

# **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

- ATP
  - [Apostila 1-ATP](#)
  - [Apostila 2- Manual](#)
  - [www.atpdraw.net](http://www.atpdraw.net)
- ONDAS GUIADAS
  - [EE 754 – ONDAS GUIADAS \(A<sub>p</sub>,1\)](#)
  - [EE 754 – ONDAS GUIADAS \(A<sub>p</sub>,2\)](#)

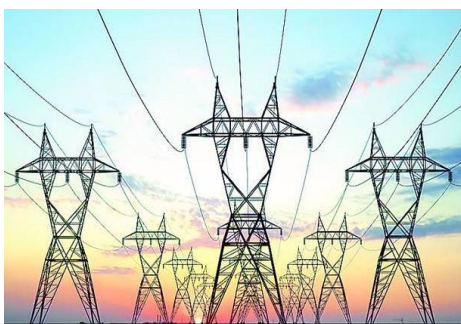
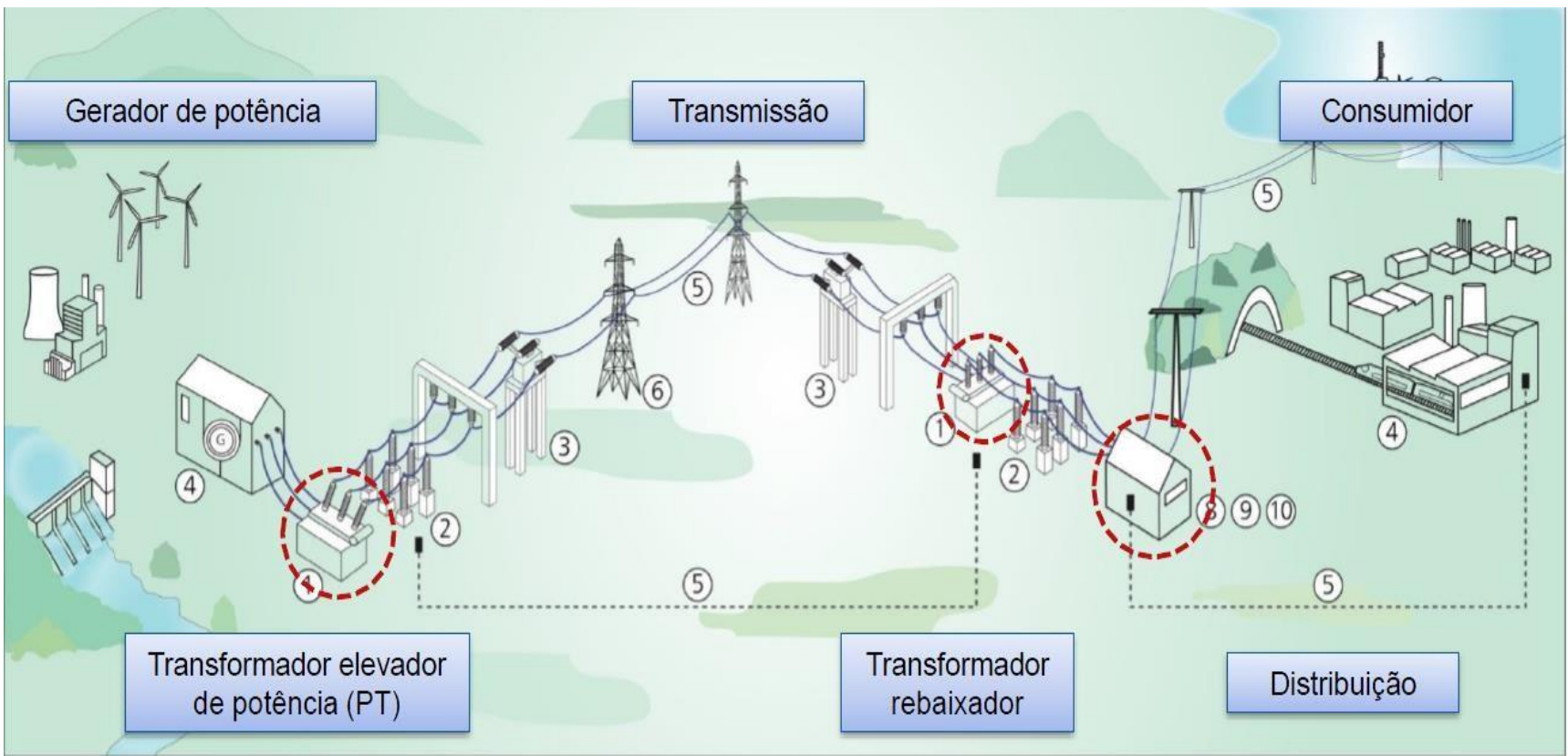
### LIVROS

- [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 \(Linha de Transmissão\)](#)

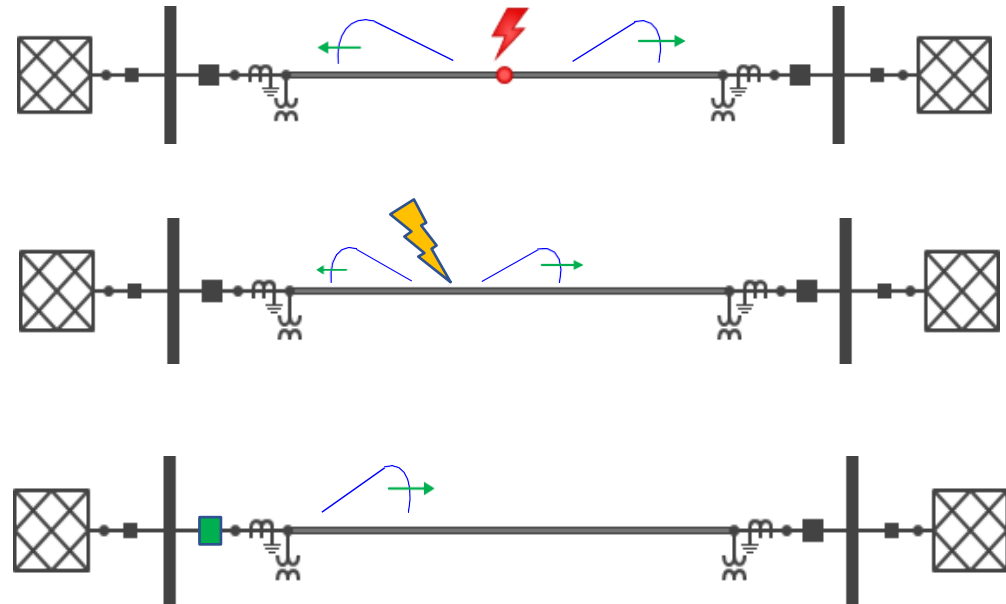
# Introdução aos Transitórios Eletromagnéticos no SEP



# 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



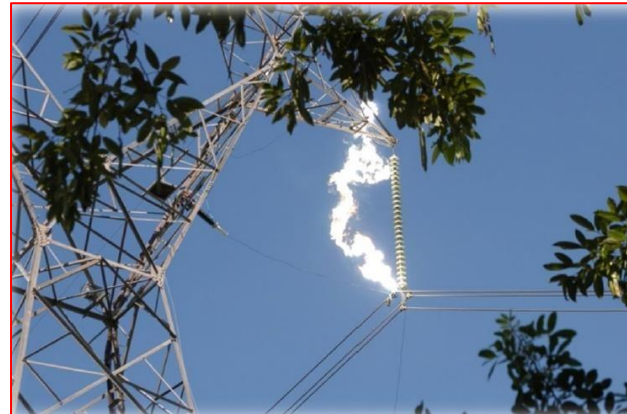


# Introdução aos Transitórios Eletromagnéticos no SEP

❖ Para que estudar os fenômenos transitórios?

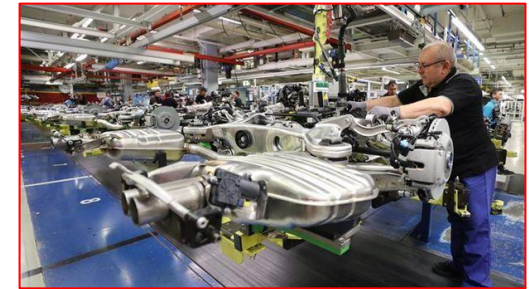
❖ Prevenir o desgaste dos equipamentos

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



# Introdução aos Transitórios Eletromagnéticos no SEP

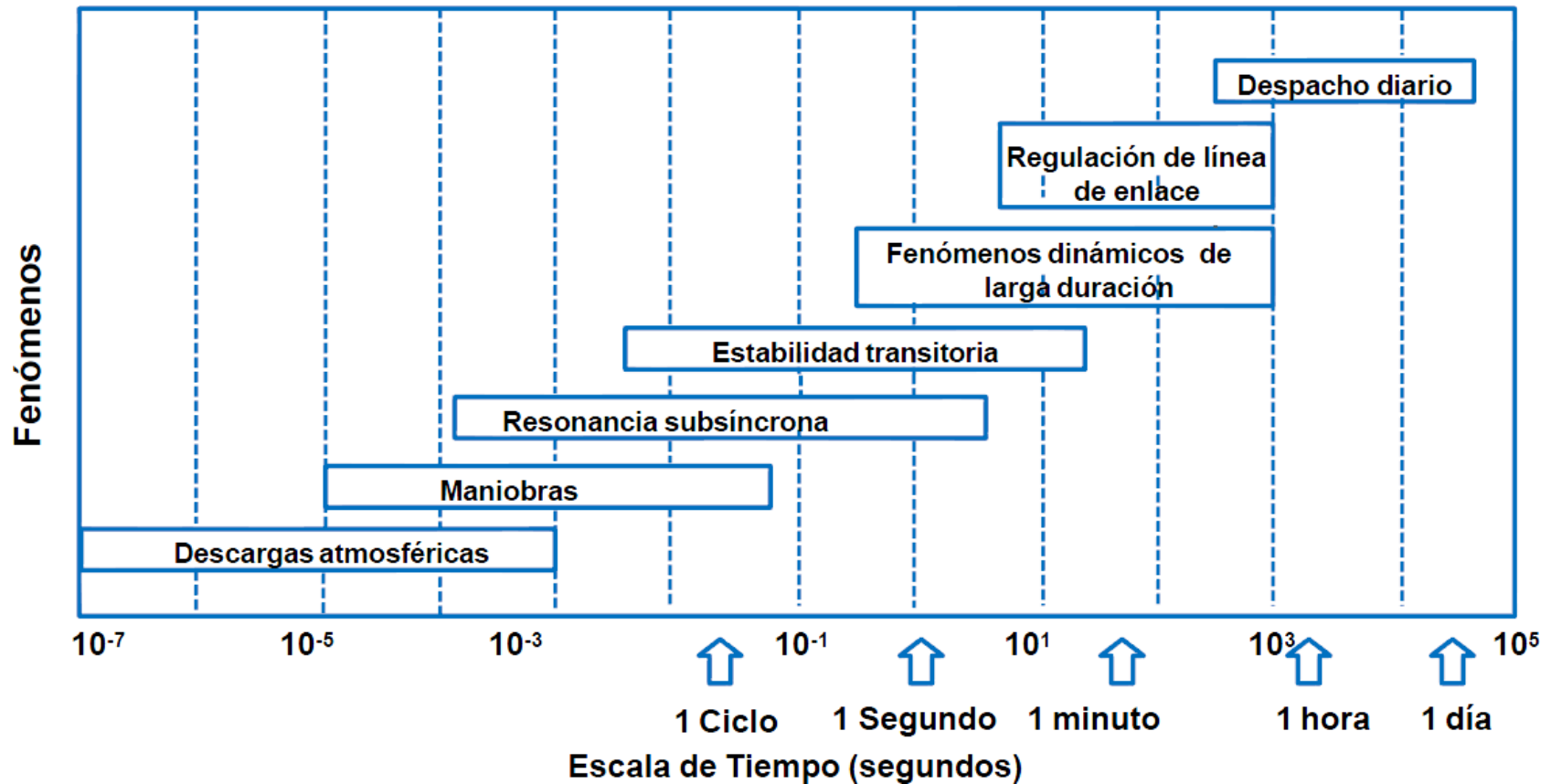
- ❖ Para que estudar os fenômenos transitórios?
- ❖ Garantir a continuidade e qualidade da energia
  - ❑ Continuidade do serviço de energia
  - ❑ Prevenir as paradas não programadas
  - ❑ Tempo, identificação e reparo do defeito
  - ❑ Localização de Falhas
  - ❑ Diminuição dos custos para reparos e perdas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

