

# **IT 002 – SOBRETENSÕES EM SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA**

## **Aula-05**

### **Simulação de Linhas de Transmissão no ATP**

**Prof. Dr. José Pissolato Filho (Unicamp)**

**Anderson Ricardo Justo de Araújo (Unicamp)**

**23 de abril de 2021**

- ❑ Revisão sobre Linhas de transmissão
- ❑ Conceitos básicos de LTs
- ❑ Simulação de Linhas de Transmissão no ATP
- ❑ Exercício 01

# 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

**FEEC** 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](#)

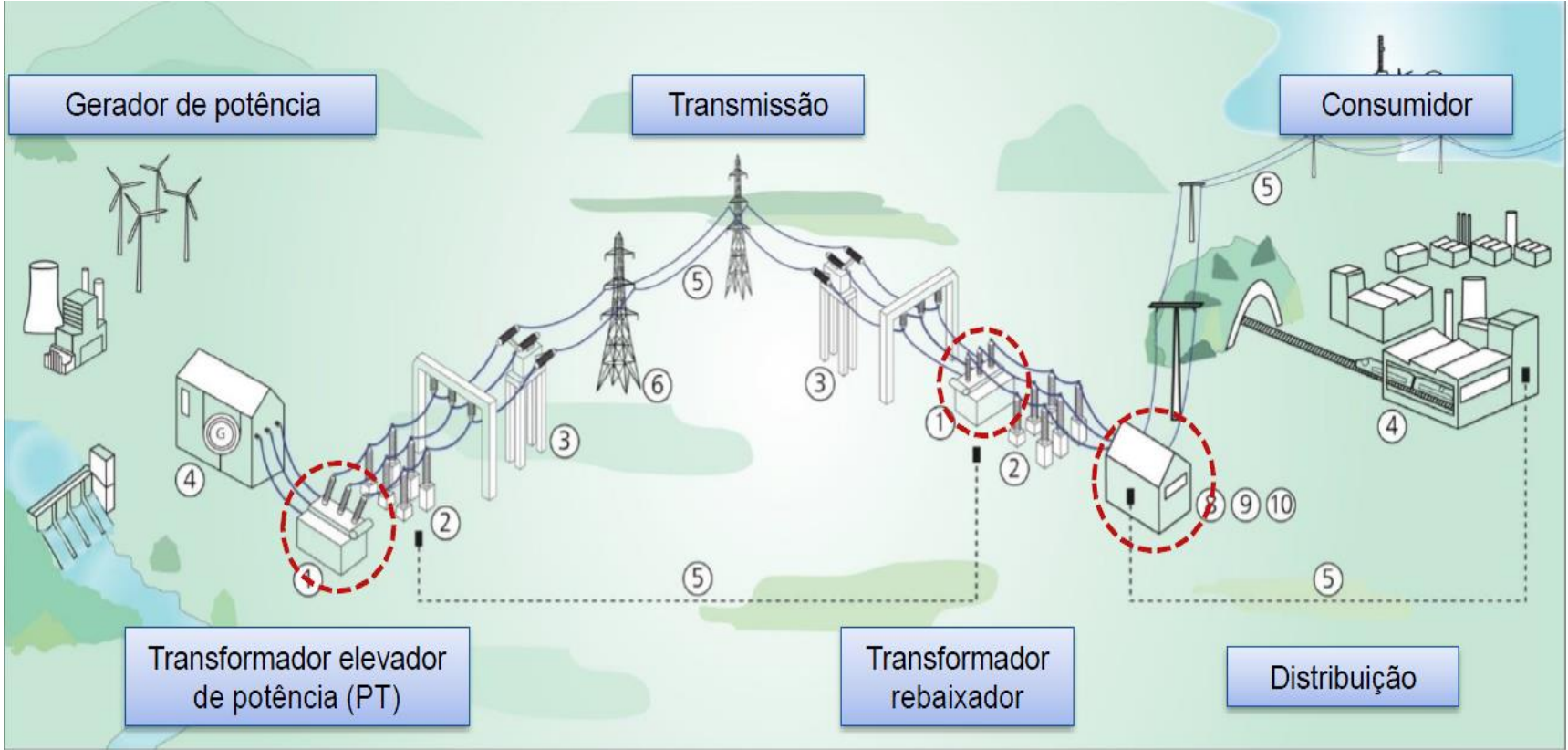
[Link para download e instalação](#)

Prof José Pissolato Filho

- > Home
- > IT002
- > IT308

3

# Introdução aos Transitórios Eletromagnéticos no SEP



# O que é um transitório eletromagnético (TEM)?

Um transitório eletromagnético é uma manifestação ou resposta elétrica local ou adjacente ocasionada por alterações súbitas nas condições operacionais de um sistema elétrico (SE);

Os SEs estão sujeitos a diversos fenômenos transitórios que compreendem desde variações eletromecânicas, caracterizados por baixas frequências, até as variações abruptas das tensões e correntes causadas por mudanças bruscas nas condições do estado de equilíbrio <sup>1</sup>.

Energização de um banco de 600 kVAr na tensão de 13,8 kV.

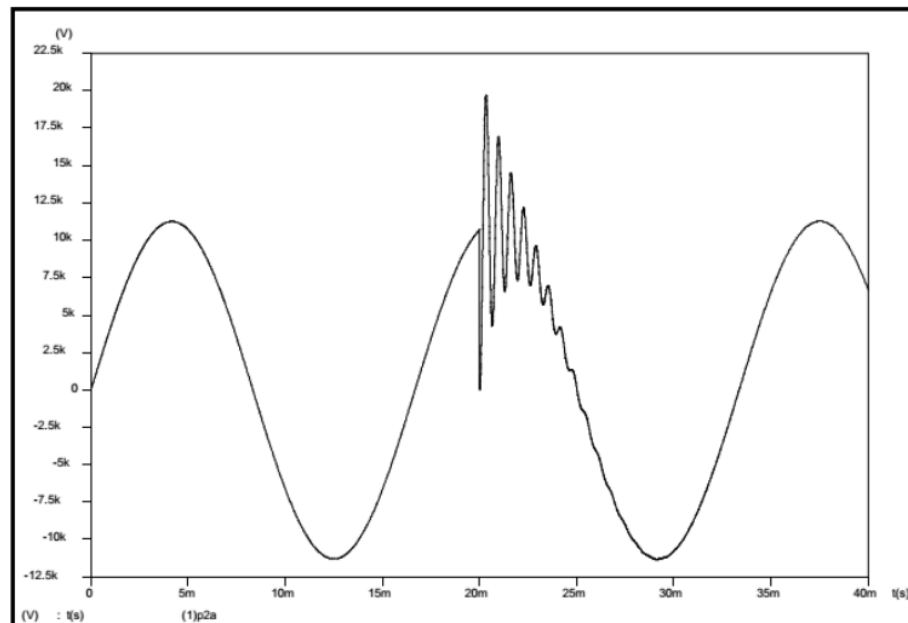
Estado 1  
(Regime Permanente)

Distúrbio Elétrico

TEM



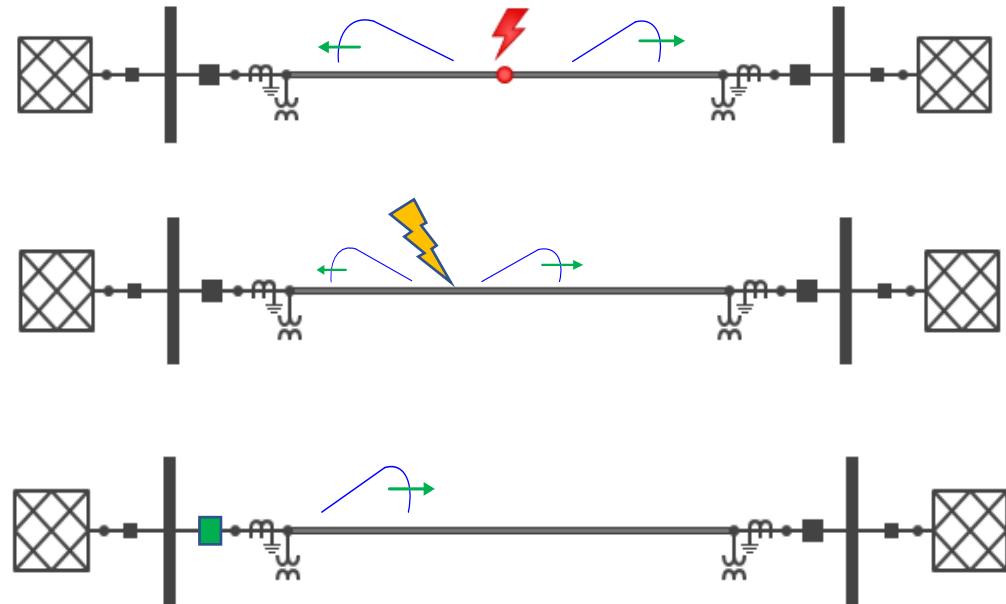
Estado 2  
(Regime Permanente)



# 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

## ❖ 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

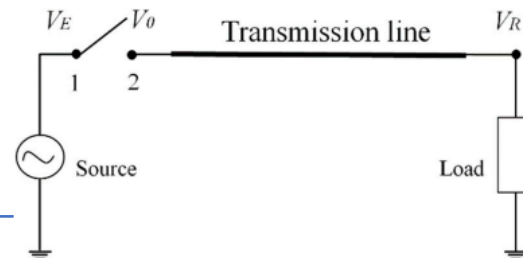
Faixa de tempo [0.5 s – min]

- Estabilidade dinâmica
- Controle de frequência
- Regulação de linhas

# Classificação dos fenômenos que originam TEM-Espectro de frequência

- Tabela Cigré<sup>1</sup>

Origin	frequency range
Transformer energization ferroresonance	(DC) 0.1 Hz - 1 kHz
Load rejection	0.1 Hz - 3 kHz
Fault clearing	50/60 Hz - 3 kHz
Fault initiation	50/60 Hz - 20 kHz
Line energization	50/60 Hz - 20 kHz
Line reclosing	(DC)50/60Hz - 20 kHz
Transient recovery voltage	
Terminal faults	50/60 Hz - 20 kHz
Short line faults	50/60 Hz - 100 kHz
Multiple restrikes of circuit breaker	10 kHz - 1 MHz
Lightning surges, faults in substations	10 kHz - 3 MHz
Disconnecter switching (single restrike) and faults in GIS	100 kHz - 50 MHz



1-Adaptado de: Cigré 39. (1990). GUIDELINES FOR REPRESENTATION OF NETWORK ELEMENTS WHEN CALCULATING TRANSIENTS.



# Comparação tempo vs frequência



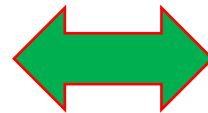
## Transitórios rápidos

### Transitórios eletromagnéticos

Faixa de tempo [1  $\mu$ s – 0.1 s]

- Descargas atmosféricas
- Sobretensões de manobra
- Faltas

Domínio do tempo



## Transitórios rápidos

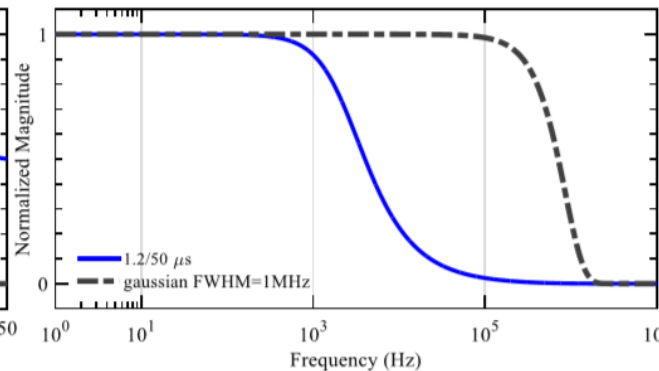
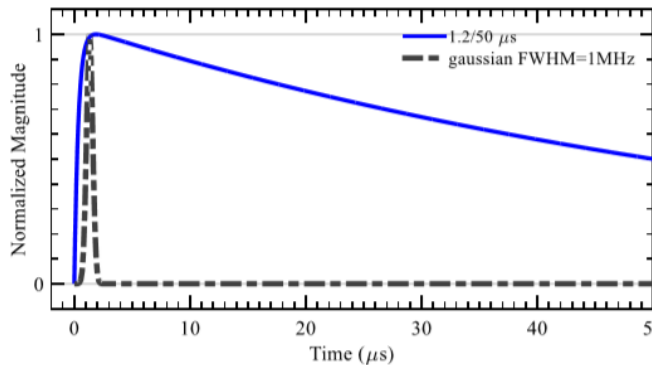
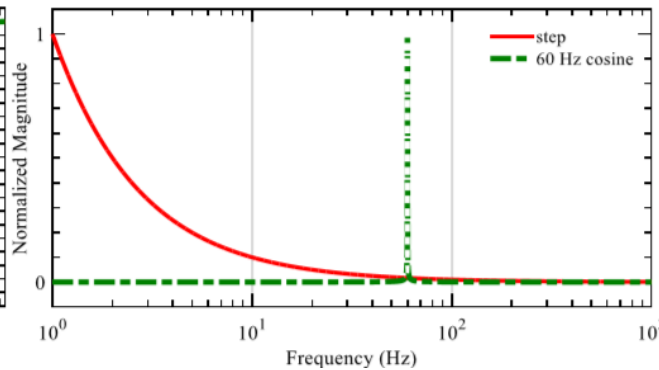
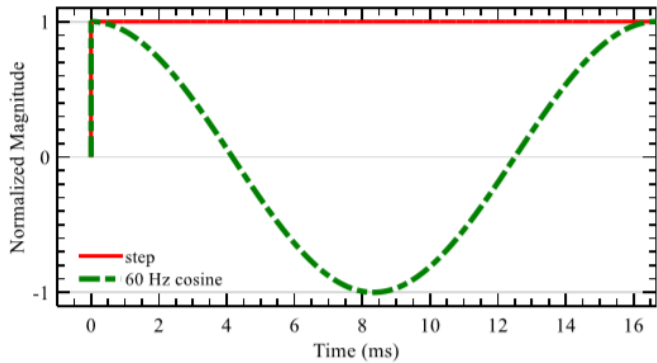
### Transitórios eletromagnéticos

Faixa de frequência [10 Hz – 1 MHz]

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

Domínio da frequência

# Espectro de frequência dos fenômenos que originam os TEMs<sup>1</sup>



Sinal no domínio do tempo



Aplicação da Transformada de Laplace.

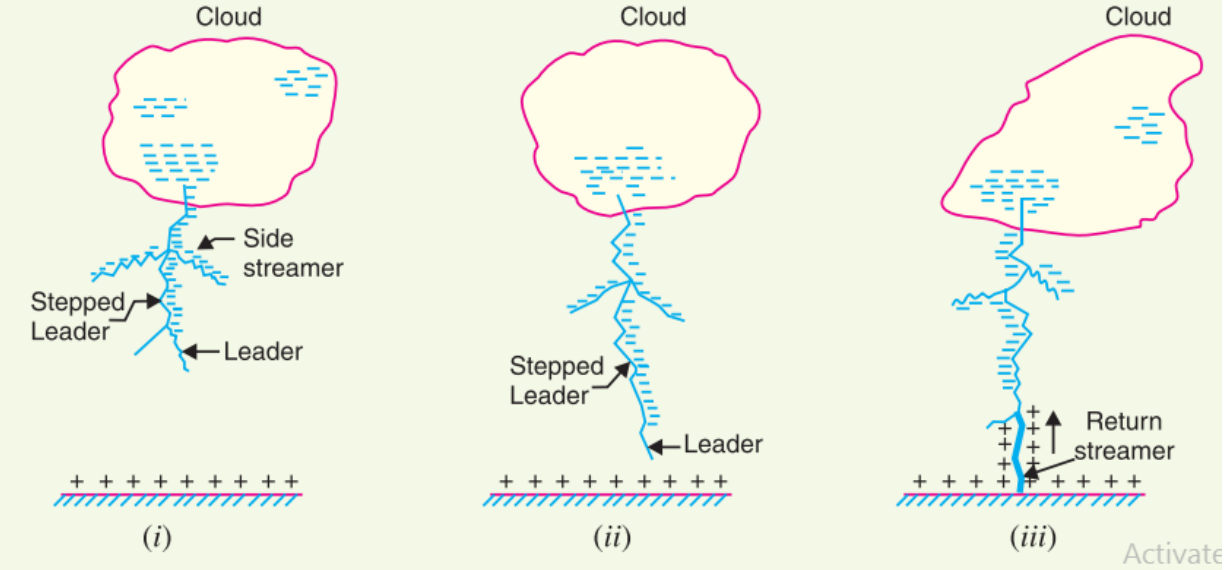


Sinal no domínio da Frequência

1-Adaptado de: Caballero, P. T. (2018). INCLUSÃO DO EFEITO DA FREQUÊNCIA NO MODELO DE BERGERON: REPRESENTAÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO CURTAS E LONGAS CONSIDERANDO TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS RESULTANTES DE OPERAÇÕES DE MANOBRAS E DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS. UNESP-Ilha Solteira (Tese).

