

The 'Branch Linear' sub-menu is expanded, showing the following options:

- Resistor
- Capacitor
- Inductor
- RLC
- R inf
- PQU
- Kizilcay F-Dependent
- RLC 3-ph
- RLC-Y 3-ph
- RLC-D 3-ph
- C: $U(0)$
- L: $I(0)$



The dialog box is titled 'Component: RESISTOR' and has an 'Attributes' tab. It contains the following elements:

DATA	UNIT	VALUE
R	Ohm	1000

NODE	PHASE	NAME
From	1	
To	1	

Buttons: Copy, Paste, Reset. Order: 0. Label: []

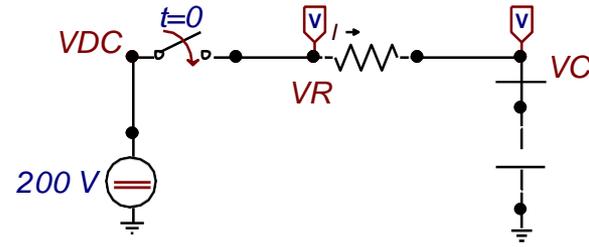
Comment: []

Output: [0 - No]

Options: Hide, \$Vintage.1, NumPh 1

Buttons: Edit definitions, OK, Cancel, Help

Capacitor



Probes & 3-phase

- Branch Linear
- Branch Nonlinear
- Lines/Cables
- Switches
- Sources
- Machines
- Transformers
- MODELS
- IACS
- User Specified
- Steady-state
- Power system tools
- All standard comp...
- Add Objects

Resistor

Capacitor

Inductor

RLC

R inf

PQU

Kizilcay F-Dependent

RLC 3-ph

RLC-Y 3-ph

RLC-D 3-ph

C: $U(0)$

L: $I(0)$

Component: CAP_RS

Attributes

DATA	UNIT	VALUE
C	μF	1
Ks	Damp 0.1-0.2	0

NODE	PHASE	NAME
From	1	
To	1	

Copy Paste Reset Order: 0 Label:

Comment:

Output:

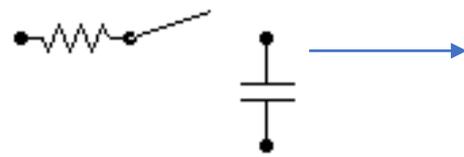
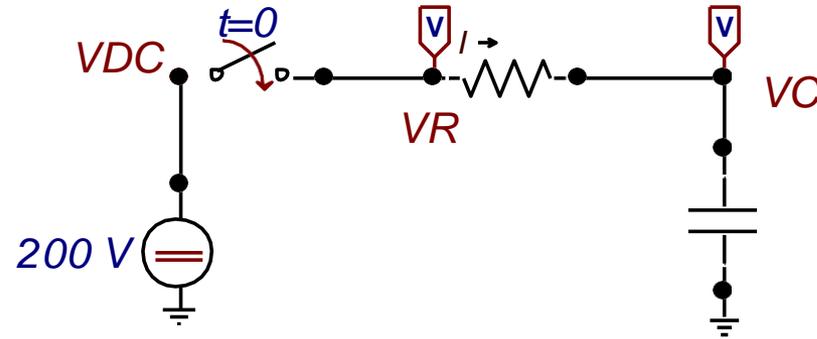
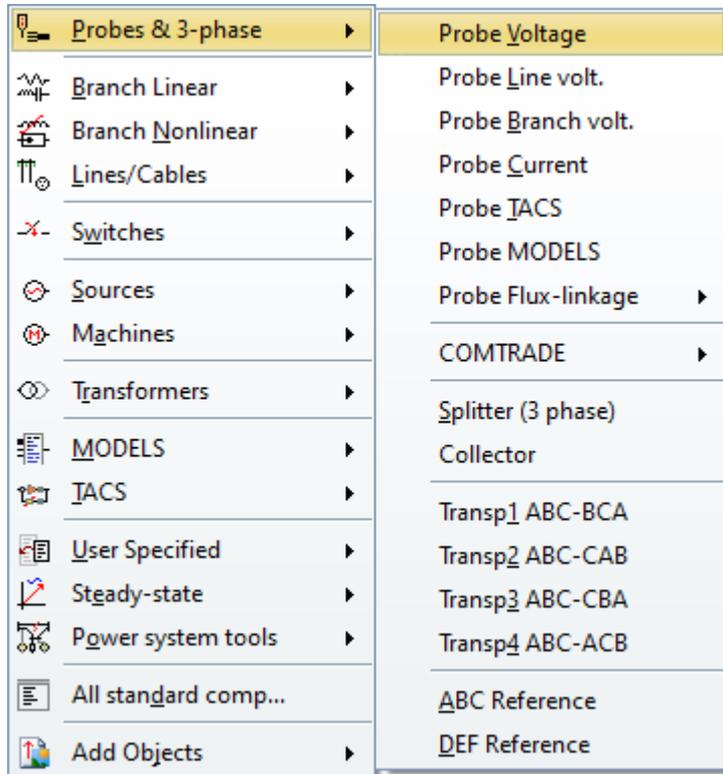
Hide

\$Vintage.1

NumPh

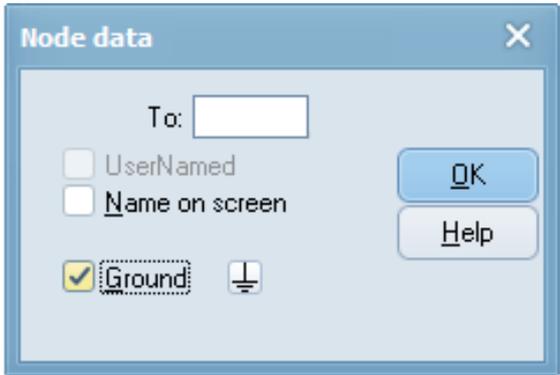
Edit definitions OK Cancel Help

Voltímetro/Amperímetro

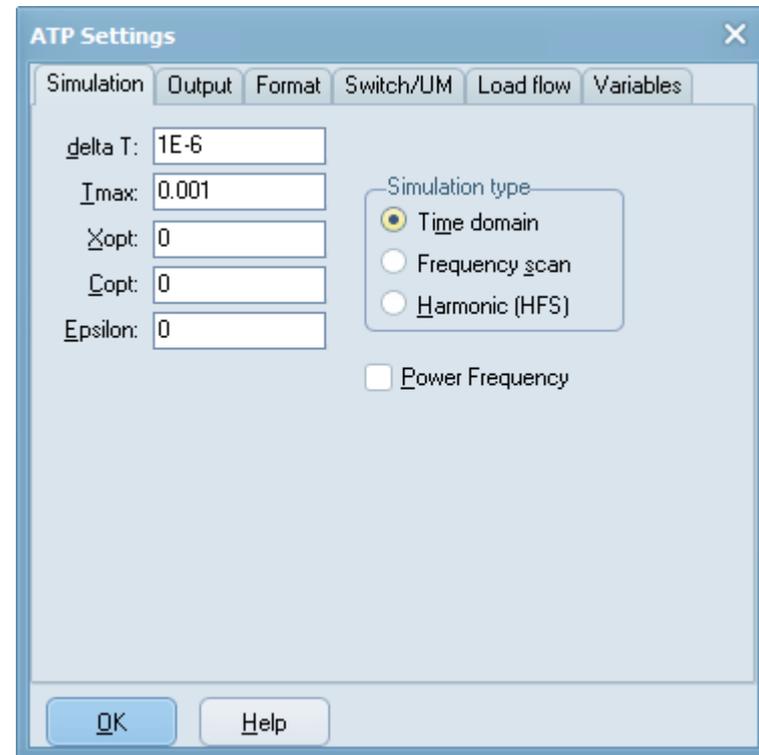
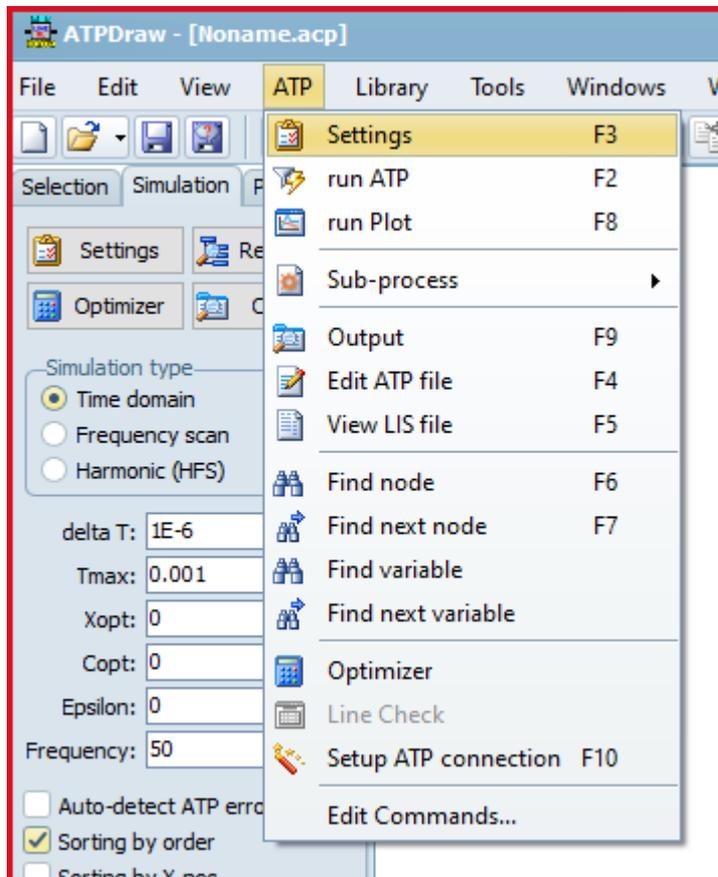