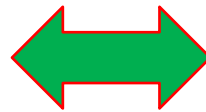
## Transitórios rápidos

### Transitórios eletromagnéticos

Faixa de tempo [1  $\mu$ 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

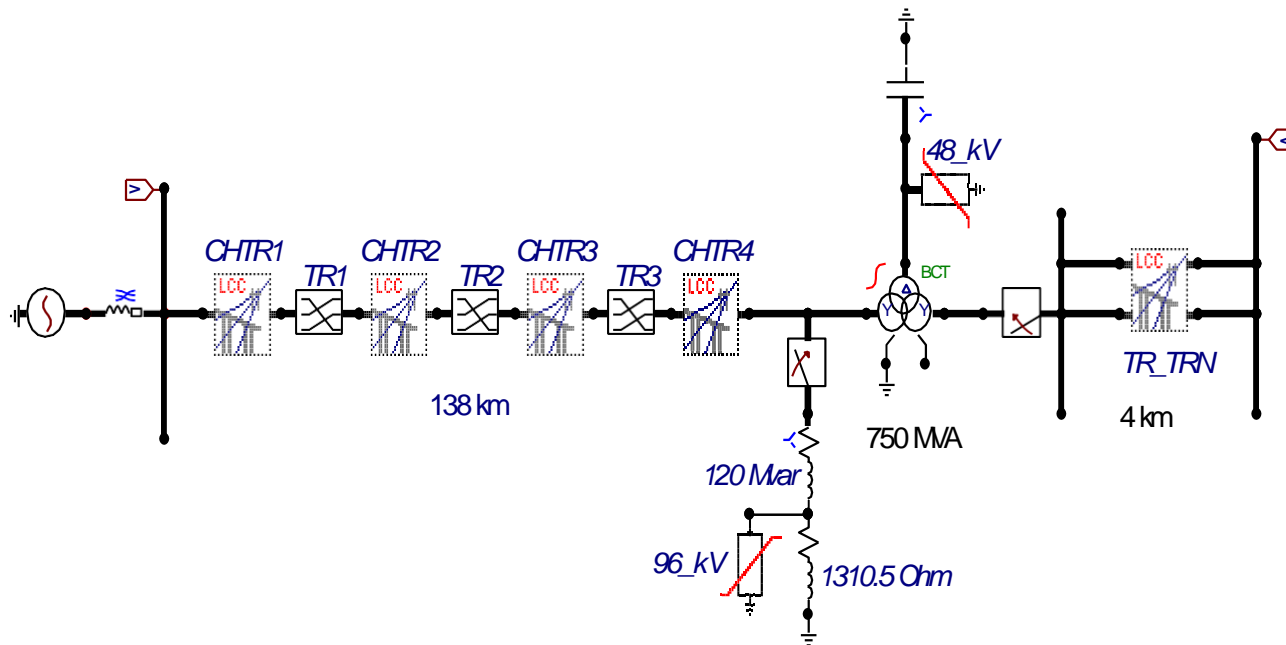
## ❖ Principais faixas de frequência de transitórios

<b>Tipo de Perturbação</b>	<b>Faixa de Frequências</b>
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

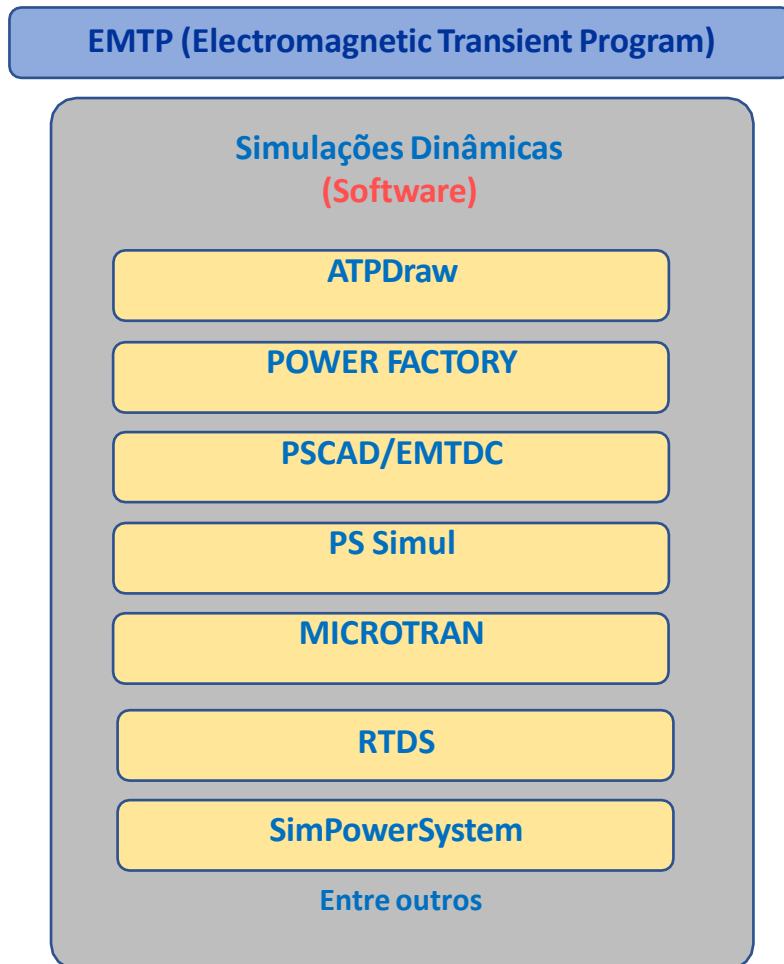
- ❑ Uma correta simulação de um fenômeno transitório requer de uma **correta representação dos componentes do sistema** para uma ampla faixa de frequências (DC → MHz).
- ❑ Podemos usar modelos válidos para determinadas faixas de frequências e/ou modelar o sistema elétrico segundo a faixa de ocorrência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





# Introdução aos Transitórios Eletromagnéticos no SEP

## ❖ Simuladores Digitais para transitórios eletromagnéticos



ATP Draw

PSCAD

PS Simul



SILENT  
DIG

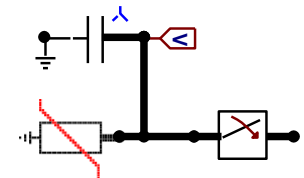
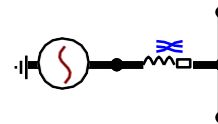
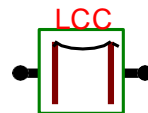
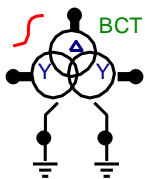
MATLAB®  
& SIMULINK®

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.



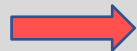
# Instalação e uso do ATP/EMTP

## ❖ 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.

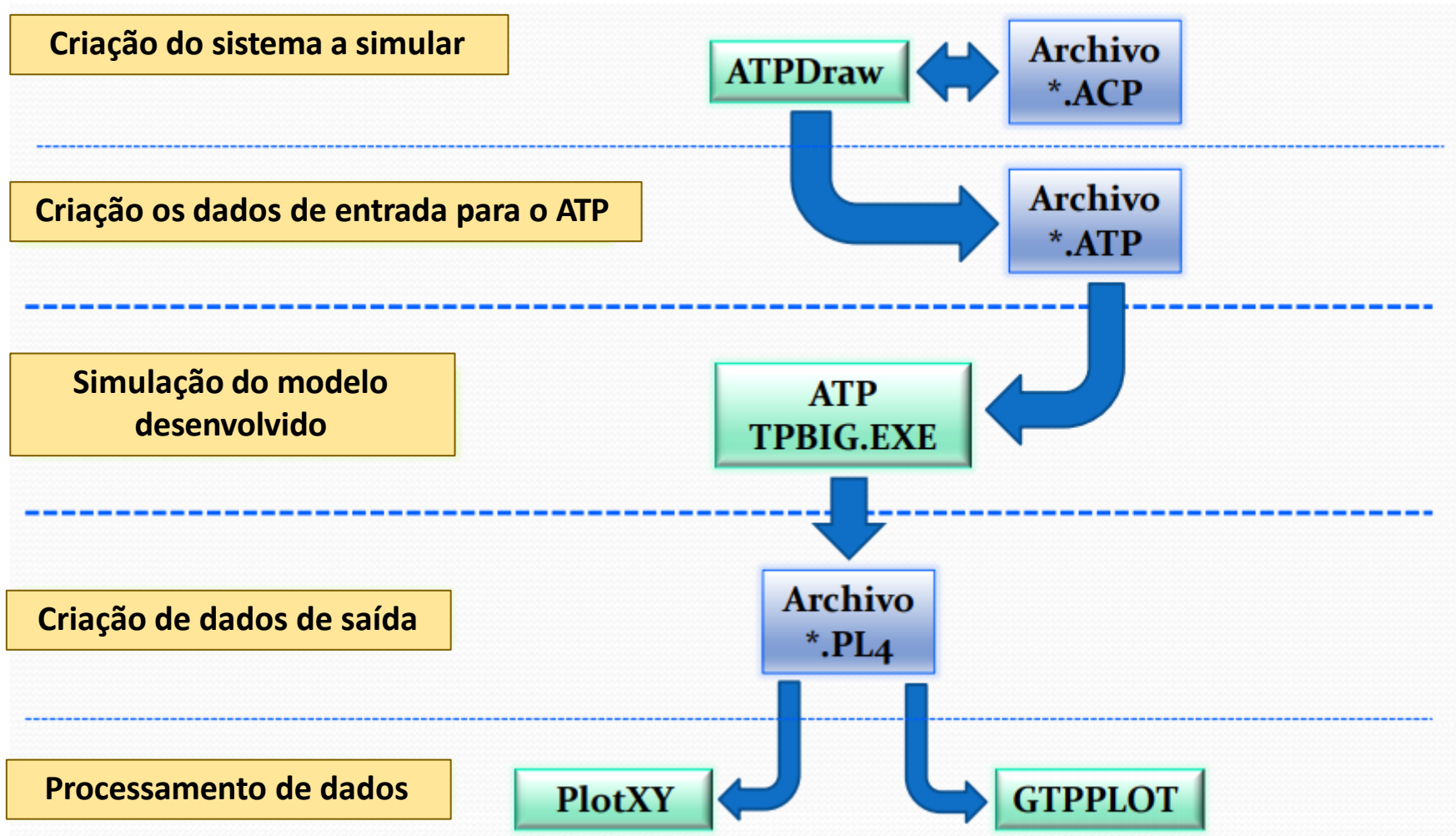
# Instalação e uso do ATP/EMTP

## ❖ 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

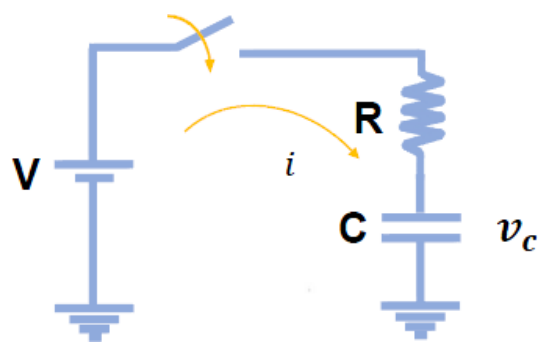
## ❖ Vantagens do ATPDraw

- ❑ 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

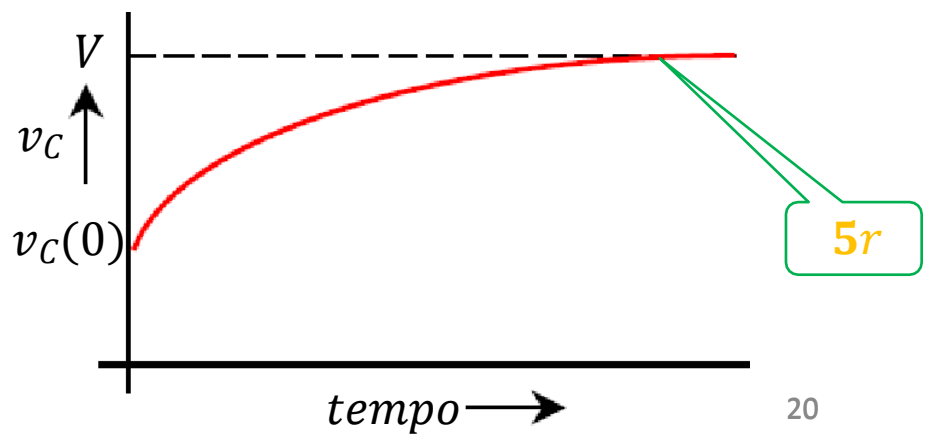
$$V - v_c = RC \frac{dv_c}{dt} \quad \rightarrow \quad \mathfrak{D} \frac{dv_c}{V - v_c} = \mathfrak{D} \frac{1}{RC} dt$$