# Descargas Atmosféricas (DAs)

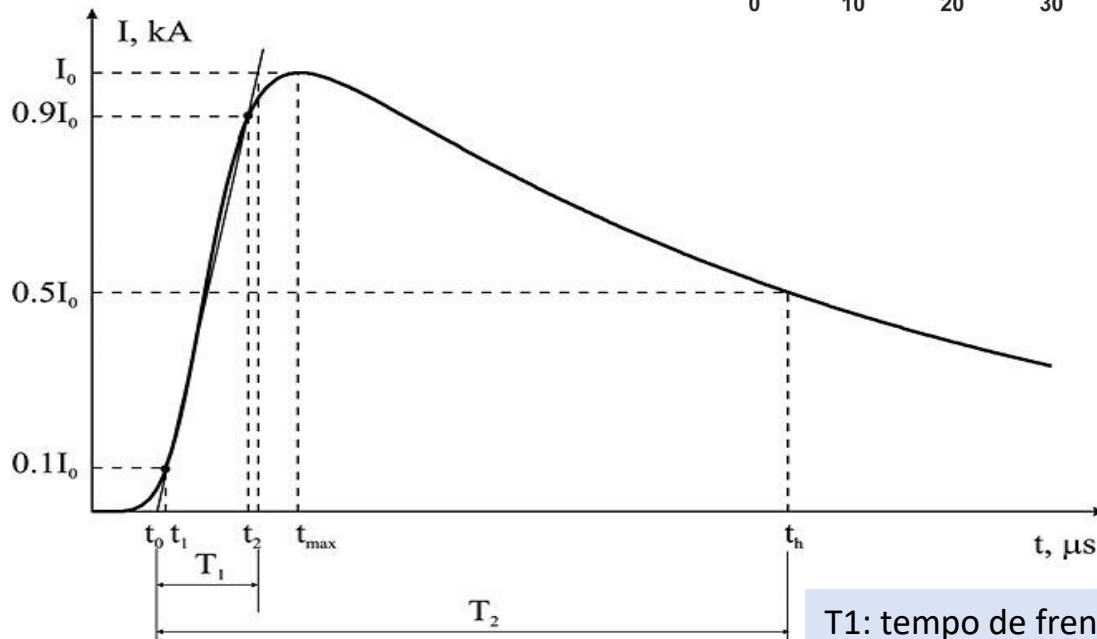
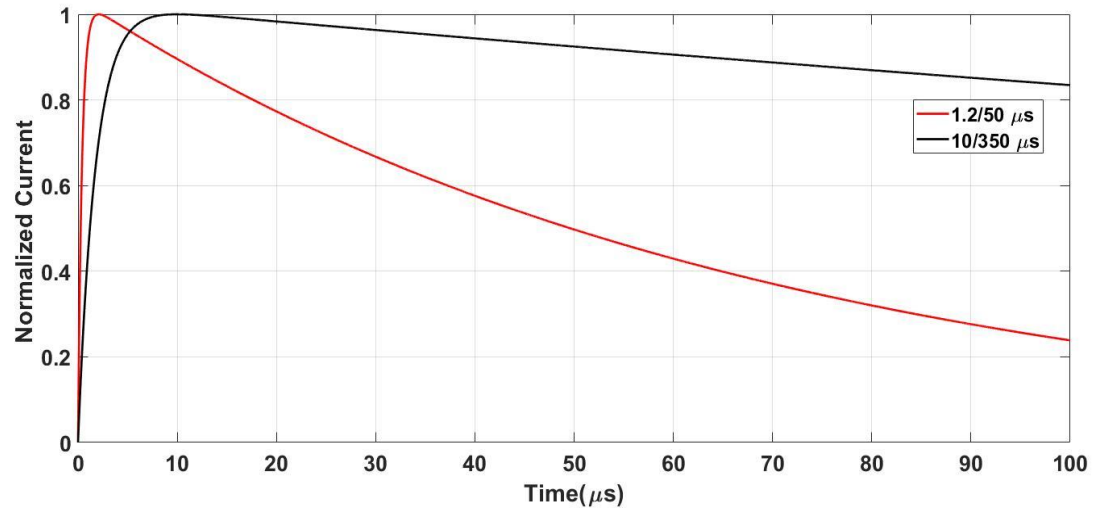
- Primeira descarga e descarga de retorno subsequentes



# Equações que modelam as DAs

## Função dupla exponencial

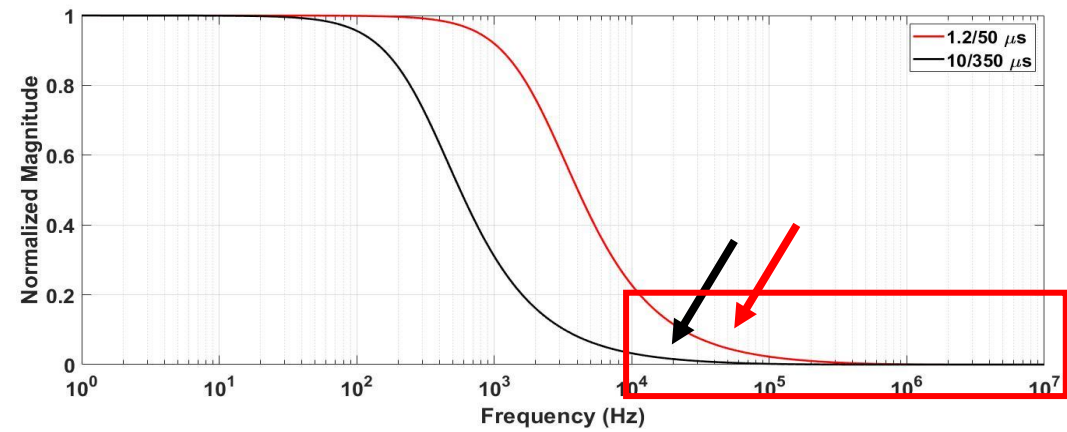
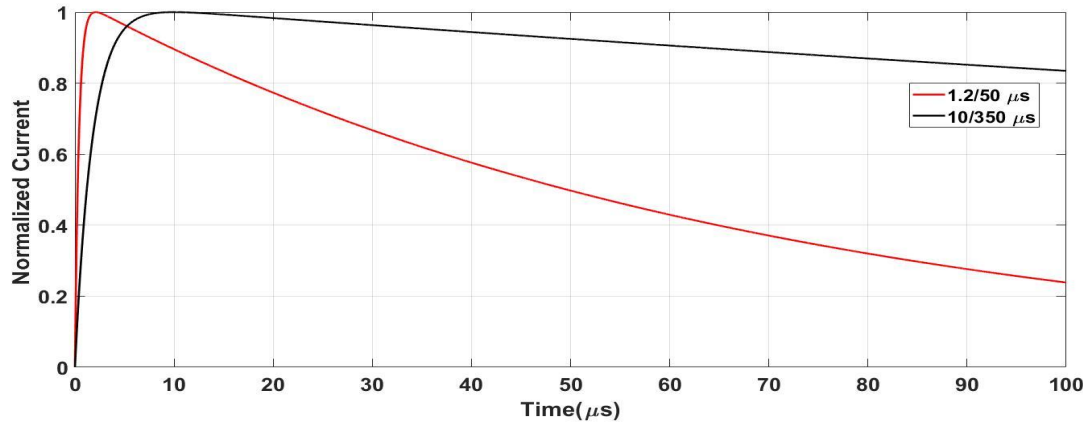
$$i(t) = \frac{I_0}{k} (e^{-at} - e^{bt})$$



T1: tempo de frente;  
T2: tempo de cauda;



# Espectro da frequência de uma Descarga Atmosférica



$$i(t) = \frac{I_0}{k} (e^{-at} - e^{bt})$$

Transformada de Laplace.

Sinal no domínio da Frequência

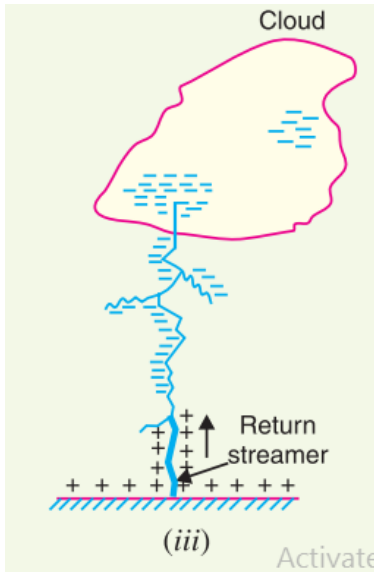
Os fatores mais importantes são amplitude e o tempo de frente

Alguns autores também usam o termo 'densidade espectral de energia'. Assim, 1.2/50 us tem maior energia nas altas frequências

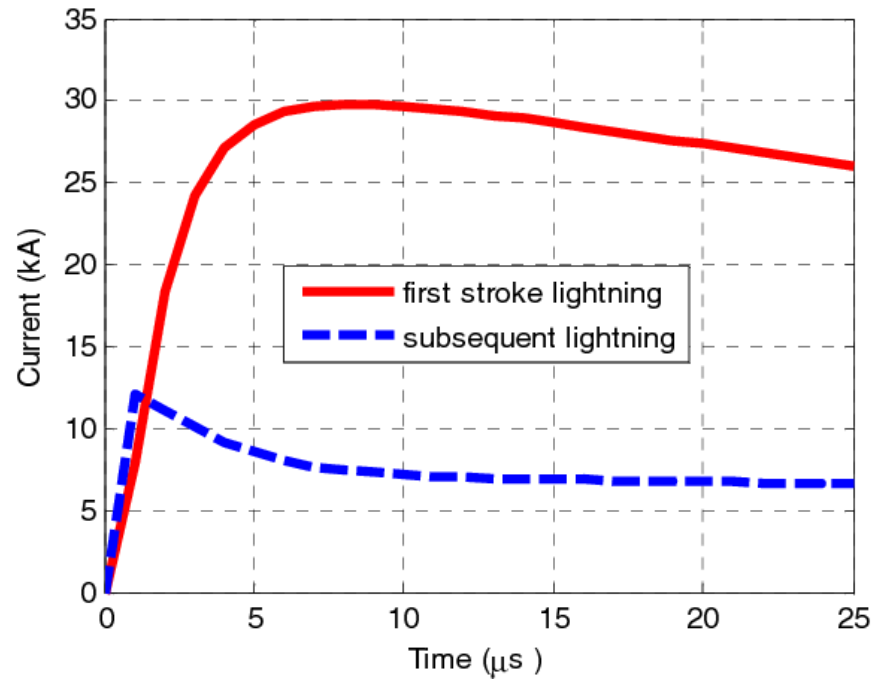
# Função de Heidler

$$i(t) = \frac{I_0}{\eta} \frac{(t/\tau_1)^n}{1 + (t/\tau_1)^n} (e^{-t/\tau_2})$$

$$i(t) = \sum_1^N \frac{I_0}{\eta} \frac{(t/\tau_1)^n}{1 + (t/\tau_1)^n} (e^{-t/\tau_2})$$



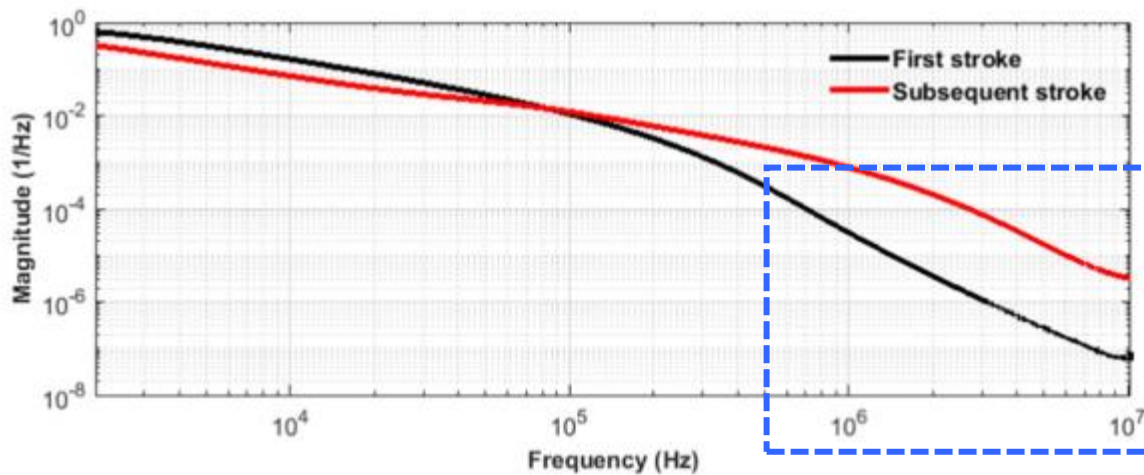
Parameters	$I_0$	$\tau_1$	$\tau_2$	$n$	$I_0$	$\tau_1$	$\tau_2$	$n$
First stroke	28	1.8	95	2	--	--	--	--
Subsequent stroke	10.7	0.25	2.5	2	6.5	2	230	2



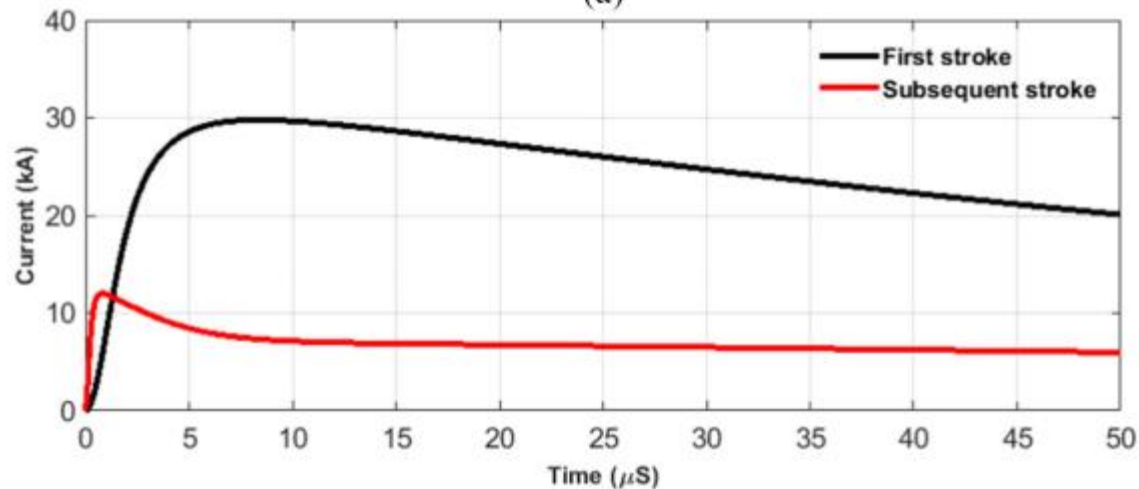
$$i(t) = \frac{I_0}{\eta} \frac{(t/\tau_1)^n}{1 + (t/\tau_1)^n} (e^{-t/\tau_2})$$

Transformada de Fourier

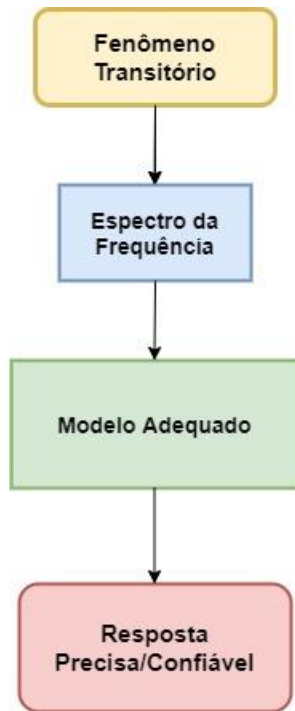
Sinal no domínio da Frequência



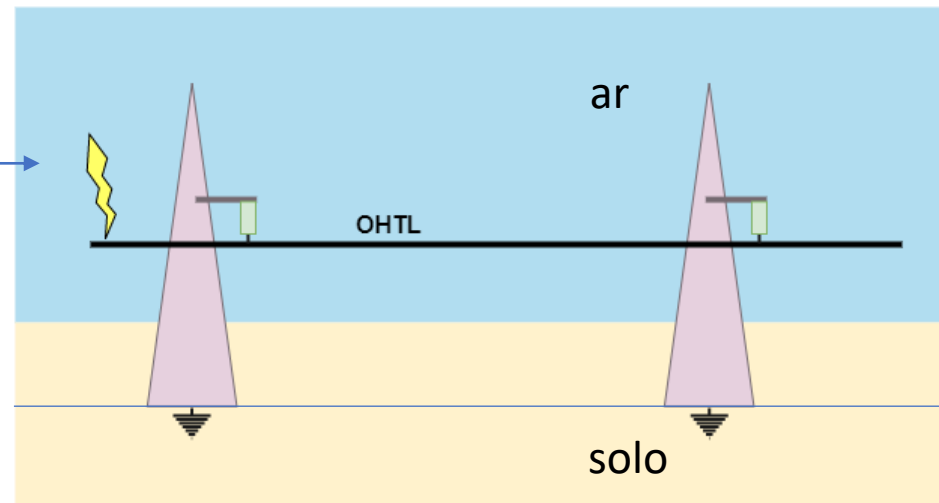
(a)



# Qual a importância do espectro da frequência ?



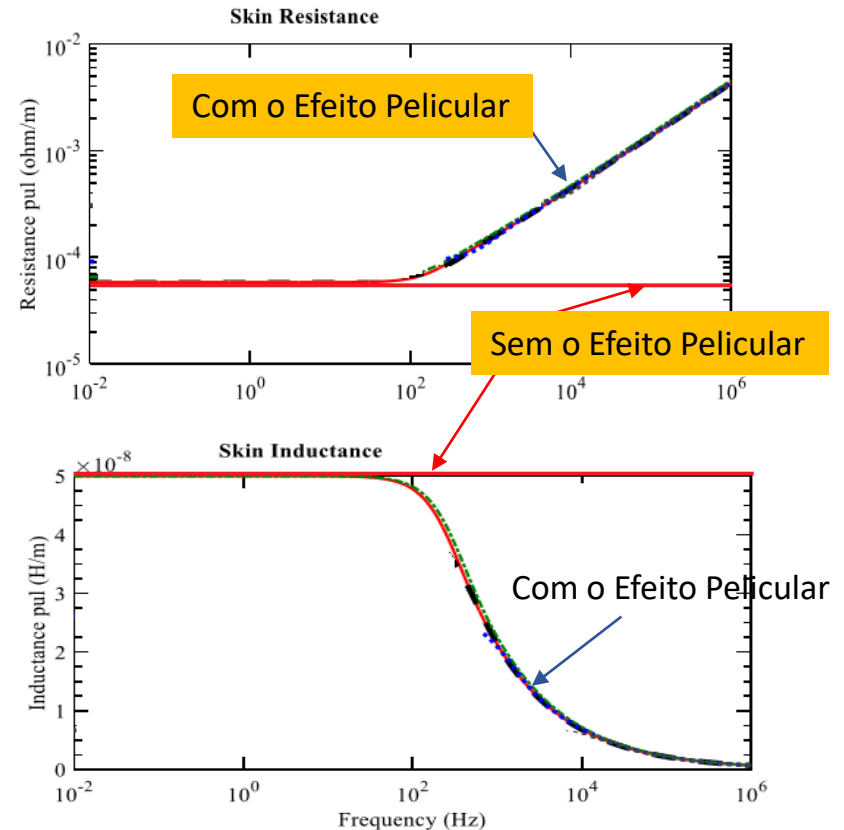
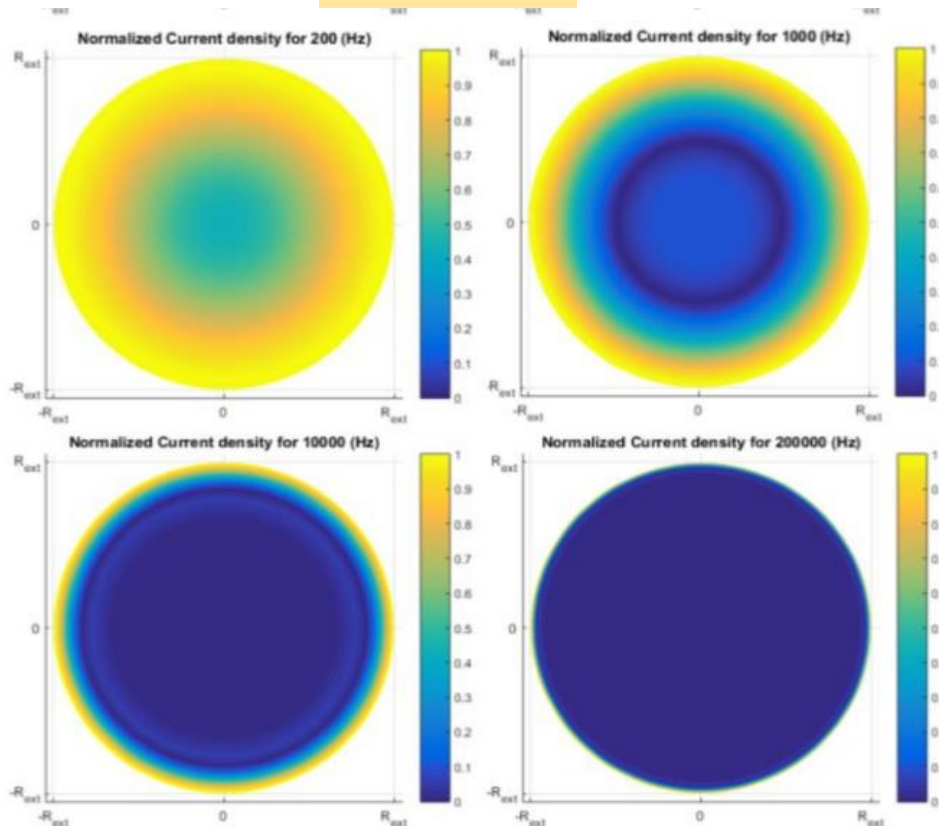
Descarga Atmosférica Ou energização



