

IT 002 – SOBRETENSÕES EM SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA

Aula-04

Modelagem de Linhas de Transmissão no ATP

Prof. Dr. José Pissolato Filho (Unicamp)

Anderson Ricardo Justo de Araújo (Unicamp)

Jaimis Sajid Leon Colqui (Unesp/Ilha Solteira)

16 de abril de 2021

- ❑ 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
- ❑ Exemplo de LT Trifásica

Download/Instalação do ATP

IT308 | Faculdade de Engenharia x Apresentação sem título - Apres: x IT002 | Faculdade de Engenharia x

https://www.fee.unicamp.br/dse/pisso/it002

ABP G ST SC Error

Apps site Other bookmarks

f e e c Principal Sobre nós Ensino Pesquisa Extensão Institucional Contato

- [Conceitos Básicos](#)

AULAS

- [Aula01\(vídeo\)](#)
- [Aula01-apresentação](#)
- [Aula02 \(vídeo\)](#)
- [Aula02-apresentação](#)
- [Aula03 \(vídeo\)](#)
- [Aula03-apresentação](#)
- [Aula03-artigo_descargas_atmosféricas](#)

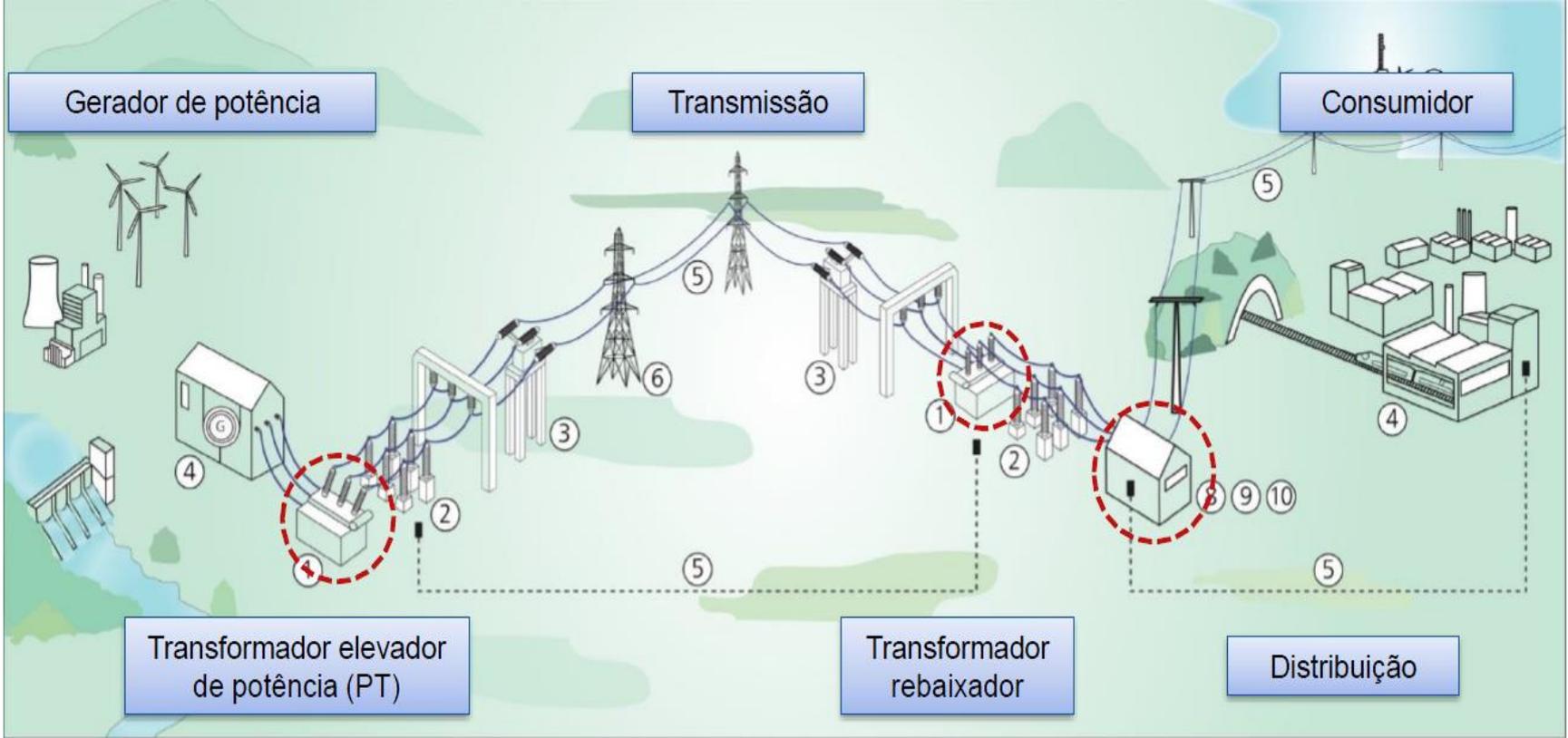
[Link para download e instalação](#) 

Prof José Pissolato Filho

- > Home
- > IT002
- > IT308

3

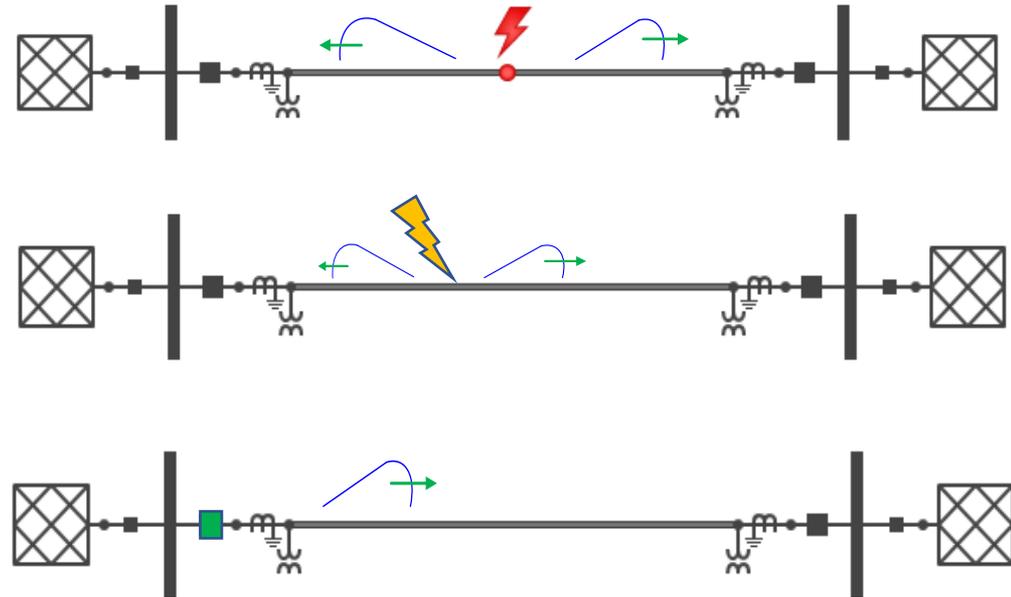
Introdução aos Transitórios Eletromagnéticos no SEP



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

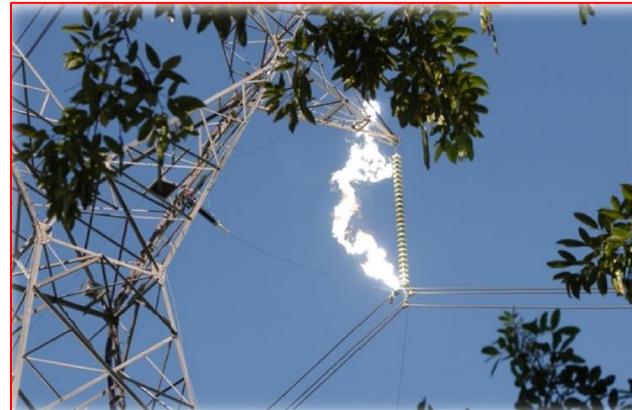


Introdução aos Transitórios Eletromagnéticos no SEP

❖ 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?

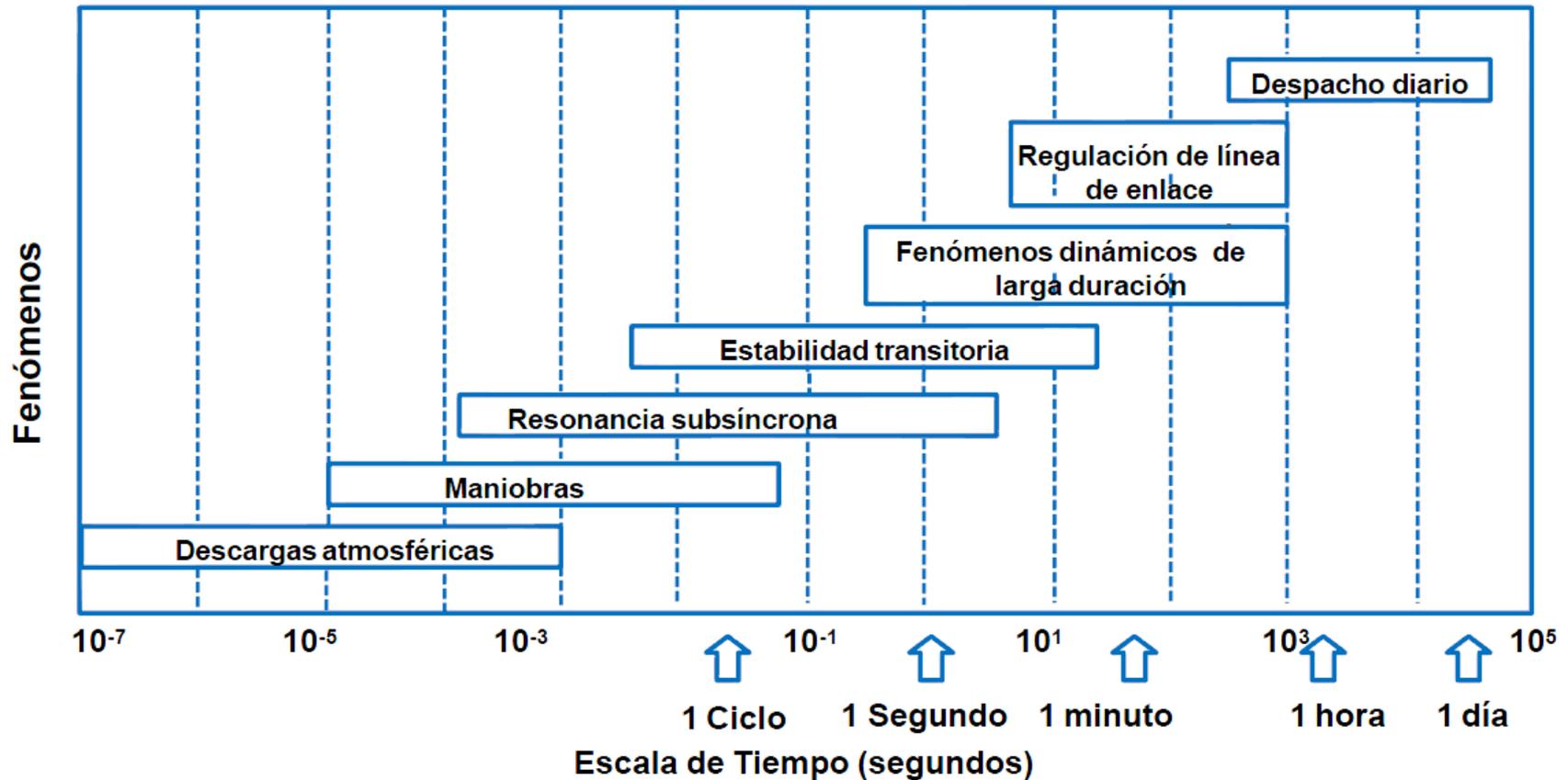
❖ Garantir a continuidade e qualidade da energia

- ❑ 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.

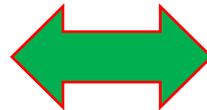
Transitórios rápidos

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

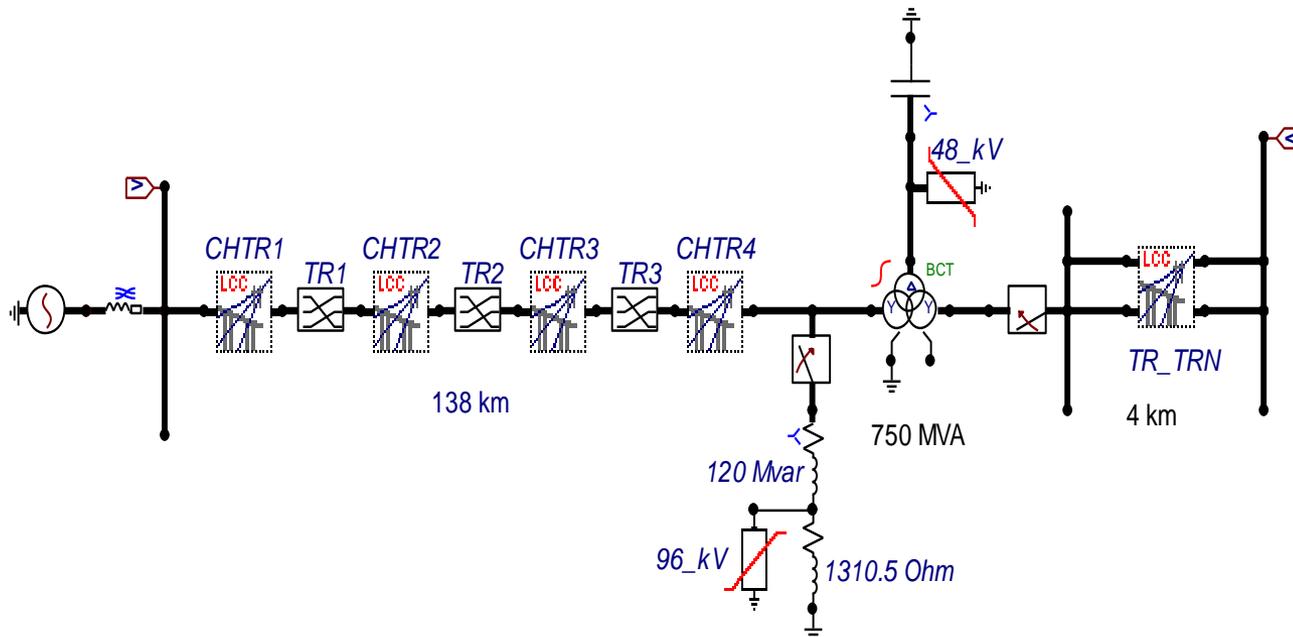
❖ Principais faixas de frequência de transitórios