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

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

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

$$r = RC$$

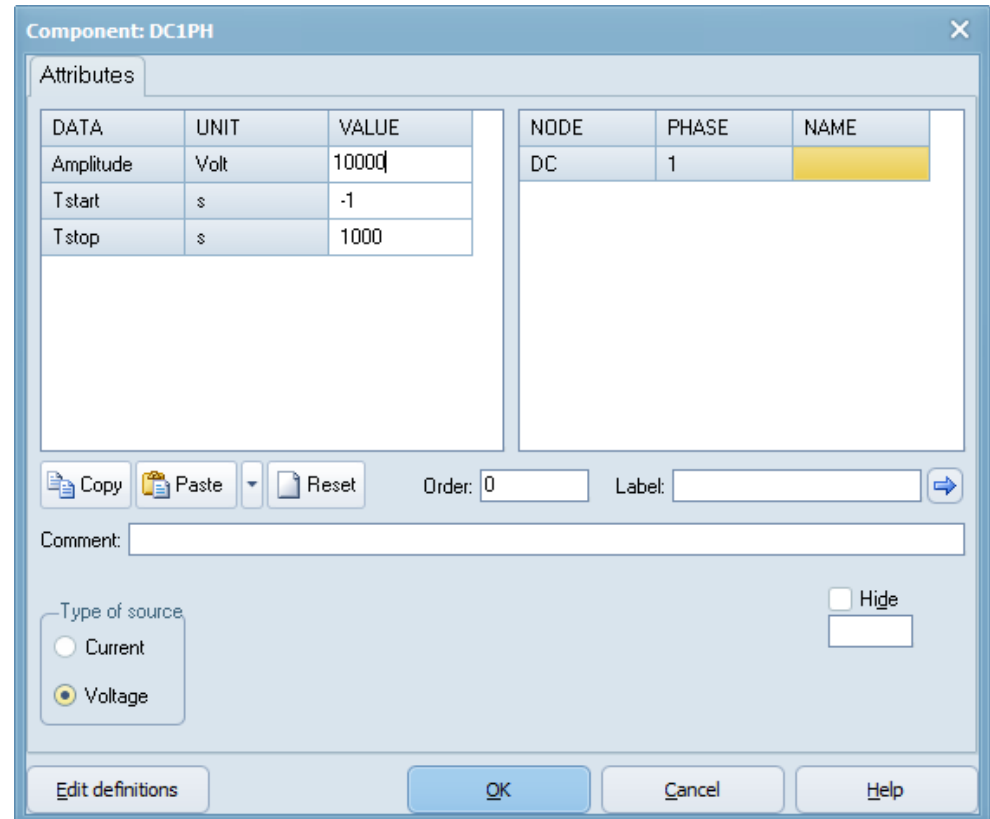
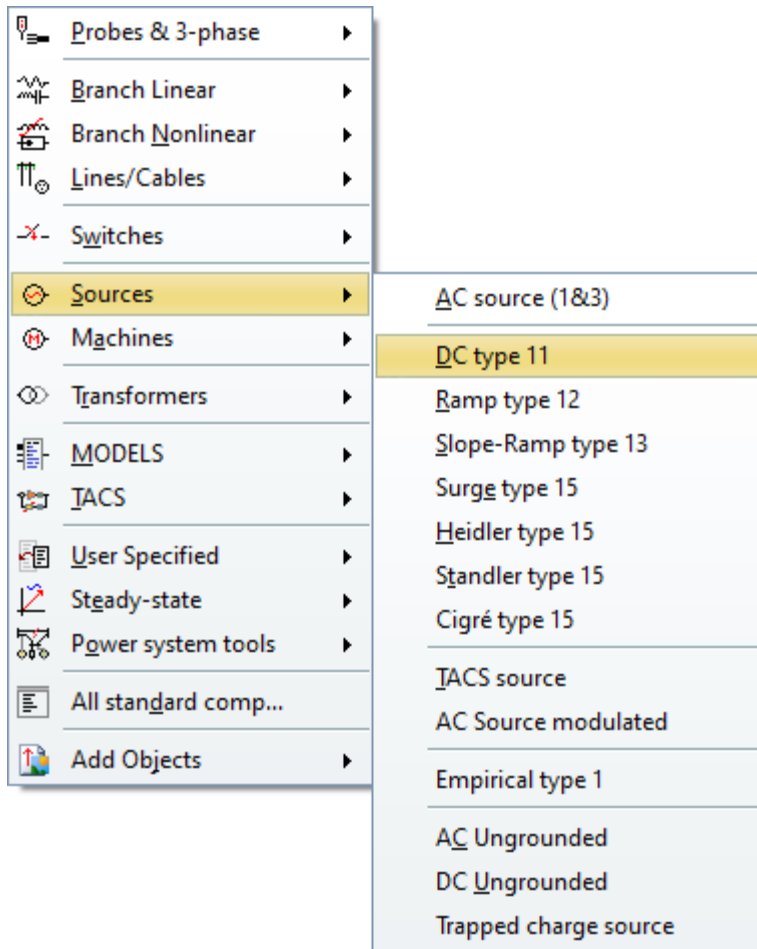


# Construção do circuito

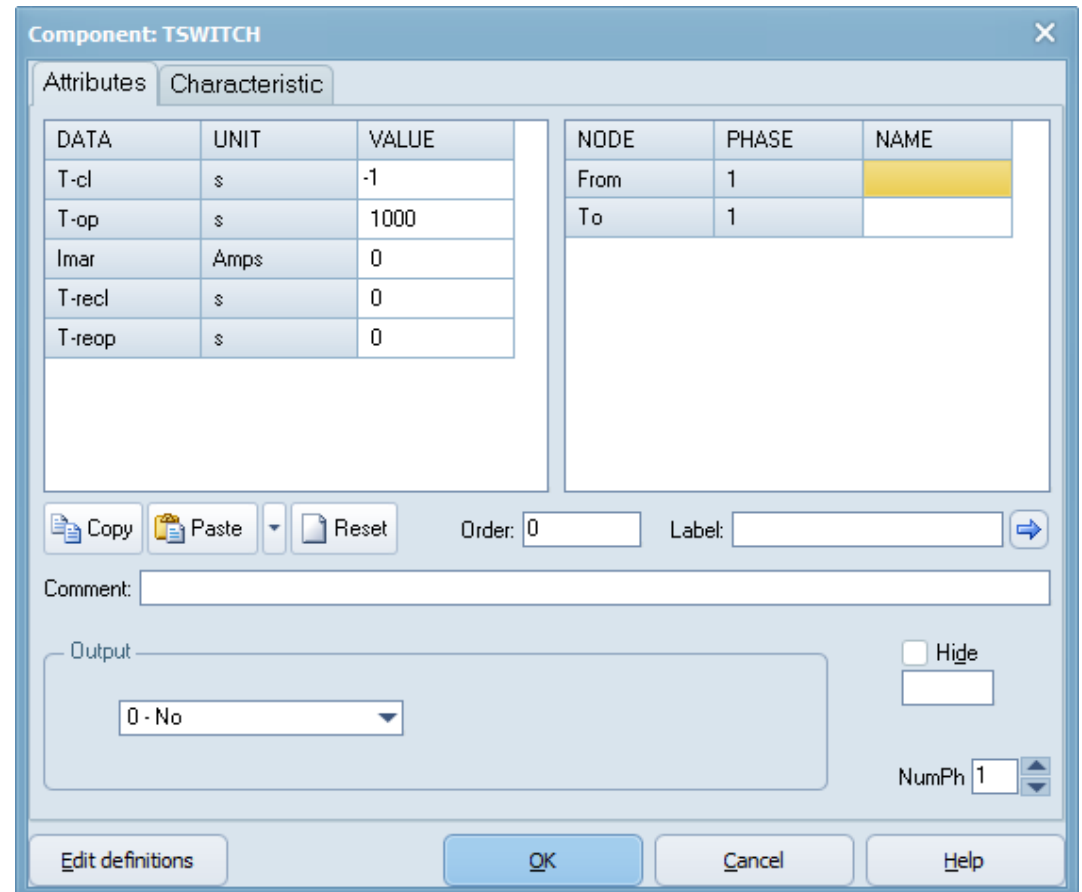
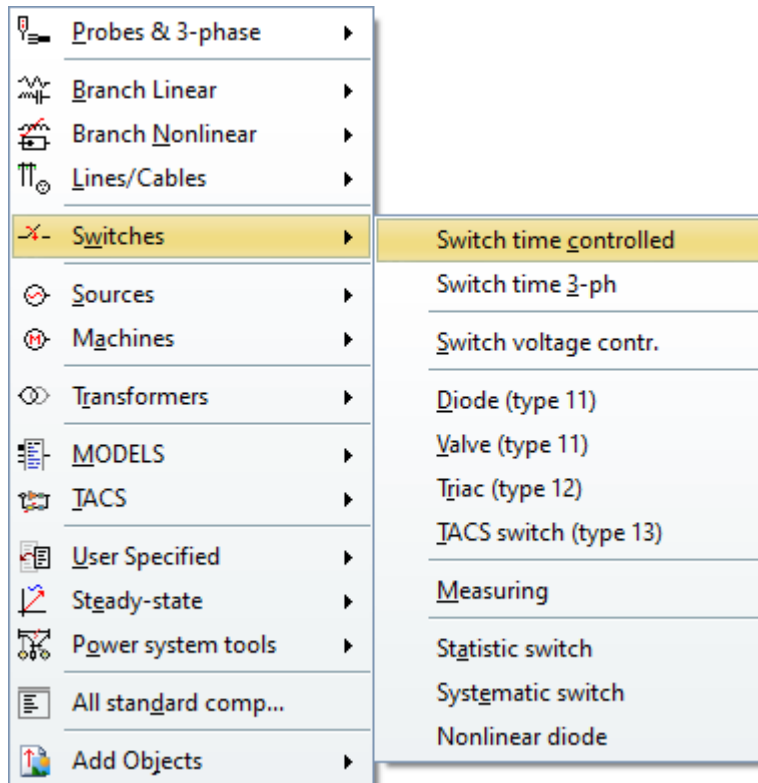
The screenshot displays the ATPDraw software interface. The main window title is "ATPDraw - [Noname.acp]". The menu bar includes File, Edit, View, ATP, Library, Tools, Windows, Web, and Help. The View menu is open, showing options: Status Bar, Side Bar, Tool Bar, Zoom in (Num +), Zoom out (Num -), Centre circuit, Lock circuit, Refresh (Ctrl+Q), Set Circuit Font, and View Options... The Side Bar option is highlighted. A blue arrow points from the View menu to a callout box on the right. Another blue arrow points from the View menu to the left. The callout box contains the text: "Click com botão direito para buscar cada elemento de circuito".

Click com botão direito para buscar cada elemento de circuito

# Fonte de tensão



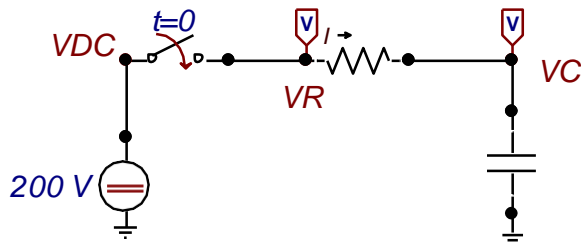
# Chave (Switch)





# Resistor

A screenshot of a software menu. The 'Branch Linear' option is highlighted in yellow. A sub-menu is open, listing various components: Resistor, Capacitor, Inductor, RLC, R inf, PQU, Kizilcay F-Dependent, RLC 3-ph, RLC-Y 3-ph, RLC-D 3-ph, C: U(0), and L: I(0).