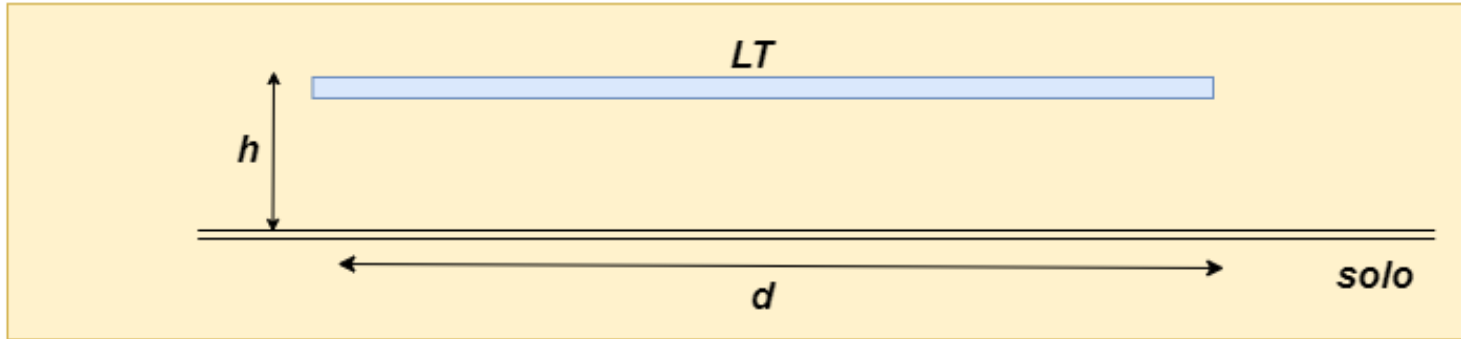


# Parâmetros da longitudinais da linha (Resistência e Indutância)

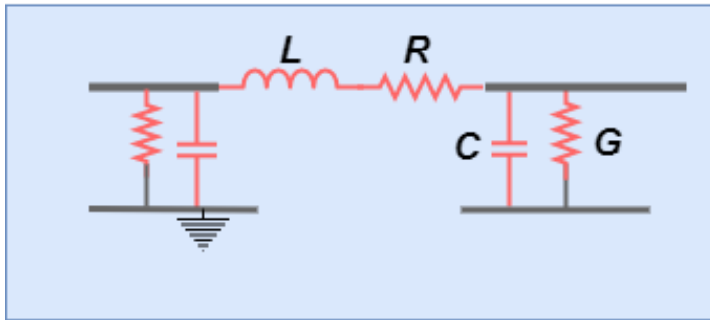
## Efeito Pelicular



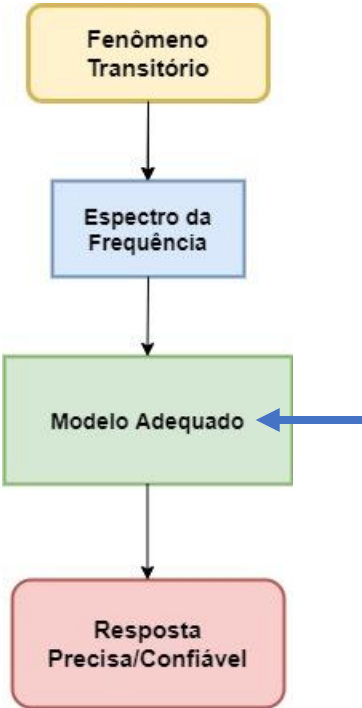
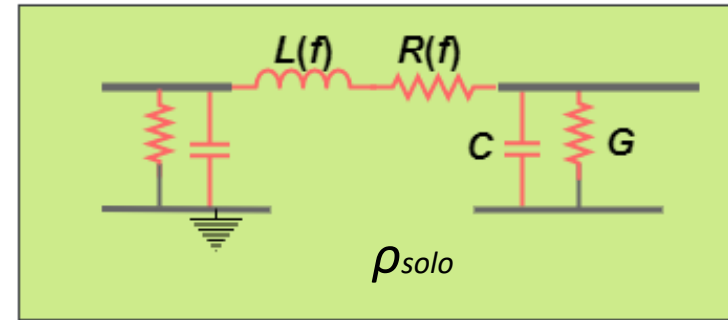
# Modelo a Parâmetros Distribuídos



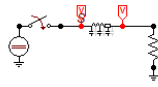
## Modelo a Parâmetros Concentrados



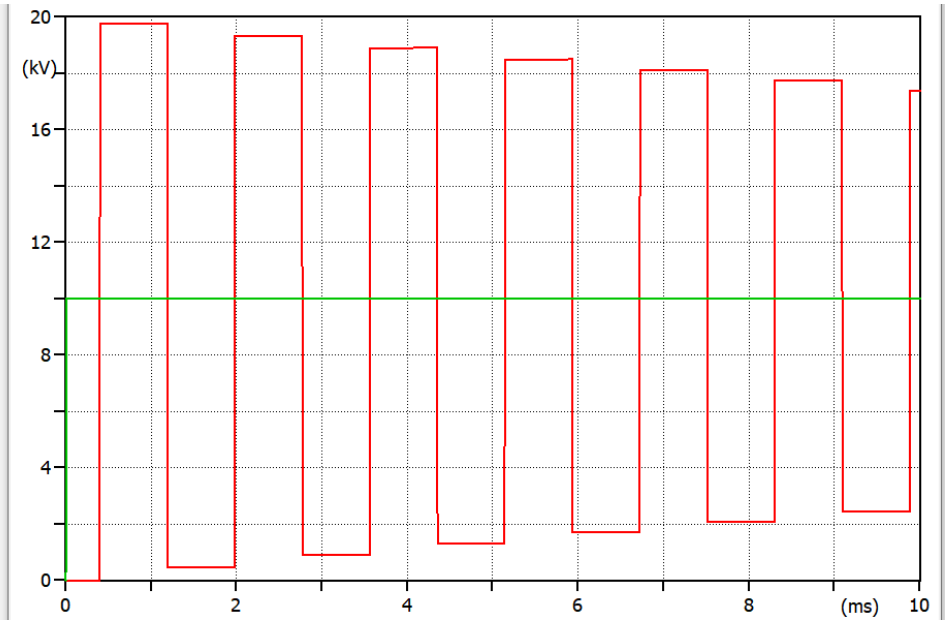
## Modelo J.Marti



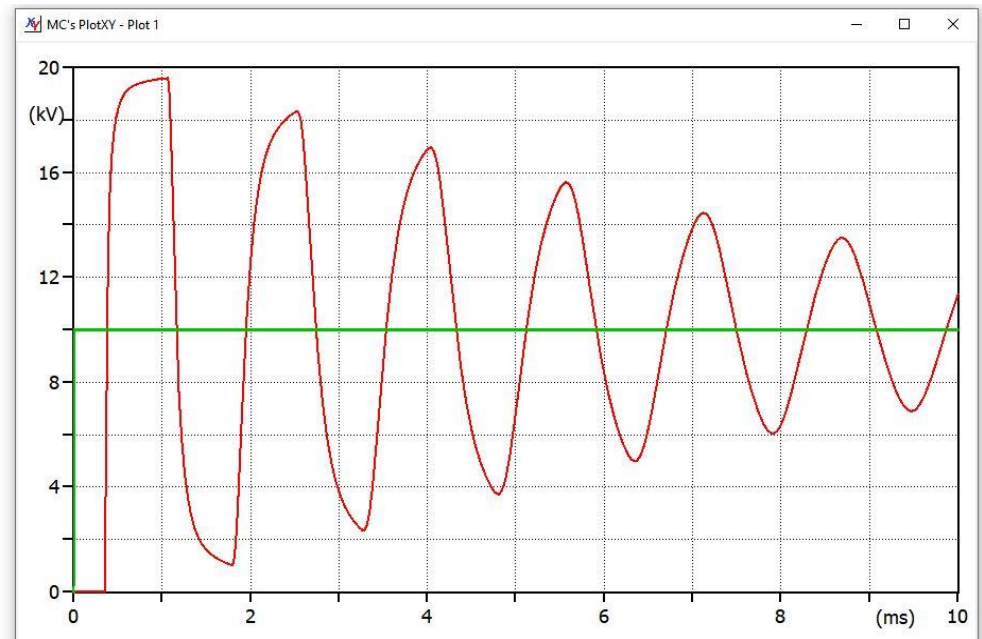
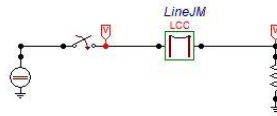
# Simulações no ATP



Modelo a P. Distribuídos



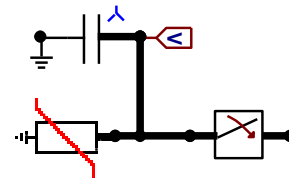
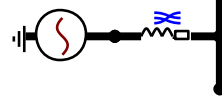
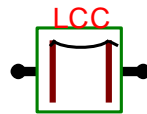
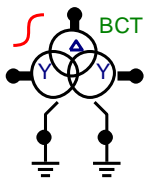
Modelo Jmarti



# Instalação e uso do ATP/EMTP

## ❖ Vantagens do ATPDraw

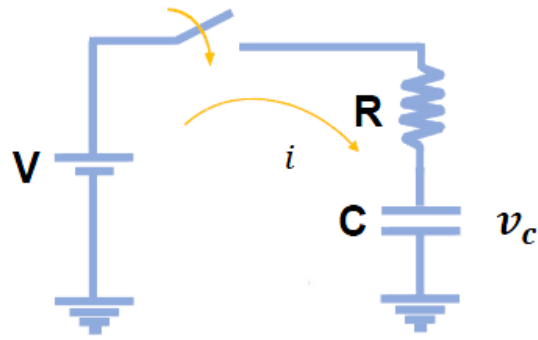
- ❑ É gratuito
- ❑ Ambiente de trabalho amigável.
- ❑ Integra todos os programas necessários para realizar uma simulação.
- ❑ Contém ajuda em janelas para a utilização dos diversos modelos.
- ❑ Integra varias rotinas auxiliares, facilitando seu uso
- ❑ Permite incorporar modelos de usuários



# 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

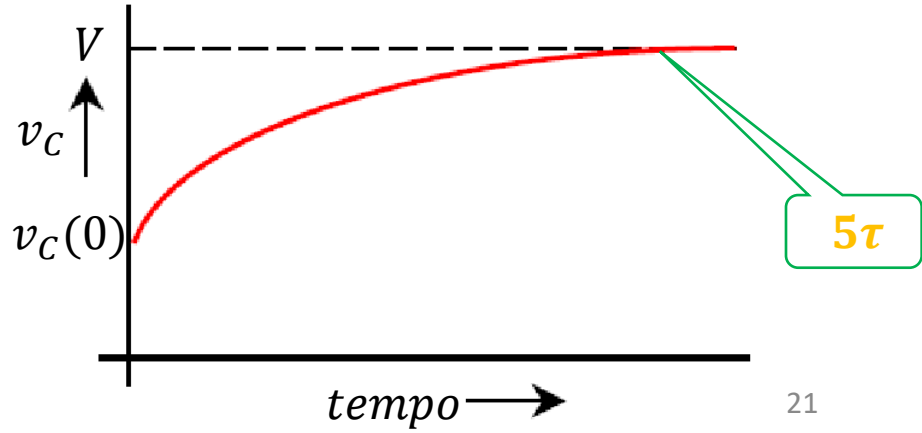
$$V - v_c = RC \frac{dv_c}{dt} \quad \longrightarrow \quad \int \frac{dv_c}{V - v_c} = \int \frac{1}{RC} dt$$

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

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

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

$$\tau = RC$$

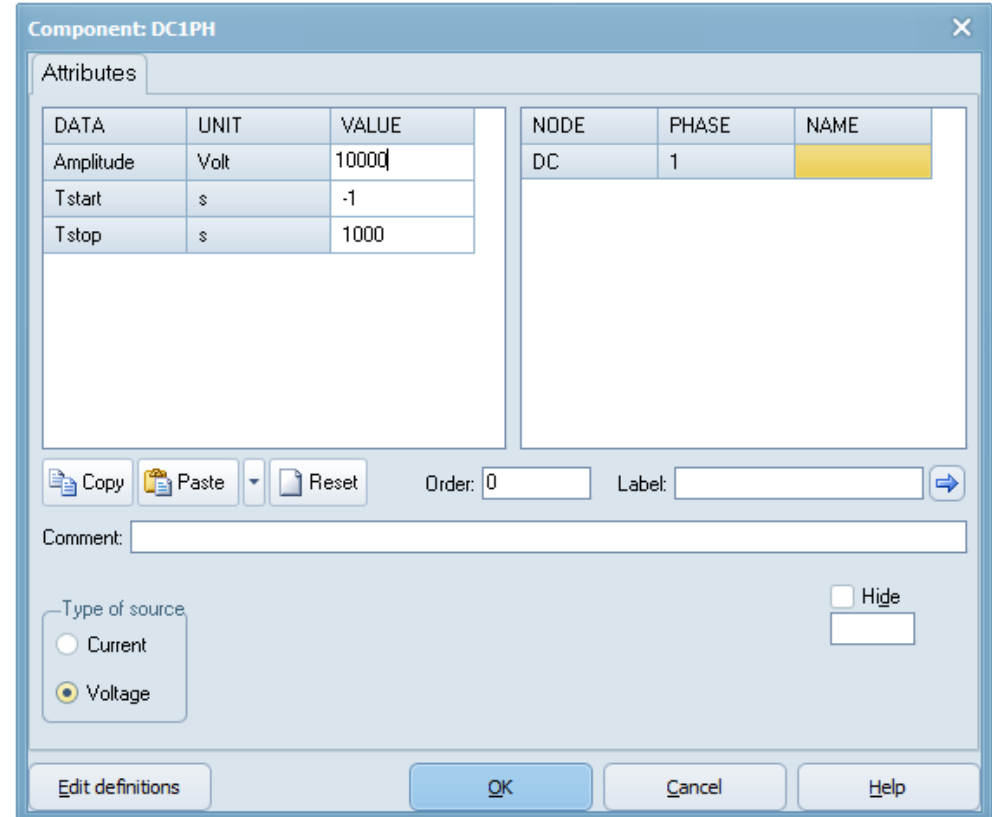
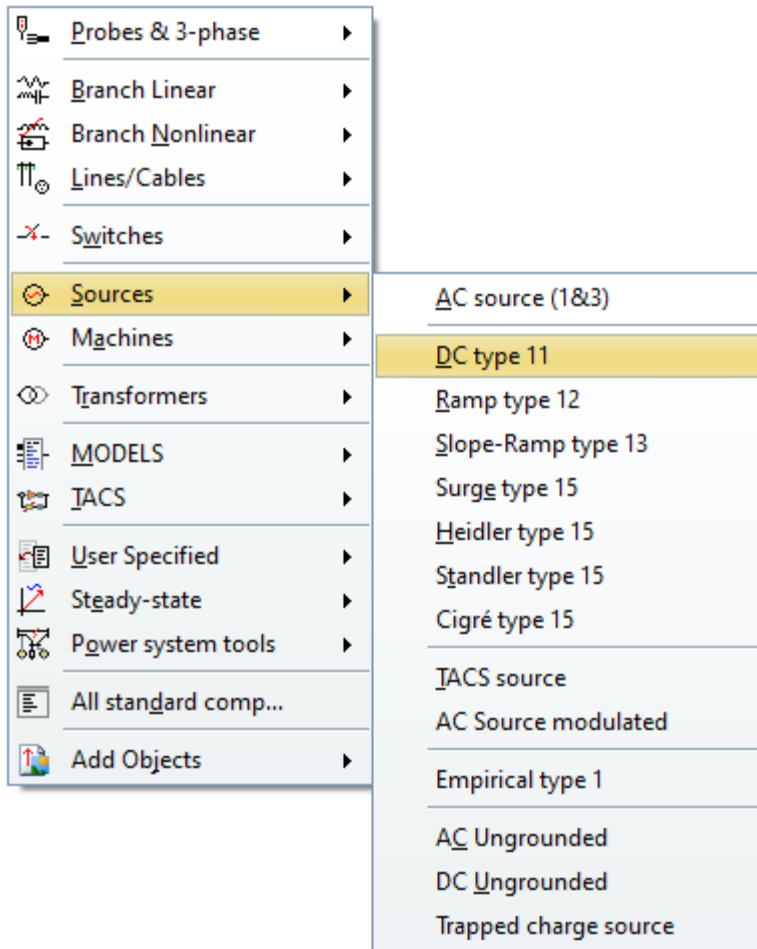