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

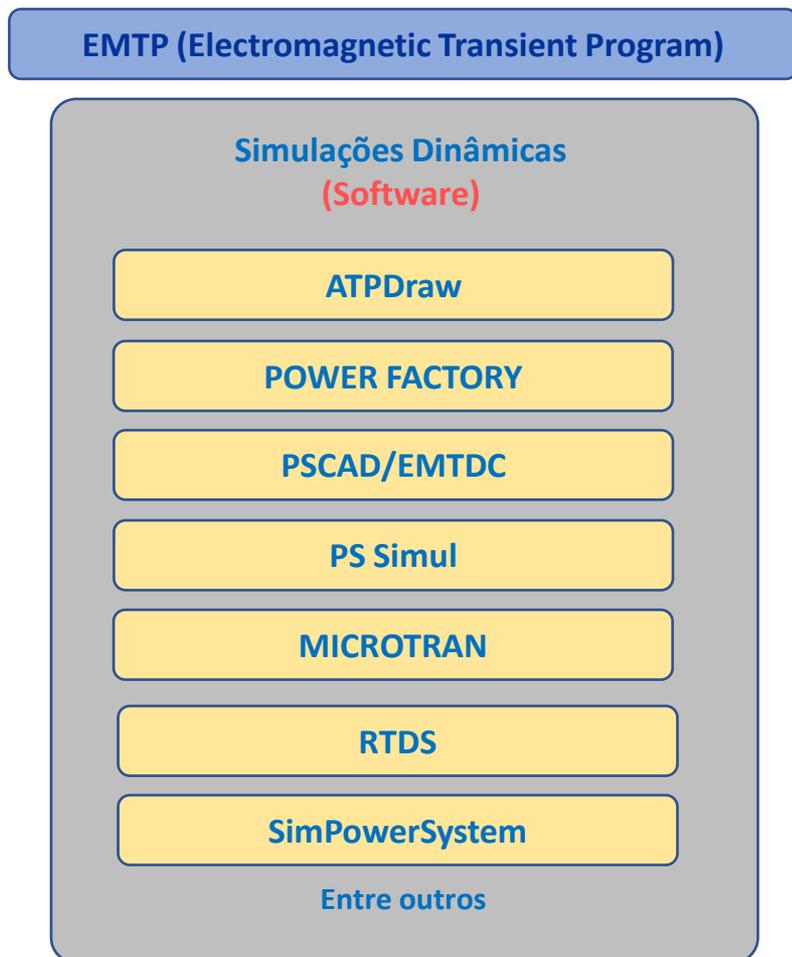
❖ Modelos para a representação dos fenômenos transitórios

- ❑ 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



PS Simul

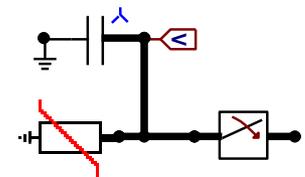
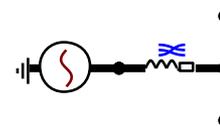
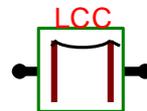
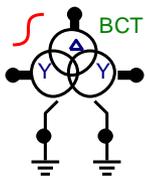


PSS®Netomac

Instalação e uso do ATP/EMTP

ATP Draw

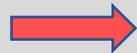
- ❑ O ATPDraw é um programa computacional que permite simular fenômenos transitórios de natureza eletromagnética, eletromecânica e sistemas de controle associados a sistemas elétricos polifásicos.
- ❑ O ATPDraw é um pre-processador gráfico do ATP que funciona em entorno Windows.
- ❑ O ATPDraw gerar graficamente 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

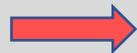
Tipos de Estudos



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.

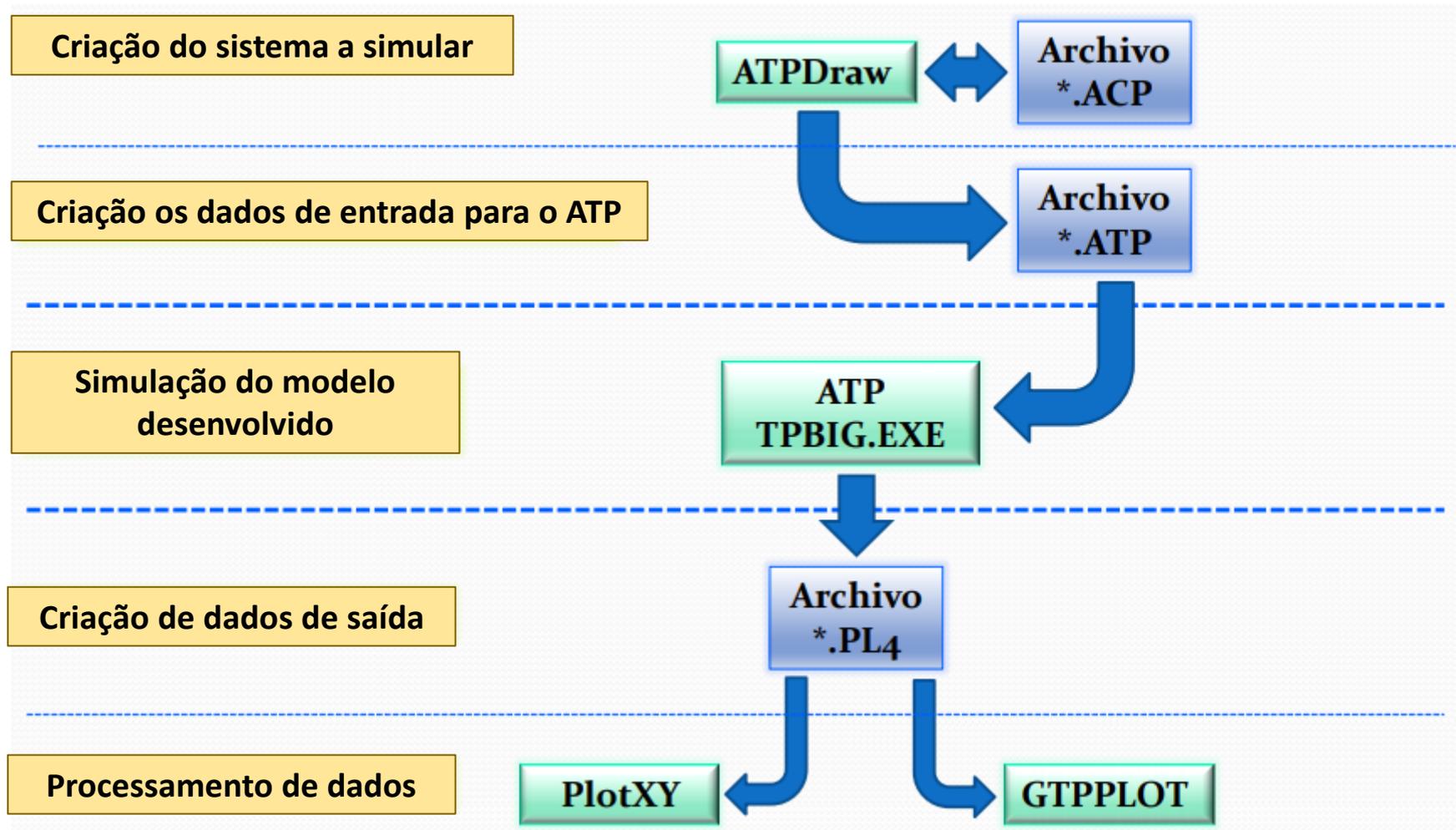
Instalação e uso do ATP/EMTP

❖ 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

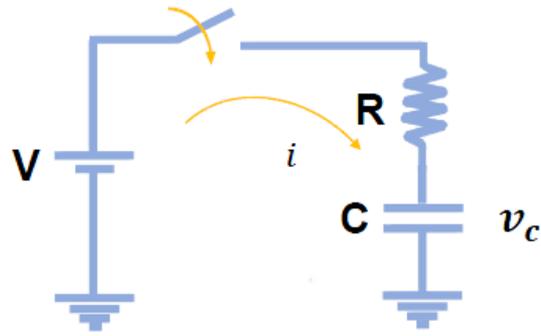
❖ Vantagens do ATPDraw

- ❑ 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

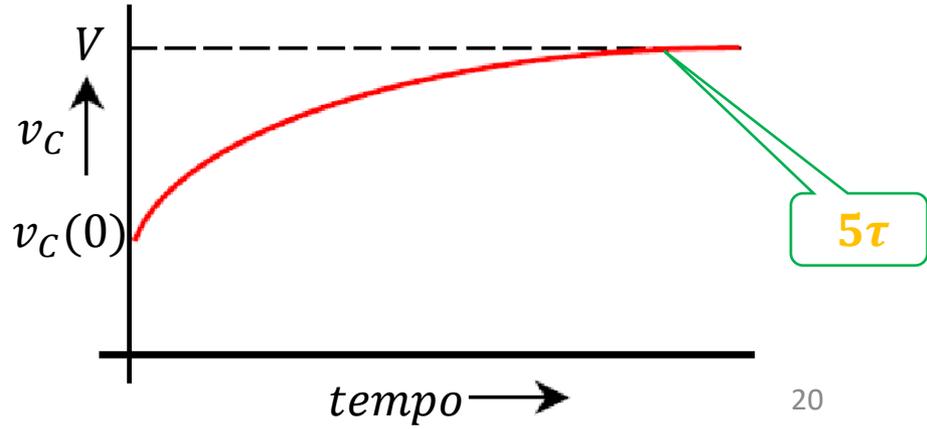
$$V - v_c = RC \frac{dv_c}{dt} \quad \longrightarrow \quad \int \frac{dv_c}{V - v_c} = \int \frac{1}{RC} dt$$

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

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

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

$$\tau = RC$$



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. A third 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

The screenshot shows a software menu with the following items:

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

The sub-menu for 'Sources' includes:

- AC source (1&3)
- DC type 11** (highlighted)
- Ramp type 12
- Slope-Ramp type 13
- Surge type 15
- Heidler type 15
- Standler type 15
- Cigré type 15
- IACS source
- AC Source modulated
- Empirical type 1
- AC Ungrounded
- DC Ungrounded
- Trapped charge source

The 'Component: DC1PH' dialog box displays the following configuration:

DATA	UNIT	VALUE
Amplitude	Volt	10000
Tstart	s	-1
Tstop	s	1000

NODE	PHASE	NAME
DC	1	

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

Comment: []

Type of source:
 Current
 Voltage

Hide []

Buttons: Edit definitions, OK, Cancel, Help

Chave (Switch)

- 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	-1
T-op	s	1000
Imar	Amps	0
T-recl	s	0
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

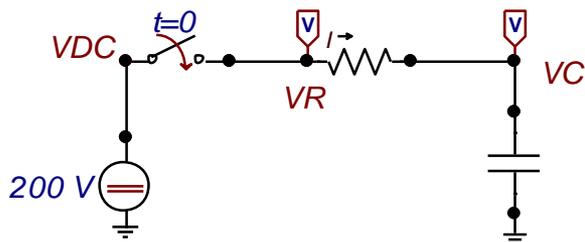
Resistor

The screenshot shows a software menu with the following structure:

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

Sub-menu items for Branch Linear:

- 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: RESISTOR

Attributes

DATA	UNIT	VALUE
R	Ohm	1000

NODE	PHASE	NAME
From	1	
To	1	

Copy Paste Reset Order: 0 Label:

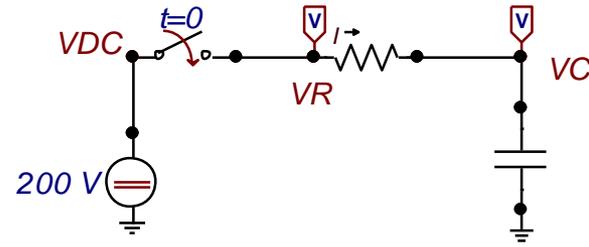
Comment:

Output:

Hide
 \$Vintage.1
NumPh

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:

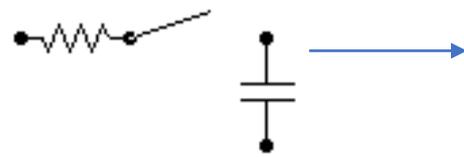
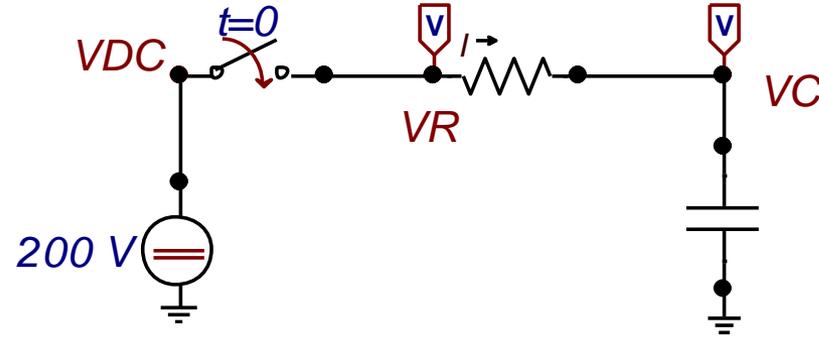
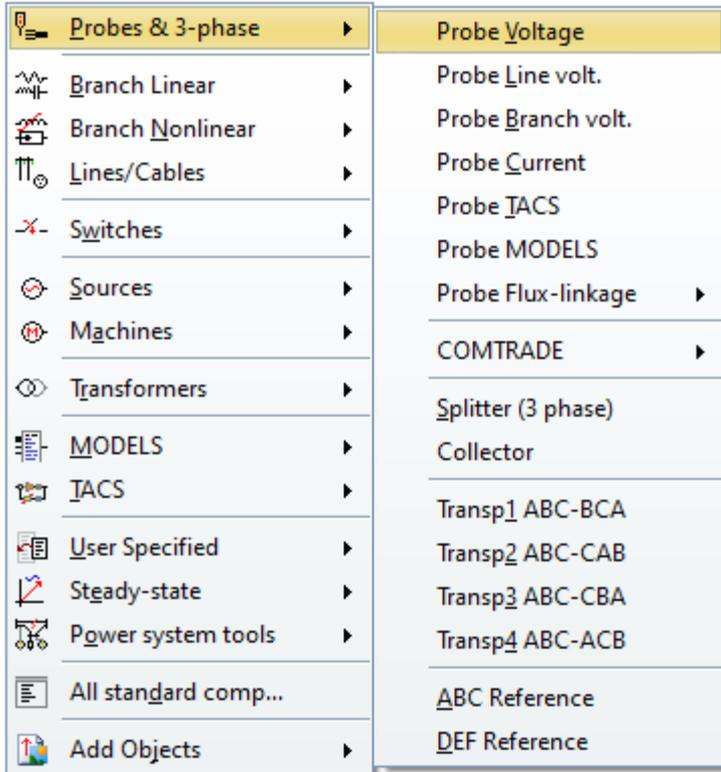
Hide