Conexão-Clicar em um terminal do componente e arrastar até terminal subsequente

Clicar no terminal e escolher Ground



Tempo de Simulação



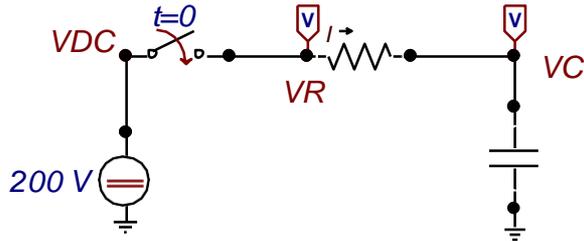
Simulação de circuitos elétricos RC, RL, LC e RLC

❖ Exemplo 1: Circuito Elétrico R-C

❑ Dados do circuito

- $R = 100 \text{ ohm}$
- $C = 1000 \text{ uF}$
- $v_c(0) = 0 \text{ V}$
- $V = 200 \text{ V}$

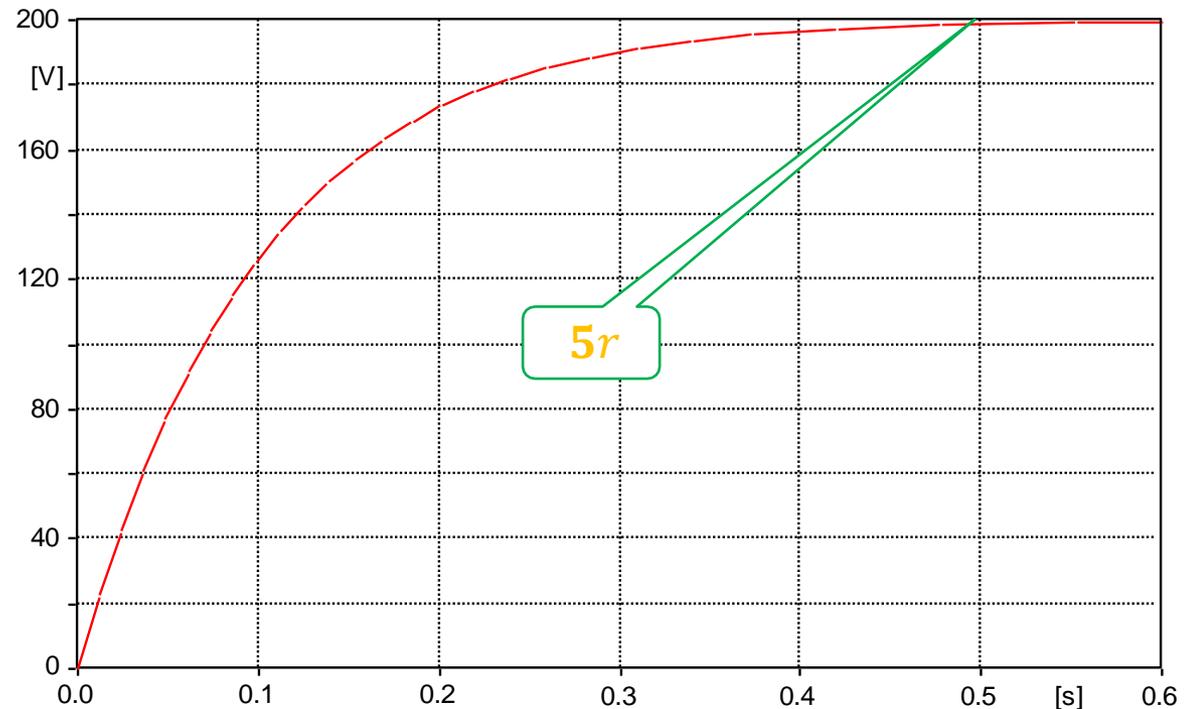
$$r = RC = 0.1 \text{ s}$$



$$\Delta T = 1E-5$$
$$T_{\text{max}} = 0.6$$

$$v_c(t) = V - [V - v_c(0)]e^{-t/RC}$$

$$v_c(t) = 200 - 200e^{-10t}$$



(file Exercise_01_RC_Circuit_Start.pl4; x-v ar t) v:VC

Tensão no condensador

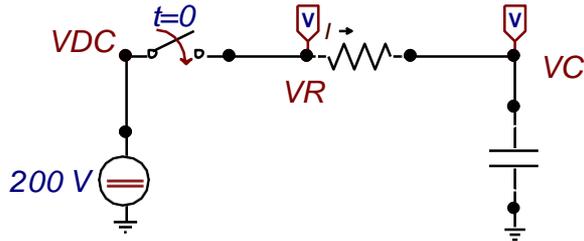
Simulação de circuitos elétricos RC, RL, LC e RLC

❖ Exemplo 1: Circuito Elétrico R-C

❑ Dados do circuito

- $R = 100 \text{ ohm}$
- $C = 1000 \text{ uF}$
- $v_c(0) = 0 \text{ V}$
- $V = 200 \text{ V}$

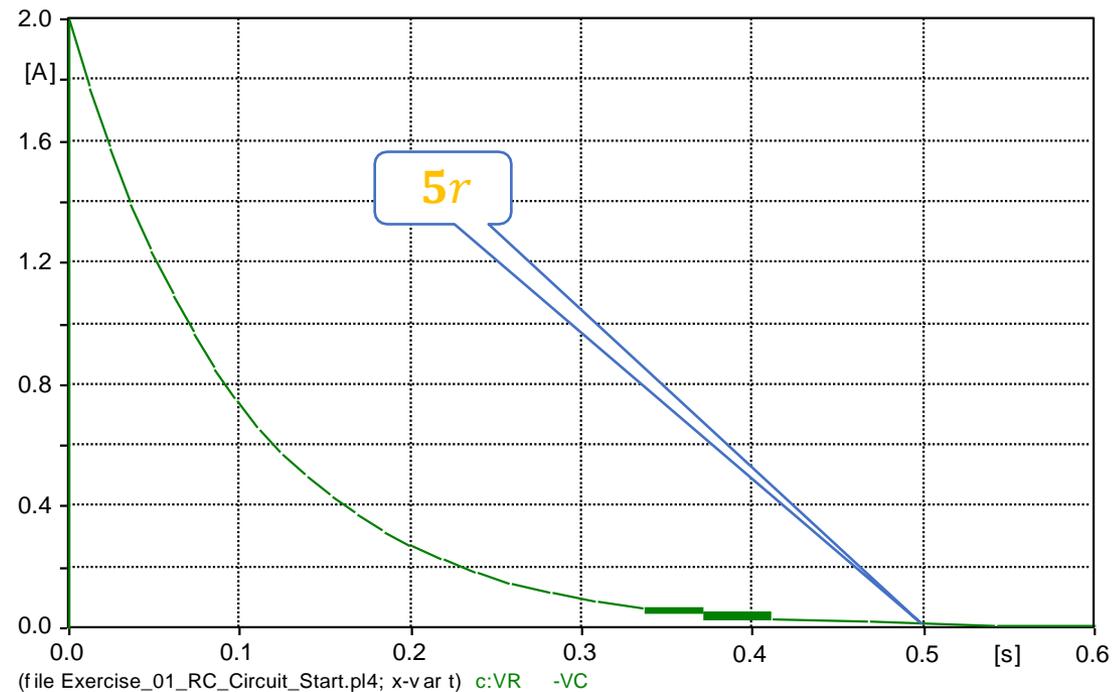
$$r = RC = 0.1 \text{ s}$$



$$\Delta T = 1\text{E-}5$$
$$T_{\text{max}} = 0.6$$

$$i(t) = \frac{1}{R} [V - v_c(0)] e^{-t/RC}$$

$$i(t) = 2e^{-10t}$$

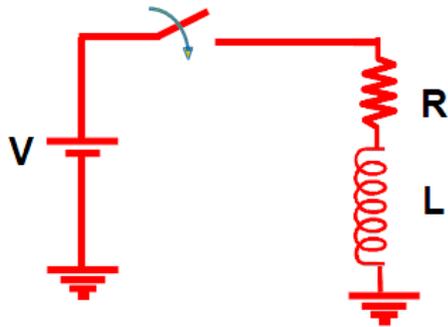


Corrente no condensador

Simulação de circuitos elétricos RC, RL, LC e RLC

❖ Exemplo 2: Circuito Elétrico R-L

❑ Circuito básico



❑ O que sabemos?