The 'Component: RESISTOR' dialog box is shown. It has an 'Attributes' tab. The 'DATA' table contains one row: R, Ohm, 1000. The 'NODE' table has two rows: From (1) and To (1). The 'Label' field is empty. The 'Order' field is 0. The 'Comment' field is empty. The 'Output' dropdown is set to '0 - No'. There are checkboxes for 'Hide' and '\$Vintage.1', and a 'NumPh' spinner set to 1. Buttons for 'Edit definitions', 'OK', 'Cancel', and 'Help' are at the bottom.

DATA	UNIT	VALUE
R	Ohm	1000

NODE	PHASE	NAME
From	1	
To	1	

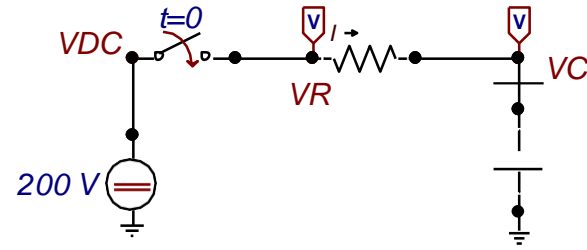
Order: 0    Label:

Comment:

Output:

Hide  
 \$Vintage.1  
NumPh

# 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	NODE	PHASE	NAME
C	$\mu\text{F}$	1	From	1	
Ks	Damp 0.1-0.2	0	To	1	

Copy Paste Reset Order: 0 Label:

Comment:

Output:

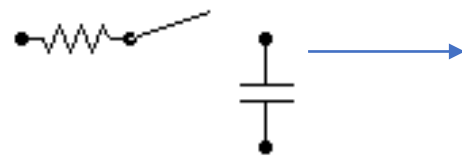
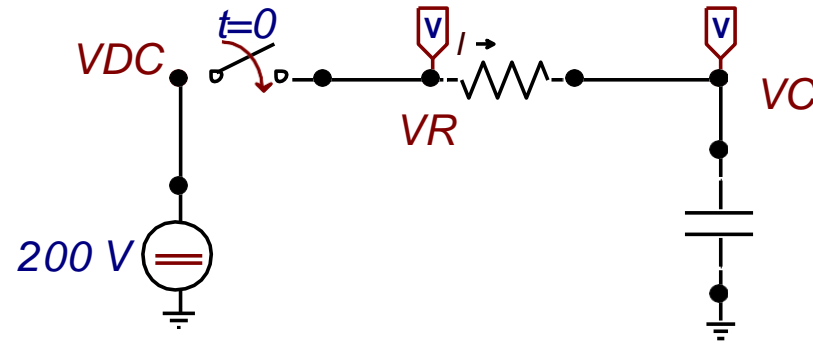
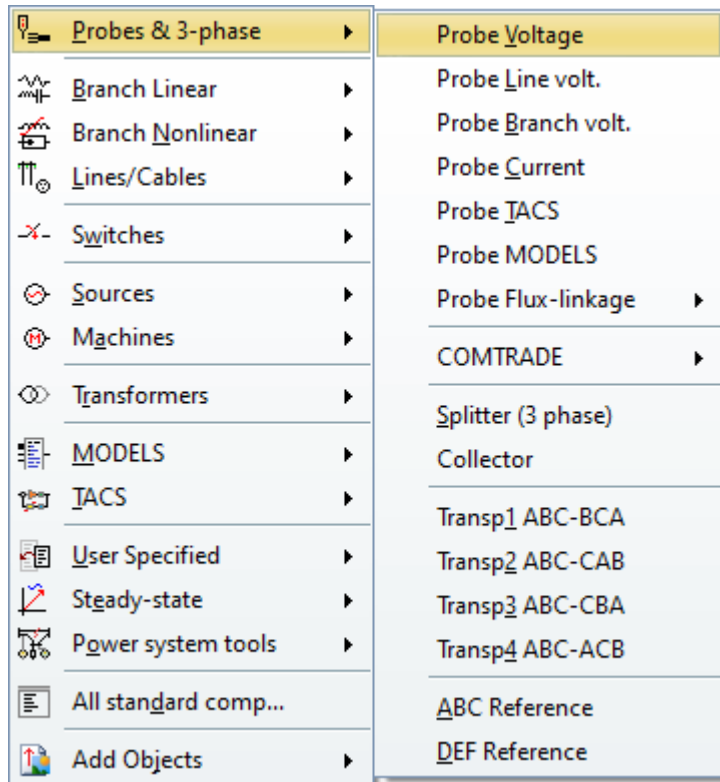
Hide

\$Vintage.1

NumPh

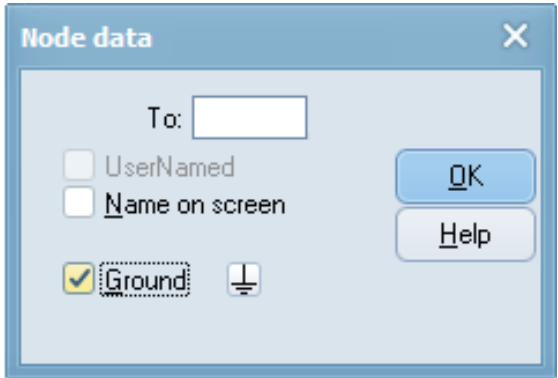
Edit definitions OK Cancel Help

# Voltímetro/Amperímetro

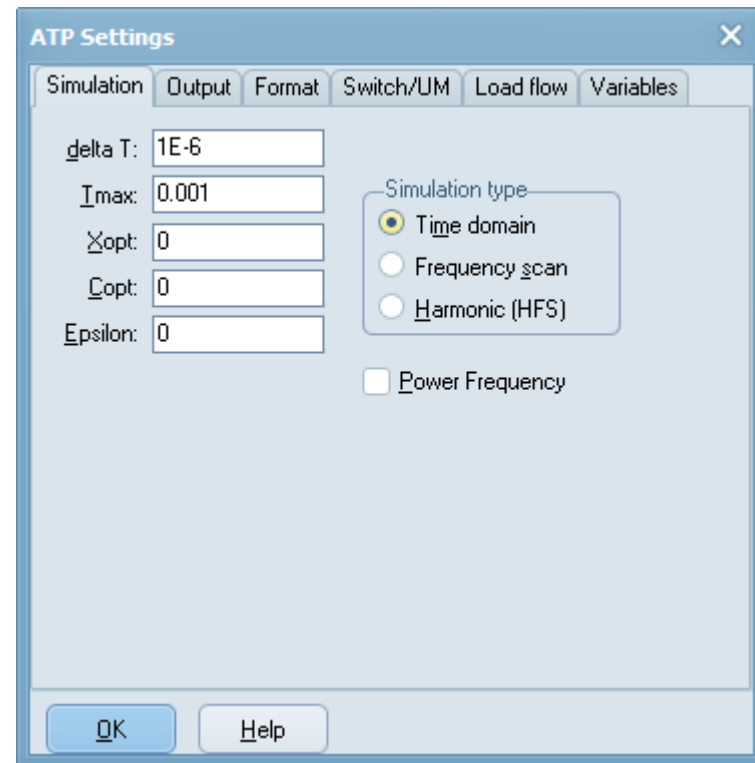
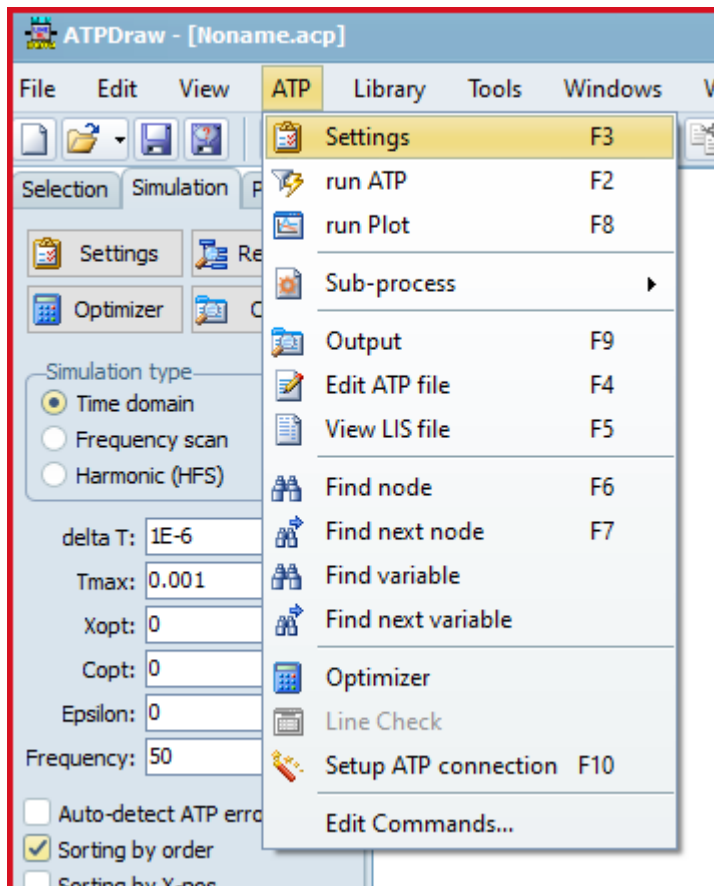


Conexão-Clicar em um terminal do componente e arrastar até terminal subsequente

Clicar no terminal e escolher Ground



# Tempo de Simulação



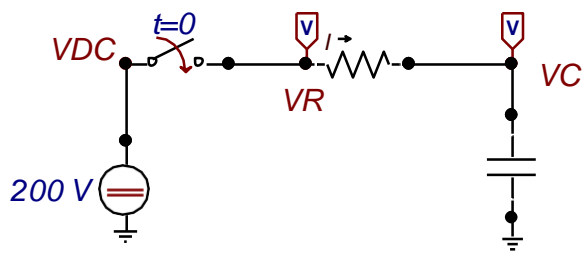
# Simulação de circuitos elétricos RC, RL, LC e RLC

## ❖ Exemplo 1: Circuito Elétrico R-C

### ❑ Dados do circuito

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

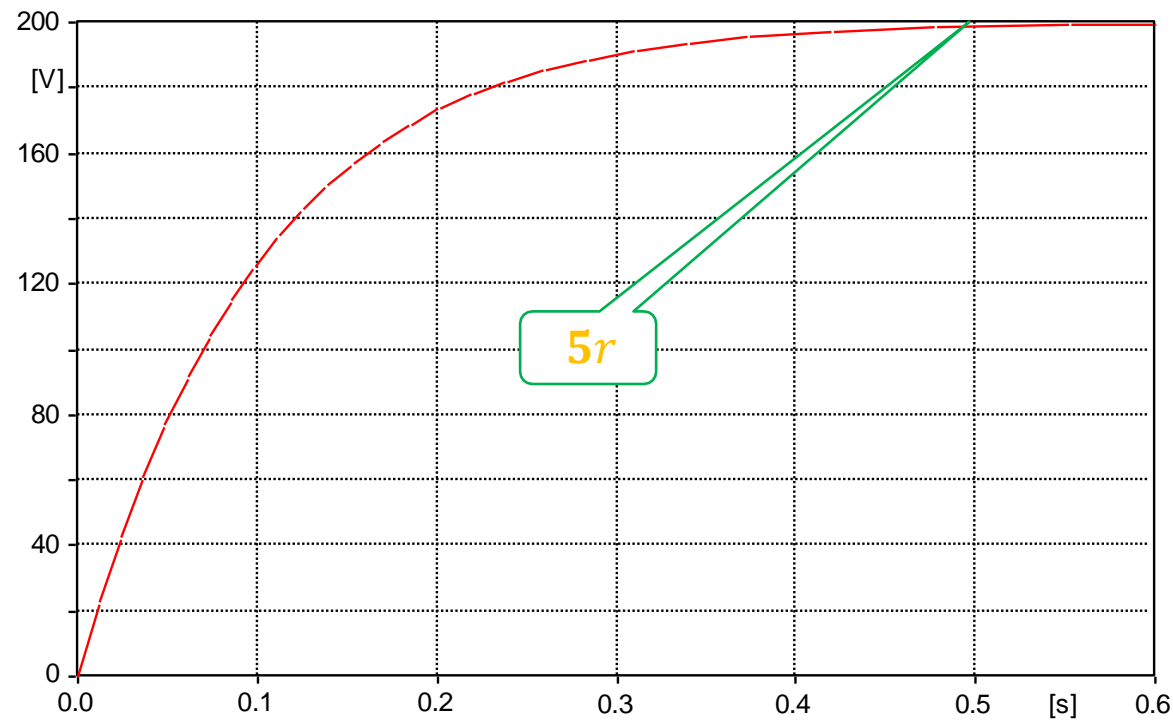
$$r = RC = 0.1 \text{ s}$$



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

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

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



(file Exercise\_01\_RC\_Circuit\_Start.pl4; x-v ar t) v:VC

Tensão no condensador



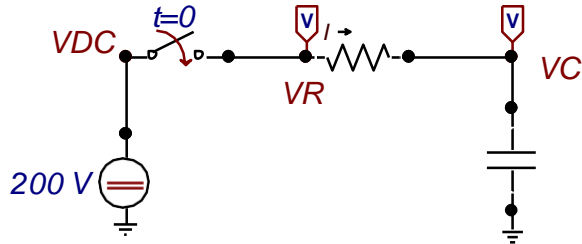
# Simulação de circuitos elétricos RC, RL, LC e RLC