\$Vintage.1

NumPh

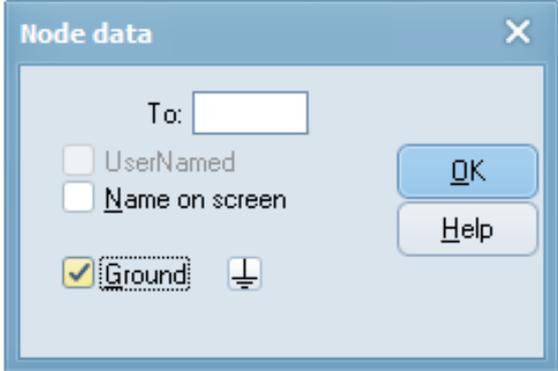
Edit definitions OK Cancel Help

Voltímetro/Amperímetro

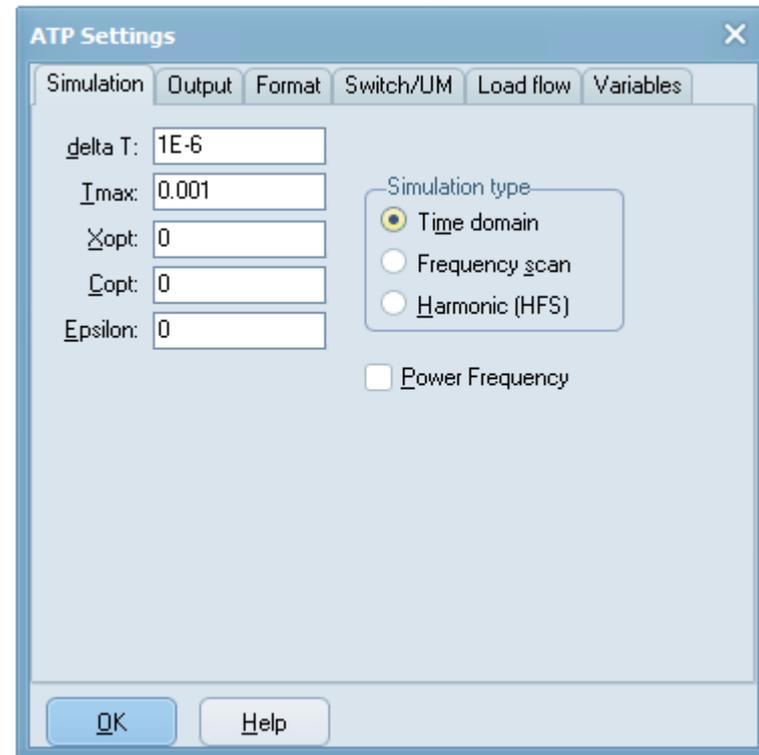
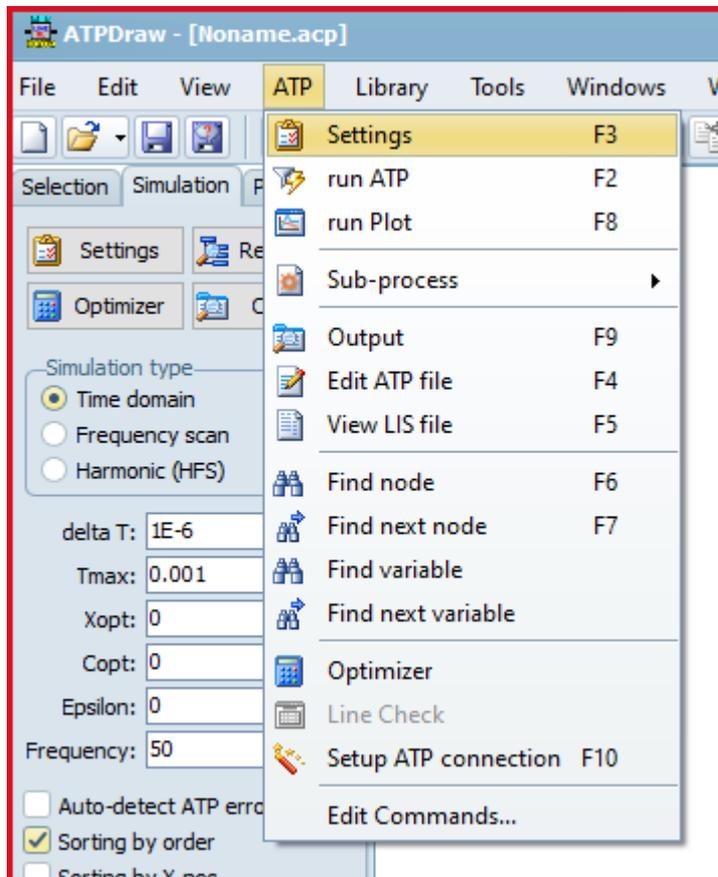


Conexão-Clicar em um terminal do componente e arrastar até terminal subsequente

Clicar no terminal e escolher Ground



Tempo de Simulação



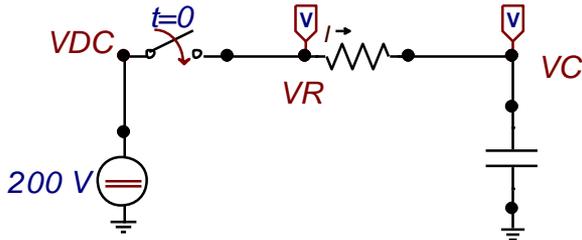
Simulação de circuitos elétricos RC, RL, LC e RLC

❖ Exemplo 1: Circuito Elétrico R-C

❑ Dados do circuito

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

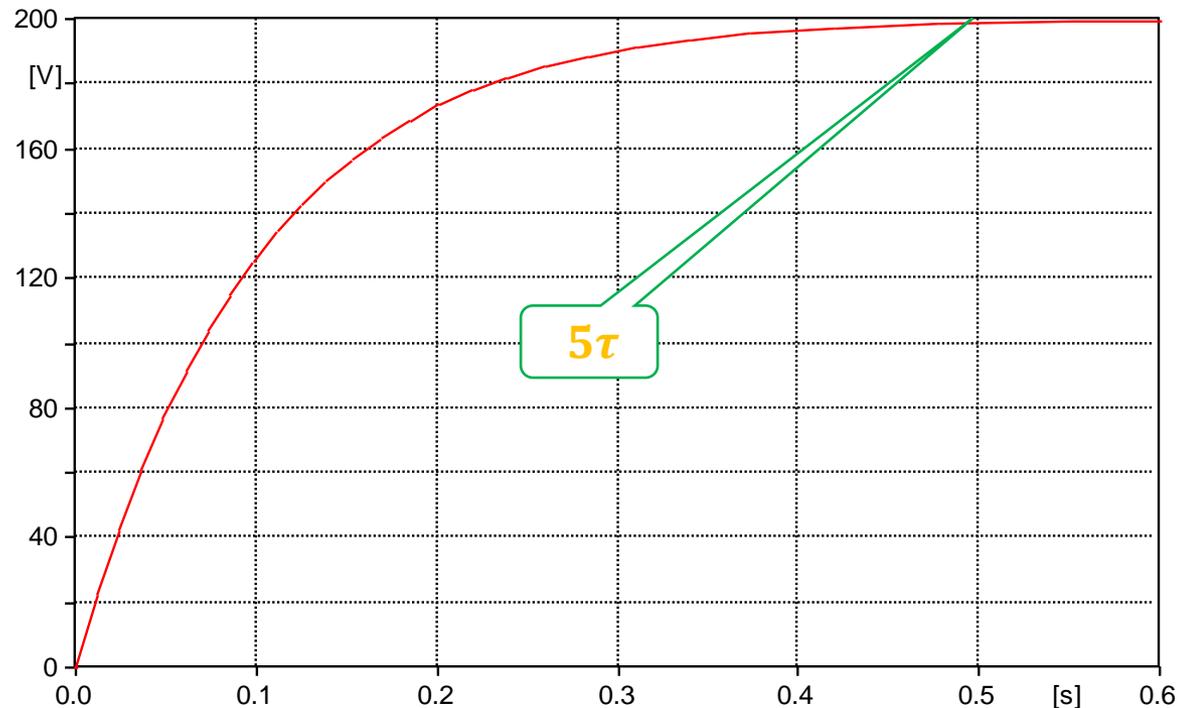
$$\tau = RC = 0.1 \text{ s}$$



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

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

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



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

Tensão no condensador

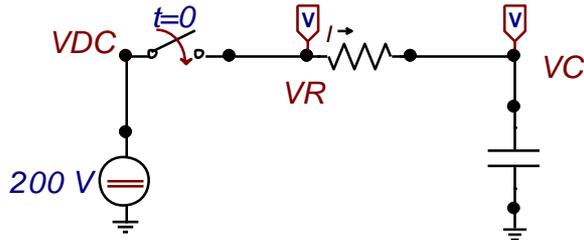
Simulação de circuitos elétricos RC, RL, LC e RLC

❖ Exemplo 1: Circuito Elétrico R-C

❑ Dados do circuito

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

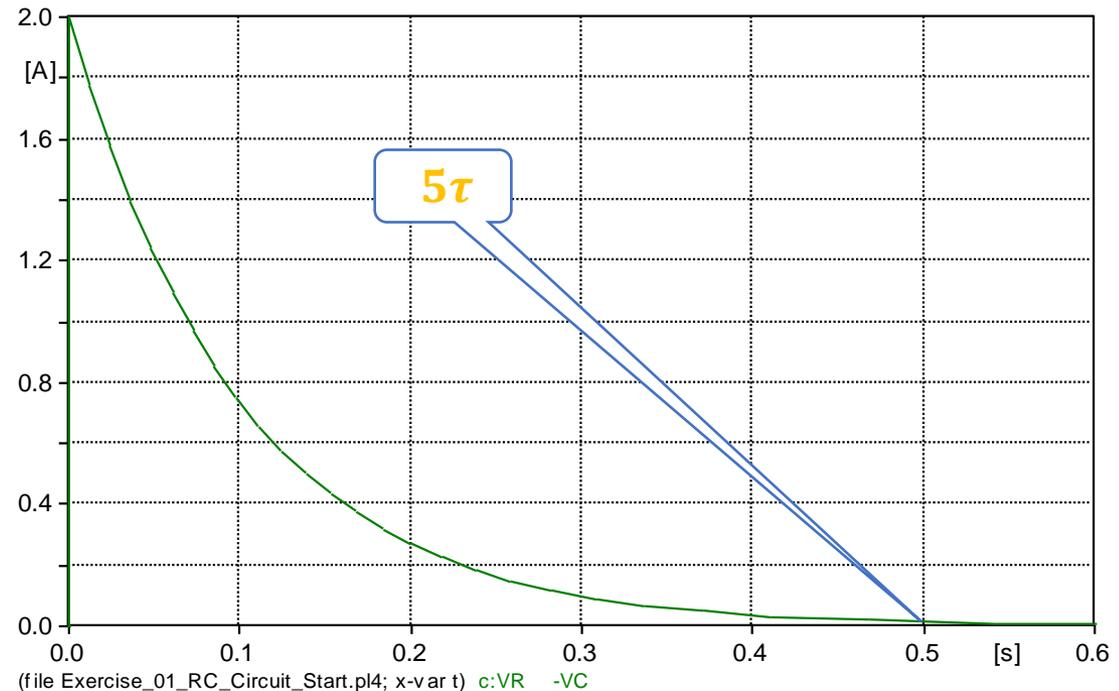
$$\tau = RC = 0.1 \text{ s}$$



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

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

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

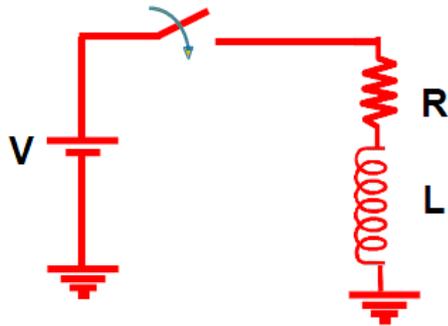


Corrente no condensador

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

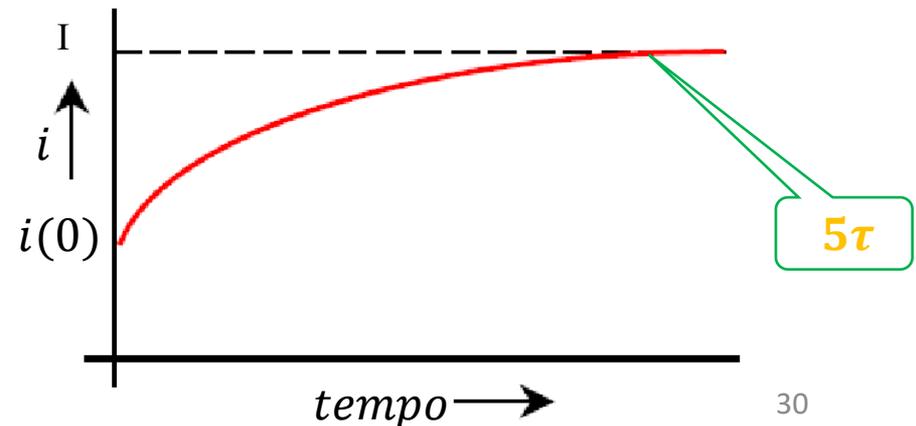
$$V = R i + L \frac{di}{dt} \quad \longrightarrow \quad \int \frac{di}{V - R i} = \int \frac{1}{L} dt$$

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

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

$$\tau = L/R$$

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



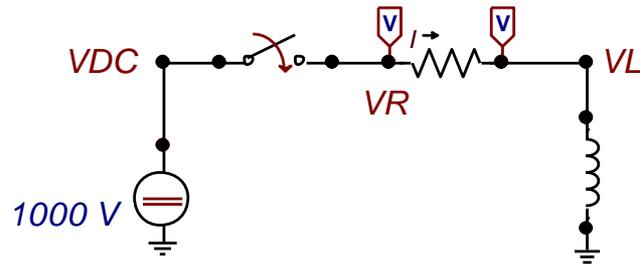
Simulação de circuitos elétricos RC, RL, LC e RLC