$$V = R i + v_L$$

$$v_L = L \frac{di}{dt}$$

❑ Desenvolvimento

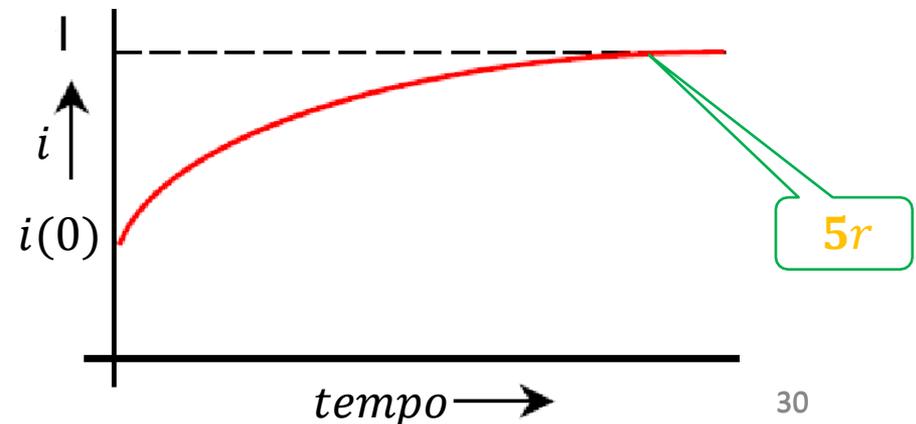
$$V = R i + L \frac{di}{dt} \quad \longrightarrow \quad \mathfrak{D} \frac{di}{V - R i} = \mathfrak{D} \frac{1}{L} dt$$

$$i(t) = \frac{V}{R} + A e^{-t/(L/R)} \quad i(t=0) = \frac{V}{R} + A$$

$$i(t) = \frac{V}{R} + \left[i(0) - \frac{V}{R} \right] e^{-t/(L/R)}$$

$$r = L/R$$

$$v_L(t) = [V - i(0)R] e^{-t/(L/R)}$$



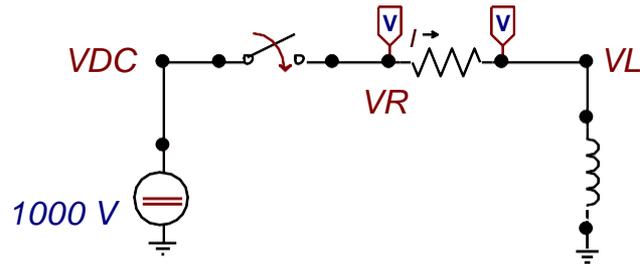
Simulação de circuitos elétricos RC, RL, LC e RLC

❖ Exemplo 2: Circuito Elétrico R-L

❑ Dados do circuito

- $R = 10 \text{ ohm}$
- $L = 0.1 \text{ H}$
- $i(0) = 0 \text{ A}$
- $V = 1000 \text{ V}$

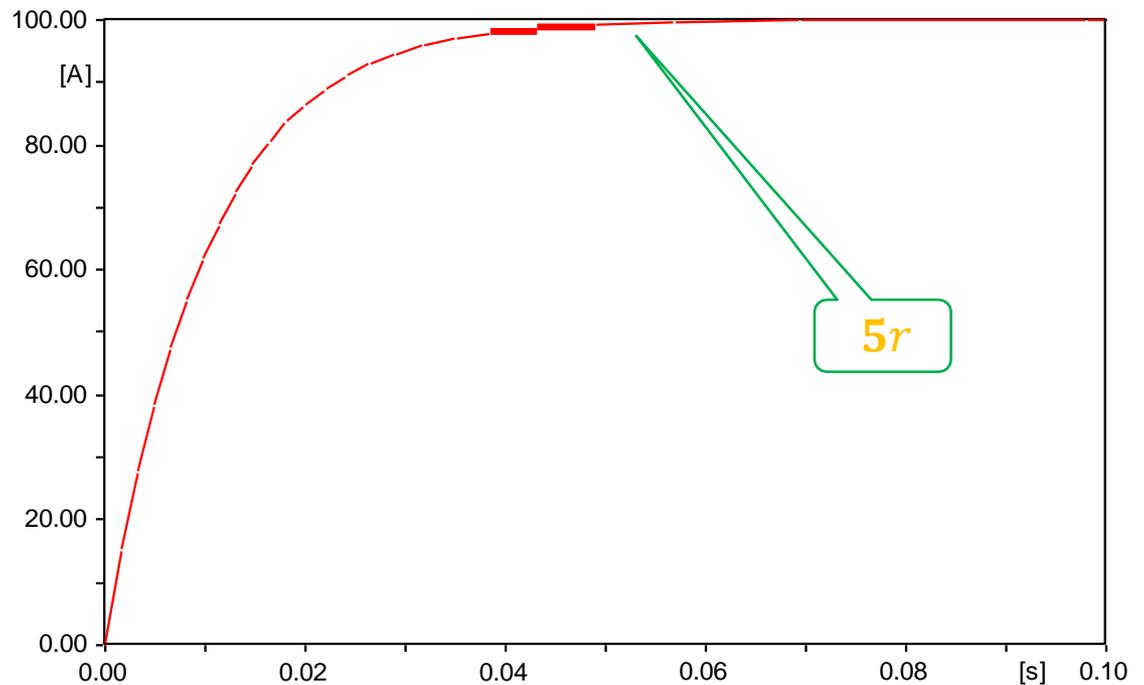
$$r = L/R = 0.01 \text{ s}$$



$$\Delta T = 1\text{E-}5$$
$$T_{\text{max}} = 0.1$$

$$i(t) = \frac{V}{R} + \left[i(0) - \frac{V}{R} \right] e^{-t/(L/R)}$$

$$i(t) = 100 - 100e^{-t/(0.01)}$$



(file Exercise_02_RL_Circuit_Start.pl4; x-v ar t) c:VR -VL

Corrente da bobina

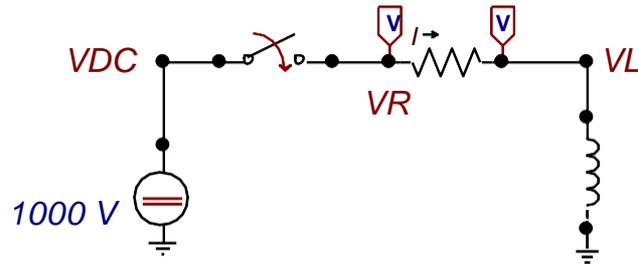
Simulação de circuitos elétricos RC, RL, LC e RLC

❖ Exemplo 2: Circuito Elétrico R-L

❑ Dados do circuito

- $R = 10 \text{ ohm}$
- $L = 0.1 \text{ H}$
- $i(0) = 0 \text{ A}$
- $V = 1000 \text{ V}$