## ❖ Exemplo 1: Circuito Elétrico R-C

### ❑ Dados do circuito

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

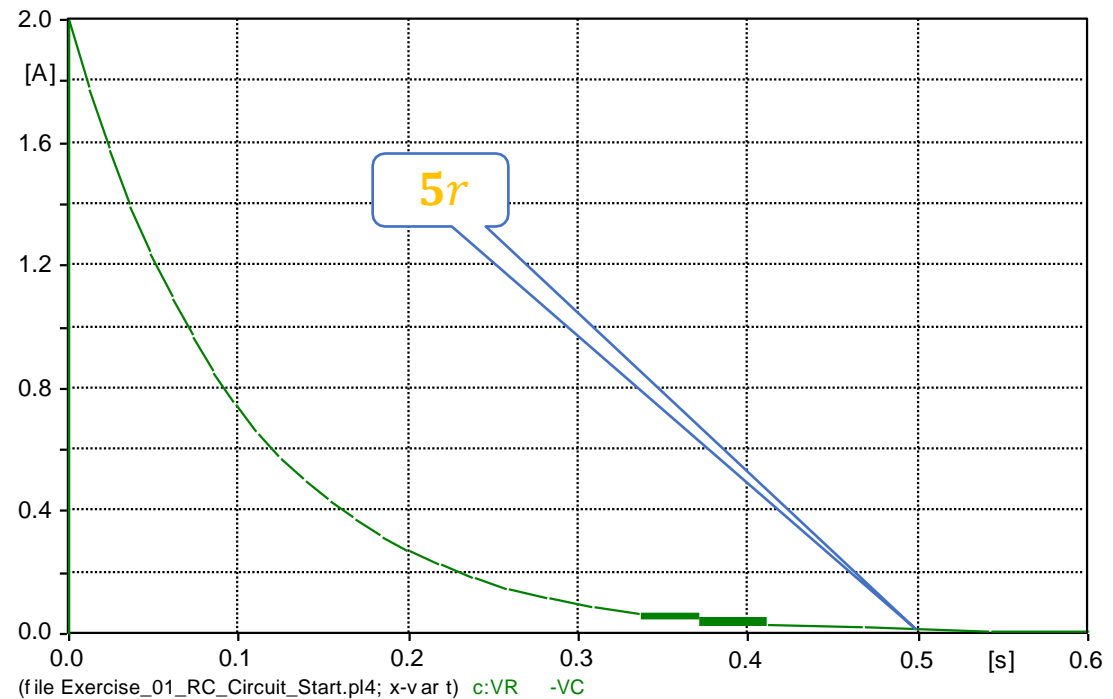
$$r = RC = 0.1 \text{ s}$$



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

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

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

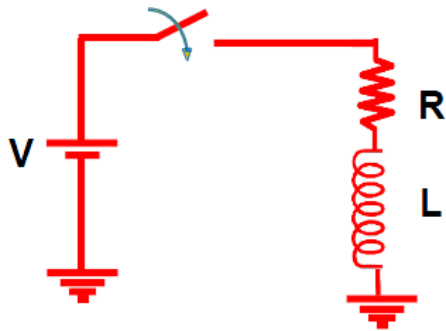


Corrente no condensador

# 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

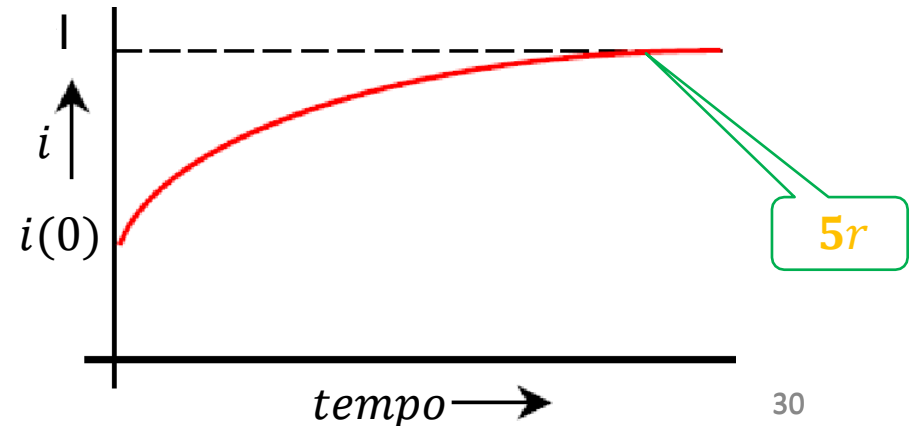
$$V = R i + L \frac{di}{dt} \quad \longrightarrow \quad \mathfrak{D} \frac{di}{V - R i} = \mathfrak{D} \frac{1}{L} dt$$

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

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

$$r = L/R$$

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



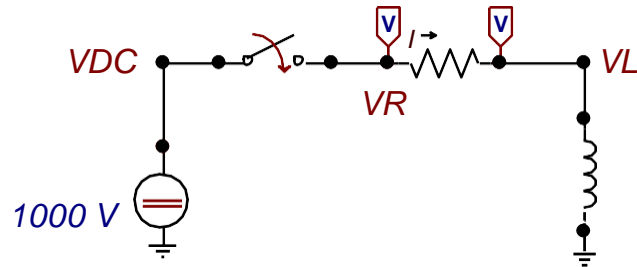
# Simulação de circuitos elétricos RC, RL, LC e RLC

## ❖ Exemplo 2: Circuito Elétrico R-L

### ❑ Dados do circuito

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

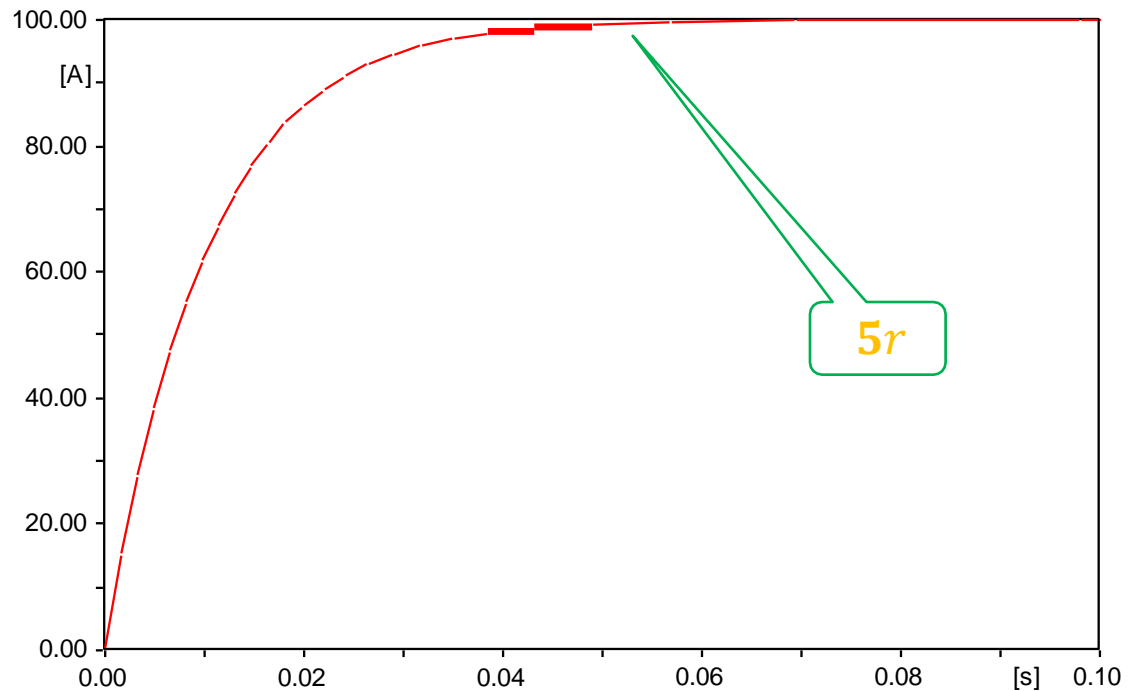
$$r = L/R = 0.01 \text{ s}$$



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

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

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



(file Exercise\_02\_RL\_Circuit\_Start.pl4; x-v ar t) c:VR -VL

Corrente da bobina

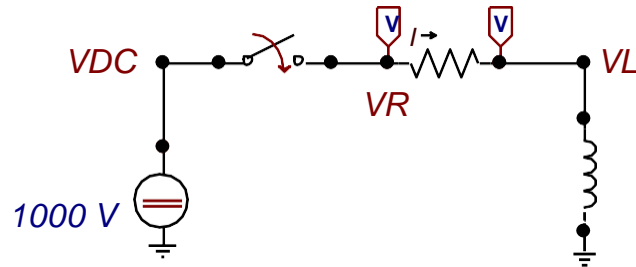
# Simulação de circuitos elétricos RC, RL, LC e RLC