# Construção do circuito

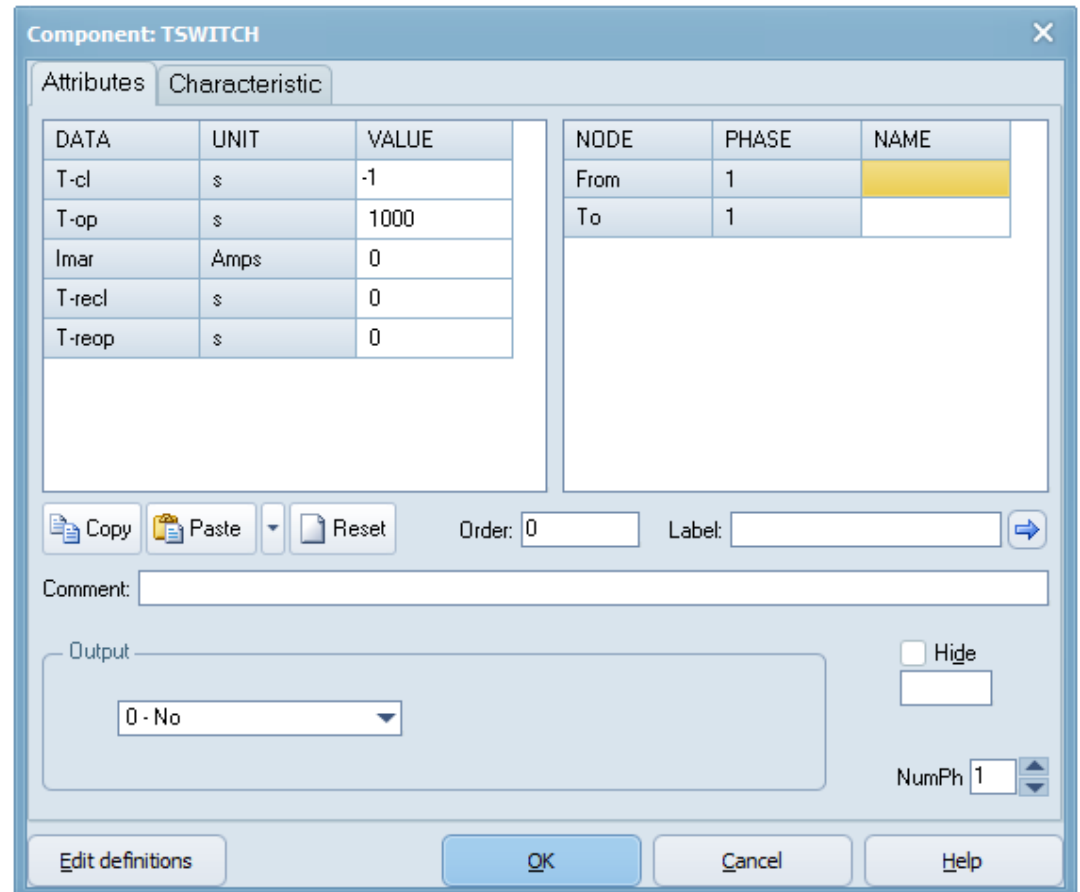
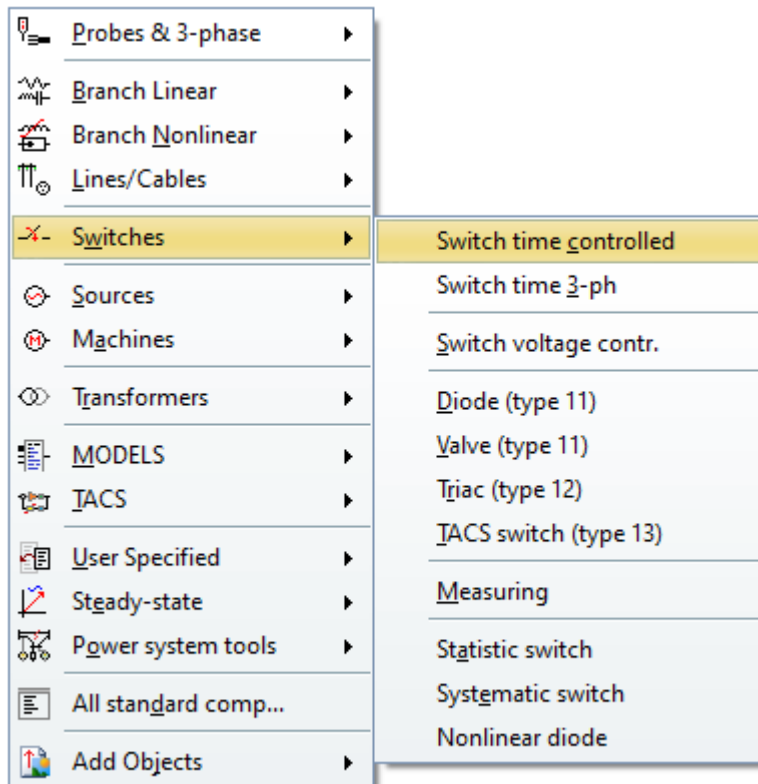
The screenshot displays the ATPDraw software interface. The main window title is "ATPDraw - [Noname.acp]". The menu bar includes File, Edit, View, ATP, Library, Tools, Windows, Web, and Help. The View menu is open, showing options: Status Bar, Side Bar, Tool Bar, Zoom in (Num +), Zoom out (Num -), Centre 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



# Chave (Switch)





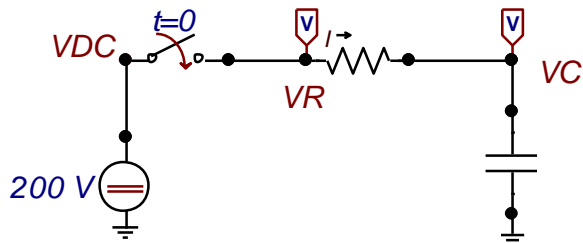
# Resistor

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:  $I(0)$



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: [ ]

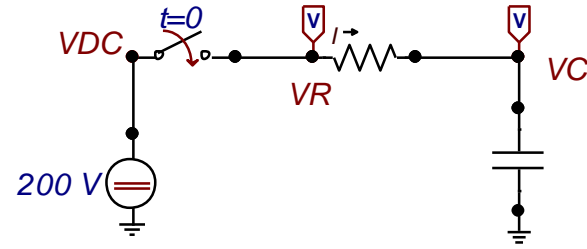
Comment: [ ]

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	$\mu\text{F}$	1
Ks	Damp 0.1-0.2	0

NODE	PHASE	NAME
From	1	
To	1	

Copy Paste Reset Order: 0 Label:

Comment:

Output:

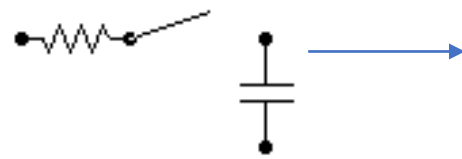
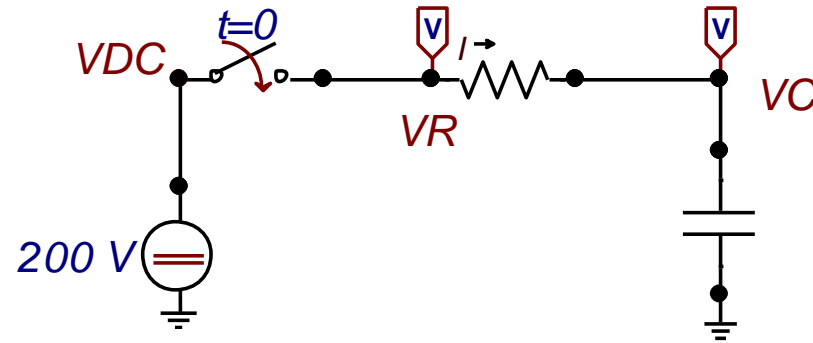
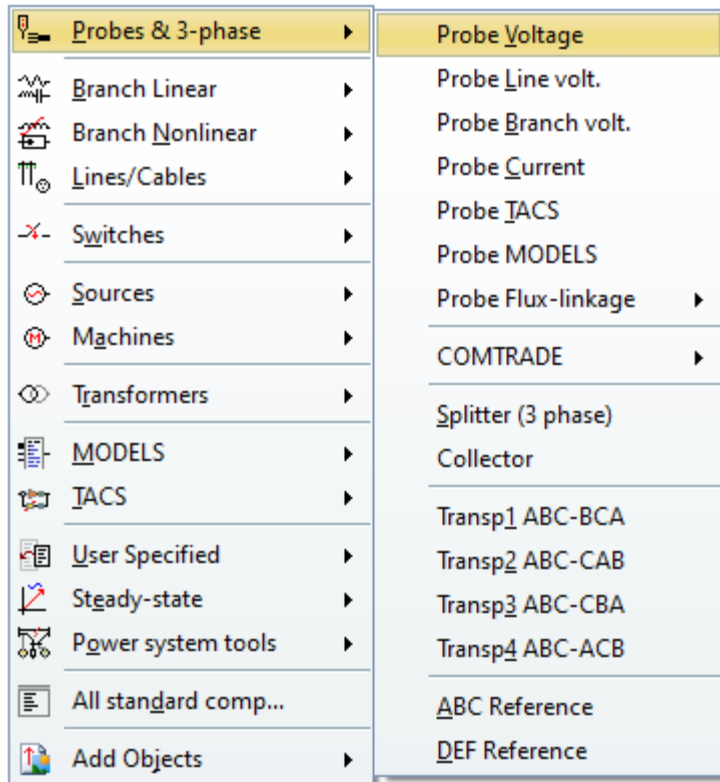
Hide

\$Vintage.1

NumPh 1

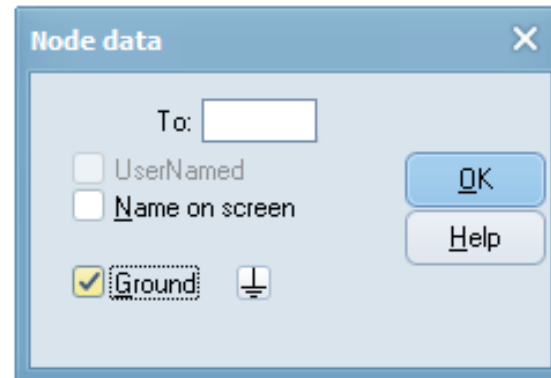
Edit definitions OK Cancel Help

# Voltímetro/Amperímetro

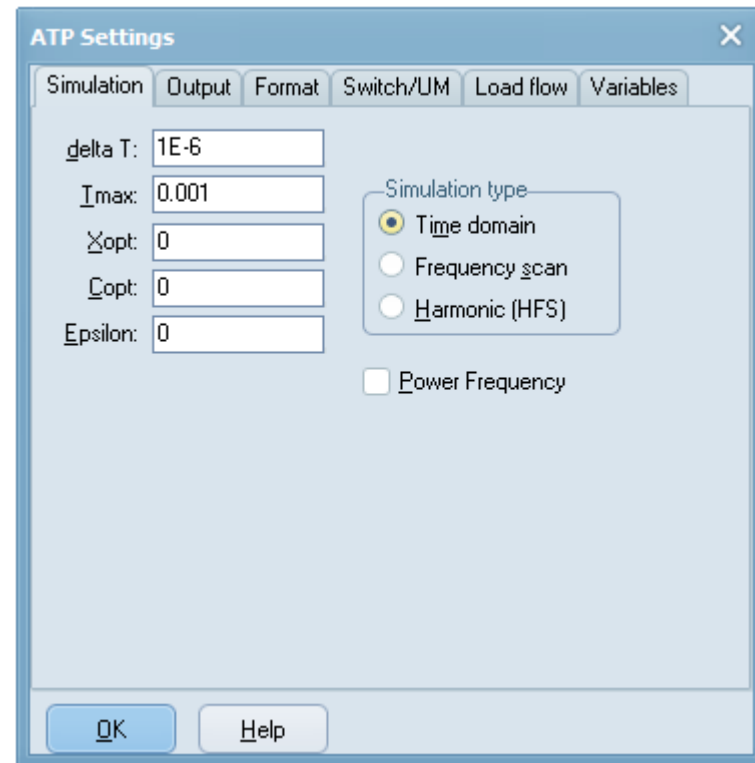
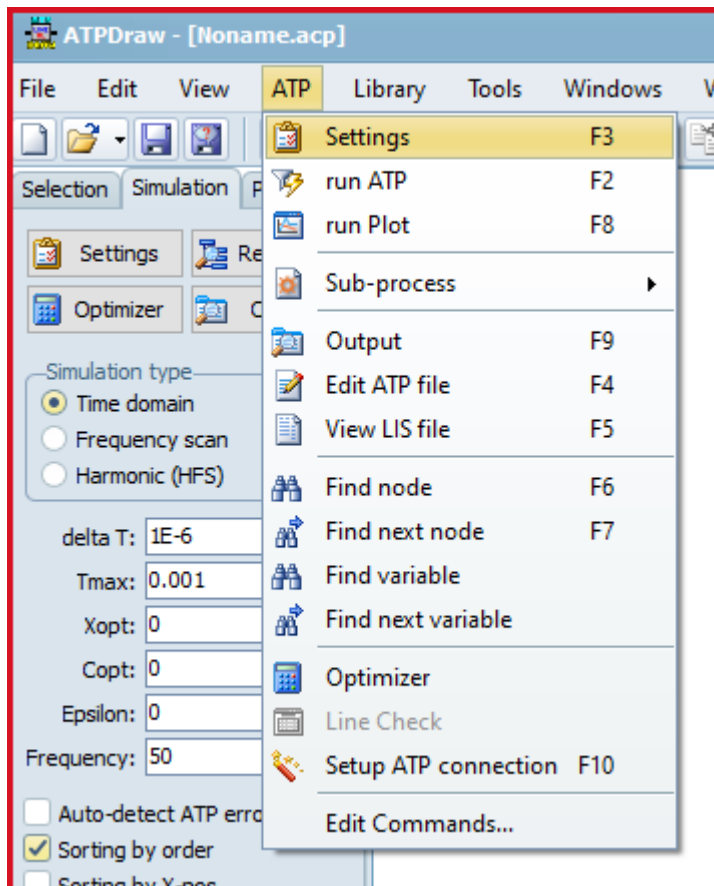


Conexão-Clicar em um terminal do componente e arrastar até terminal subsequente

Clicar no terminal e escolher Ground



# Tempo de Simulação



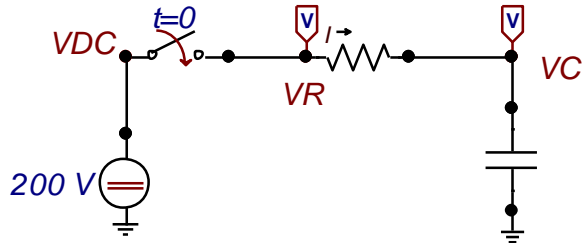
# Simulação de circuitos elétricos RC, RL, LC e RLC

## ❖ Exemplo 1: Circuito Elétrico R-C

### ❑ Dados do circuito

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

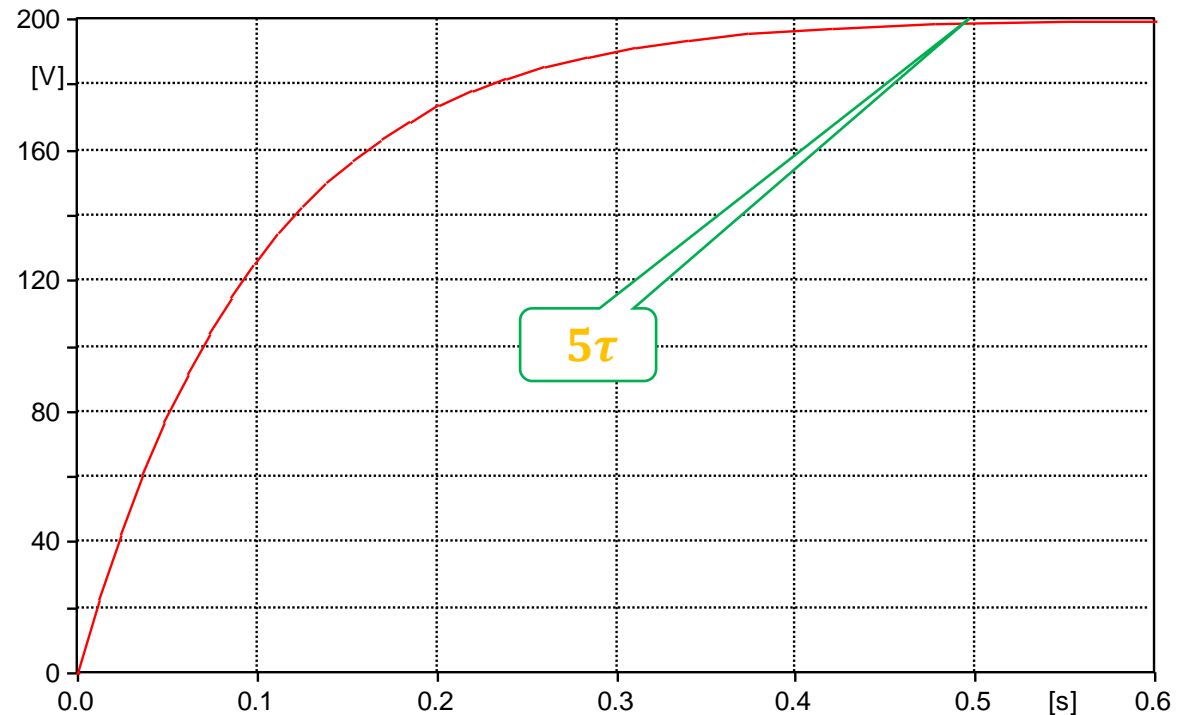
$$\tau = RC = 0.1 \text{ s}$$



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

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

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



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

Tensão no condensador

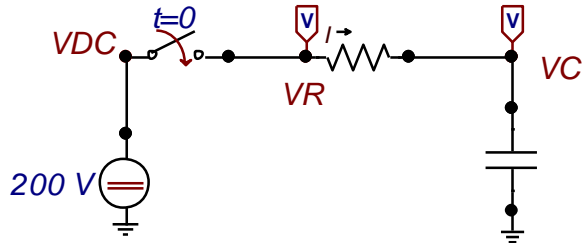
# Simulação de circuitos elétricos RC, RL, LC e RLC

## ❖ Exemplo 1: Circuito Elétrico R-C

### ❑ Dados do circuito

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

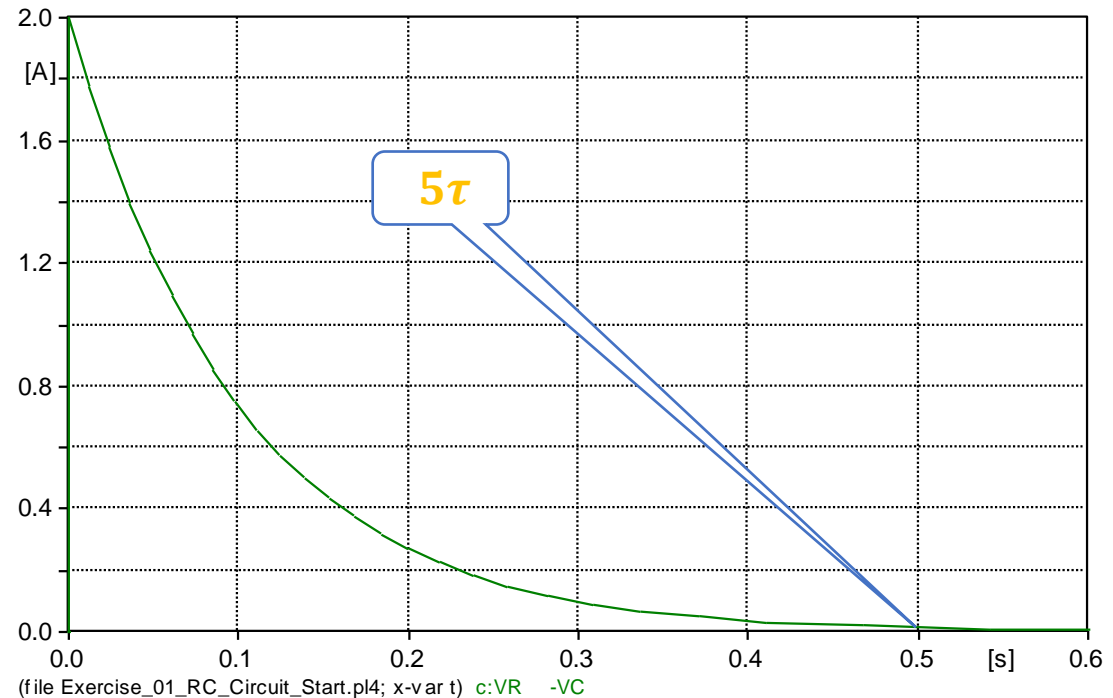
$$\tau = RC = 0.1 \text{ s}$$



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

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

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



Corrente no condensador

ATPDraw - [Noname 1]