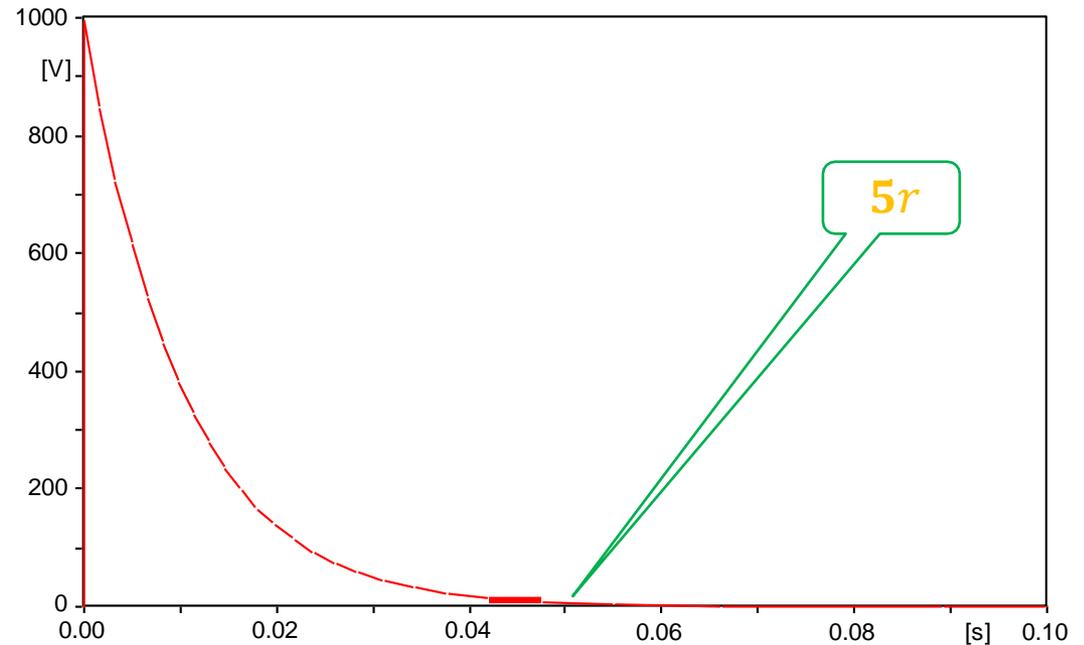
$$r = L/R = 0.01 \text{ s}$$



$$\Delta T = 1\text{E-}5$$
$$T_{\text{max}} = 0.1$$

$$v_L(t) = [V - i(0)R]e^{-t/(L/R)}$$

$$v_L(t) = 1000e^{-t/(0.01)}$$

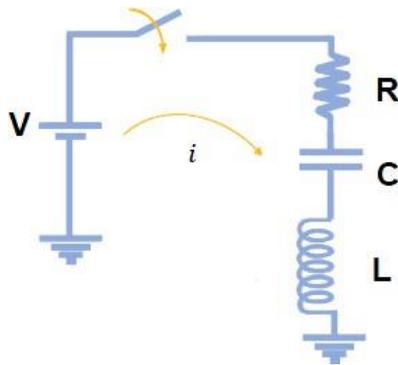


Tensão na bobina

Simulação de circuitos elétricos RC, RL, LC e RLC

❖ Exemplo 3: Circuito Elétrico R-L-C

❑ Circuito básico



❑ Desenvolvimento

$$V = Ri + \frac{1}{C} \int i dt + L \frac{di}{dt} \quad \longrightarrow \quad L \frac{d^2i}{dt^2} + R \frac{di}{dt} + \frac{i}{C} = 0$$

$$s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{1}{LC} = 0$$

$$s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{1}{LC} = 0$$

$$s_{1,2} = -\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}$$

$$\alpha = \frac{R}{2L} \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

❑ O que sabemos?

$$V = R i + v_L + v_C$$

$$v_L = L \frac{di}{dt}$$

$$i = C \frac{dv_C}{dt} \quad v_C = \frac{1}{C} \int i dt$$

$$i(t) = A_1 e^{s_1 t} + A_2 e^{s_2 t}$$

❑ Três casos para analisar:

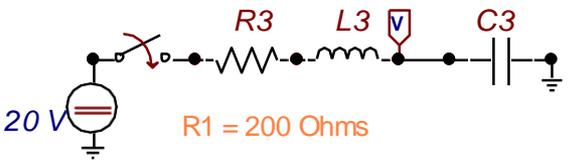
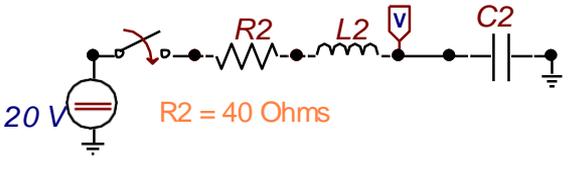
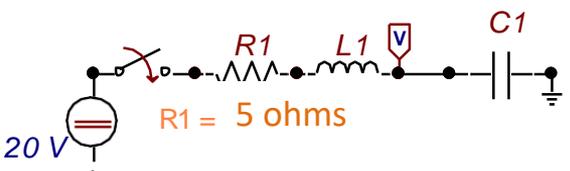
- $\alpha < \omega_0$, caso subamortiguado.
- $\alpha = \omega_0$, caso criticamente amortiguado.
- $\alpha > \omega_0$, caso sobreamortiguado.

Simulação de circuitos elétricos RC, RL, LC e RLC

Exemplo 3: Circuito Elétrico R-L-C

Dados do circuito

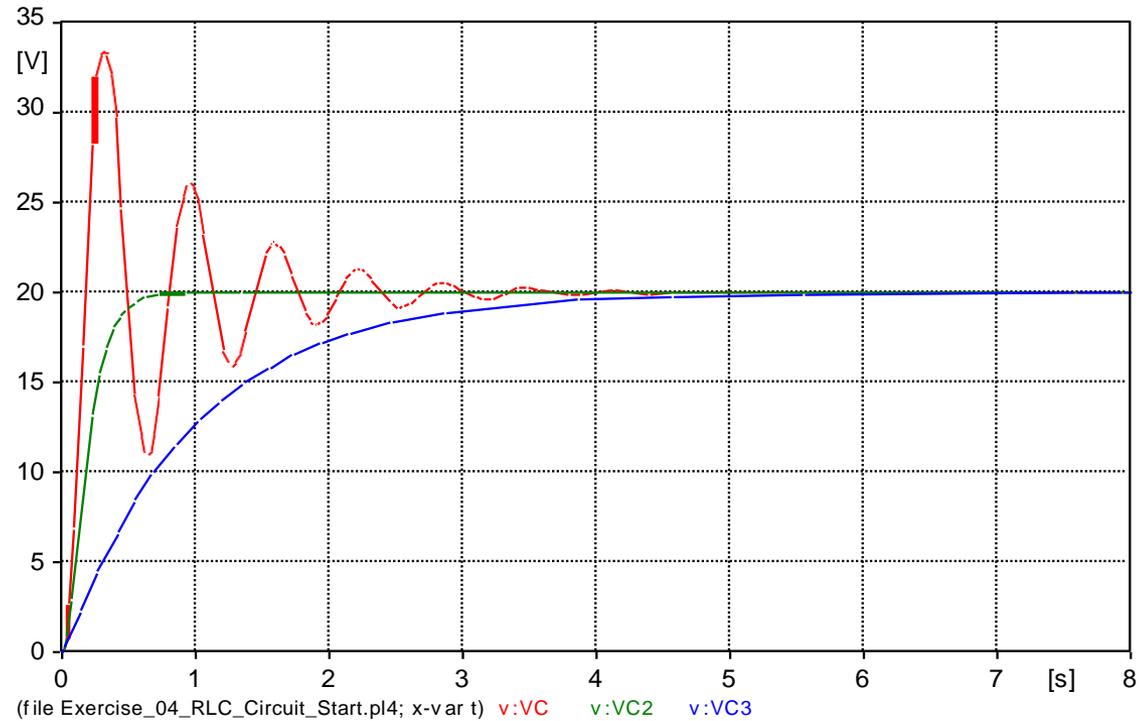
- V = 20 V
- L = 2000 mH
- C = 5000 uF
- R: variável



$$\alpha = \frac{R}{2L}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

- $\alpha < \omega_0$, caso subamortecido.
- $\alpha = \omega_0$, caso criticamente amortecido.
- $\alpha > \omega_0$, caso sobreamortecido.