## ❖ Exemplo 2: Circuito Elétrico R-L

### ❑ Dados do circuito

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

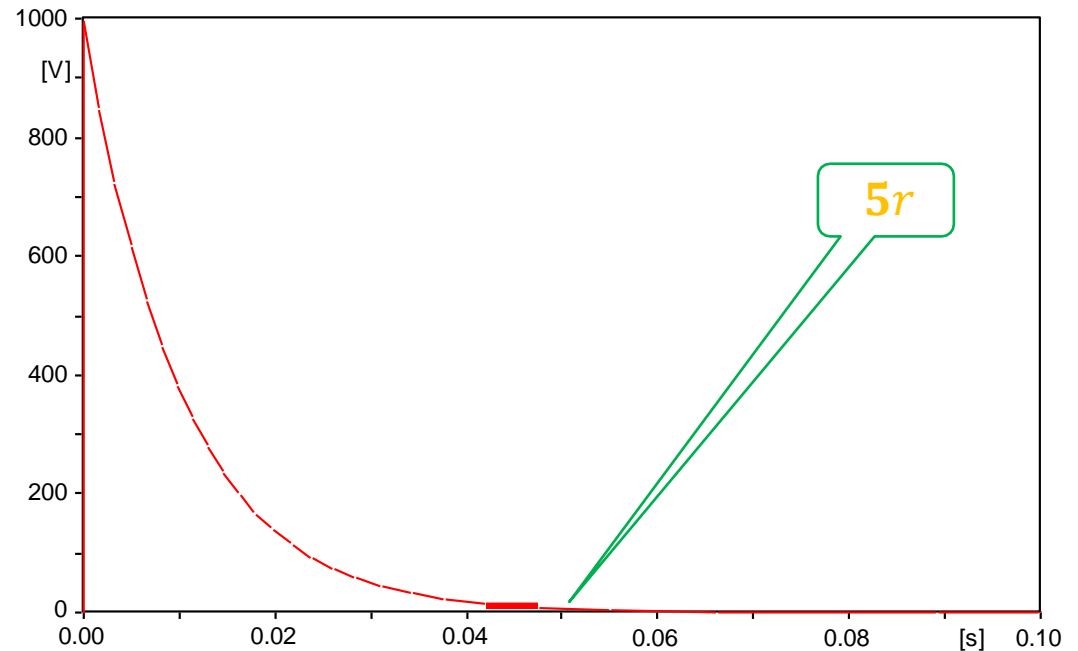
$$r = L/R = 0.01 \text{ s}$$



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

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

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

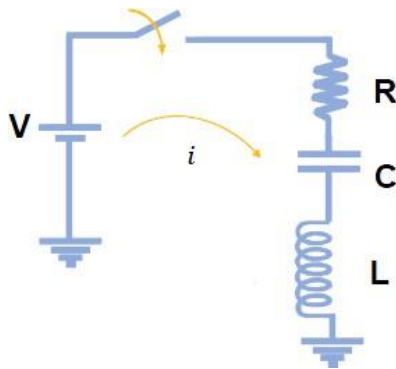


Tensão na bobina

# 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:

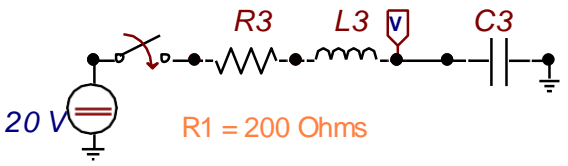
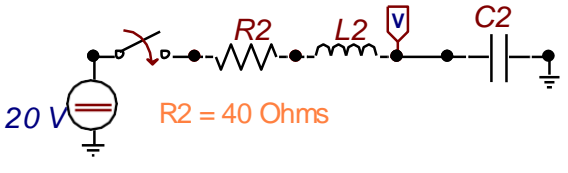
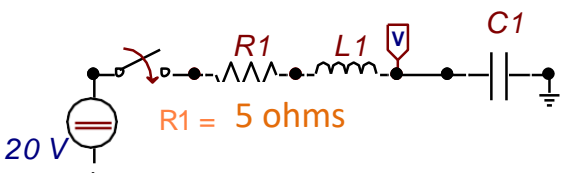
- $\alpha < \omega_0$ , caso subamortiguado.
- $\alpha = \omega_0$ , caso criticamente amortiguado.
- $\alpha > \omega_0$ , caso sobreamortiguado.

# Simulação de circuitos elétricos RC, RL, LC e RLC

## Exemplo 3: Circuito Elétrico R-L-C

### Dados do circuito

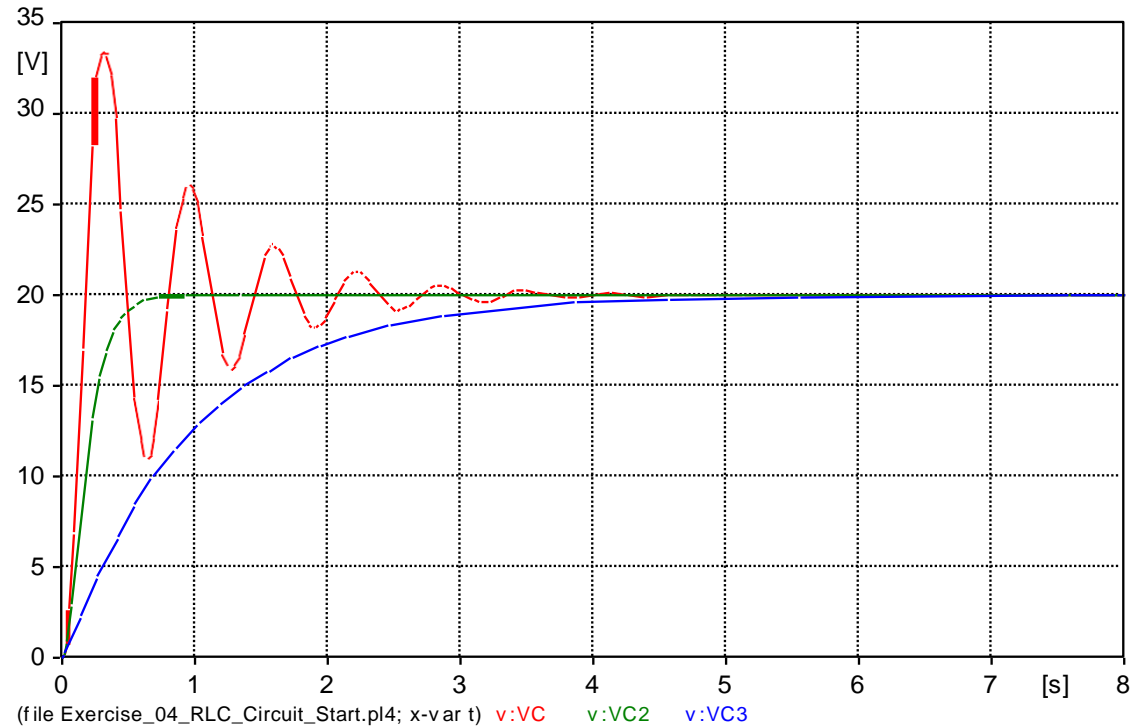
- V = 20 V
- L = 2000 mH
- C = 5000 uF
- R: variável



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

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

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



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

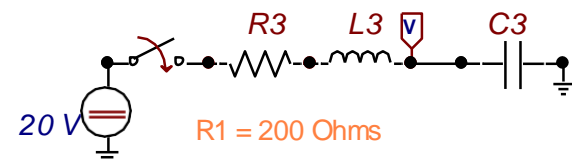
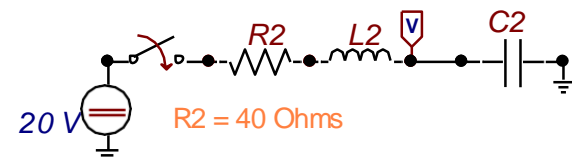
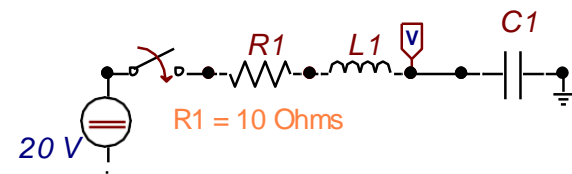
Tensão no capacitor

# Simulação de circuitos elétricos RC, RL, LC e RLC

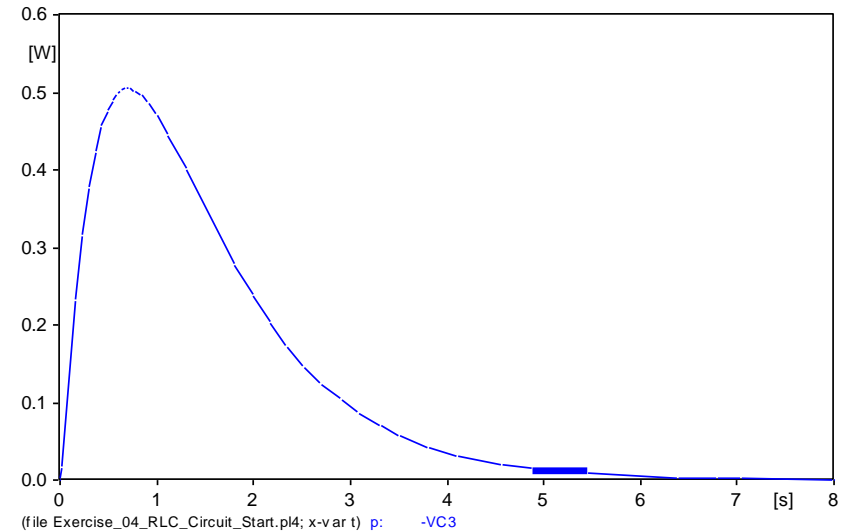
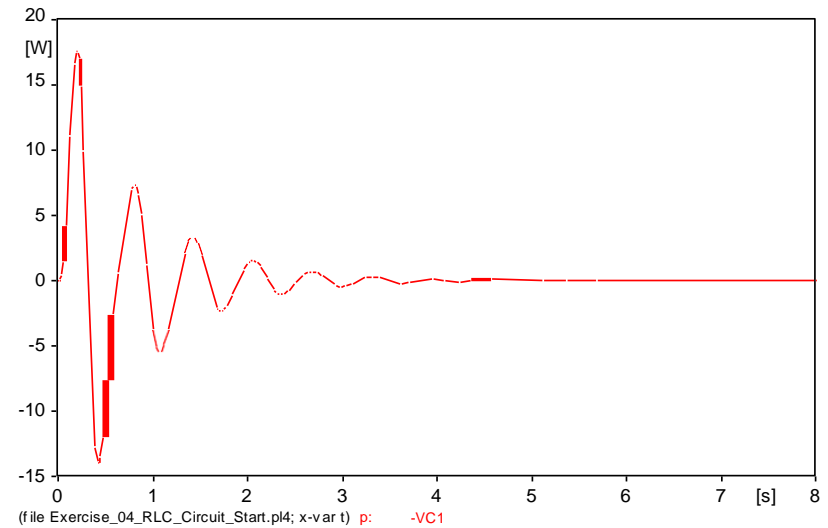
## ❖ Exemplo 3: Circuito Elétrico R-L-C

### ❑ Dados do circuito

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



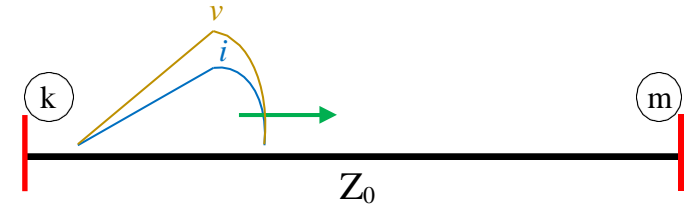
$\Delta T = 1\text{E-}5$   
 $T_{\text{max}} = 8$



Potencia que intercambia o capacitor

# Simulação de manobras em linhas de transmissão.

## ❖ Linha de transmissão, propagação de ondas viajantes



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

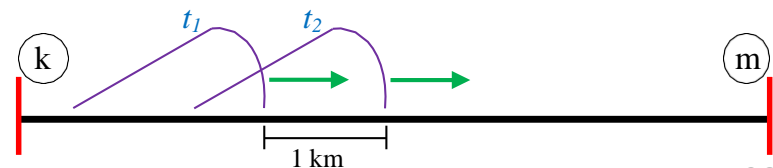
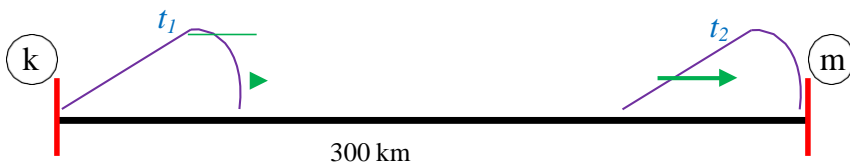
Onde:

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

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

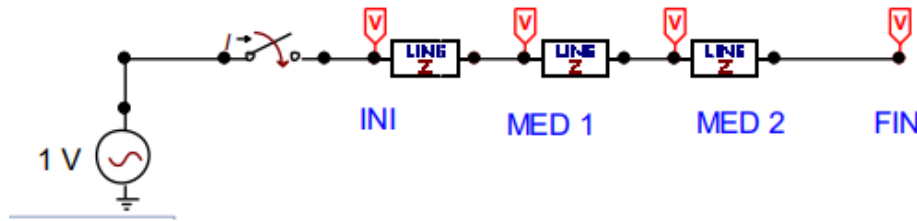
$$\text{Velocidad} = \sqrt{\frac{1}{LC}} = \sqrt{\frac{1}{\mu_0 \epsilon_0}}$$

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





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  [m]