File Edit View **ATP** Library Tools Windows Web

Settings F3  
Run ATP F2  
run Plot F8

MC's PlotXY - Data selection

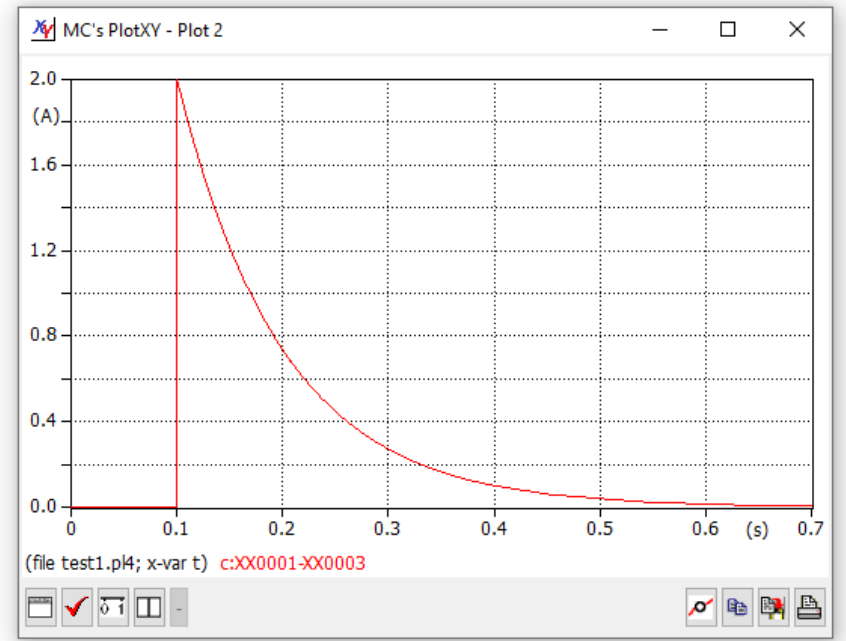
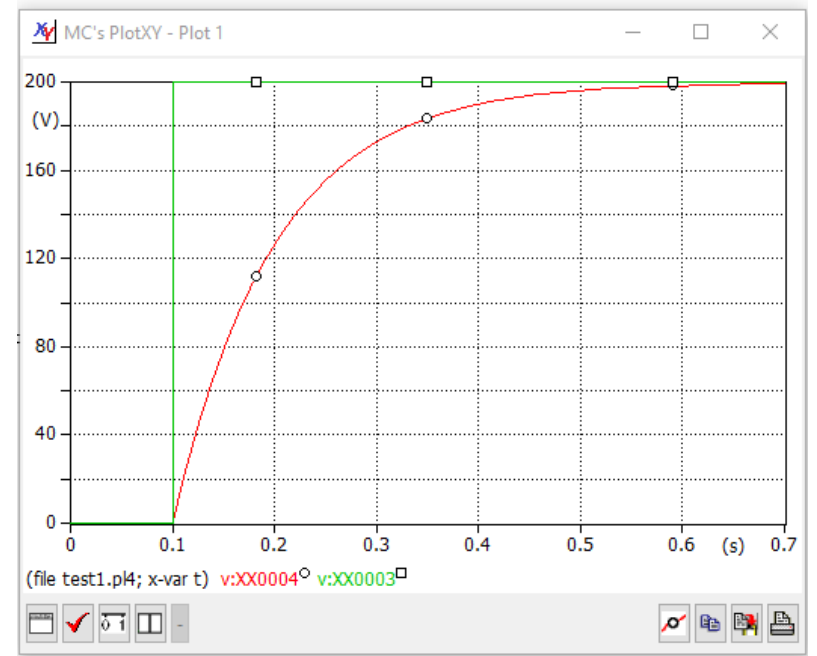
Load... Refresh

f	FileName	# of vars	# of Points	Tmax
x 1	test1.pl4	4	700001	0.7

1 t  
2 v:XX0003  
3 v:XX0004  
4 c:XX0001-XX0003

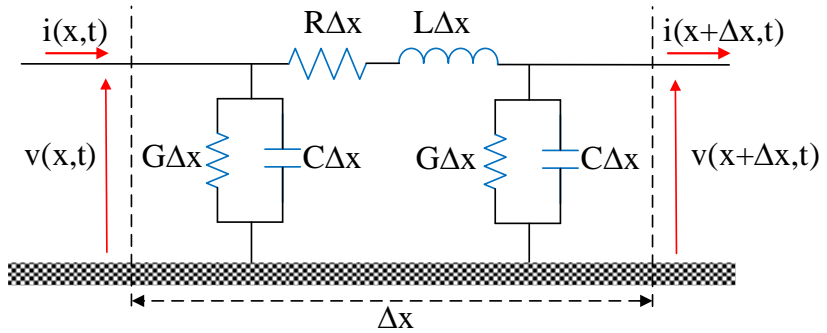
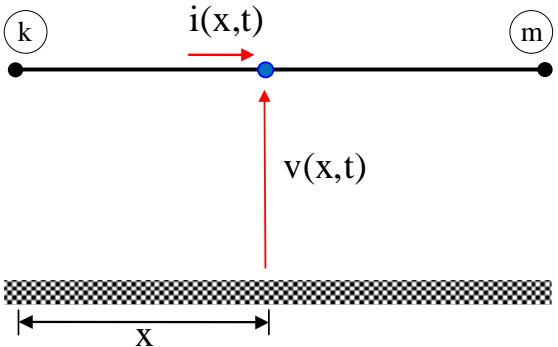
plot1	plot2	plot3	plot4
f #	Variable name		X
a 1	t		x

Fourier Plot  
Save vars Reset  
Equalise plot window sizes  
 to Plot win 1 Equate  
 to:   Arrange



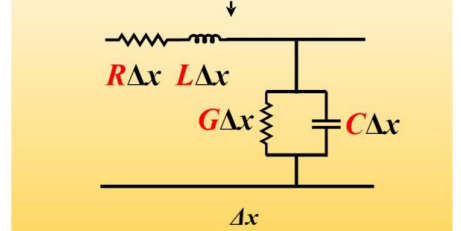
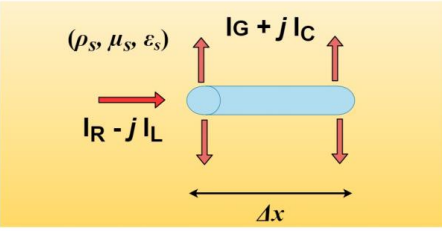
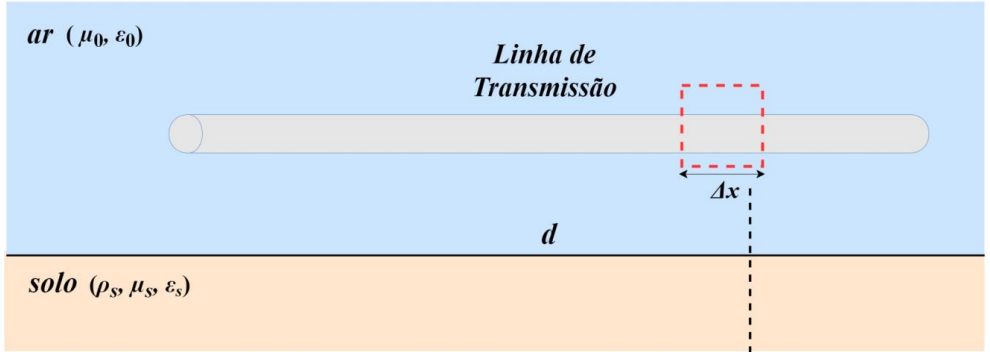
# Revisão de linhas de transmissão.

## ❖ Linha de transmissão



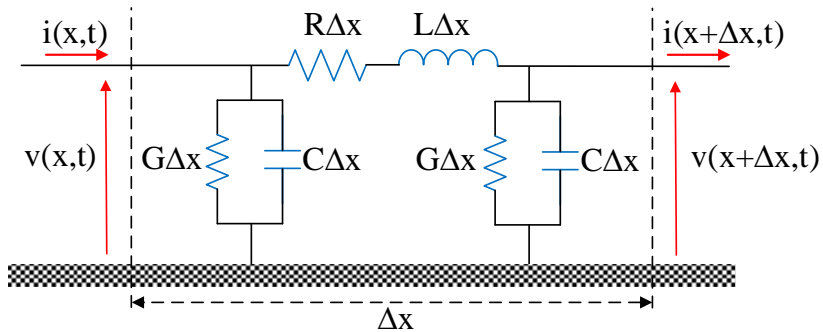
$$-\frac{\partial v(x,t)}{\partial x} = Ri(x,t) + L \frac{\partial i(x,t)}{\partial x}$$

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





# Revisão de linhas de transmissão.

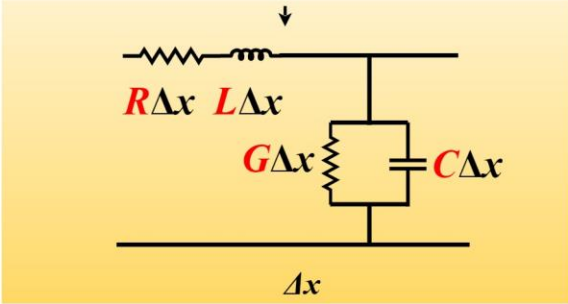
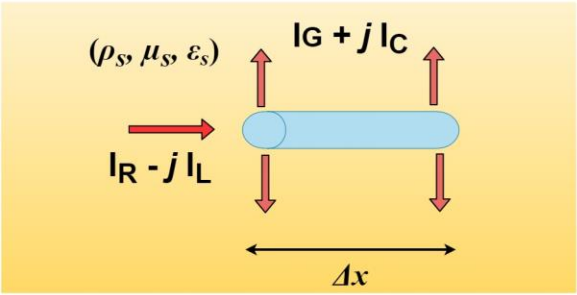


## Modelo a parâmetros distribuído

As tensões e correntes se propagam entre os terminais de uma LT com uma dada velocidade (atraso). Dessa forma, as formas de ondas são afetadas pela impedância característica da LT, a velocidade de propagação e a carga conectada ao terminal receptor.

- ❑ 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

# Linhas de transmissão.



Impedância característica

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

Velocidade de propagação

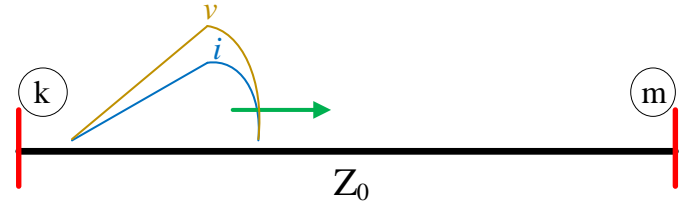
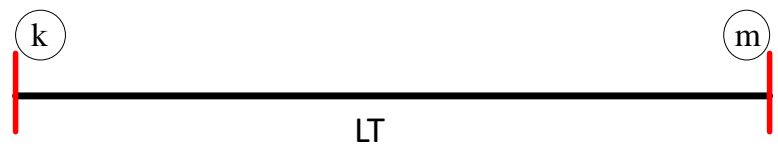
$$v = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

Tempo de propagação

$$\tau = \frac{d}{v}$$

# Linhas de transmissão.

❖ Linha de transmissão, propagação de ondas viajantes em uma linha ideal ( sem perdas)



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

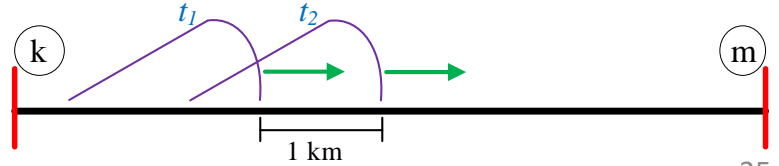
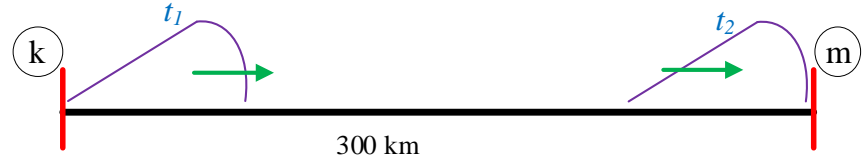
Onde:

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

Z<sub>0</sub> = 250 - 400 Ohm en Líneas aéreas.

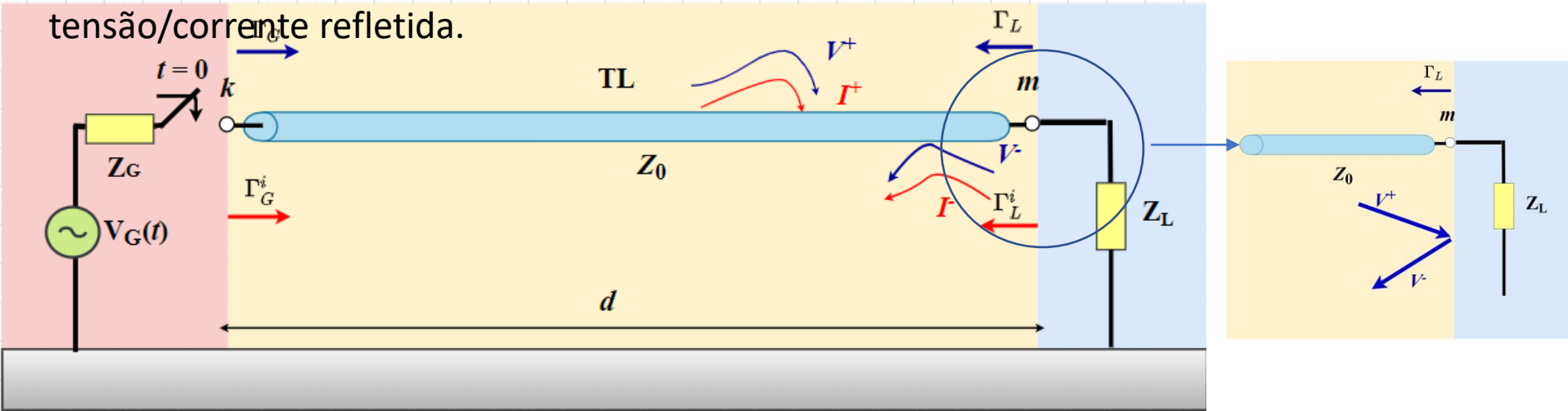
$$\text{Velocidad} = \sqrt{\frac{1}{LC}} = \sqrt{\frac{1}{\mu_0 \epsilon_0}}$$

En Líneas aéreas: V = 300000 km/s o 300 km/ms o 3.34 us/km



# Ondas Refletidas na LT e Diagrama de Lattice

Uma forma simples de ver as ondas refletidas é interpretar cada parte do circuito como um “meio” distinto, cuja impedância determinará a parcela de tensão/corrente refletida.



Coef. de reflexão para a tensão

$$\Gamma_L = \frac{V^-}{V^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

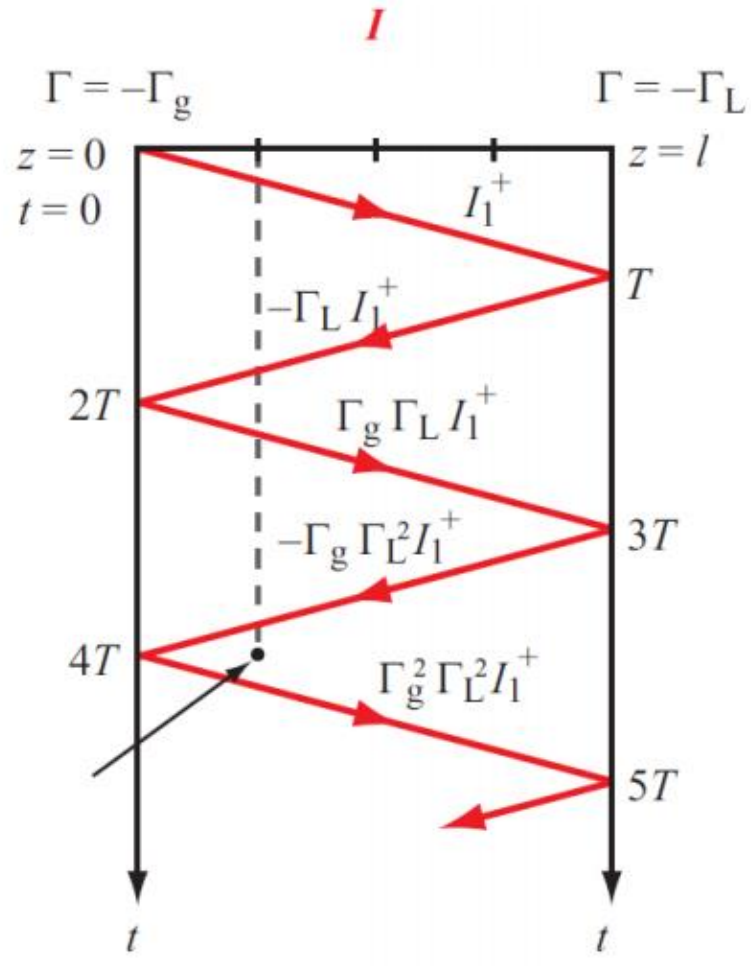
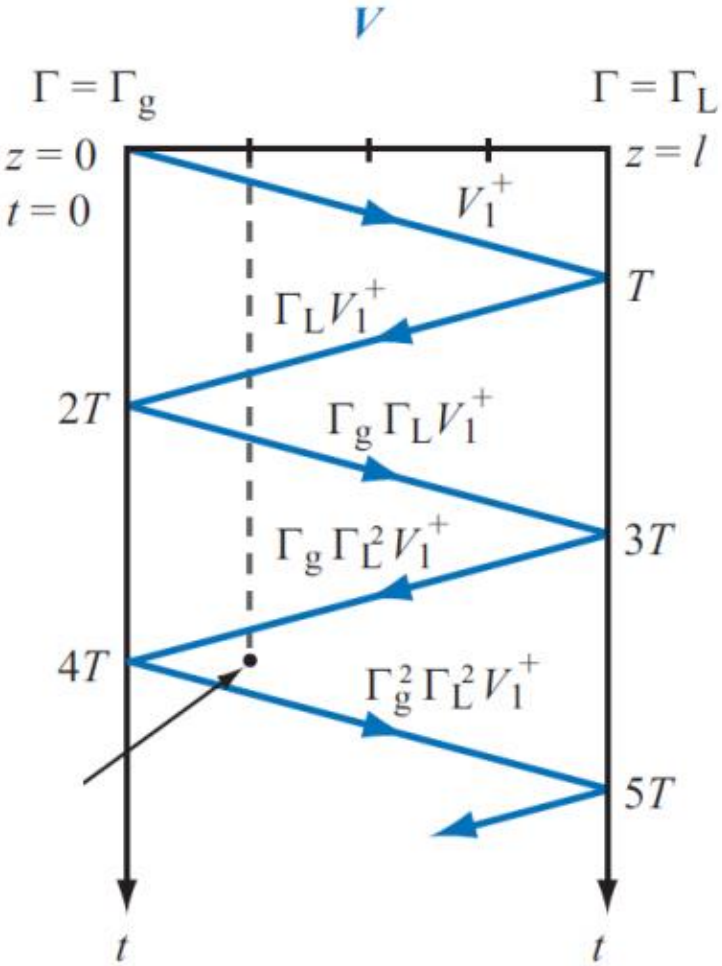
$$\Gamma_G = \frac{Z_G - Z_0}{Z_G + Z_0}$$