$\Delta T = 1E-5$
 $T_{max} = 8$

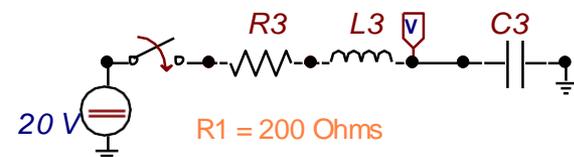
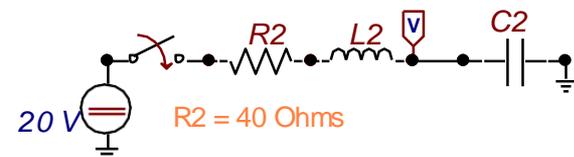
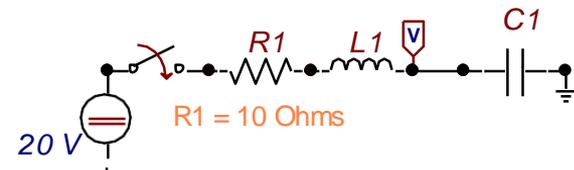
Tensão no capacitor

Simulação de circuitos elétricos RC, RL, LC e RLC

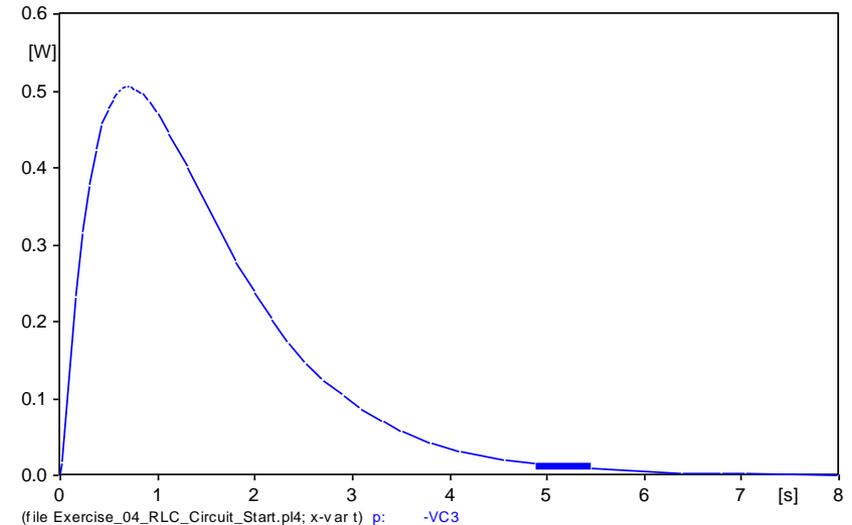
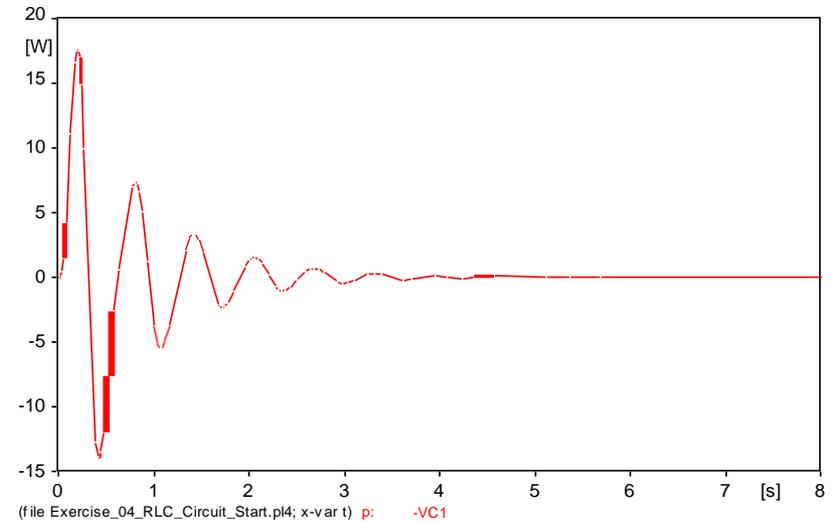
❖ Exemplo 3: Circuito Elétrico R-L-C

❑ Dados do circuito

- $V = 20\text{ V}$
- $L = 2000\text{ mH}$
- $C = 5000\text{ uF}$
- R : variável



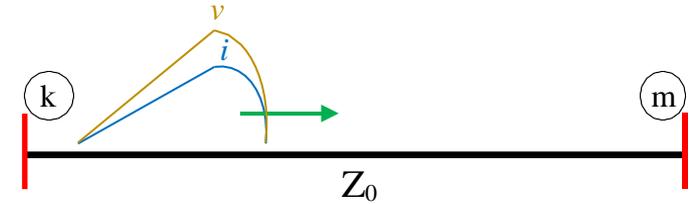
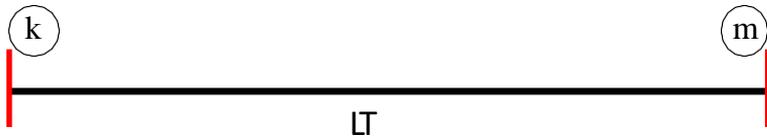
$\Delta T = 1\text{E-}5$
 $T_{\text{max}} = 8$



Potencia que intercambia o capacitor

Simulação de manobras em linhas de transmissão.

❖ Linha de transmissão, propagação de ondas viajantes



$$\frac{V}{i} = Z_0$$

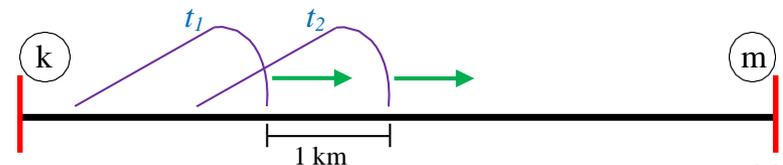
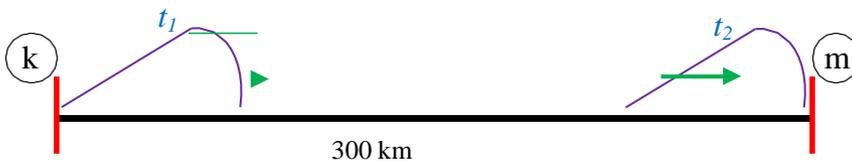
Onde:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

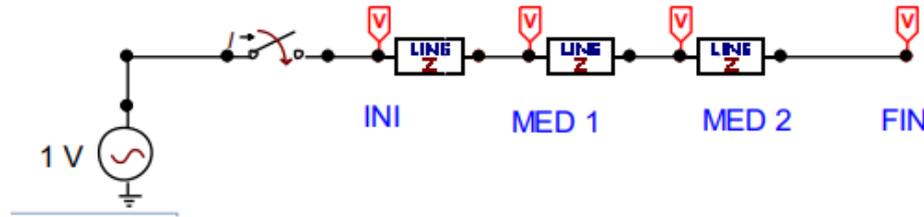
$Z_0 = 250 - 400 \text{ Ohm}$ en Linhas aéreas.

$$\text{Velocidad} = \sqrt{\frac{1}{LC}} = \sqrt{\frac{1}{\mu_0 \epsilon_0}}$$

En linhas aéreas: $V = 300000 \text{ km/s}$ o 300 km/ms o 3.34 us/km



T-cl = 1 ms



Datos para las líneas:

R/L = 0 ohm/m

Zc = 500 ohm

v = 300000000 m/s

L = 100 km

- Probes & 3-phase
- Branch Linear
- Branch Nonlinear
- Lines/Cables
 - Lumped
 - Distributed
 - Transposed lines (Clarke)
 - 1 phase
 - Untransp. lines (KCLee)
 - 2 phase
 - 3 phase
 - 6 phase
 - 6 phase mutual
 - 9 phase
 - LCC template
 - LCC section
 - LCC EGM
 - Read PCH file...
- Switches
- Sources
- Machines
- Transformers
- MODELS
- IACS
- User Specified
- Steady-state
- Power system tools
- All standard comp...
- Add Objects



LINE: LINEZT_1

Attributes

DATA	UNIT	VALUE
R	Ohm/m	0
Z	ohm	500
v	m/s	300000000

NODE	PHASE	NAME
From	1	
To	1	

Copy Paste Reset Order: 0 Label: []

Comment: []

Lines

Length 100000 [m]

Output No

ILINE

- L', C'
- Z, v
- Z, tau

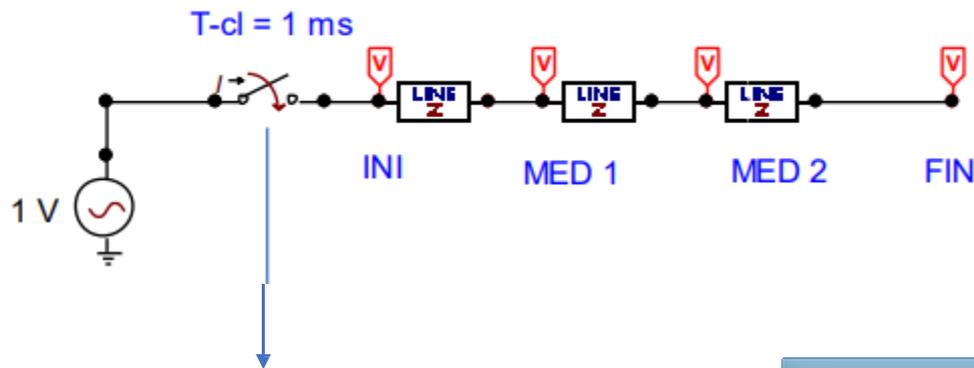
Conductance

- G=0
- G=R*C/L

Hide

\$Vintage,1

Edit definitions OK Cancel Help



Datos para las líneas:
 R/L = 0 ohm/m
 Zc = 500 ohm
 v = 300000000 m/s
 L = 100 km