Output

ILINE

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

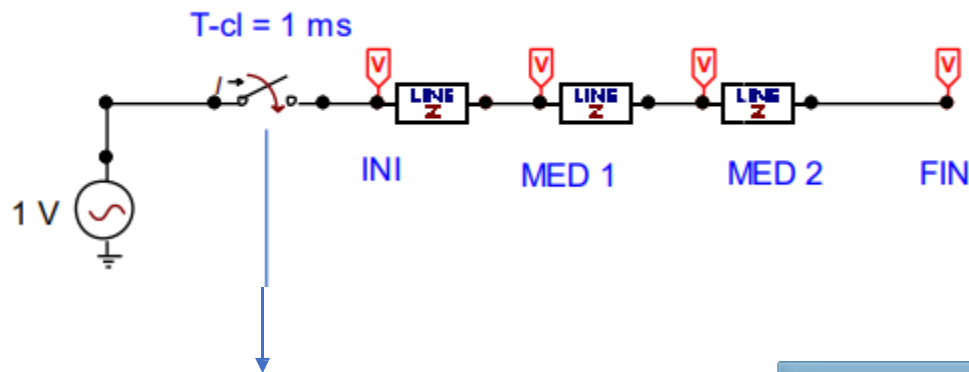
Conductance

- 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:

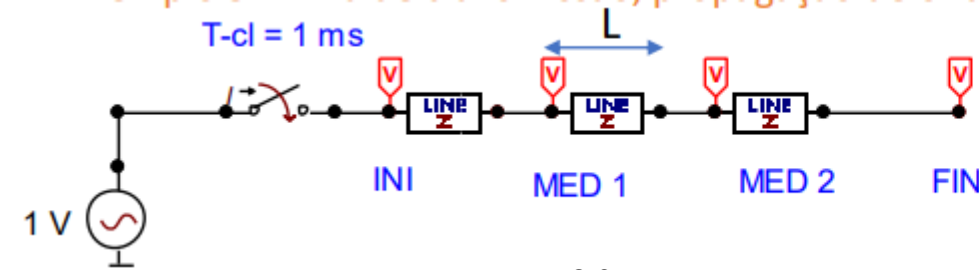
Output:   Hide

NumPh 1

Edit definitions OK Cancel Help

# Simulação de manobras em linhas de transmissão

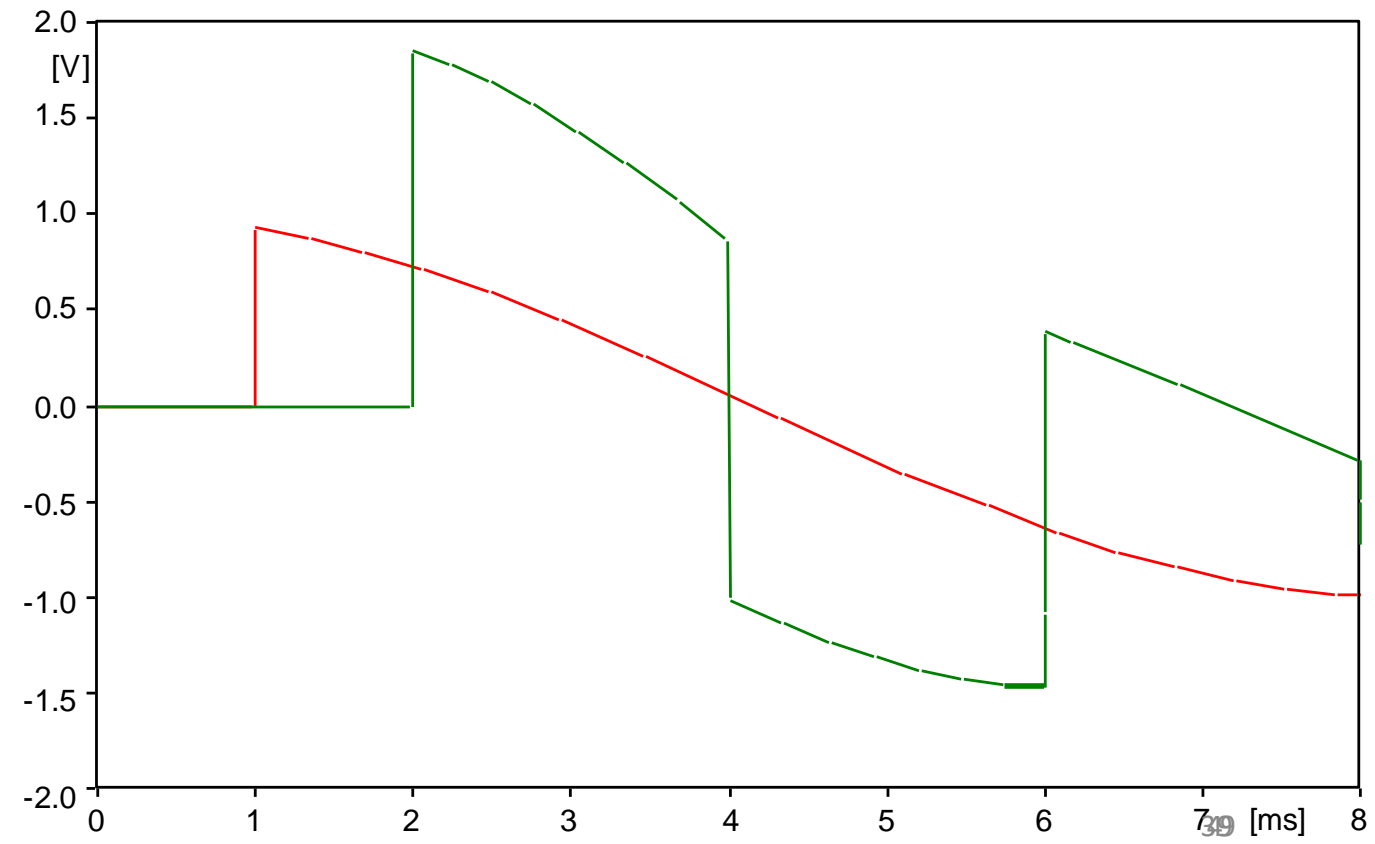
## ❖ Exemplo 5: Linha de transmissão, propagação de ondas viajantes



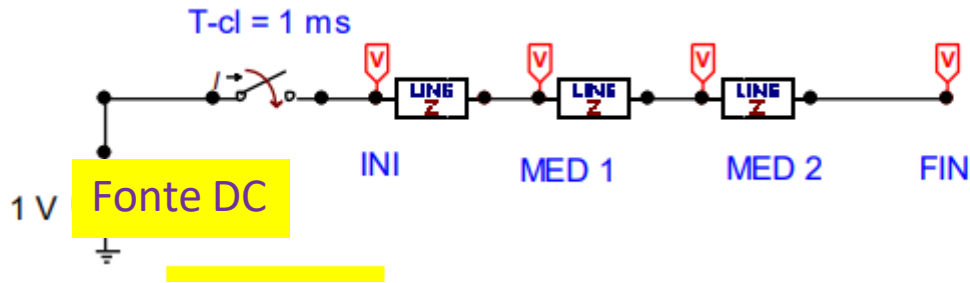
Datos para las líneas:  
R/L = 0 ohm/m  
Zc = 500 ohm  
v = 300000000 m/s  
L = 100 km

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

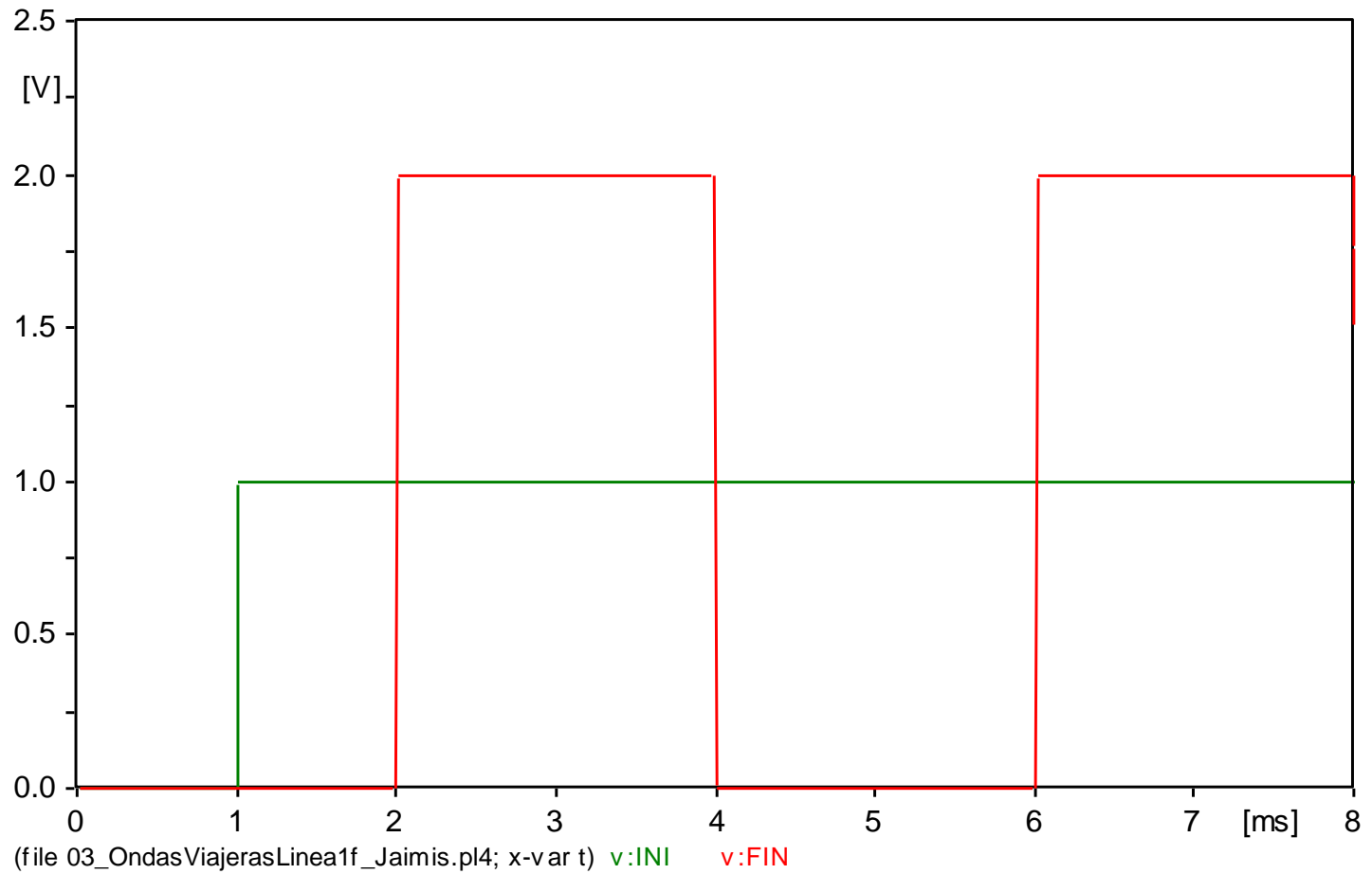
Fonte AC



(file 03\_OndasViajerasLinea1f\_Jaimis.pl4; x-v ar t) v:INI v:FIN

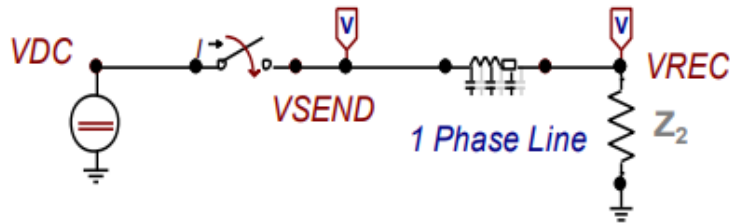


Datos para las líneas:  
 $R/L = 0 \text{ ohm/m}$   
 $Z_c = 500 \text{ ohm}$   
 $v = 300000000 \text{ m/s}$   
 $L = 100 \text{ km}$