Coef. de reflexão para a corrente

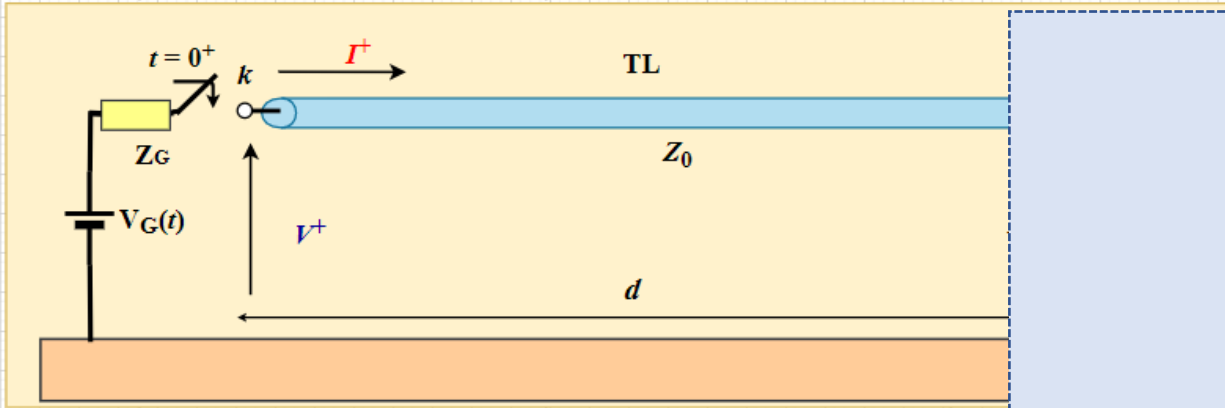
$$\Gamma_L^i = \frac{Z_0 - Z_L}{Z_L + Z_0} = -\Gamma_L$$

$$\Gamma_G^i = \frac{Z_0 - Z_G}{Z_G + Z_0} = -\Gamma_G$$

# Ondas Refletidas na LT e Diagrama de Lattice



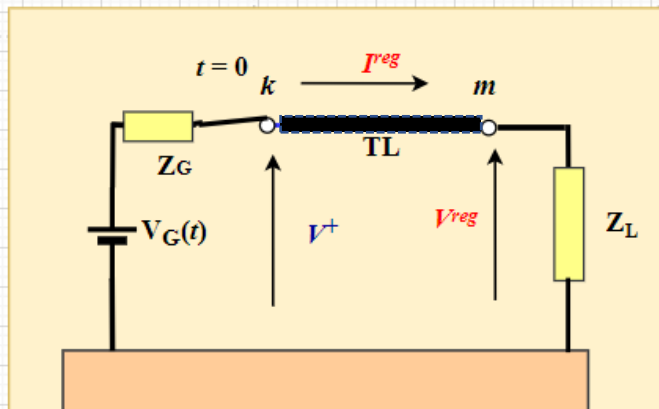
# Valores iniciais e de regime



No transitório

$$I^+ = \frac{V_G}{Z_G + Z_0}$$

$$V^+ = \frac{Z_0}{Z_G + Z_0} V_G$$



No regime permanente

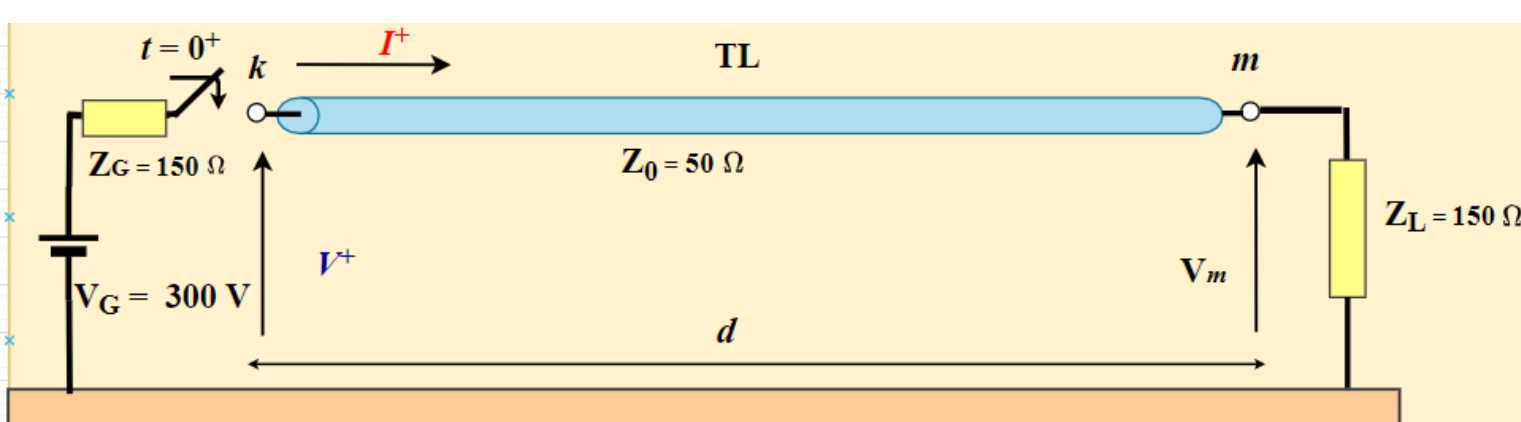
$$I^{reg} = \frac{V_G}{Z_G + Z_L}$$

$$V^{reg} = \frac{Z_L}{Z_G + Z_L} V_G$$

Lembrete: LT ideal  
( $R = G = 0$ )

Se LT real, deve-se  
calcular a queda de  
tensão entre  $k$  e  $m$

# Exemplo 1- Ex ercio da Aula 02



$$\Gamma_L = \frac{150 - 50}{150 + 50} = 0.5$$

$$I^+ = \frac{V_G}{Z_G + Z_0} = \frac{300}{150 + 50} = 1,50 \text{ A}$$

$$\Gamma_G = \frac{150 - 50}{150 + 50} = 0.5$$

$$V^+ = \frac{Z_0}{Z_G + Z_0} V_G = \frac{50}{150 + 50} 300 = 75 \text{ V}$$

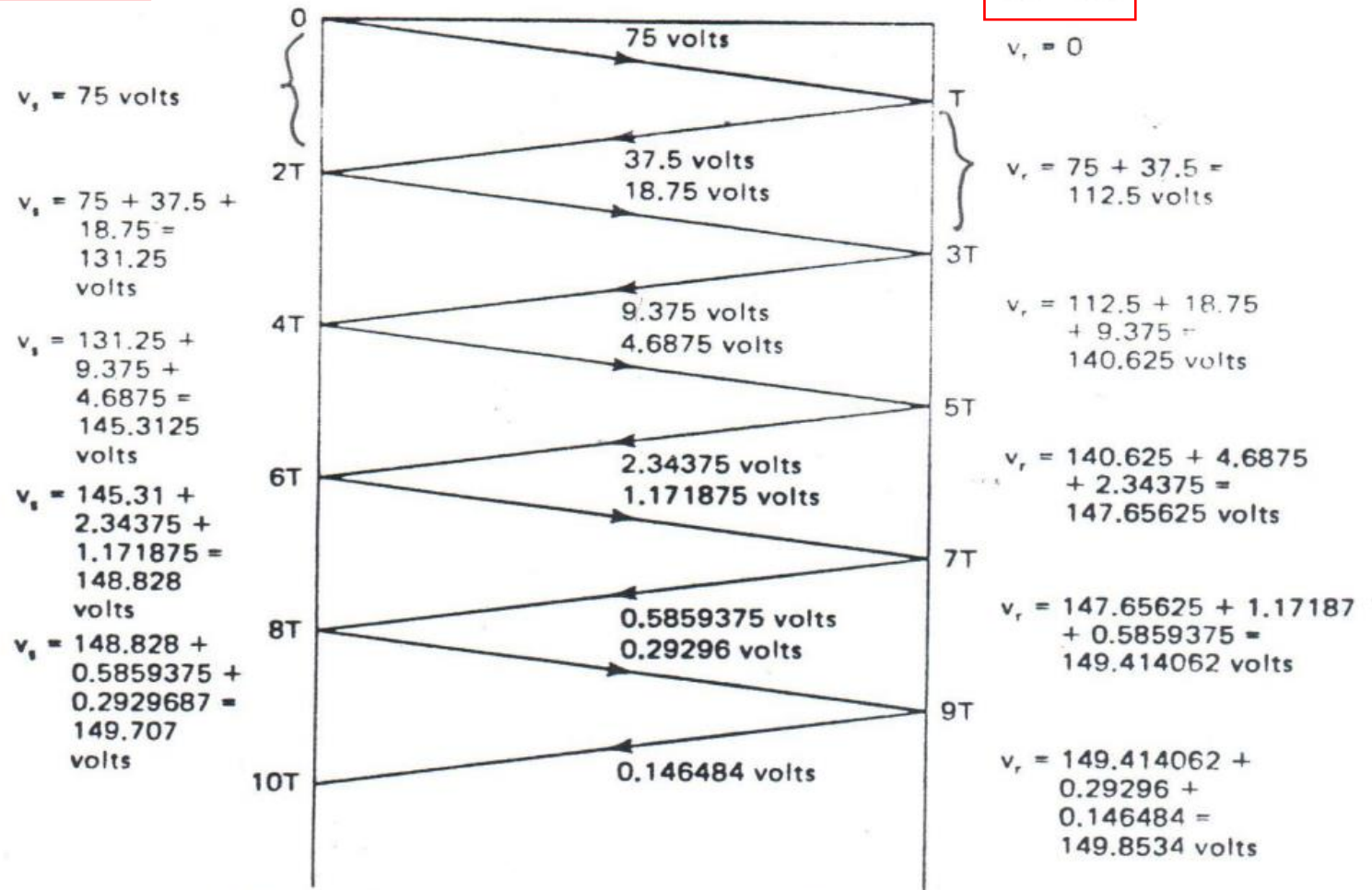
# Exemplo 1- Diagrama de Lattice (Tensão)

$V_k$

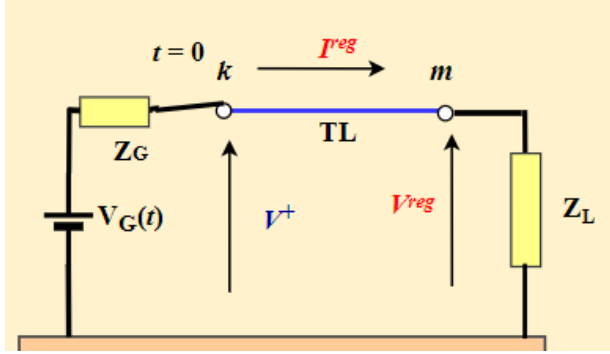
$V_m$

$\Gamma_s = 0.5$

$\Gamma_r = 0.5$





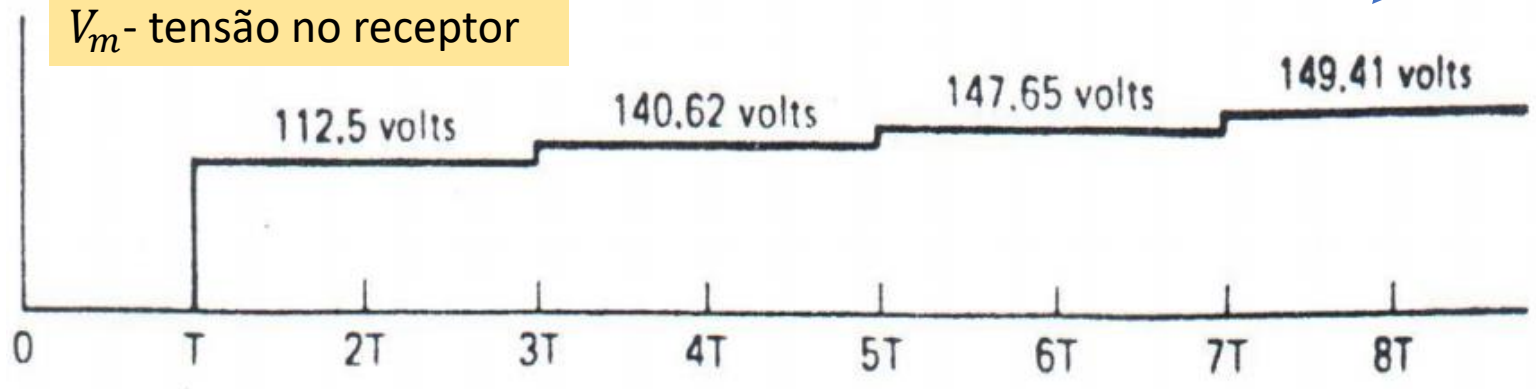


$$V^{reg} = \frac{Z_L}{Z_G + Z_L} V_G$$

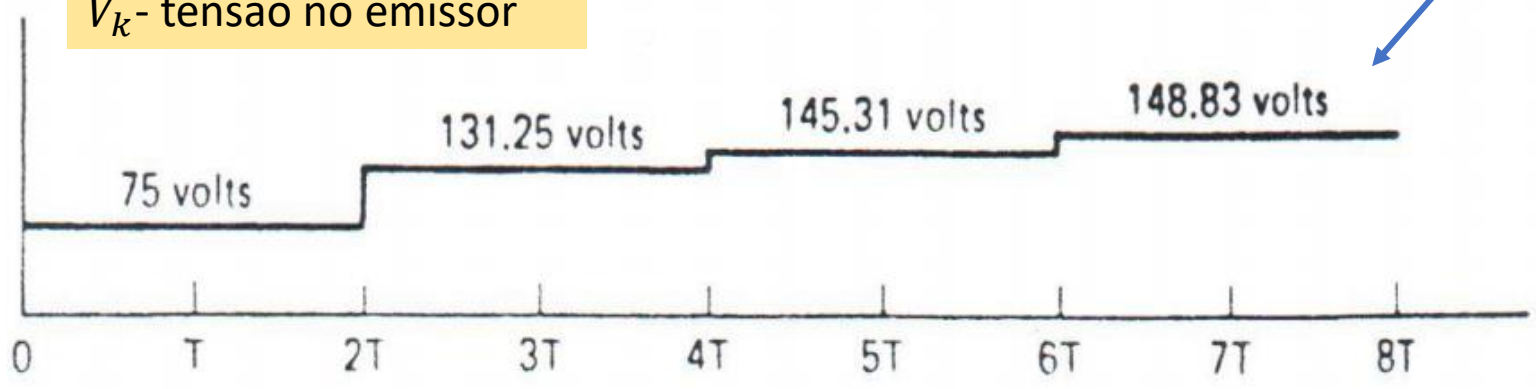
$$V^{reg} = \frac{150}{150 + 150} 300 = 150 \text{ V}$$



$V_m$ - tensão no receptor



$V_k$ - tensão no emissor



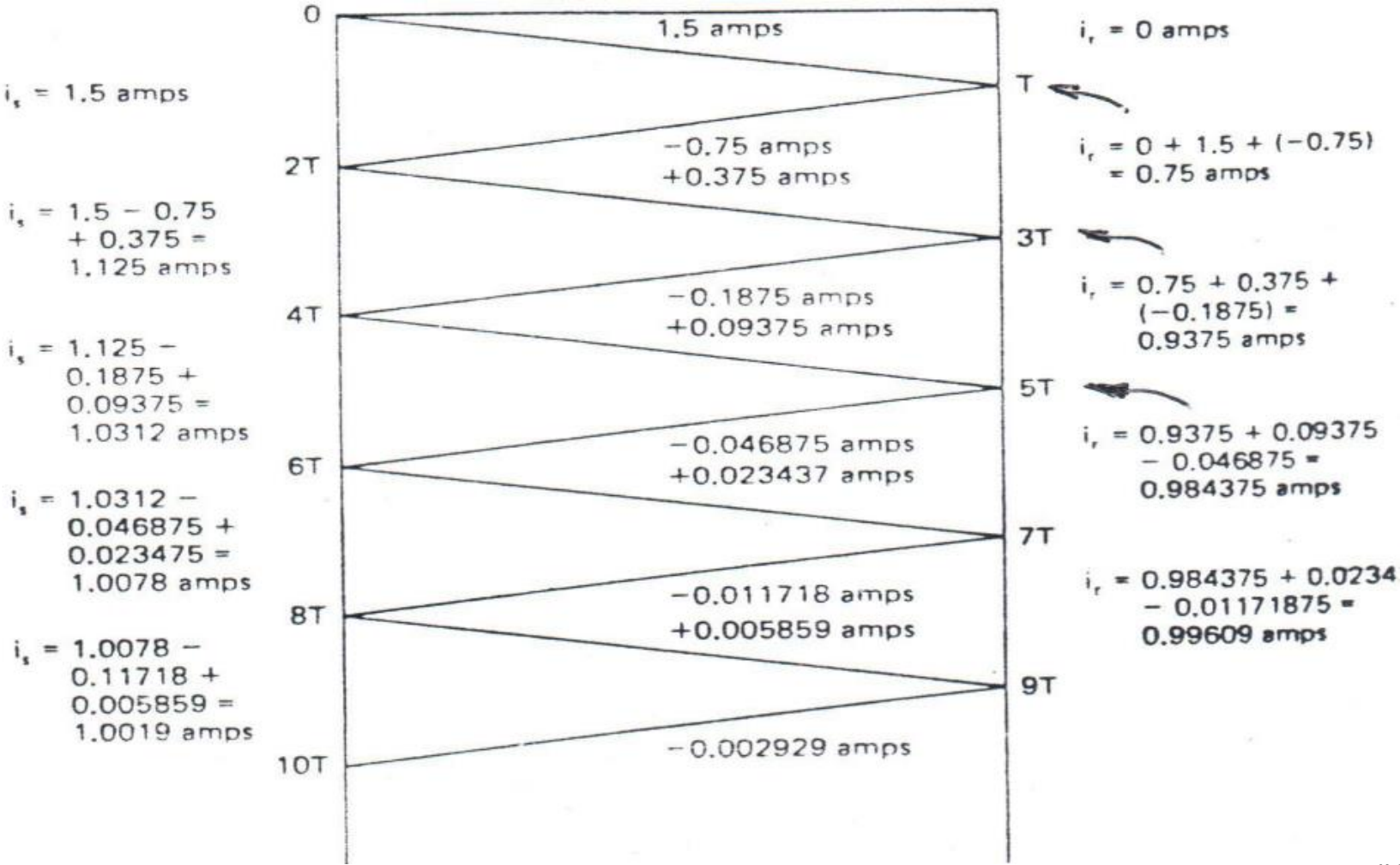
# Exemplo 1- Diagrama de Lattice (Corrente)