❖ Exemplo 2: Circuito Elétrico R-L

❑ Dados do circuito

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

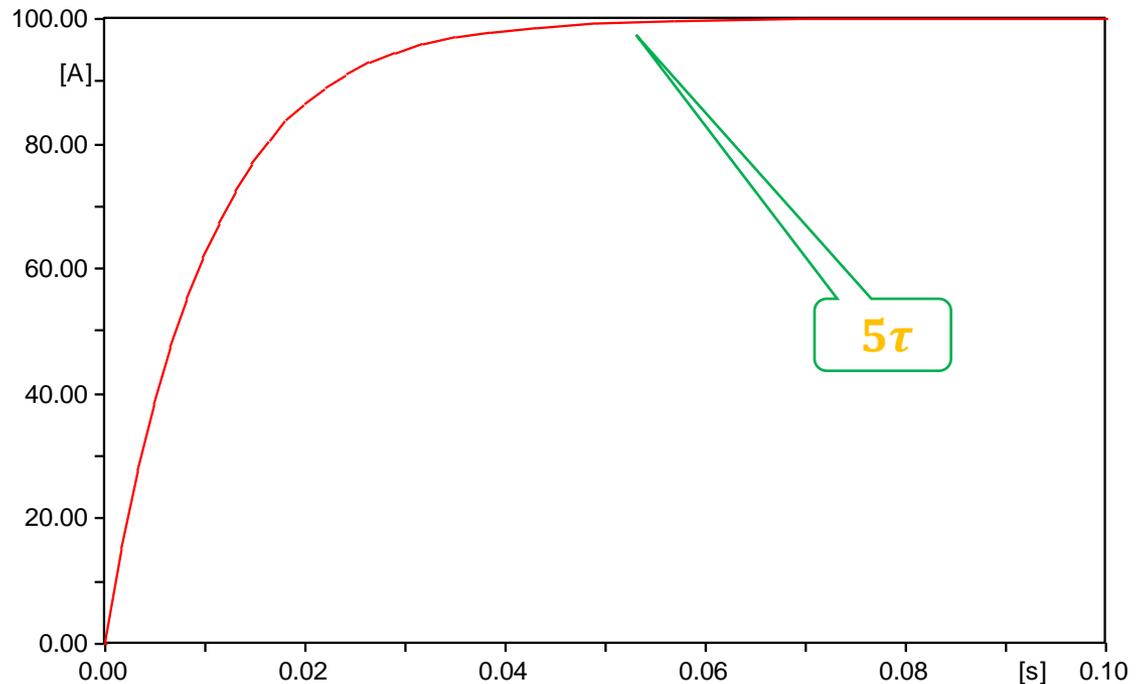
$$\tau = L/R = 0.01 \text{ s}$$



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

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

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



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

Corrente da bobina

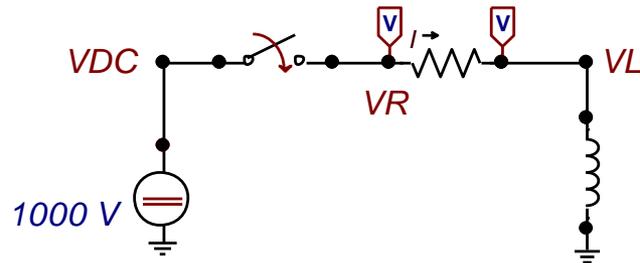
Simulação de circuitos elétricos RC, RL, LC e RLC

❖ Exemplo 2: Circuito Elétrico R-L

❑ Dados do circuito

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

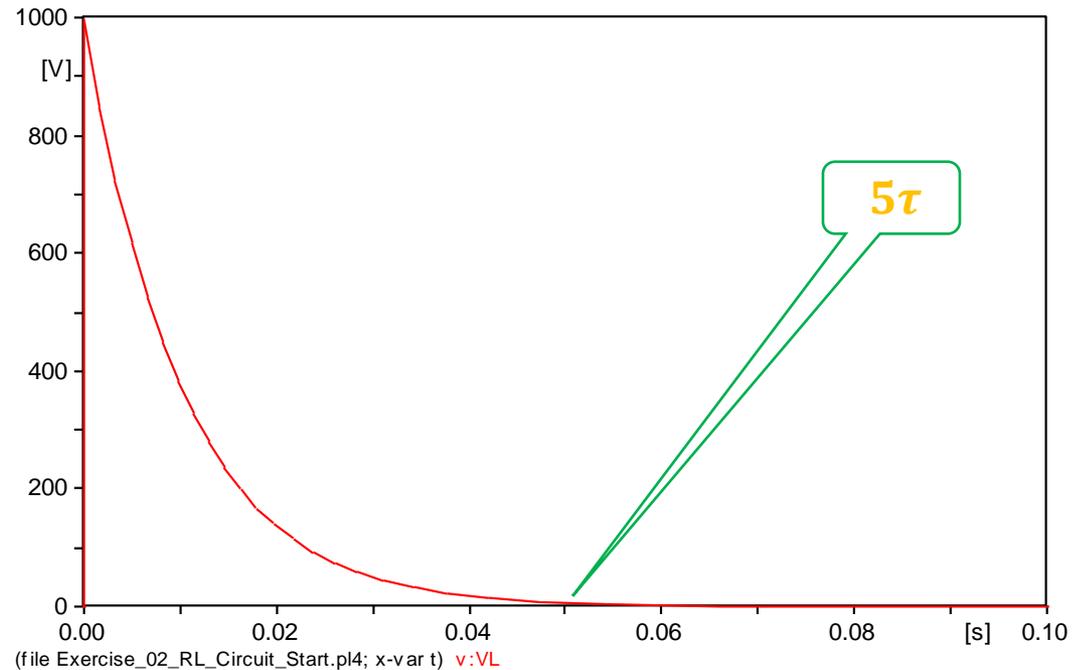
$$\tau = L/R = 0.01 \text{ s}$$



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

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

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

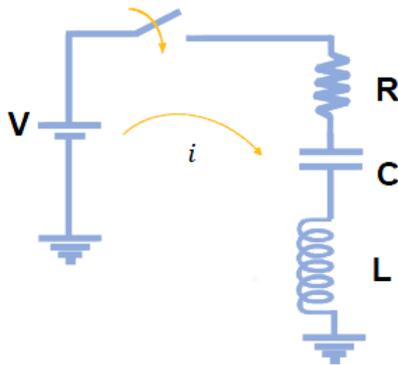


Tensão na bobina

Simulação de circuitos elétricos RC, RL, LC e RLC

❖ Exemplo 3: Circuito Elétrico R-L-C

❑ Circuito básico



❑ Desenvolvimento

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

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

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

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

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

❑ O que sabemos?

$$V = Ri + v_L + v_C$$

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

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

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

❑ Três casos para analisar:

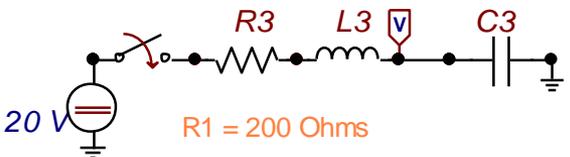
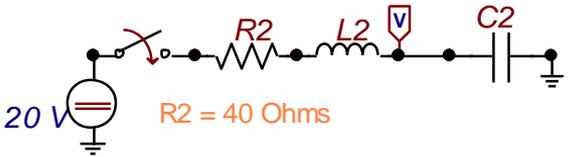
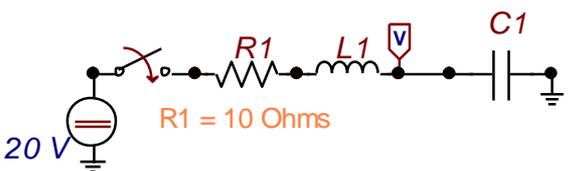
- $\alpha < \omega_0$, caso subamortiguado.
- $\alpha = \omega_0$, caso criticamente amortiguado.
- $\alpha > \omega_0$, caso sobreamortiguado.

Simulação de circuitos elétricos RC, RL, LC e RLC

Exemplo 3: Circuito Elétrico R-L-C

Dados do circuito

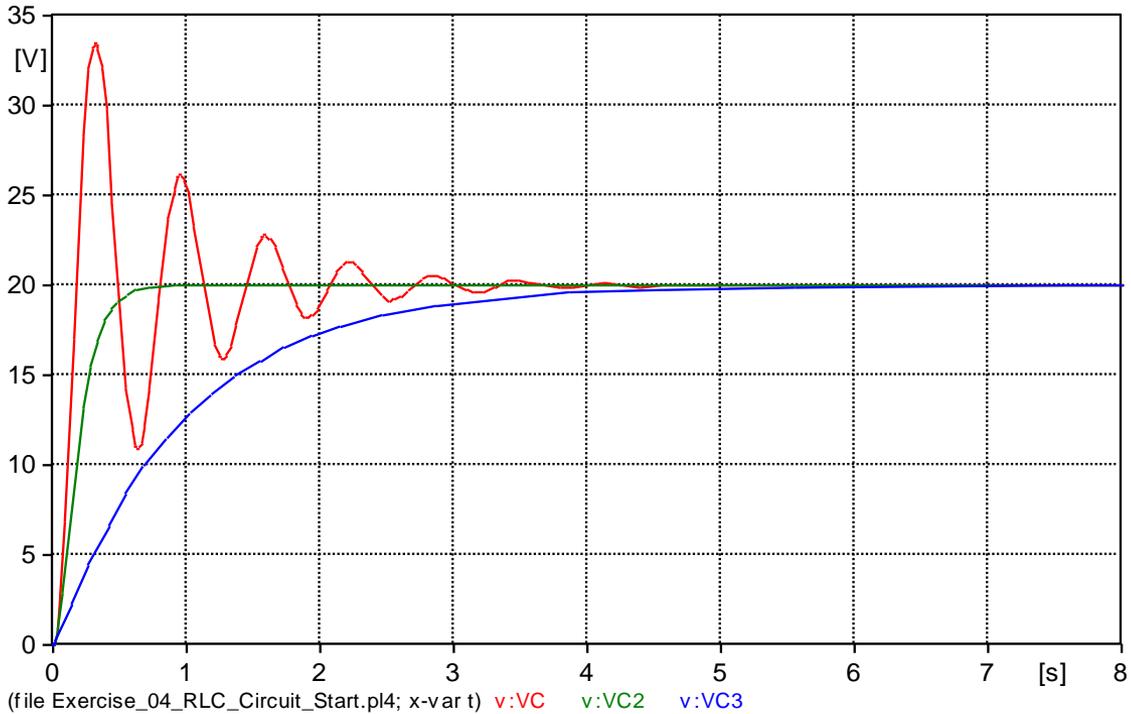
- V = 20 V
- L = 2000 mH
- C = 5000 uF
- R: variável



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

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

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



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

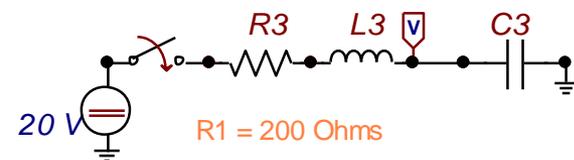
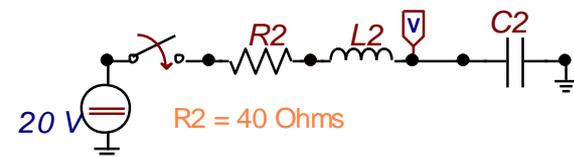
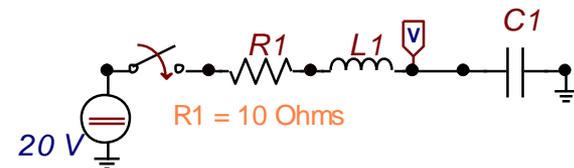
Tensão no capacitor

Simulação de circuitos elétricos RC, RL, LC e RLC

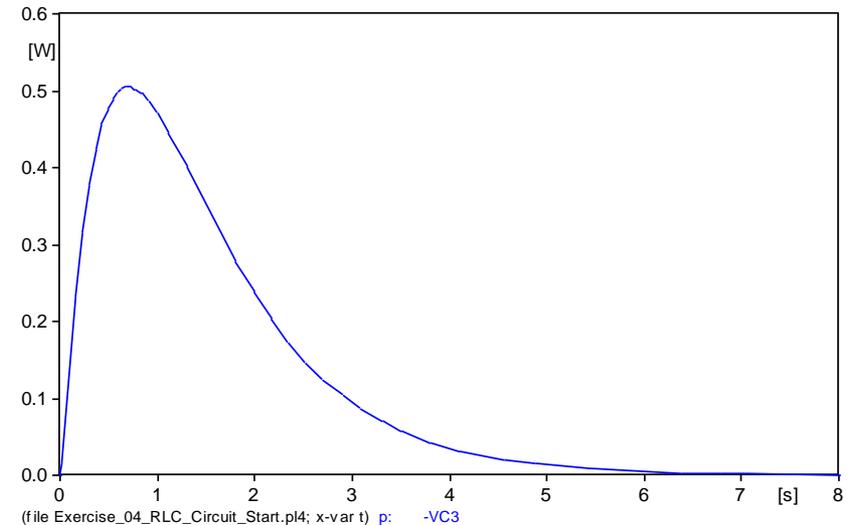
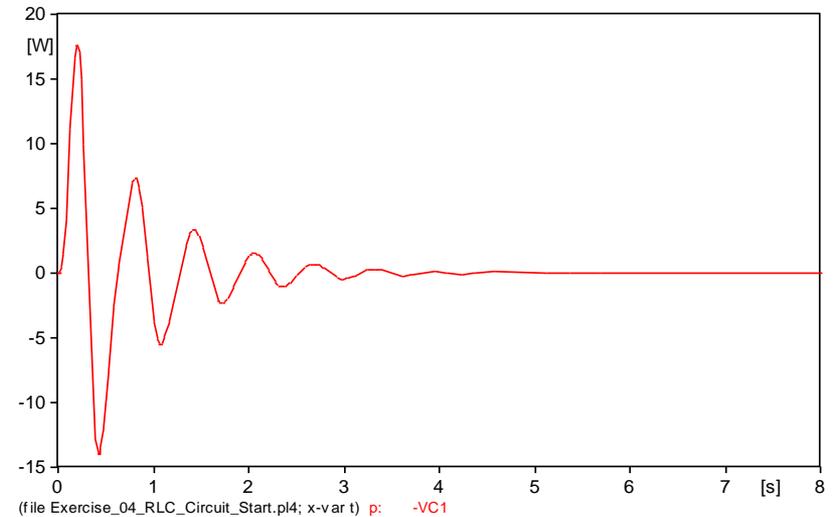
❖ Exemplo 3: Circuito Elétrico R-L-C