# Simulação de manobras em linhas de transmissão.

## ❖ Energização de Linha de transmissão com diversas cargas resistivas



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

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

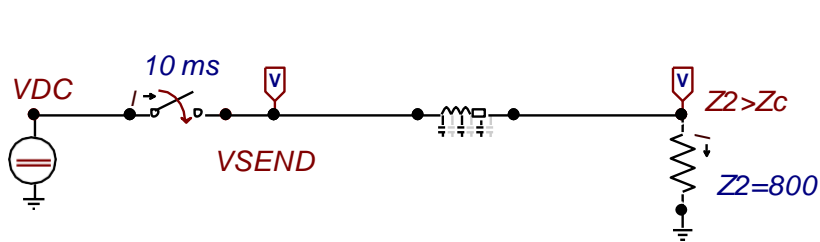
Vdc = 100 kV

### ❑ Casos de tensões a analisar:

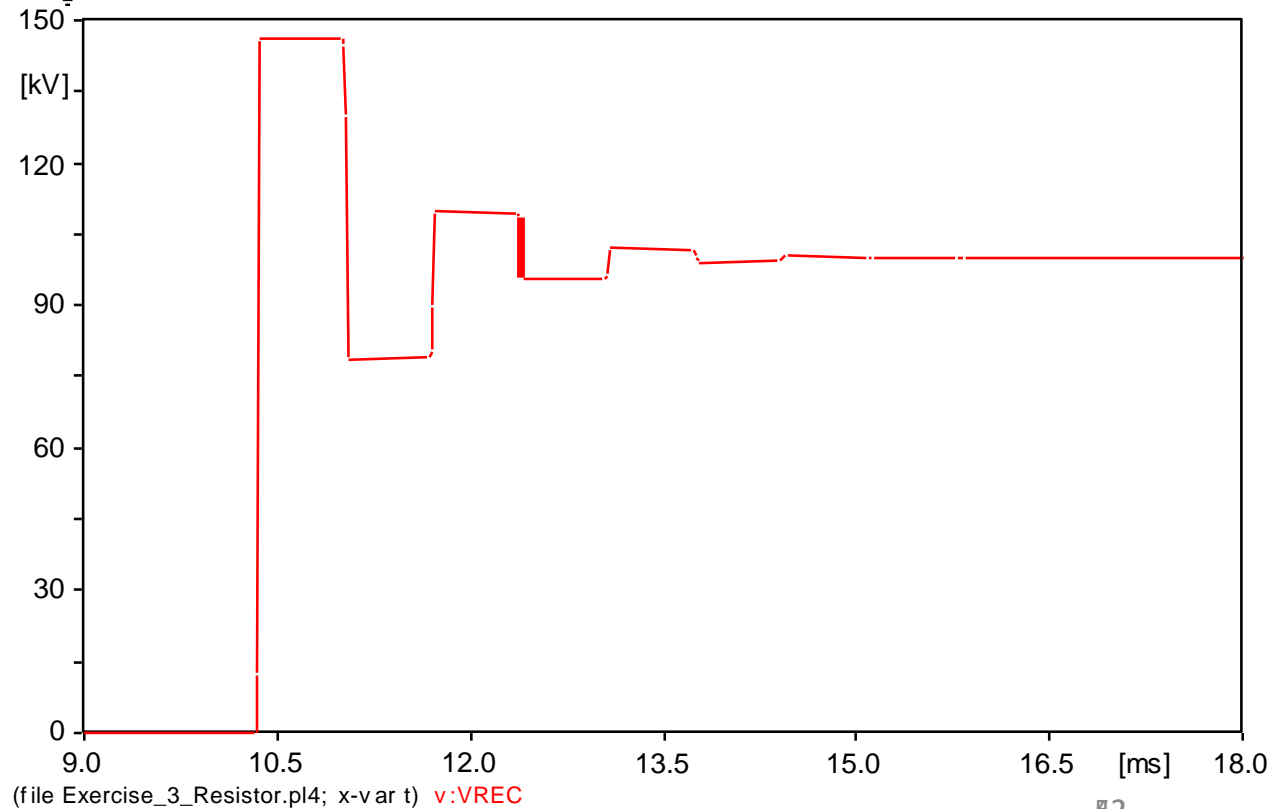
- Tensão no receptor para o caso que  $Z2 > Zc$
- Tensão no receptor para o caso que  $Z2 < Zc$
- Tensão no receptor para o caso que  $Z2 = Zc$

# Simulação de manobras em linhas de transmissão.

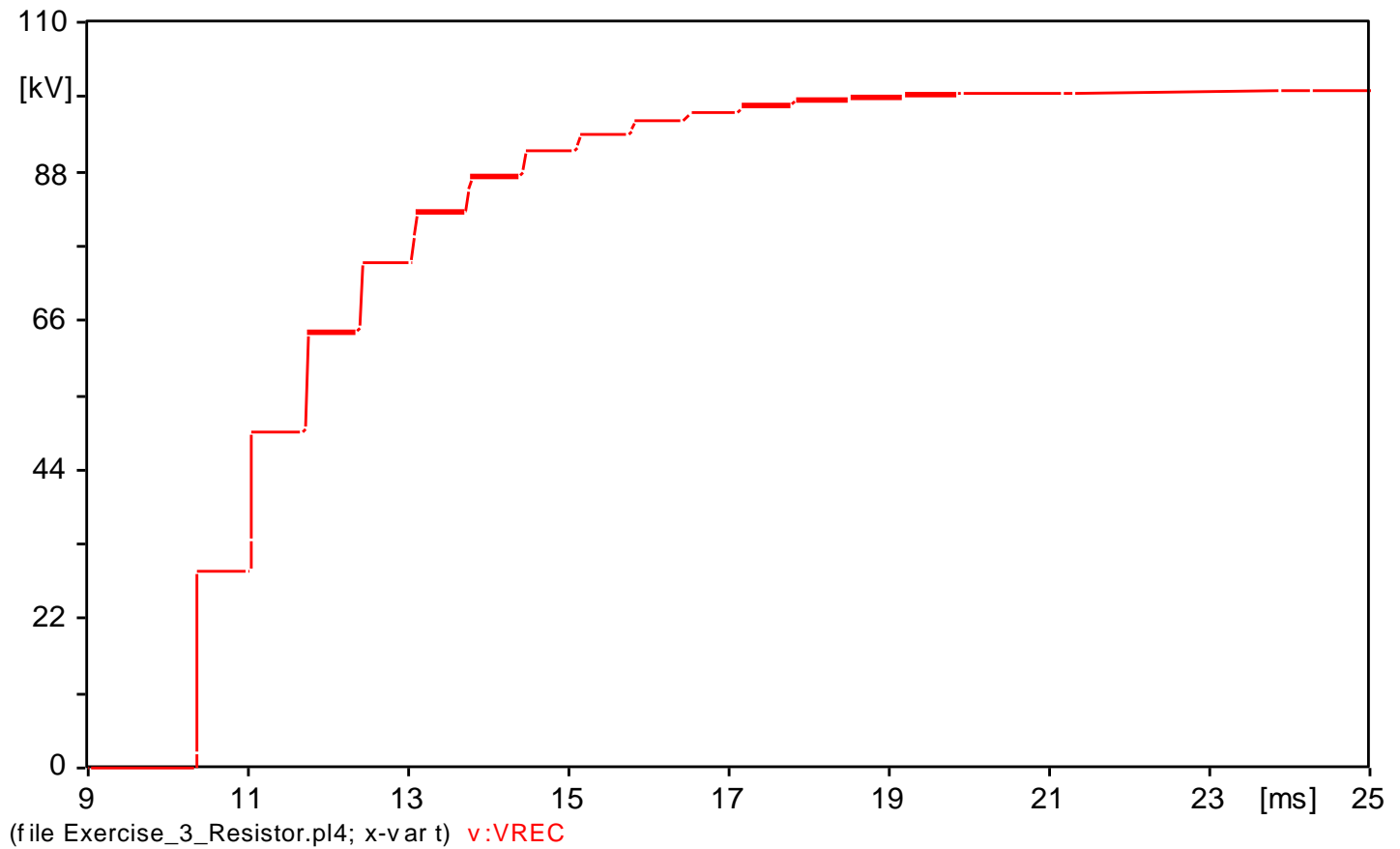
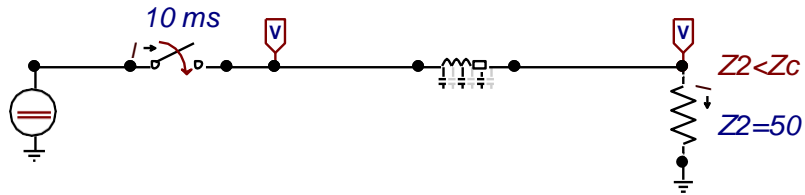
❖ Exemplo 6: Linha de transmissão, comparação modelo de circuito PI e Bergeron



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



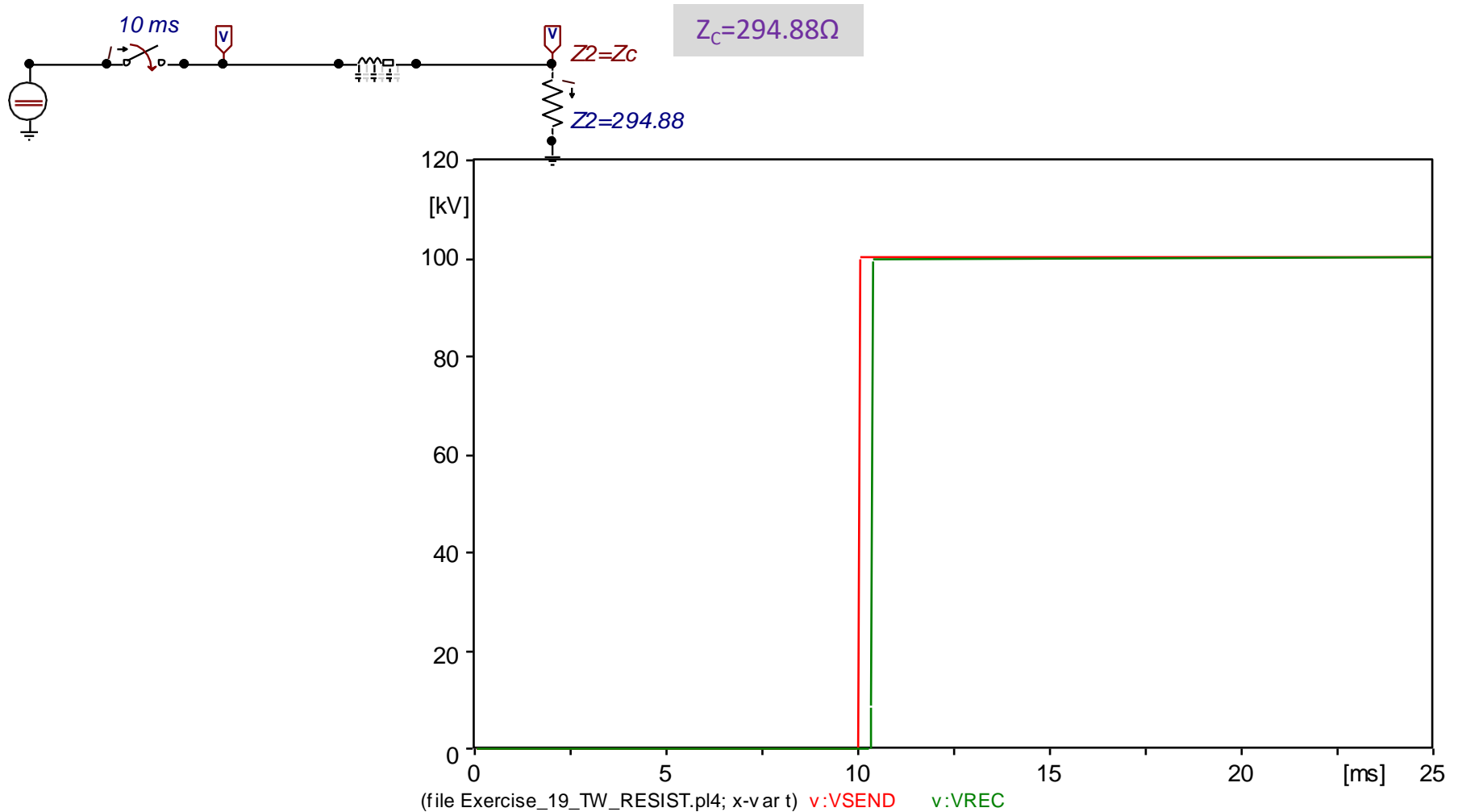
# Simulação de manobras em linhas de transmissão.



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

# 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  $Z_2 = Z_c$