- Probes & 3-phase
- Branch Linear
- Branch Nonlinear
- Lines/Cables
- Switches**
 - Switch time controlled
 - Switch time 3-ph
 - Switch voltage contr.
 - Diode (type 11)
 - Valve (type 11)
 - Triac (type 12)
 - IACS switch (type 13)
 - Measuring
 - Statistic switch
 - Systematic switch
 - Nonlinear diode
- Sources
- Machines
- Transformers
- MODELS
- IACS
- User Specified
- Steady-state
- Power system tools
- All standard comp...
- Add Objects



Component: TSWITCH

Attributes Characteristic

DATA	UNIT	VALUE
T-cl	s	0
T-op	s	-1
Imar	Amps	0
T-recl	s	0.001
T-reop	s	0

NODE	PHASE	NAME
From	1	
To	1	

Copy Paste Reset Order: 0 Label:

Comment:

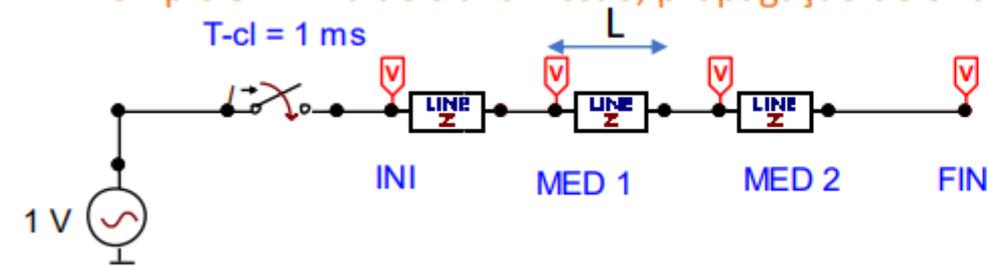
Output: Hide

NumPh 1

Edit definitions OK Cancel Help

Simulação de manobras em linhas de transmissão

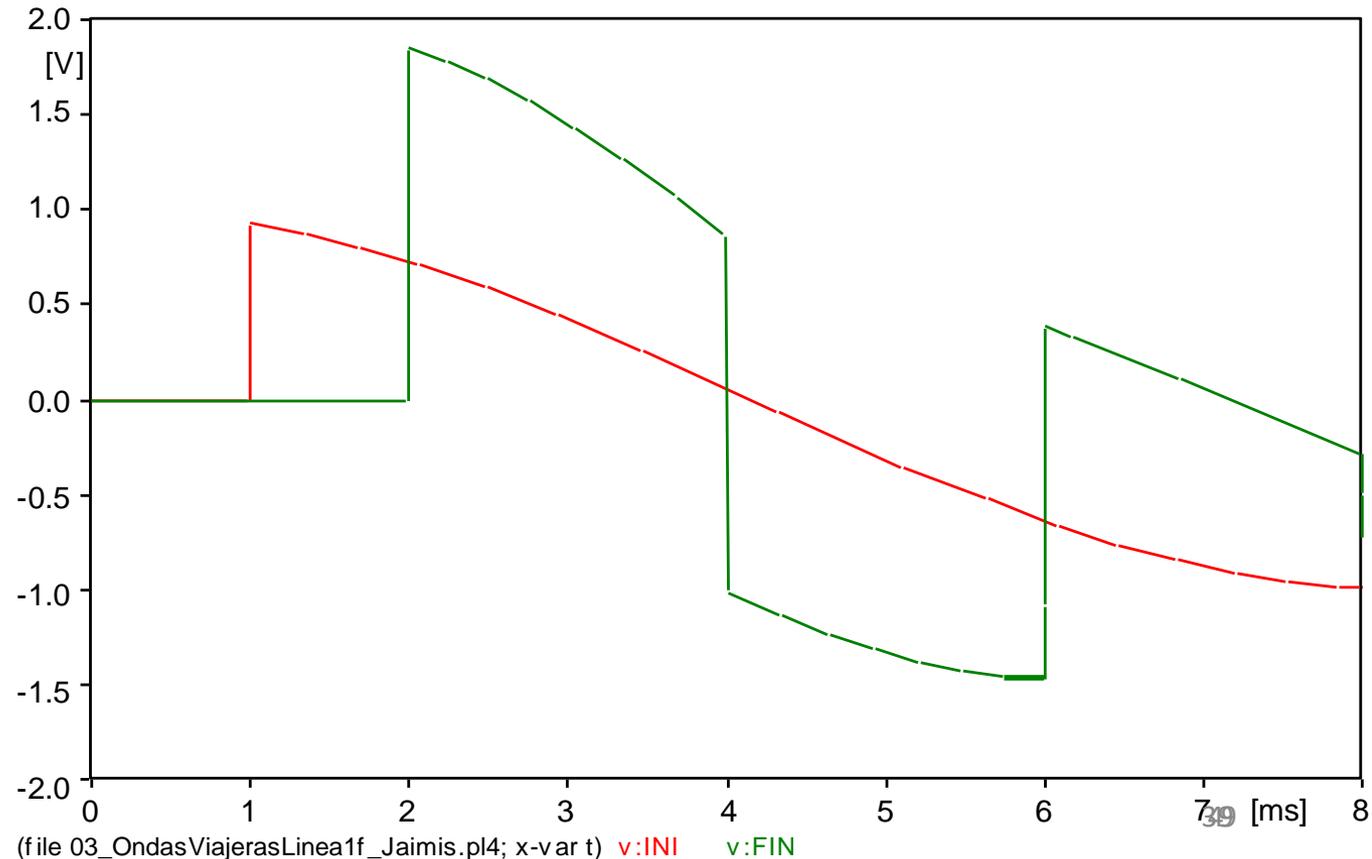
❖ Exemplo 5: Linha de transmissão, propagação de ondas viajantes