❑ Dados do circuito

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



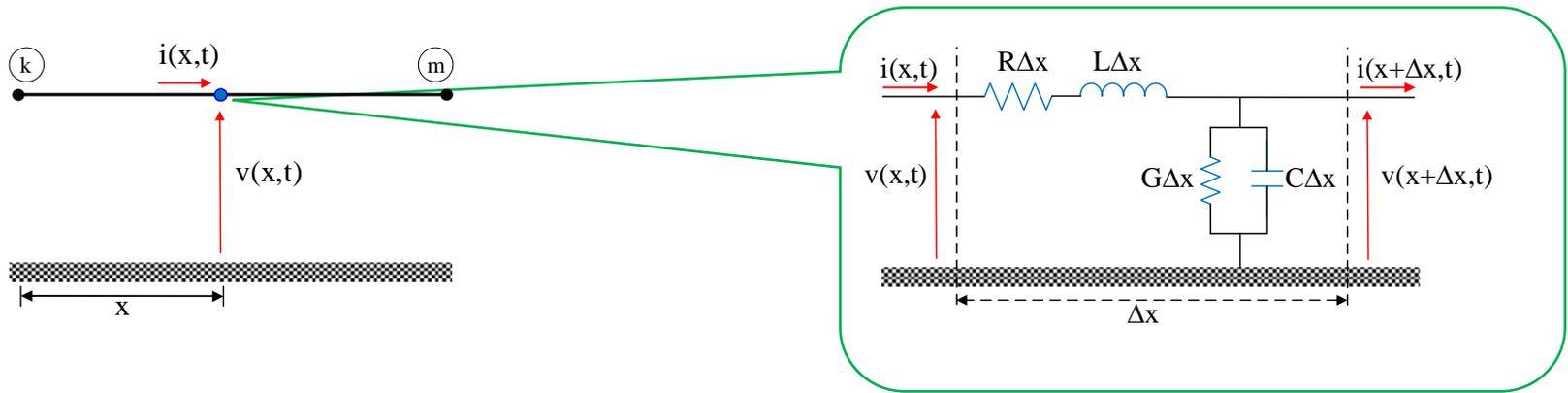
$\Delta T = 1\text{E-}5$
 $T_{\text{max}} = 8$



Potencia que intercambia o capacitor

Simulação de manobras em linhas de transmissão.

❖ Linha de transmissão



$$-\frac{\partial v(x,t)}{\partial x} = Ri(x,t) + L \frac{\partial i(x,t)}{\partial x}$$
$$-\frac{\partial i(x,t)}{\partial x} = Gv(x,t) + C \frac{\partial v(x,t)}{\partial x}$$

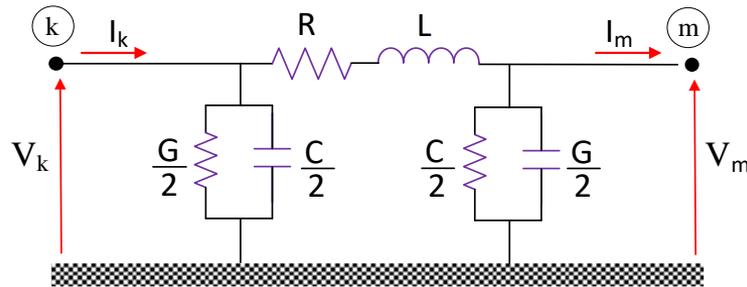
Modelos

- ❑ Modelos de parâmetros concentrados (**Circuito PI** e **Cascata de circuitos PI**).
- ❑ Modelos de parâmetros distribuídos (**Bergeron** e **J. Marti**).

Simulação de manobras em linhas de transmissão.

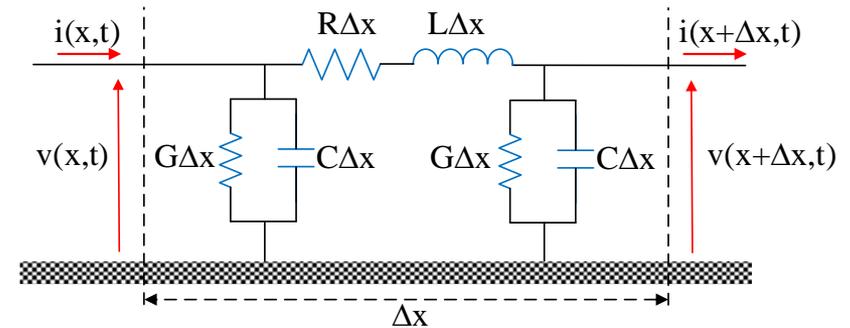
❖ Linha de transmissão

Modelo a parâmetros concentrados



- ❑ Modelo simples e rápido nos cálculos
- ❑ É usado para estudos de transitórios de baixa frequência.
 - Energização de Linhas curtas.
 - Energização de capacitores.
 - Energização de transformadores.

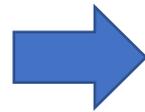
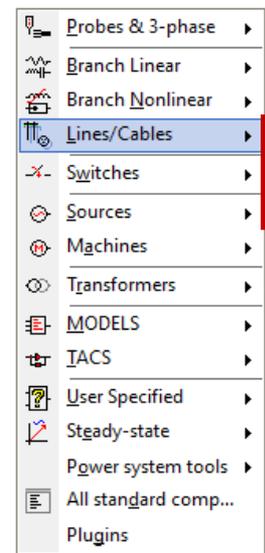
Modelo a parâmetros distribuídos



- ❑ Modelo que considera a velocidade de propagação das ondas
- ❑ É usado para estudos de transitórios nos quais uma frequência ou uma faixa de frequência seja de interesse.
 - Energização de Linhas meias e longas
 - Análises de descargas atmosféricas
 - Faltas em Linhas de transmissão
 - Faltas em subestações

Simulação de manobras em linhas de transmissão.

❖ Linha de transmissão



Lumped:

Modelo PI

Distributed:

Modelo Bergeron

LCC template: Todos os Modelos



Dados de entrada os parâmetros R,L,C e G

Dados de entrada os parâmetros do cabo condutor e disposição da torre



Simulação de manobras em linhas de transmissão.

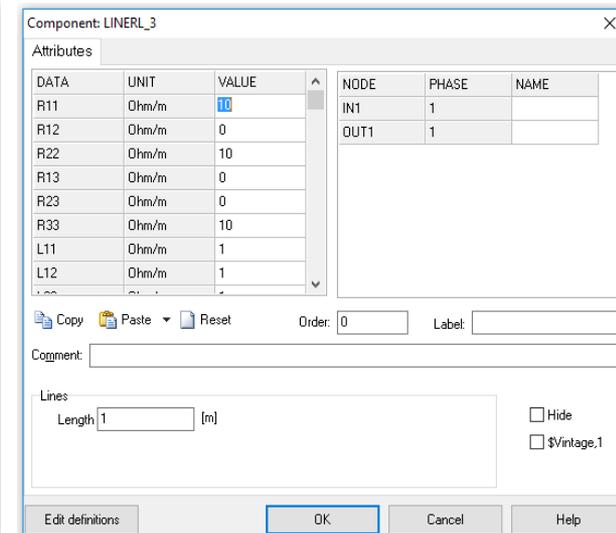
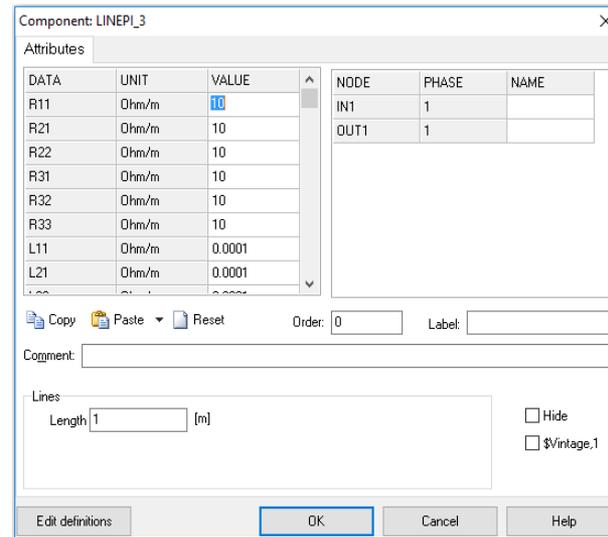
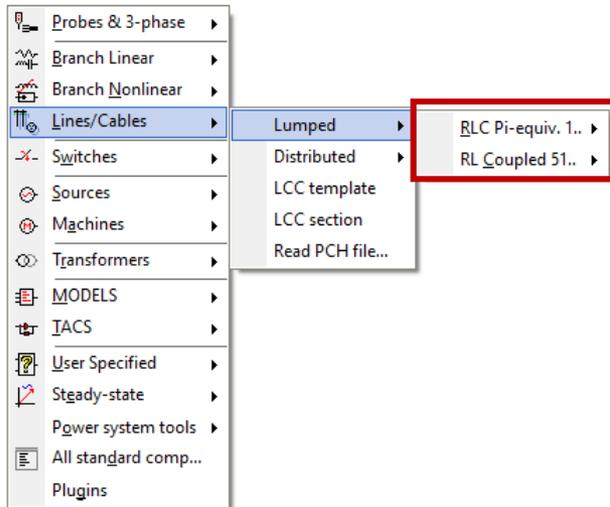
❖ Linha de transmissão

Modelo a parâmetros concentrados

Modelo de LT tipo RLC



Modelo de LT tipo RL

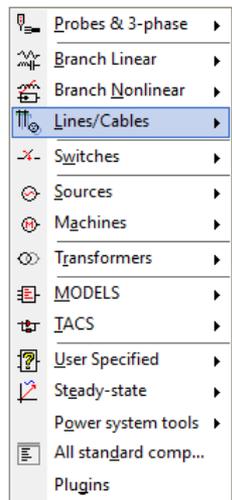


Sem transposição

Simulação de manobras em linhas de transmissão.

❖ Linha de transmissão

Modelo a parâmetros concentrados



Modelo de LT tipo RLC



Component: LINEPI3S

Attributes

DATA	UNIT	VALUE	NODE	PHASE	NAME
R0	Ohm/m	1	In	1	
L0	Ohm/m	1	Out	1	
C0	$\mu\text{F}/\text{m}$	1			
R+	Ohm/m	1			
L+	Ohm/m	1			
C+	$\mu\text{F}/\text{m}$	1			

Copy Paste Reset Order: 0 Label:

Comment:

Lines Length 1 [m] Hide \$V/mage,1

Edit definitions OK Cancel Help

Modelo de LT tipo RL



Component: LINESY_3

Attributes

DATA	UNIT	VALUE	NODE	PHASE	NAME
Ro	Ohm/m	2	IN1	1	
Lo	Ohm/m	1.5	OUT1	1	
R+	Ohm/m	1			
L+	Ohm/m	1			

Copy Paste Reset Order: 0 Label:

Comment:

Lines Length 1 [m] Hide \$V/mage,1

Edit definitions OK Cancel Help

Com transposição

Simulação de manobras em linhas de transmissão.

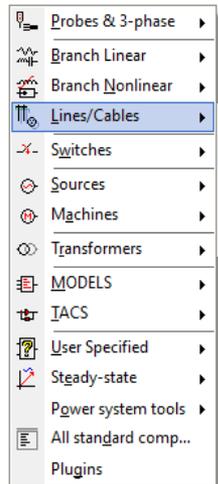
❖ Linha de transmissão

Modelo a parâmetros distribuídos

Com transposição



Sem transposição



Component: LINEZT_3

Attributes

DATA	UNIT	VALUE	NODE	PHASE	NAME
R/+	Ohm/m	0	IN1	1	
R/0	Ohm/m	0	OUT1	1	
Z +		500			
Z 0		500			
v +		300000000			
v 0		300000000			

Copy Paste Reset Order: 0 Label:

Comment:

Lines
Length 500 [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

Component: LINEZU_3

Attributes

DATA	UNIT	VALUE	NODE	PHASE	NAME
R/+	Ohm/m	0	IN1	1	
R/0	Ohm/m	0	OUT1	1	
R/0	Ohm/m	0			
L' +		0			
L' -		0			
L' 0		0			
C' +		0			
C' -		0			

Copy Paste Reset Order: 0 Label:

Comment:

Lines
Length 1 [m]
Output No

ILINE
 L', C'
 Z, v
 Z, tau

Conductance
 G=0
 G=R*C/L

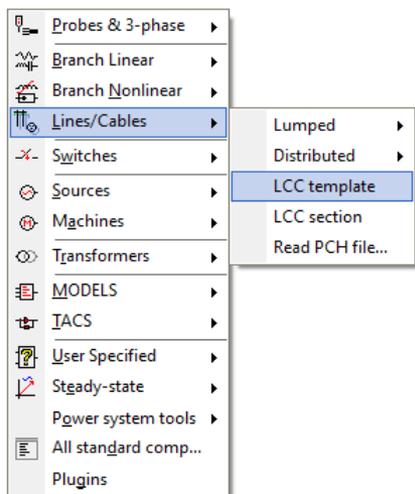
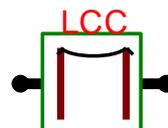
Hide
 \$Vintage.1

Edit definitions OK Cancel Help

Simulação de manobras em linhas de transmissão.