$$\Gamma_G^i = \frac{Z_0 - Z_G}{Z_G + Z_0} = -\Gamma_G = -0.5$$

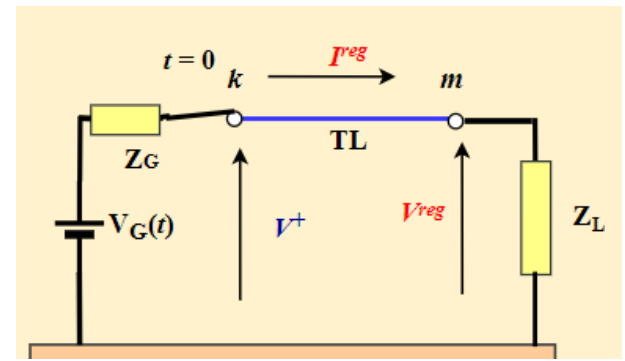
$V_k$

$V_m$

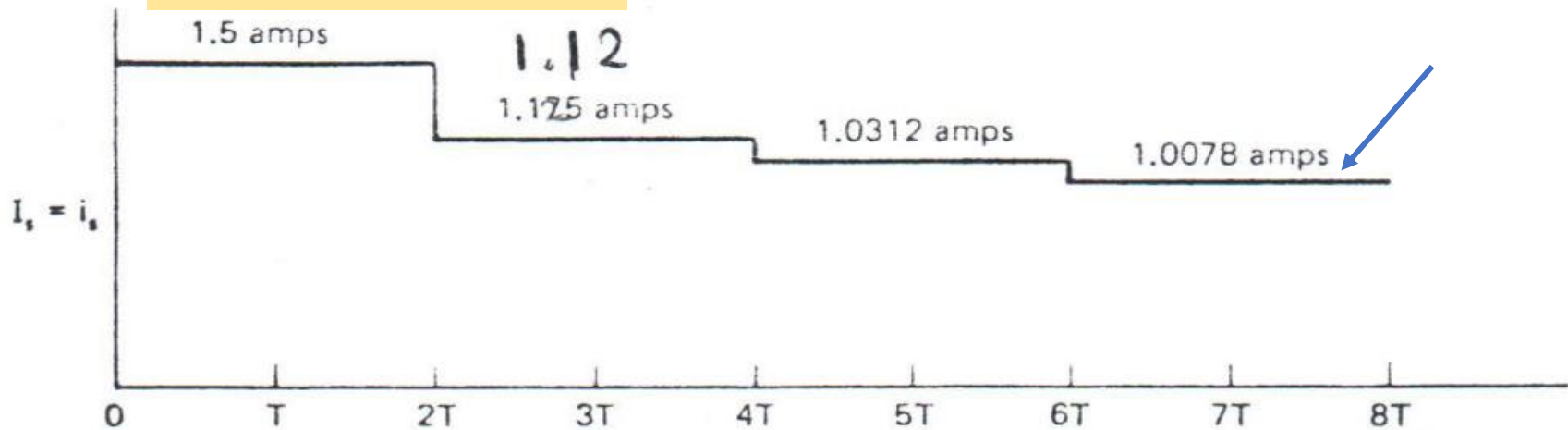
$$\Gamma_L^i = \frac{Z_0 - Z_L}{Z_L + Z_0} = -\Gamma_L = -0.5$$



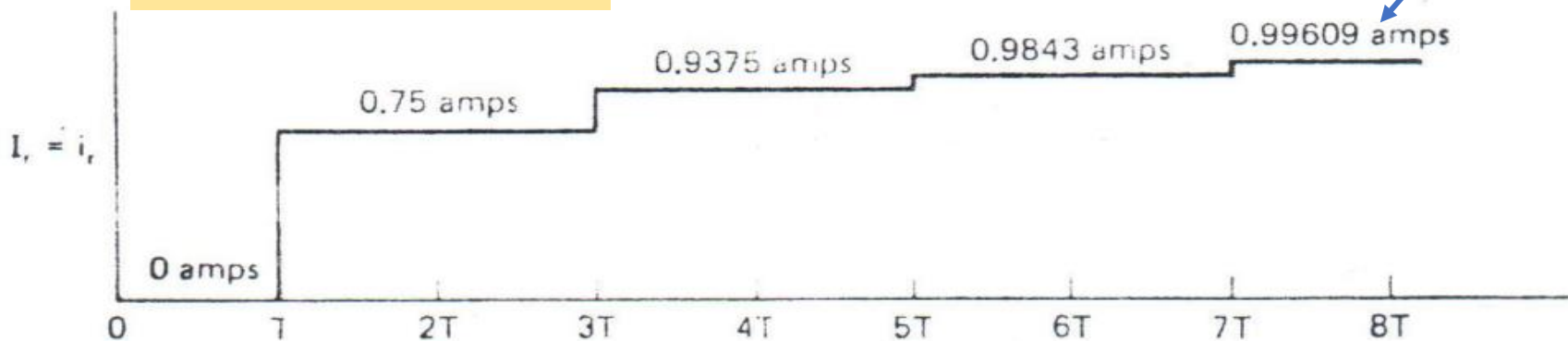
$$I^{reg} = \frac{V_G}{Z_G + Z_L} = \frac{300}{150 + 150} = 1 \text{ A}$$



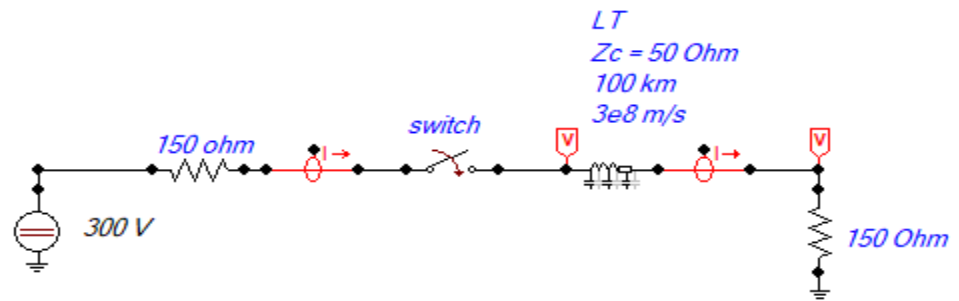
$I_k$  - corrente no emissor



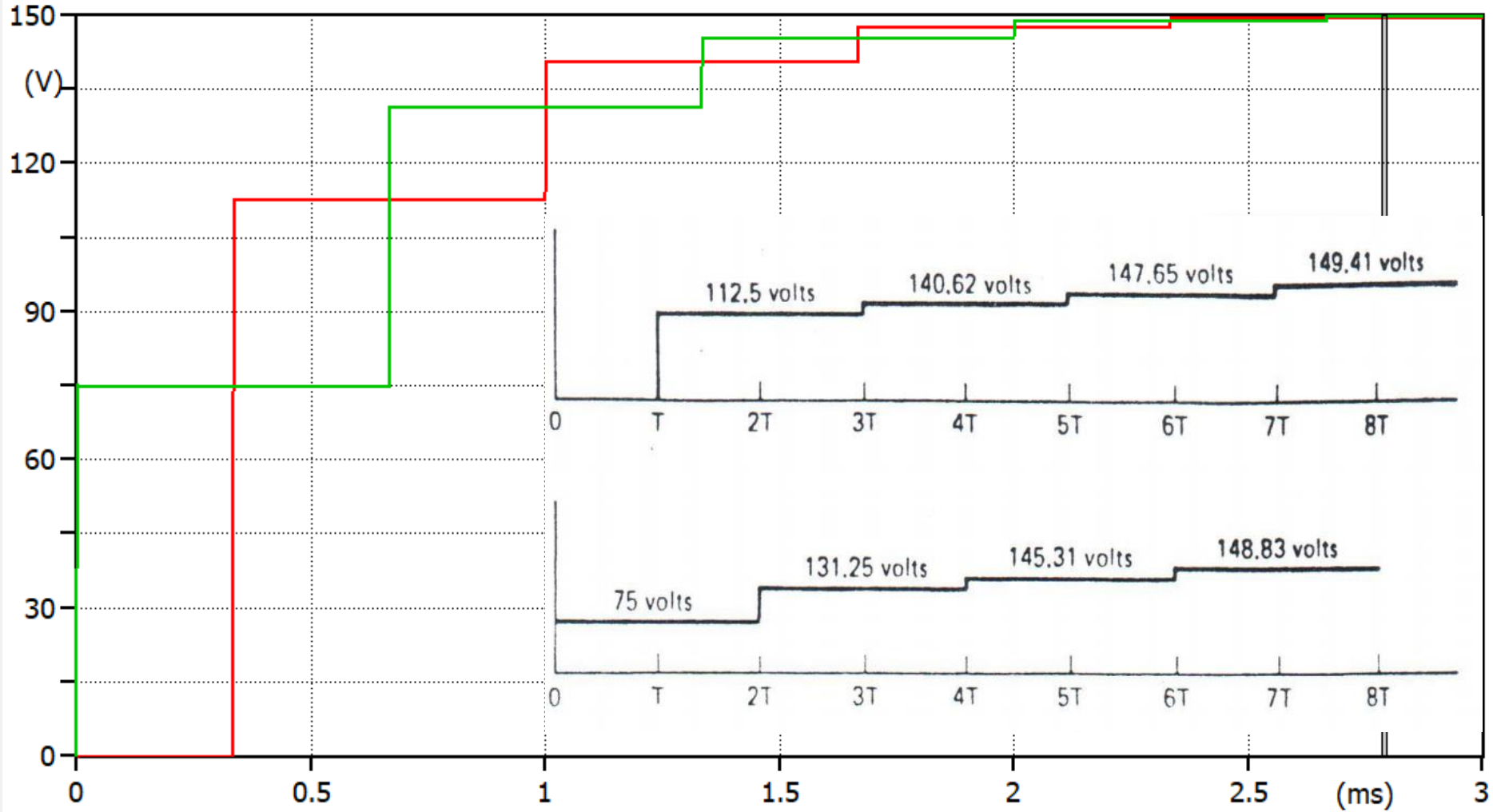
$I_m$  - corretor no receptor



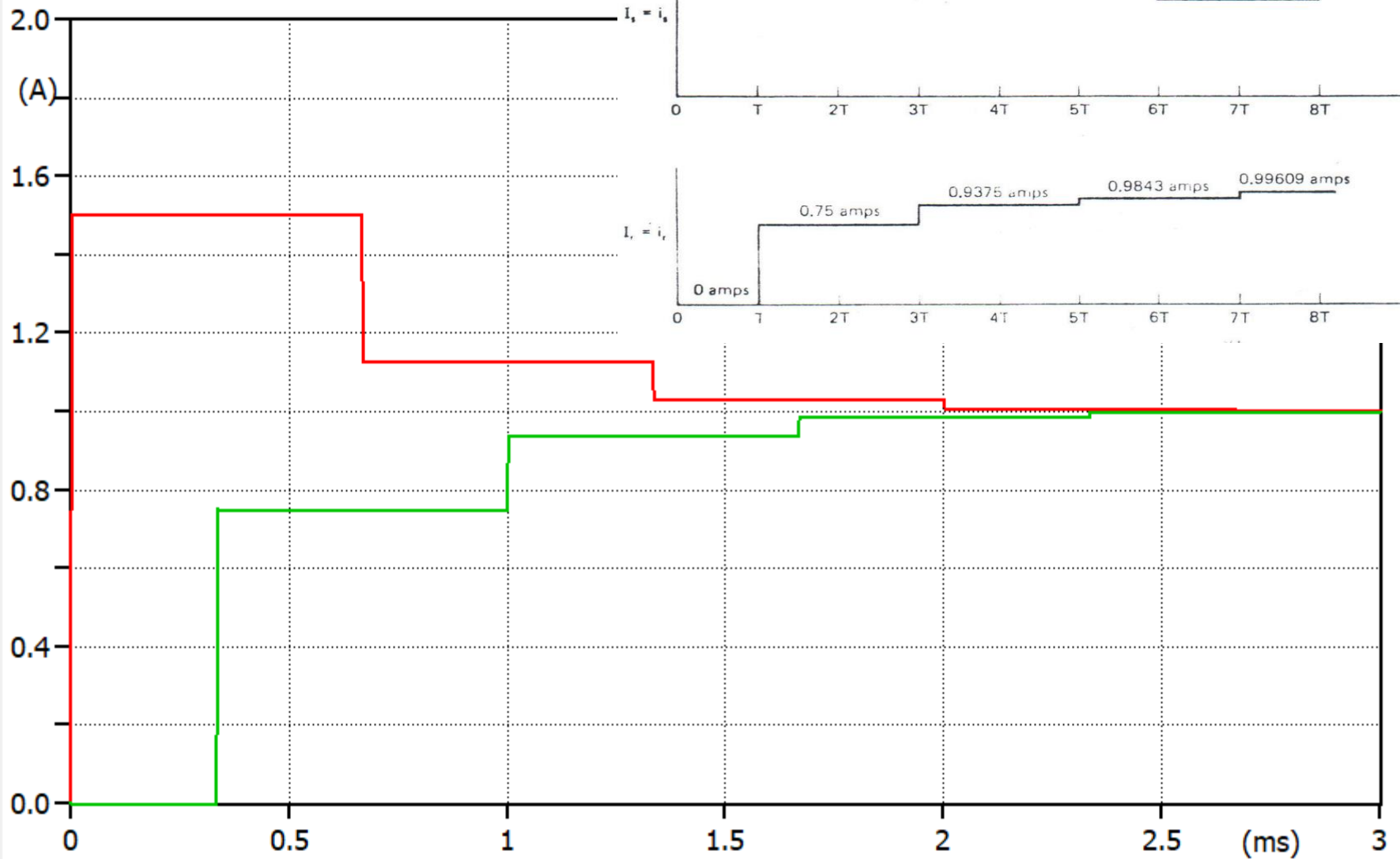
# Comparação com o ATP



MC's PlotXY - Plot 1



(file exemplo\_aula.pl4; x-var t) v:XX0004 v:XX0003

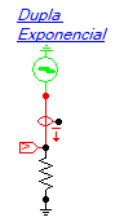


(file exemplo\_aula.pl4; x-var t) c:XX0008-XX0005 c:XX0001-XX0007

# Descargas Atmosféricas

- 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

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



Component: SURGE

Attributes

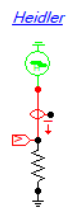
DATA	UNIT	VALUE	NODE	PHASE	NAME
Amplitude	Volt	1037	SU	1	duE
A	1/s	-14700			
B	1/s	-2470000			
Tstart	s	0			
Tstop	s	1000			

Order: 0    Label:

Comment:

Type of source:   
 Current   
 Voltage

Buttons: Edit definitions, OK, Cancel, Help



Component: HEIDLER

Attributes

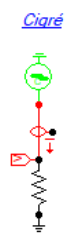
DATA	UNIT	VALUE	NODE	PHASE	NAME
Amplitude	Volt	1000	HEI	1	Heidle
T <sub>f</sub>	s	1.2E-6			
tau	s	5E-5			
n		2			
Tstart	s	0			
Tstop	s	1000			

Order: 0    Label:

Comment:

Type of source:   
 Current   
 Voltage

Buttons: Edit definitions, OK, Cancel, Help



Component: CIGRE

Attributes

DATA	UNIT	VALUE	NODE	PHASE	NAME
Amplitude	Volt	1000	CIGRE	1	Cl
T <sub>f</sub>	s	3E-6			
T <sub>h</sub>	s	7.5E-5			
S <sub>max</sub>	Volt/s	260000000000			
Tstart	s	0			
Tstop	s	1			

Order: 0    Label:

Comment:

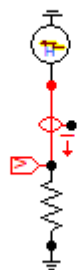
Type of source:   
 Current   
 Voltage

Buttons: Edit definitions, OK, Cancel, Help

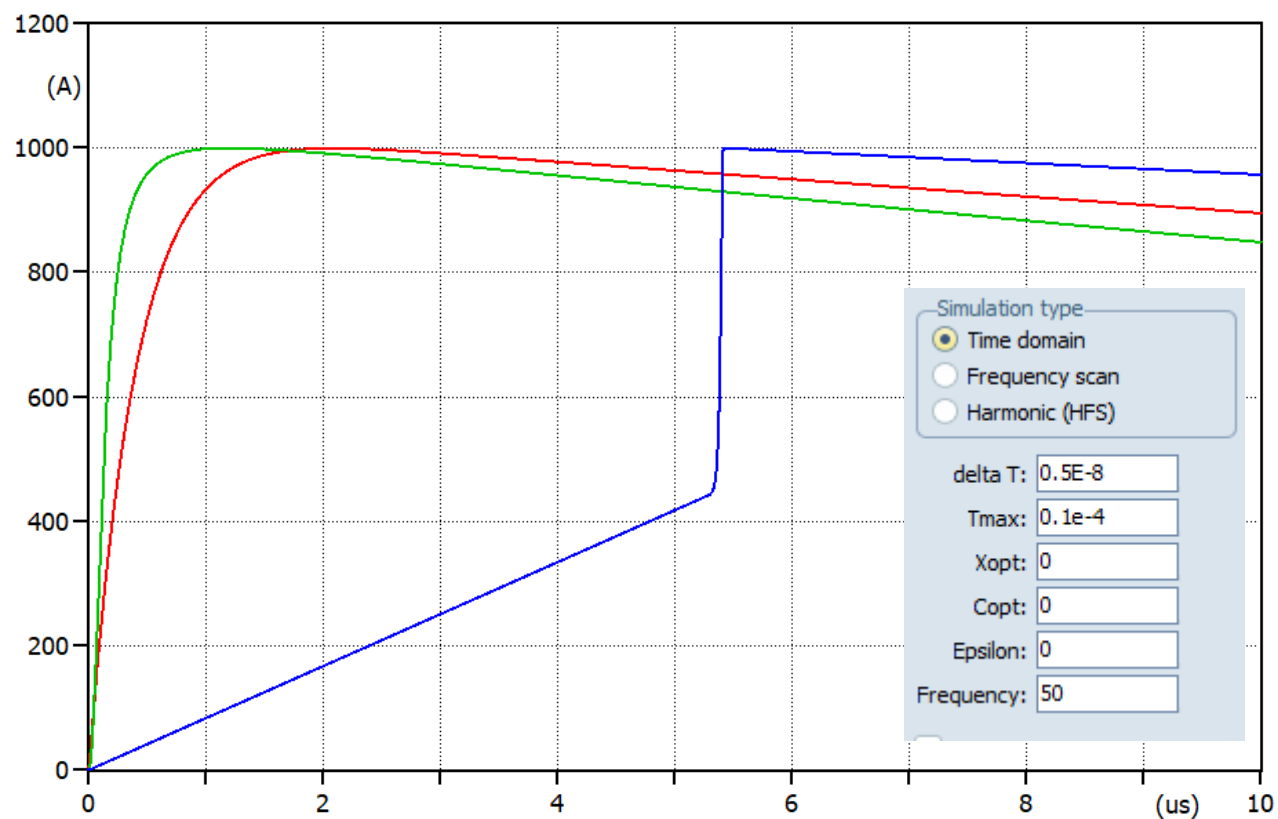
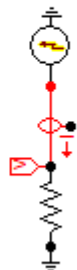
Cigré