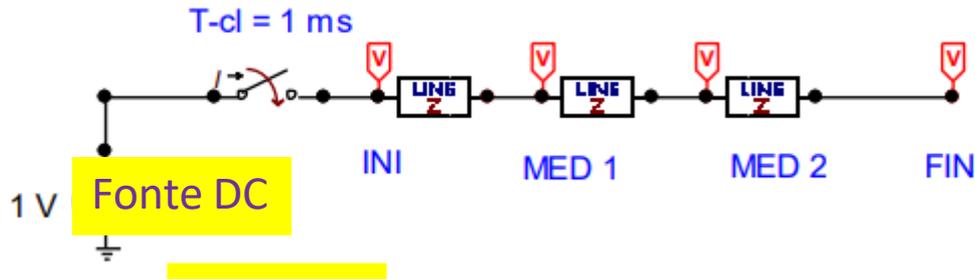


Datos para las líneas:
R/L = 0 ohm/m
Zc = 500 ohm
v = 300000000 m/s
L = 100 km

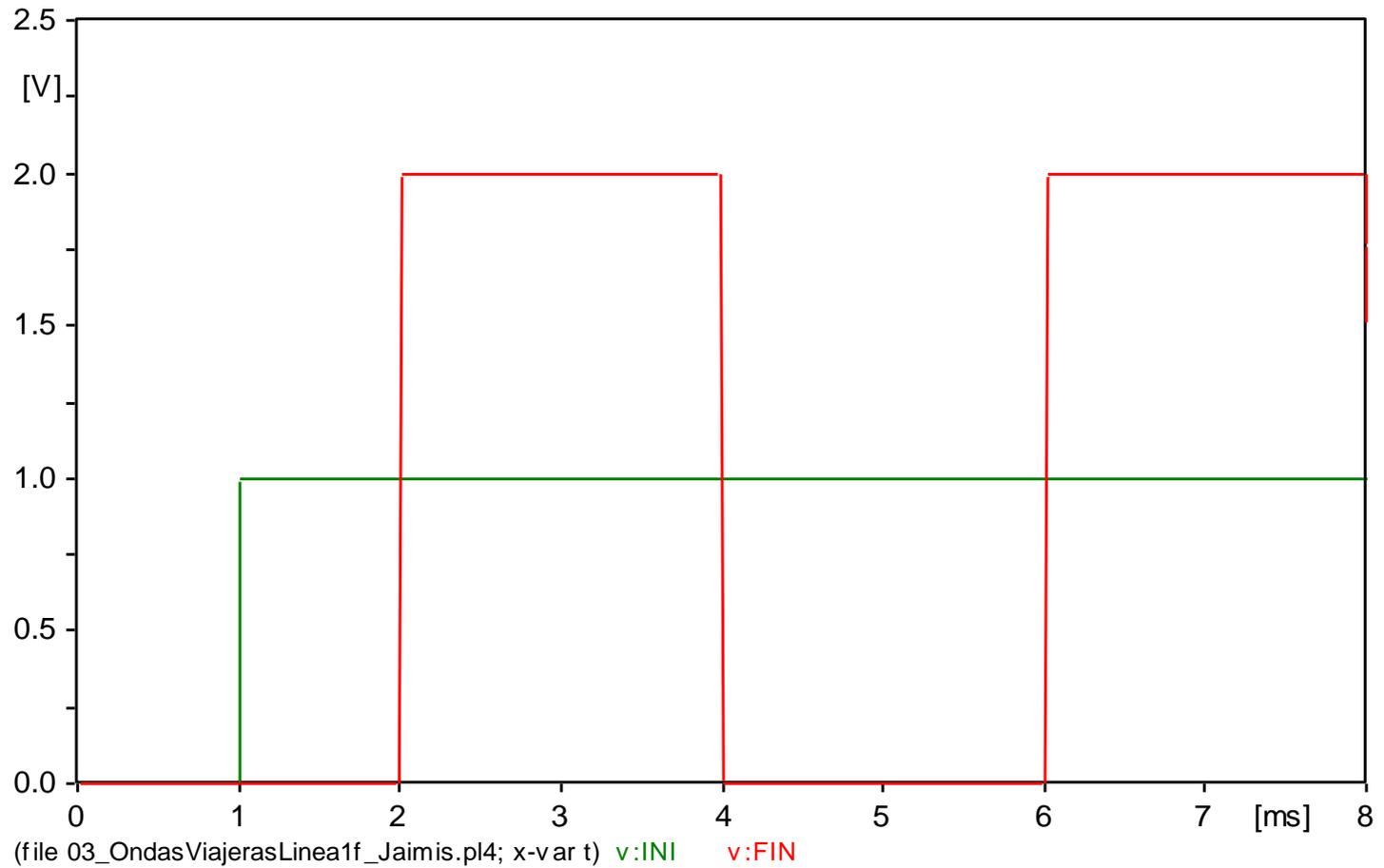
$$\tau = \frac{L}{v} = 0,33 \text{ ms}$$

Fonte AC



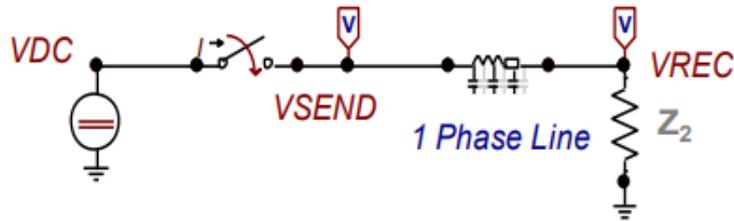


Datos para las líneas:
 $R/L = 0 \text{ ohm/m}$
 $Z_c = 500 \text{ ohm}$
 $v = 300000000 \text{ m/s}$
 $L = 100 \text{ km}$



Simulação de manobras em linhas de transmissão.

❖ Energização de Linha de transmissão com diversas cargas resistivas



Dados para a LT
 $R' = 0 \text{ ohm/km}$
 $L' = 1 \text{ mH/km}$
 $C' = 11.5 \text{ nF/km}$
 $d = 100 \text{ km}$

$$v = \frac{1}{\sqrt{L' \cdot C'}} \quad v = 2.95 \times 10^5 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$
$$\tau = \frac{d}{v} \quad \tau = 3.3912 \times 10^{-4} \text{ s}$$
$$Z_c = \sqrt{\frac{L'}{C'}} \quad Z_c = 294.88 \Omega$$

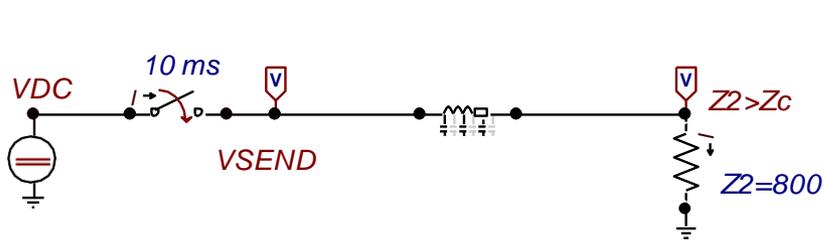
Vdc = 100 kV

❑ Casos de tensões a analisar:

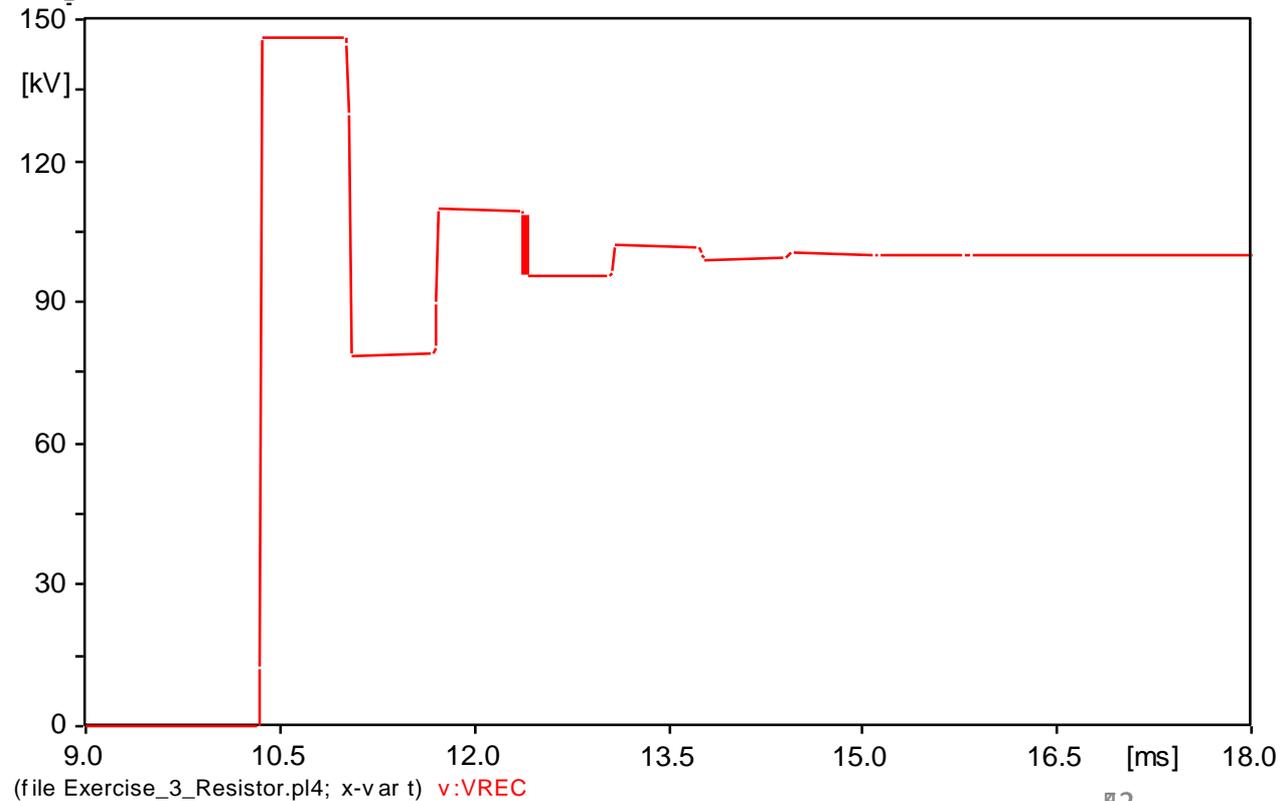
- Tensão no receptor para o caso que $Z2 > Zc$
- Tensão no receptor para o caso que $Z2 < Zc$
- Tensão no receptor para o caso que $Z2 = Zc$

Simulação de manobras em linhas de transmissão.