❖ Linha de transmissão

Modelos em geral



Line/Cable Data

Model Data Nodes

System type

Name: Template

Overhead Line #Ph: 3

Transposed

Auto bundling

Skin effect

Segmented ground

Real transf. matrix

Standard data

Rho [ohm*m]

Freq. int [Hz]

Length [km]

Set length in icon

Units

Metric

English

Model

Type

Bergeron

PI

JMarti

Semlyen

Noda

Comment: Order: 0 Label: Hide

OK Cancel Import Export Run ATP View Verify Edit defin. Help

Line/Cable Data

Model Data Nodes

	Ph.no.	React	Rout	Resis	Horiz	Vtower	Vmid
#		[ohm/km AC]	[cm]	[ohm/km AC]	[m]	[m]	[m]
1	1	0	0	0	0	0	0
2	2	0	0	0	0	0	0
3	3	0	0	0	0	0	0

Add row Delete last row Insert row copy

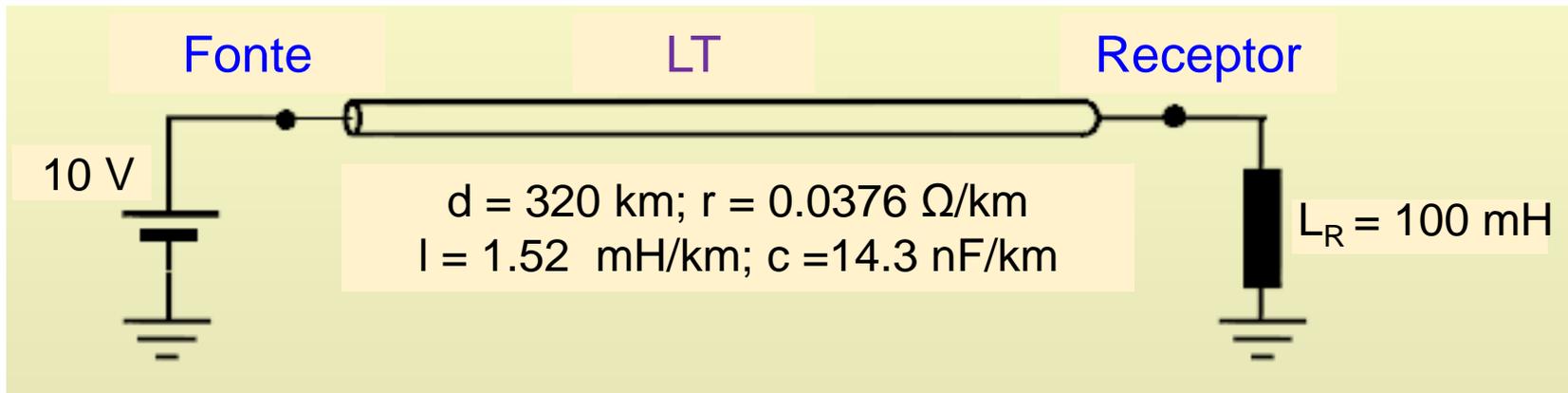
Move

OK Cancel Import Export Run ATP View Verify Edit defin. Help

Simulação de manobras em linhas de transmissão.

❖ Exemplo 4: Linha de transmissão, comparação de modelos de circuito PI e Bergeron

Energização de uma Linha de Transmissão longa com terminal receptor com carga indutiva



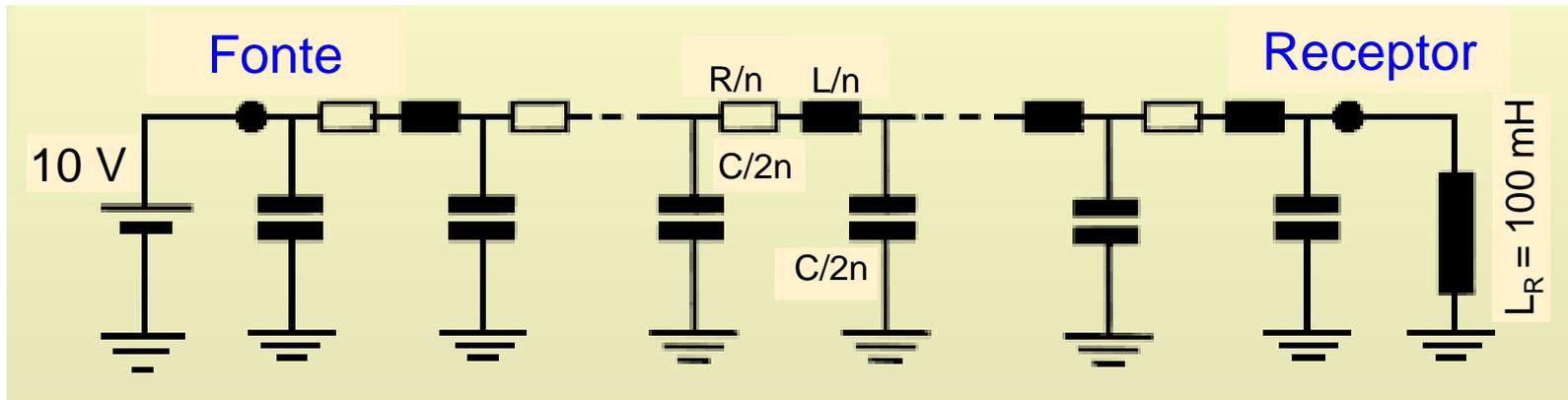
Para representar esta linha são utilizados três modelos e são:

- Modelo 1: Um modelos de linha a parâmetros distribuídos
- Modelo 2: Uma cascata de 8 circuitos PIs
- Modelo 3: Uma cascata de 32 circuitos PIs.

Simulação de manobras em linhas de transmissão.

❖ Exemplo 4: Linha de transmissão, comparação de modelos de circuito PI e Bergeron

Energização de uma Linha de Transmissão longa com terminal receptor com carga indutiva



❑ Cada circuito PI do modelo 2 ($n=8$) corresponde os seguinte parâmetros:

$$R = r.d = 12.032 \Omega \rightarrow R/8 = 1.504 \Omega$$

$$L = l.d = 486 \text{ mH} \rightarrow L/8 = 60.8 \text{ mH}$$

$$C = c.d = 4576 \text{ nF} \rightarrow C/8 = 0.572 \text{ uF}$$

❑ Analogicamente, a cada circuito PI do modelo 2 ($n=32$):

$$R/32 = 0.376 \Omega$$

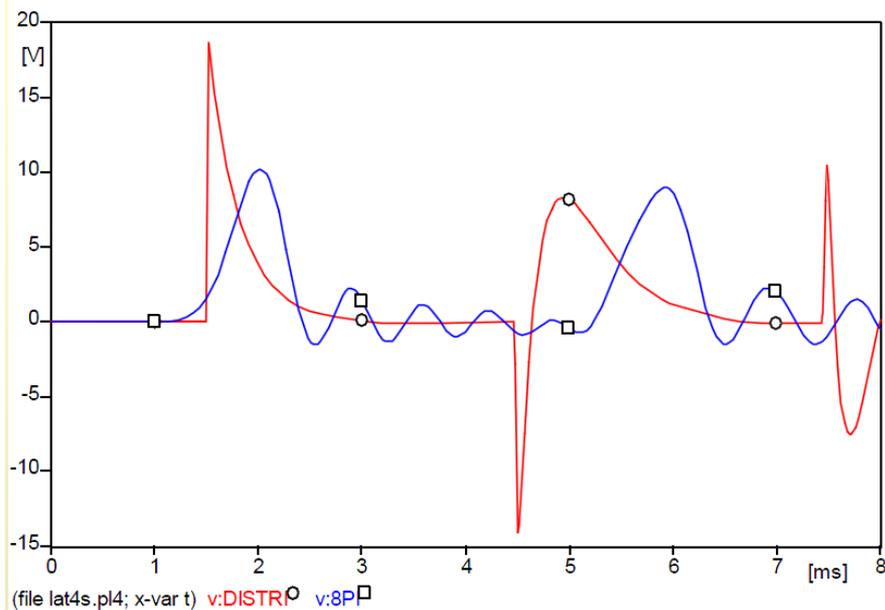
$$L/32 = 15.2 \text{ mH}$$

$$C/32 = 0.143 \text{ uF}$$

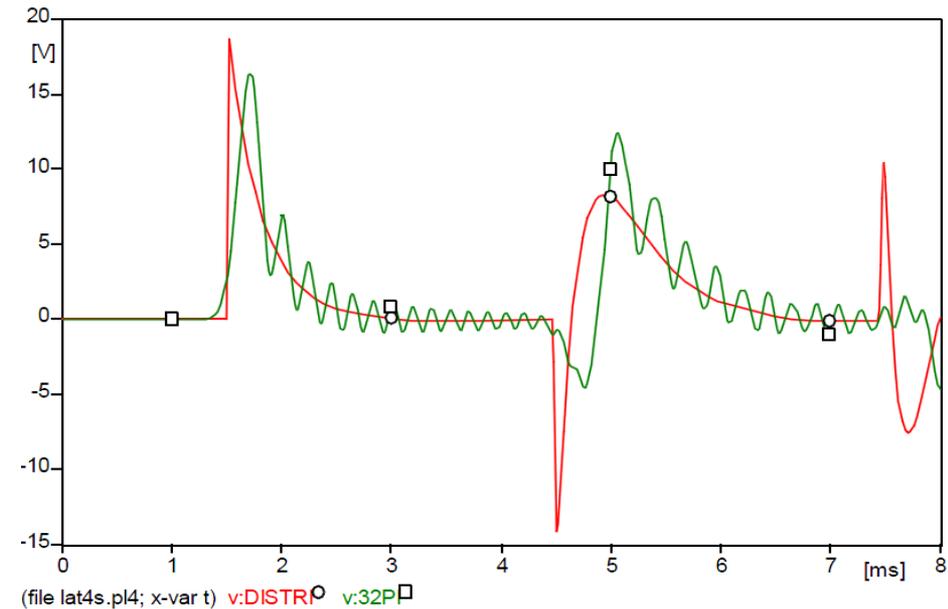
Simulação de manobras em linhas de transmissão.

❖ Exemplo 4: Linha de transmissão, comparação de modelos de circuito PI e Bergeron

Modelos Distribuído e 8 PIs



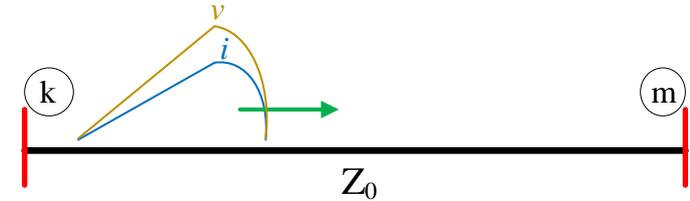
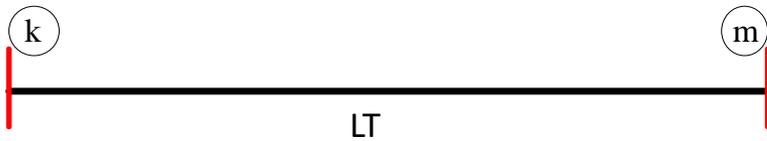
Modelos Distribuídos e 32 PIs



Como já sabíamos, ao incrementar o número de circuitos PI para representar a linha de transmissão, as respostas do modelo de parâmetros concentrados ficam próximas do modelo de parâmetros distribuídos.

Simulação de manobras em linhas de transmissão.

❖ Linha de transmissão, propagação de ondas viajantes



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

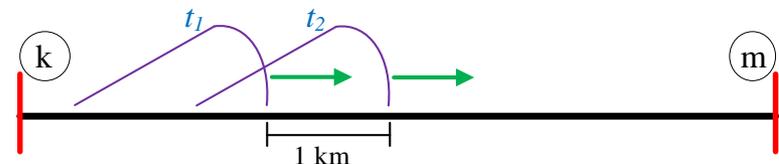
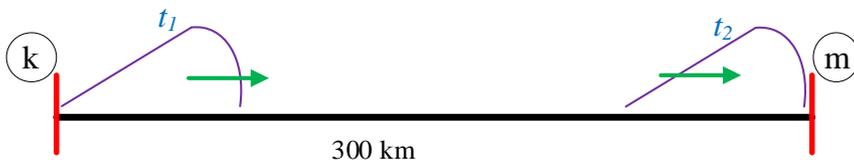
Onde:

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

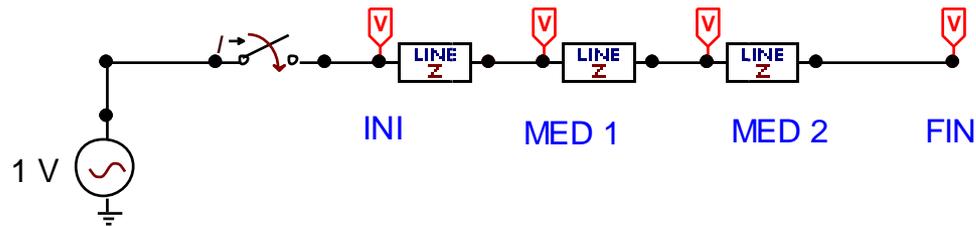
$Z_0 = 250 - 400$ Ohm en Linhas aéreas.

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

En linhas aéreas: $V = 300000$ 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 [m]

Output

ILINE

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

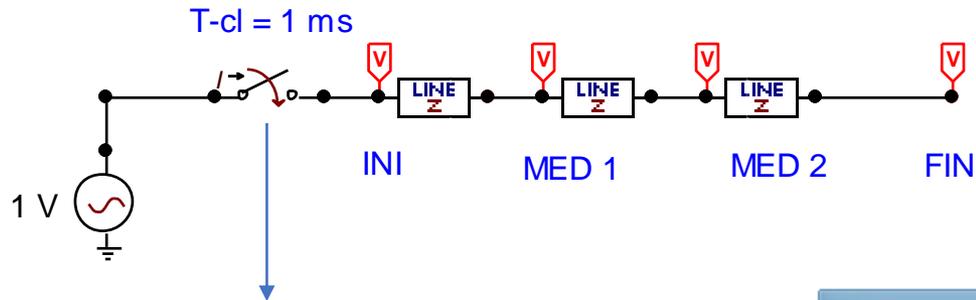
Conductance

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

Hide

\$Vintage,1

Edit definitions OK Cancel 47 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: 0 - No

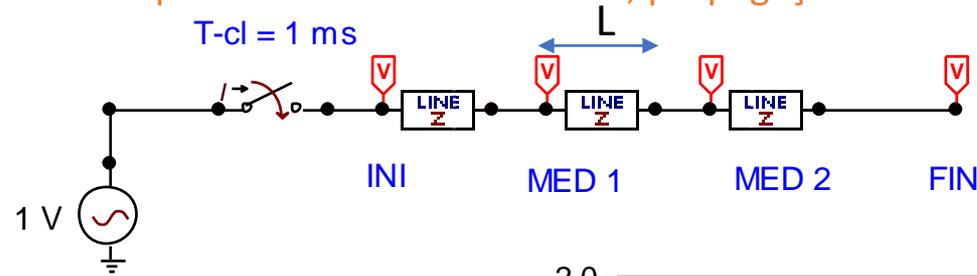
Hide []

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:

$R/L = 0 \text{ ohm/m}$

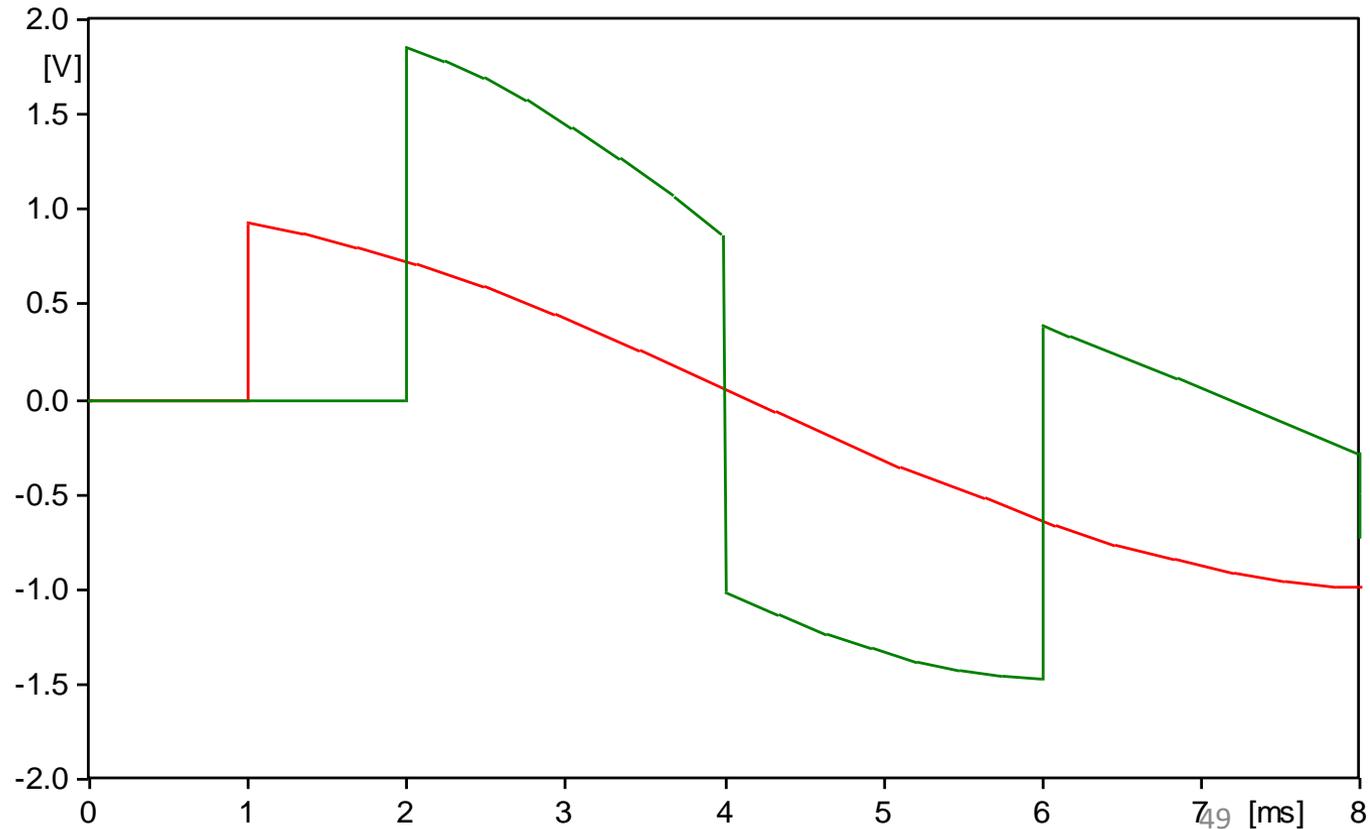
$Z_c = 500 \text{ ohm}$

$v = 300000000 \text{ m/s}$

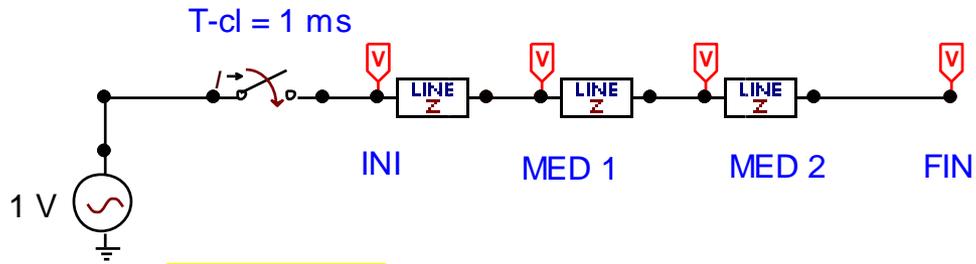
$L = 100 \text{ km}$

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

Fonte AC

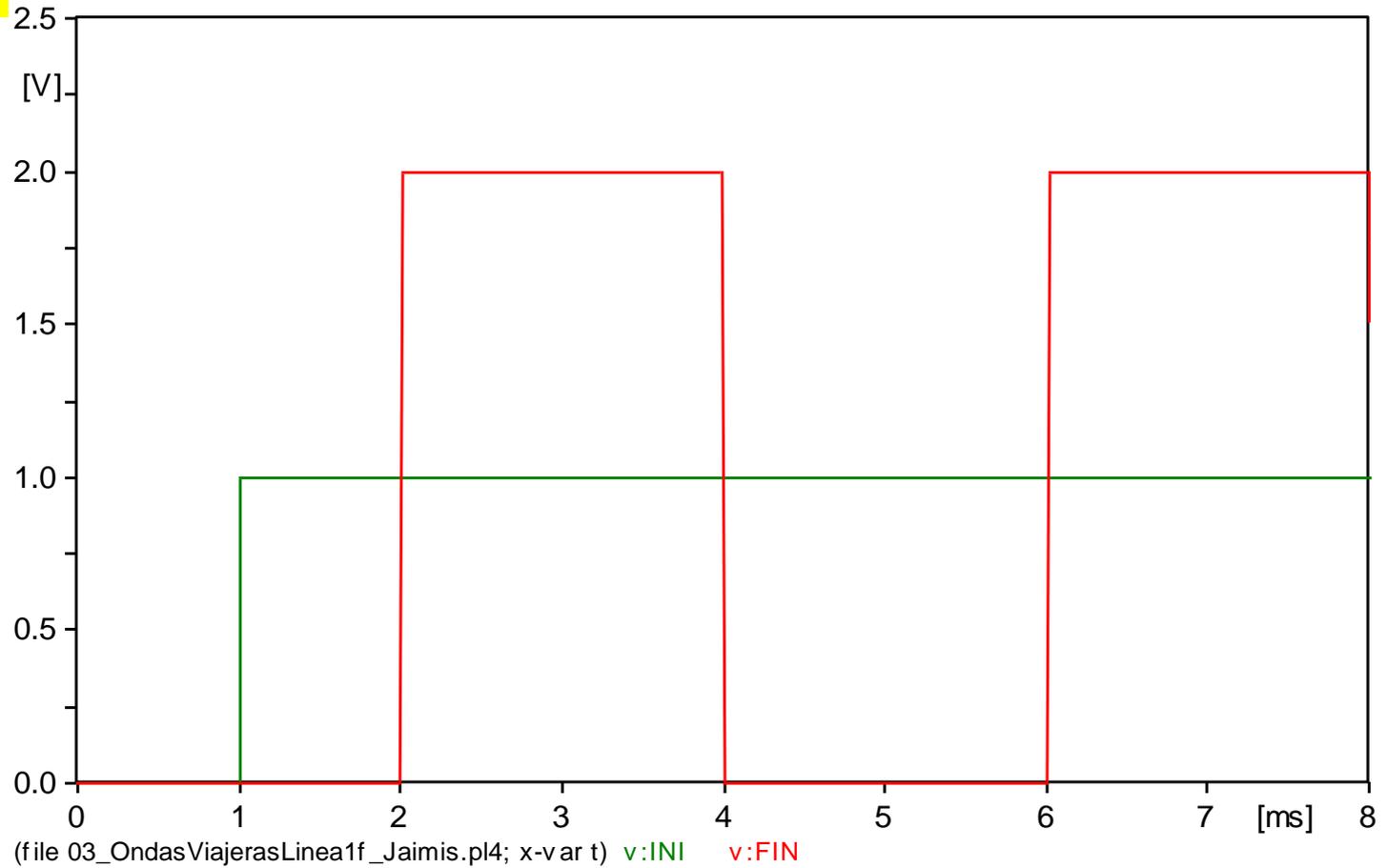


(file 03_OndasViajerasLinea1f_Jaimis.pl4; x-v ar t) v:INI v:FIN



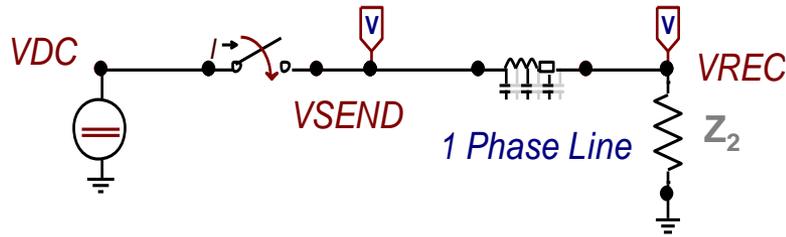
Datos para las líneas:
 $R/L = 0 \text{ ohm/m}$
 $Z_c = 500 \text{ ohm}$
 $v = 300000000 \text{ m/s}$
 $L = 100 \text{ km}$

Fonte DC



Simulação de manobras em linhas de transmissão.

❖ Energização de Linha de transmissão com diversas cargas resistivas



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

$$v = \frac{1}{\sqrt{L' \cdot C'}} \quad v = 2.95 \times 10^5 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

$$\tau = \frac{d}{v} \quad \tau = 3.3912 \times 10^{-4} \text{ s}$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{L'}{C'}} \quad Z_c = 294.88 \Omega$$

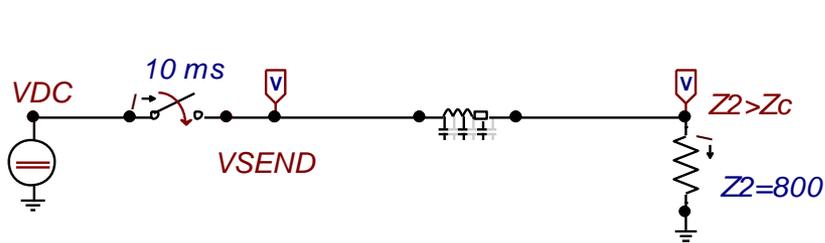
Vdc = 100 kV

❑ Casos de tensões a analisar:

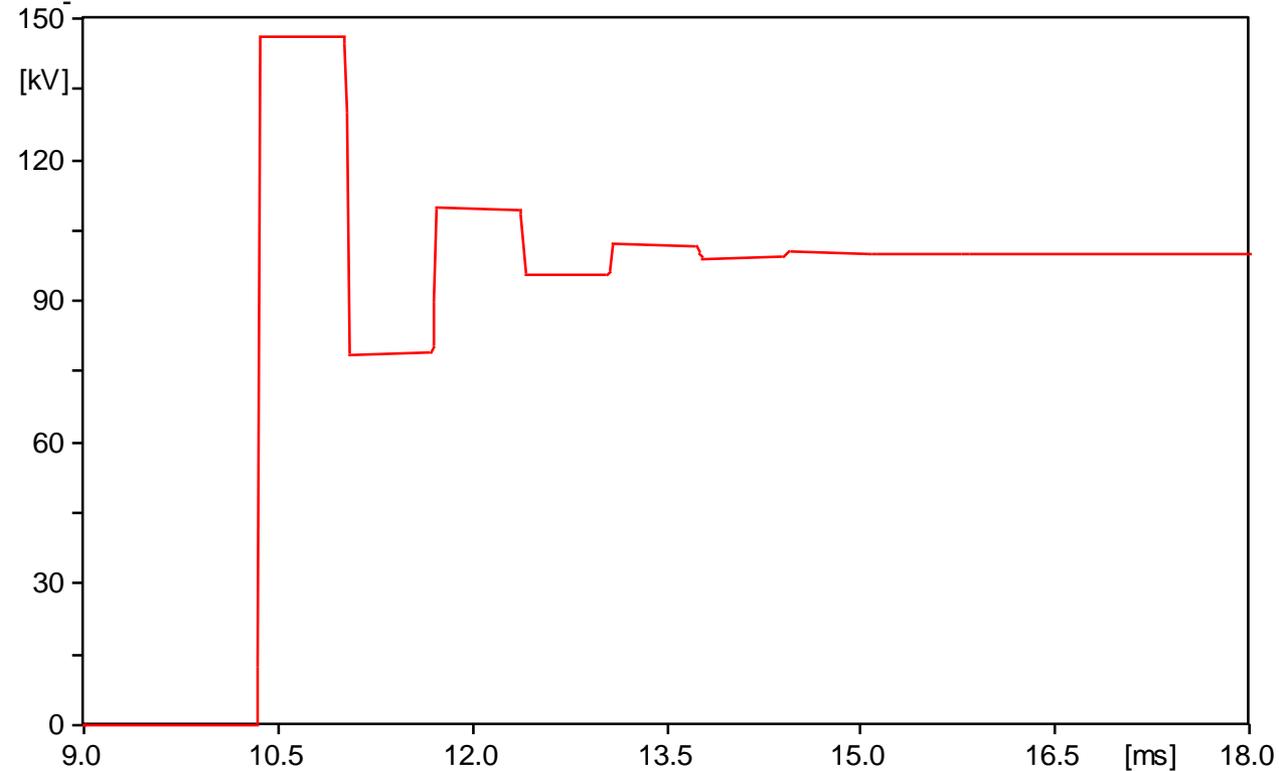
- Tensão no receptor para o caso que $Z_2 > Z_c$
- Tensão no receptor para o caso que $Z_2 < Z_c$
- Tensão no receptor para o caso que $Z_2 = Z_c$

Simulação de manobras em linhas de transmissão.