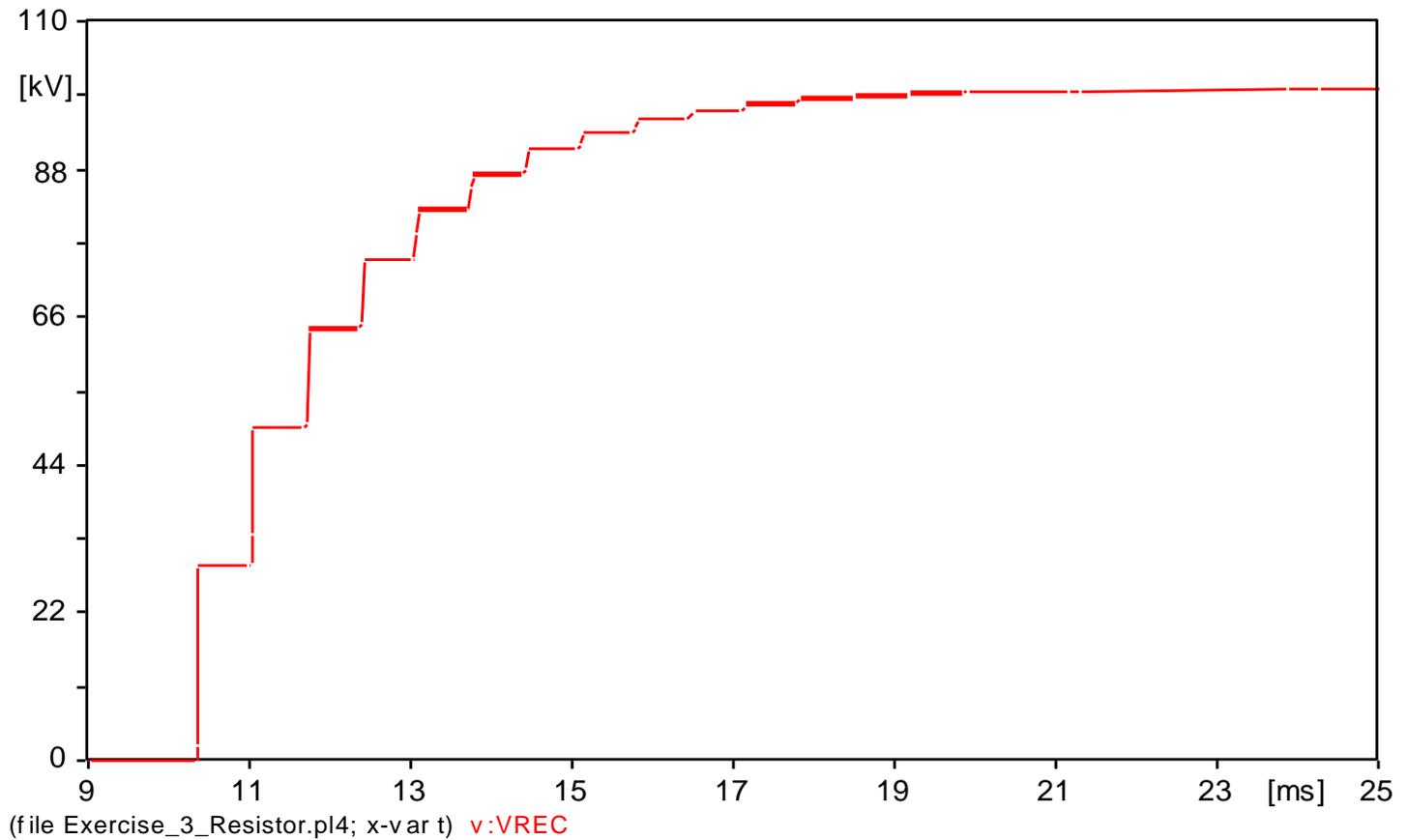
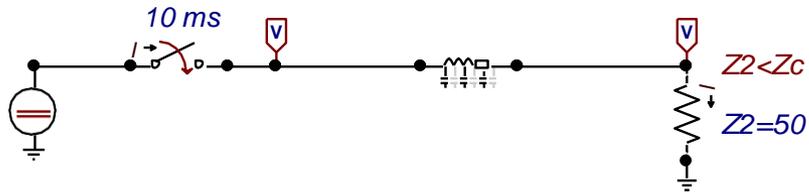
❖ Exemplo 6: Linha de transmissão, comparação modelo de circuito PI e Bergeron



Tensão no receptor para o caso que $Z_2 > Z_C$



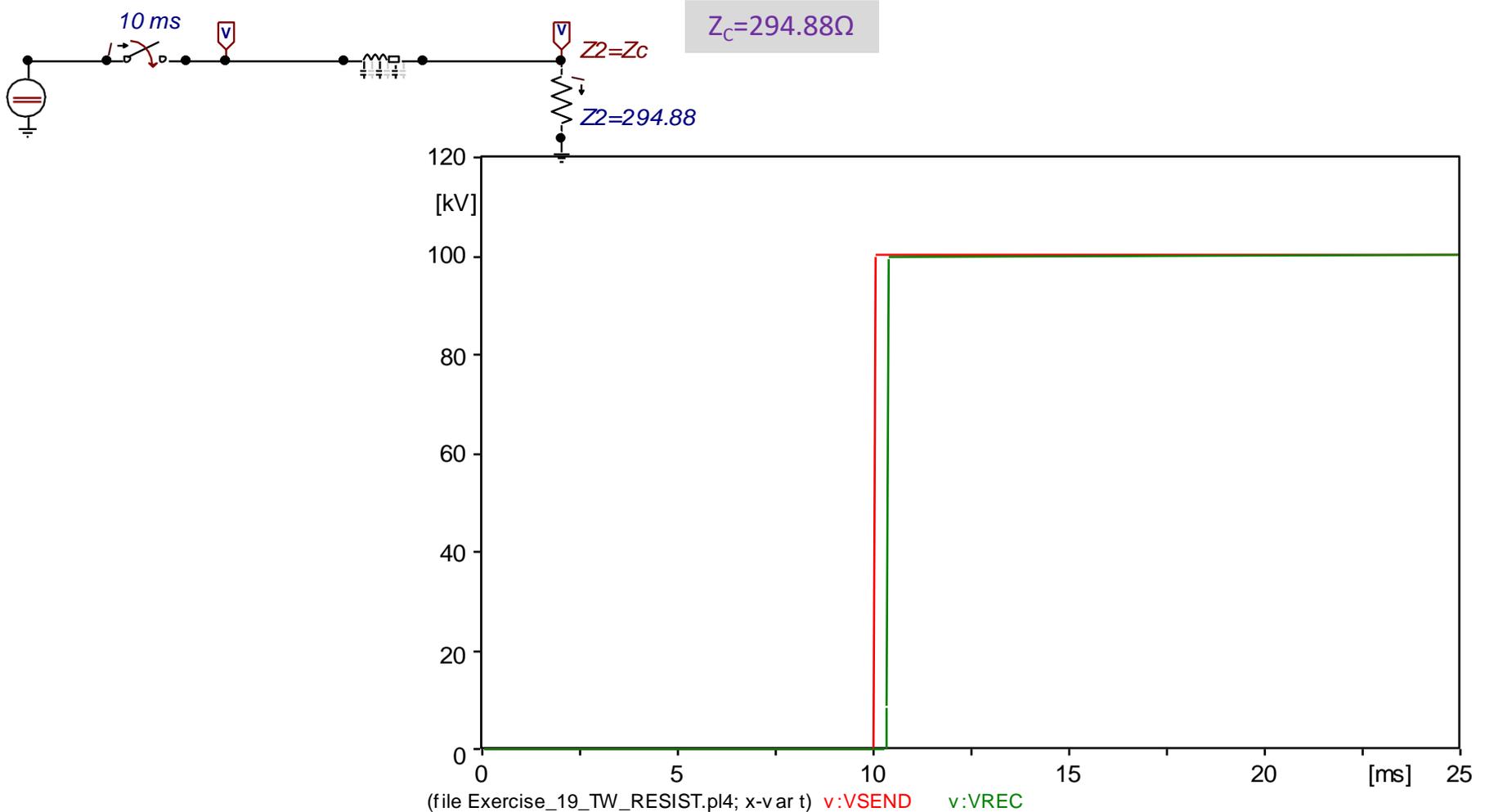
Simulação de manobras em linhas de transmissão.



Tensão no receptor para o caso que $Z2 < ZC$

Simulação de manobras em linhas de transmissão.

❖ Exemplo 6: Linha de transmissão, comparação modelo de circuito PI e Bergeron



Tensão no receptor para o caso que $Z_2 = Z_c$