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

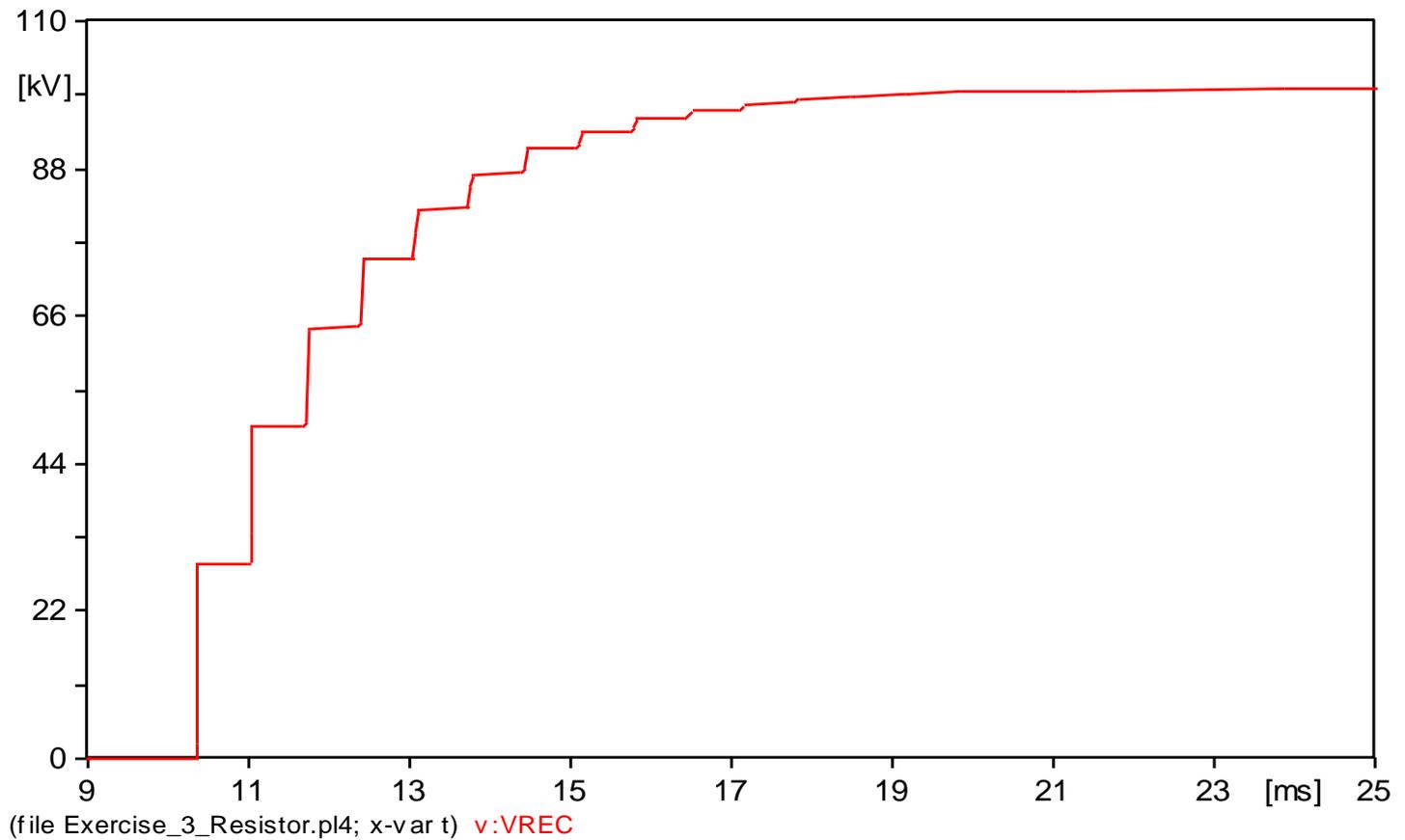
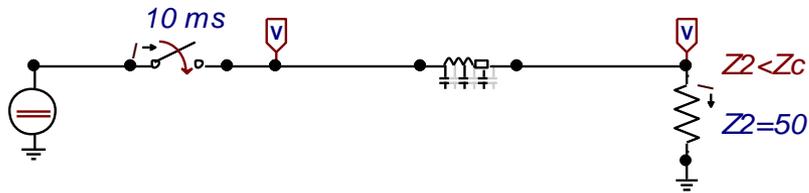


Tensão no receptor para o caso que $Z_2 > Z_C$



(file Exercise_3_Resistor.pl4; x-v ar t) v:VREC

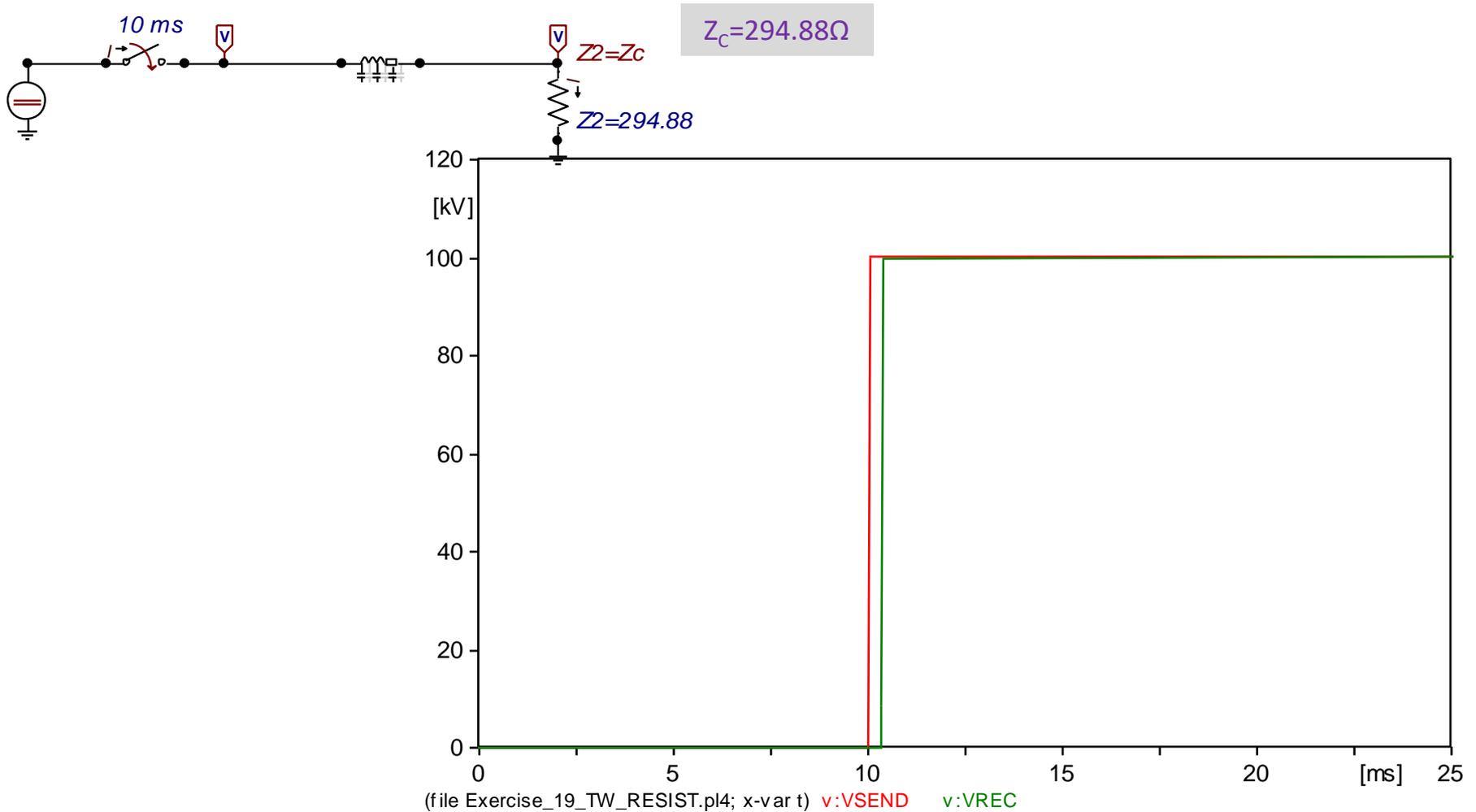
Simulação de manobras em linhas de transmissão.



Tensão no receptor para o caso que $Z2 < ZC$ ⁵³

Simulação de manobras em linhas de transmissão.

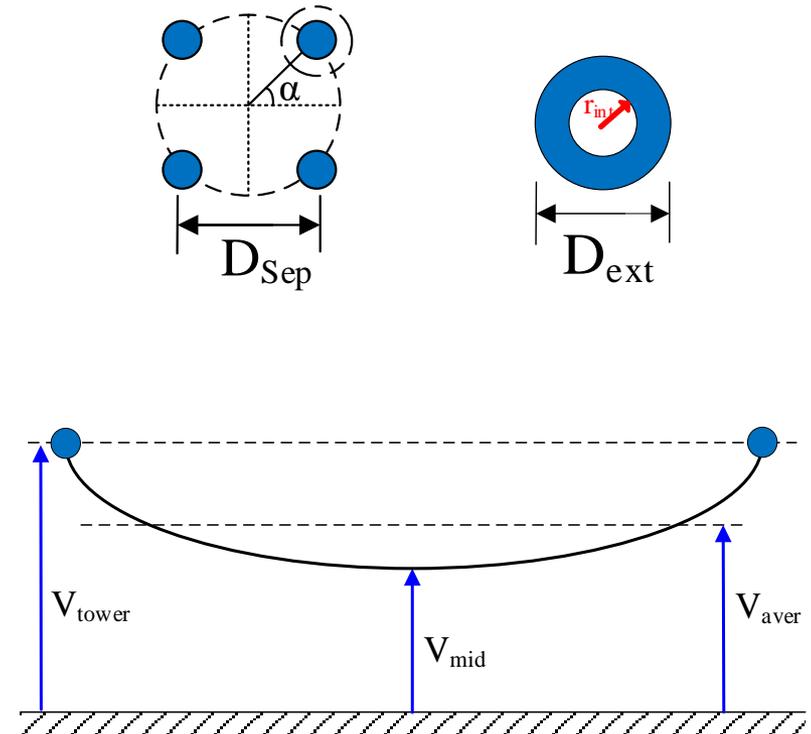
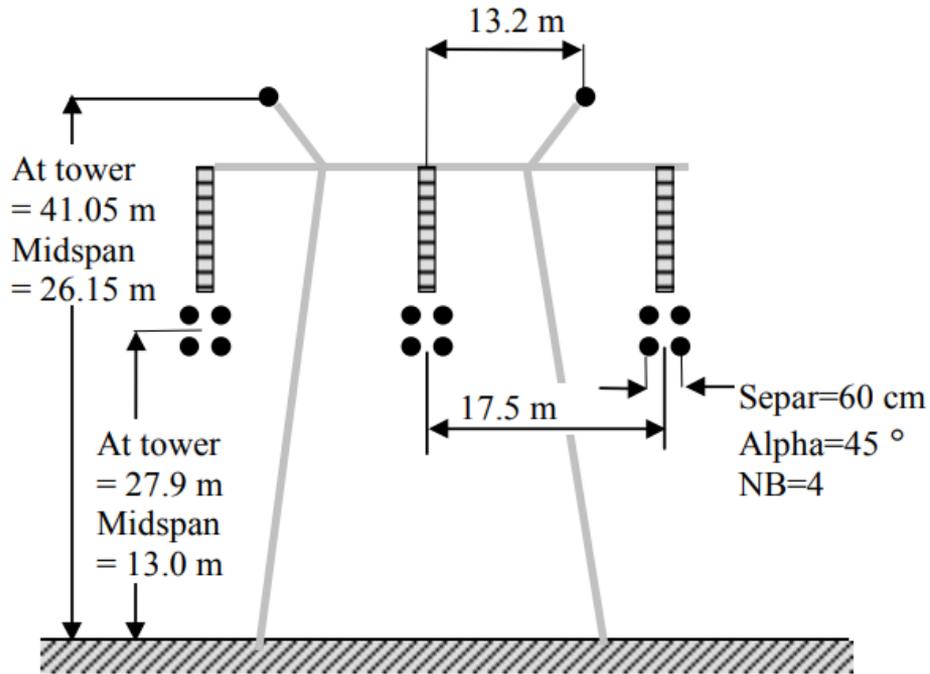
❖ Exemplo 6: Linha de transmissão, comparação modelo de circuito PI e Bergeron



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

Simulação de manobras em linhas de transmissão.

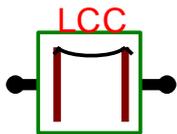
❖ Energização de uma Linha de transmissão trifásica



$$h_{aver} = \frac{2}{3} h_{mid} + \frac{1}{3} h_{tower}$$

Simulação de manobras em linhas de transmissão.

❖ Exemplo 7: Energização de uma Linha de transmissão trifásica



Line/Cable Data: 750kV

Model Data Nodes

System type
Name: 750kV Template
Overhead Line Transposed #Ph: 3
 Auto bundling
 Skin effect
 Segmented ground
 Real transf. matrix
Units: Metric English

Standard data
Rho [ohm*m] 100
Freq. init [Hz] 60
Length [km] 10
 Set length in icon

#	Ph.no.	Rin [cm]	Rout [cm]	Resis [ohm/km DC]	Horiz [m]	Vtower [m]	Vmid [m]	Separ [cm]	Alpha [deg]	NB
1	1	0.55	1.55	0.0585	-17.5	27.9	13	60	45	4
2	2	0.55	1.55	0.0585	0	27.9	13	60	45	4
3	3	0.55	1.55	0.0585	17.5	27.9	13	60	45	4
4	0	0.3	0.8	0.304	-13.2	41.05	26.15	0	0	0
5	0	0.3	0.8	0.304	13.2	41.05	26.15	0	0	0

Model
Type: Bergeron PI JMarti Semlyen Noda

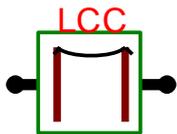
Data
 Printed output ω []
Output Z: [Z] [Z]-1
 [Ze] [Ze]-1
 [Zs] [Zs]-1
Output C: [C]-1 [C]
 [Ce]-1 [Ce]
 [Cs]-1 [Cs]

Comment: Order: 0 Label: Hide

OK Cancel Import Export Run ATP View Verify Edit defin. Help

Simulação de manobras em linhas de transmissão.

❖ Exemplo 7: Energização de uma Linha de transmissão trifásica



Line/Cable Data: L32FD

Model Data Nodes

System type
Name: L32J Template
Overhead Line Transposed
 Auto bundling
 Skin effect
 Segmented ground
 Real transf. matrix
#Ph: 3
Units
 Metric
 English

Standard data
Rho [ohm*m] 100
Freq. init [Hz] 0.01
Length [km] 100
 Set length in icon

Model
Type
 Bergeron
 PI
 JMarti
 Semlyen
 Noda
Data
Decades 9 Points/Dec 10
Freq. matrix [Hz] 1000 Freq. SS [Hz] 1000
 Use default fitting

#	Ph.no.	Rin [cm]	Rout [cm]	Resis [ohm/km DC]	Horiz [m]	Vtower [m]	Vmid [m]
1	1	0	1.529	0.0701	-10	20	20
2	2	0	1.529	0.0701	0	20	20
3	3	0	1.529	0.0701	10	20	20
4	0	0	0.475	3.75	-7	29	29
5	0	0	0.475	3.75	7	29	29

Comment: Order: 0 Label: FD Line Hide

OK Cancel Import Export Run ATP View Verify Edit defin. Help

Simulação de manobras em linhas de transmissão.

❖ Exemplo 8: Energização de uma Linha de transmissão trifásica