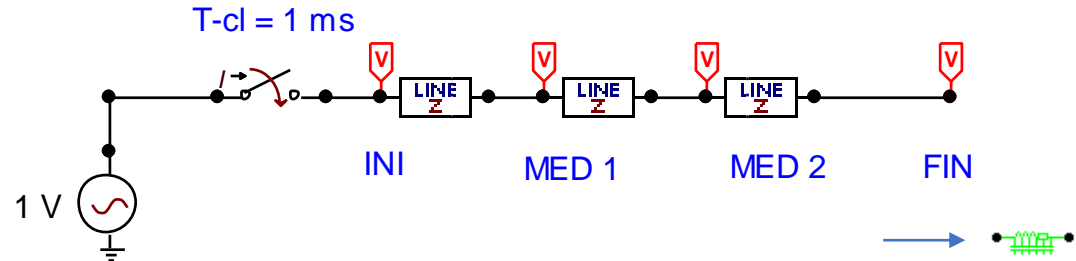
Heidler



Dupla Exponencial



(file exemplo\_descarga.pl4; x-var t) c:DUE -XX0001 c:HEIDLE-XX0003 c:CI -XX0005



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 >
- Sources >
- Machines >
- Transformers >
- MODELS >
- IACS >
- User Specified >
- Steady-state >
- Power system tools >
- All standard comp... >
- Add Objects >

- Lumped >
  - Distributed >
  - LCC template
  - LCC section
  - LCC EGM
  - Read PCH file...
- Transposed lines (Clarke) >
  - Untransp. lines (KCLee) >
- 1 phase
  - 2 phase

**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

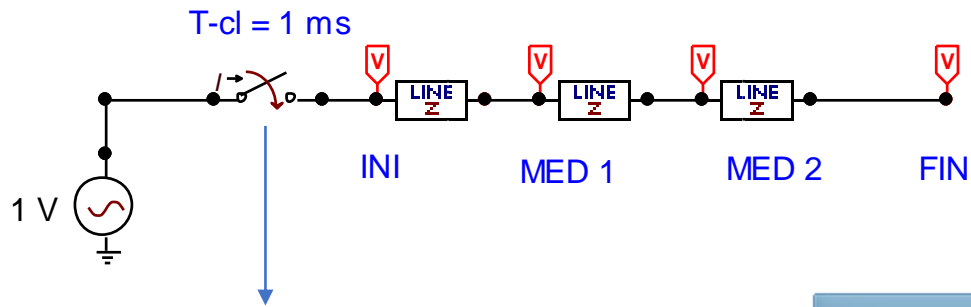
Conductance  
 G=0  
 G=R\*C/L

Hide  
 \$Vintage,1

48 Help

Edit definitions





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

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:

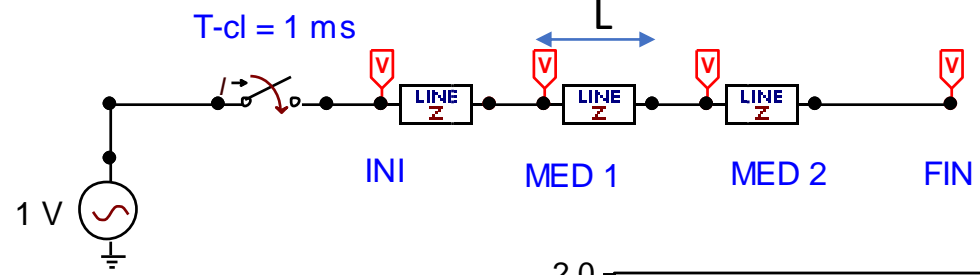
Hide

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

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

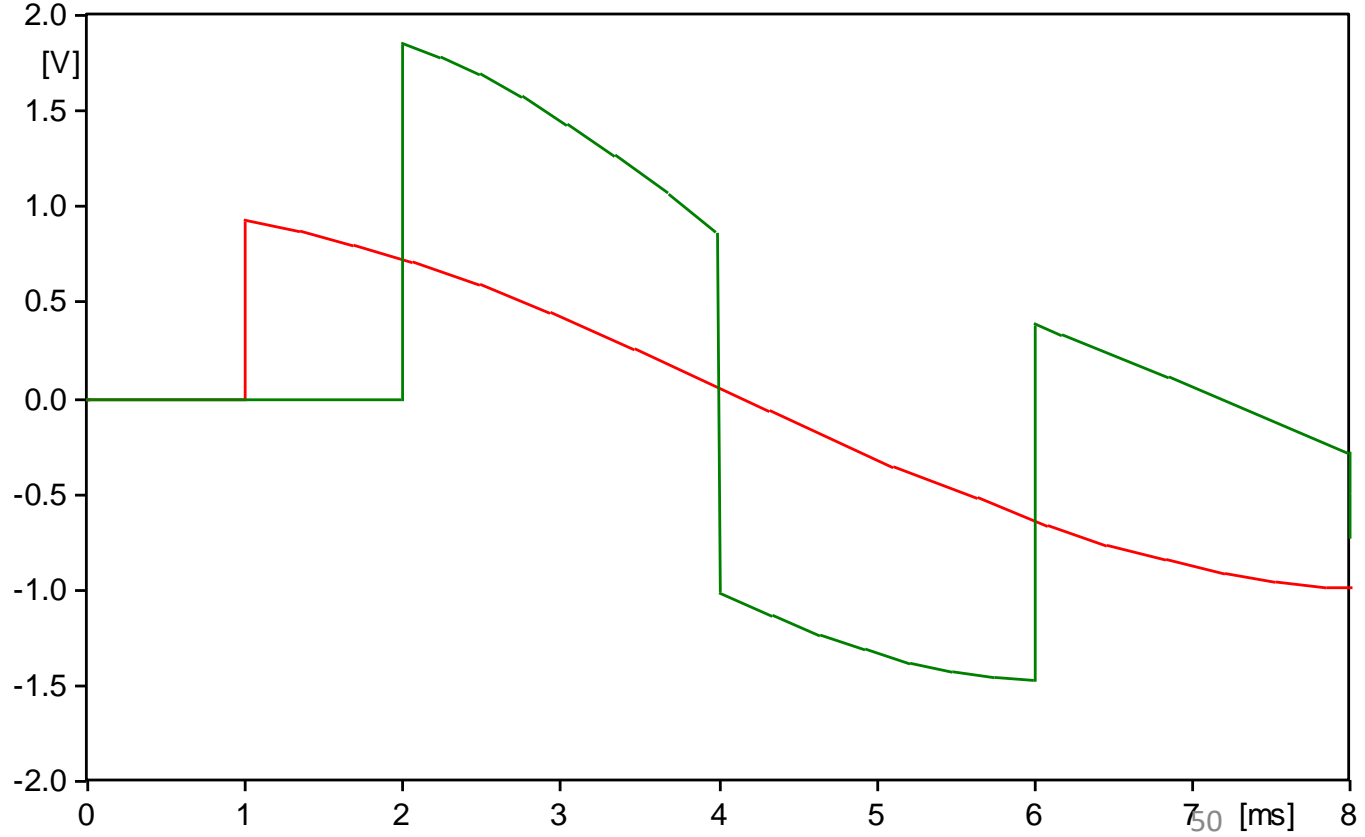
Fonte AC  
 1 V/60 Hz

Component: ACSOURCE

DATA	UNIT	VALUE
AmplitudeA	Volt	1
Frequency	Hz	60
PhaseAngleA	degrees	0
StartA	sec	-1
StopA	sec	100

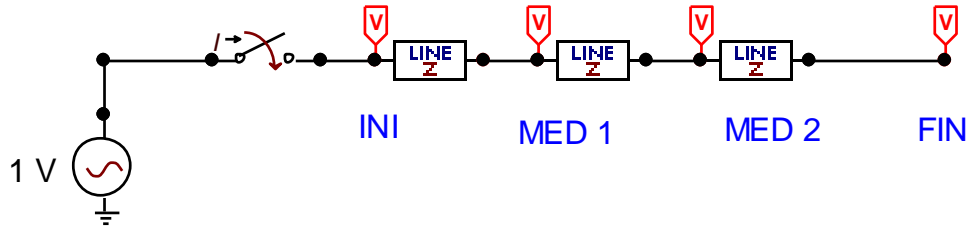
Buttons: Copy, Paste, Reset, Ord

Comment:



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

T-cl = 1 ms



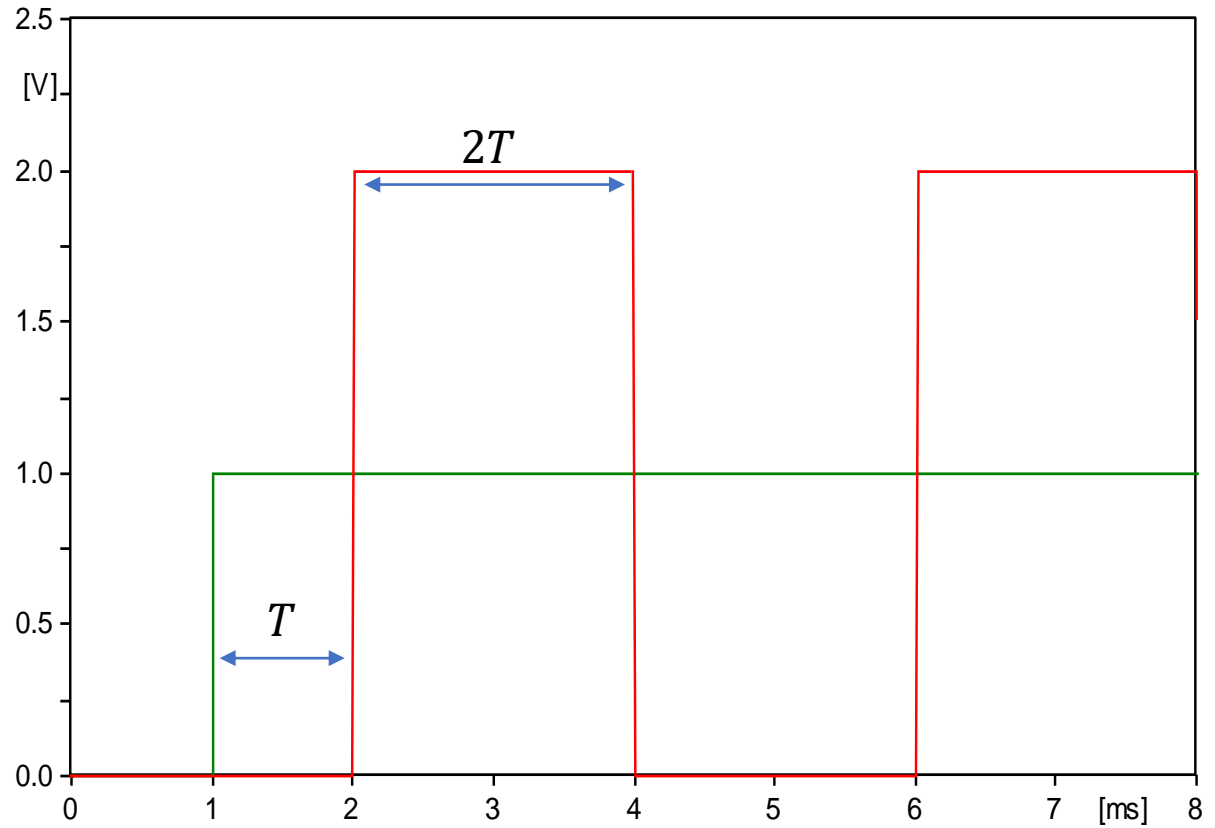
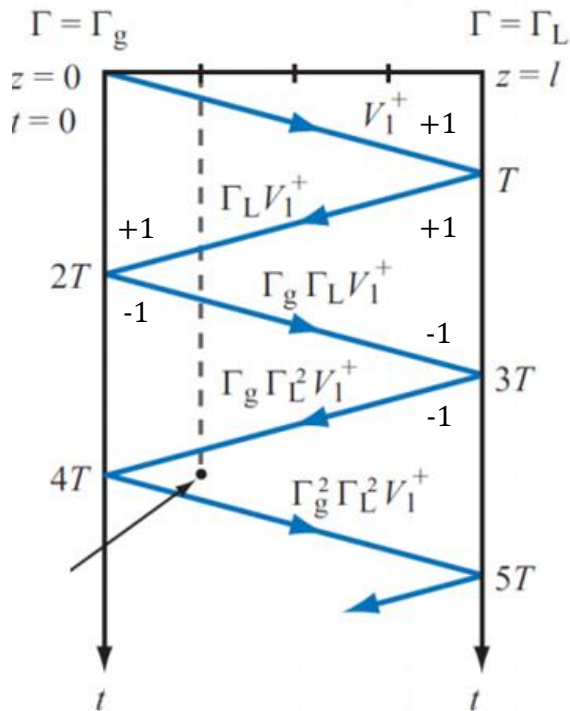
Datos para las líneas:  
 $R/L = 0 \text{ ohm/m}$   
 $Z_c = 500 \text{ ohm}$   
 $v = 300000000 \text{ m/s}$   
 $L = 100 \text{ km}$

LT em aberto no terminal receptor  
 $(Z \rightarrow \infty)$

Fonte DC 1 V

$$\Gamma_G = \frac{0 - 500}{0 + 500} = -1$$

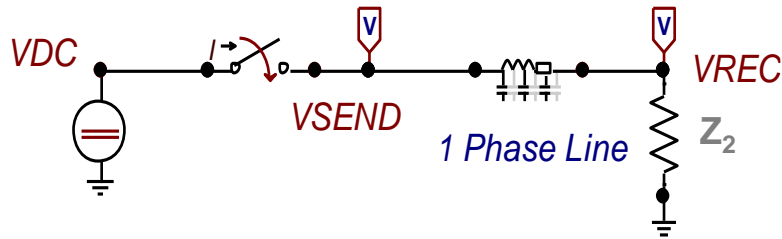
$$\Gamma_L = \frac{\infty - 500}{\infty + 500} = 1$$



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

# Simulação de manobras em linhas de transmissão.

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



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

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

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

$$Z_c = \sqrt{\frac{L'}{C'}} \quad Z_c = 294.88 \Omega \quad \approx 300 \Omega$$

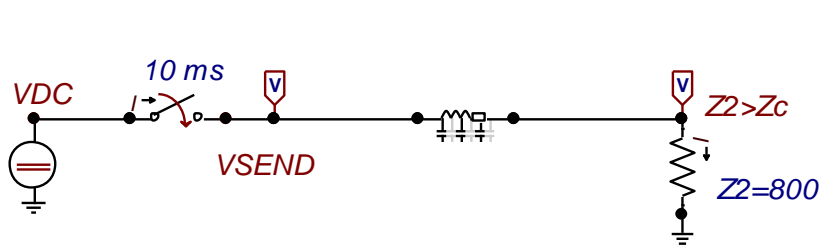
Vdc = 100 kV

### ❑ 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  $Z2 = Zc$

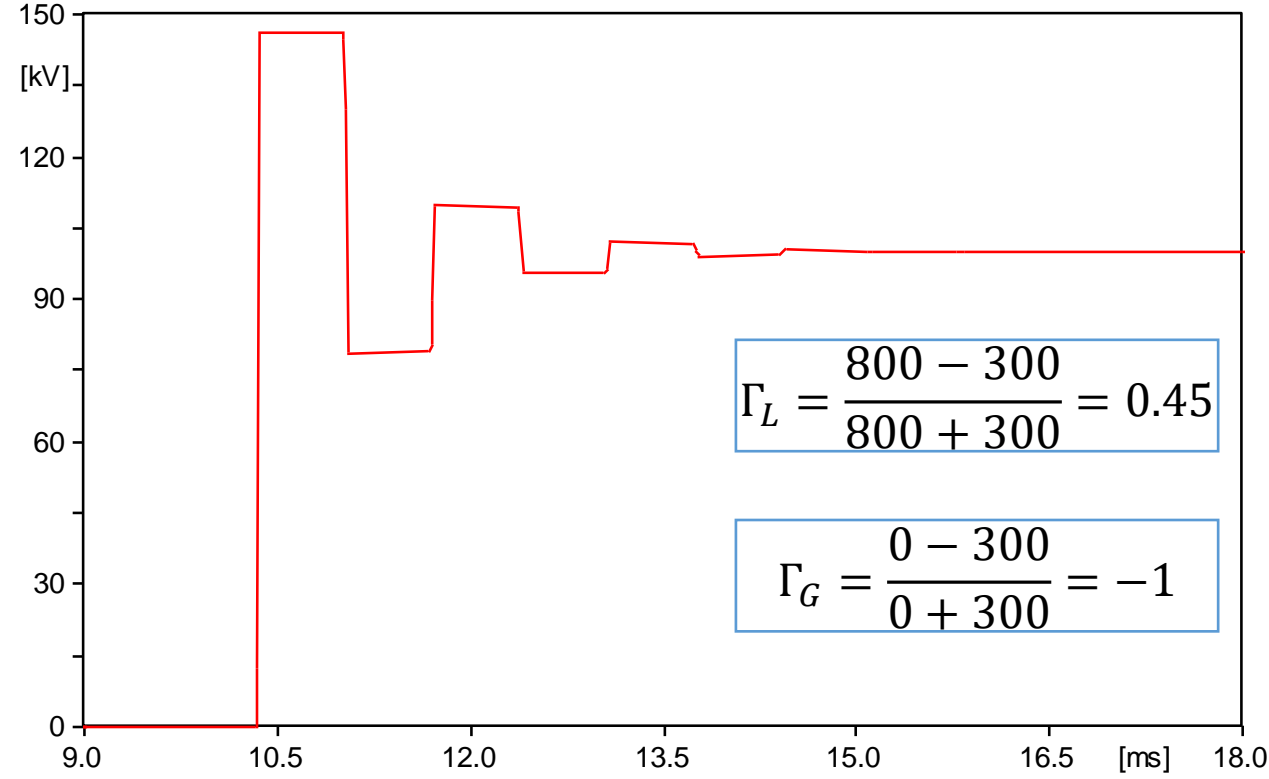
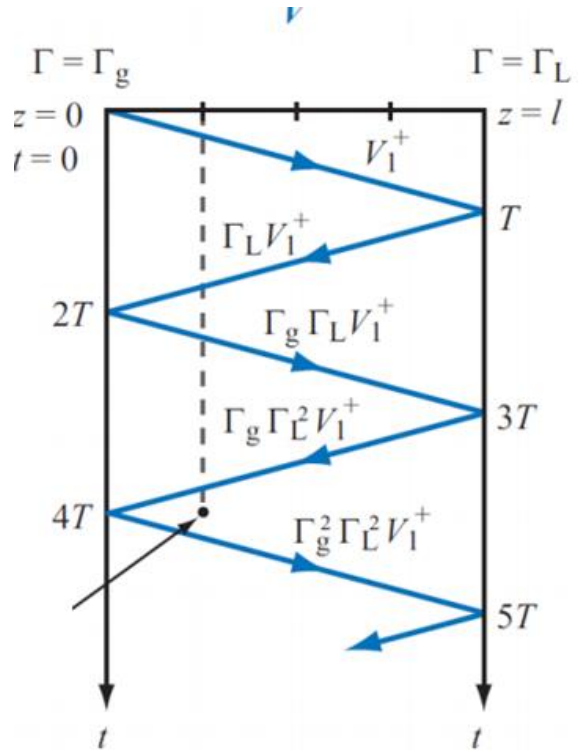
# Simulação de manobras em linhas de transmissão.

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



$Z_c = 294.88 \Omega$

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

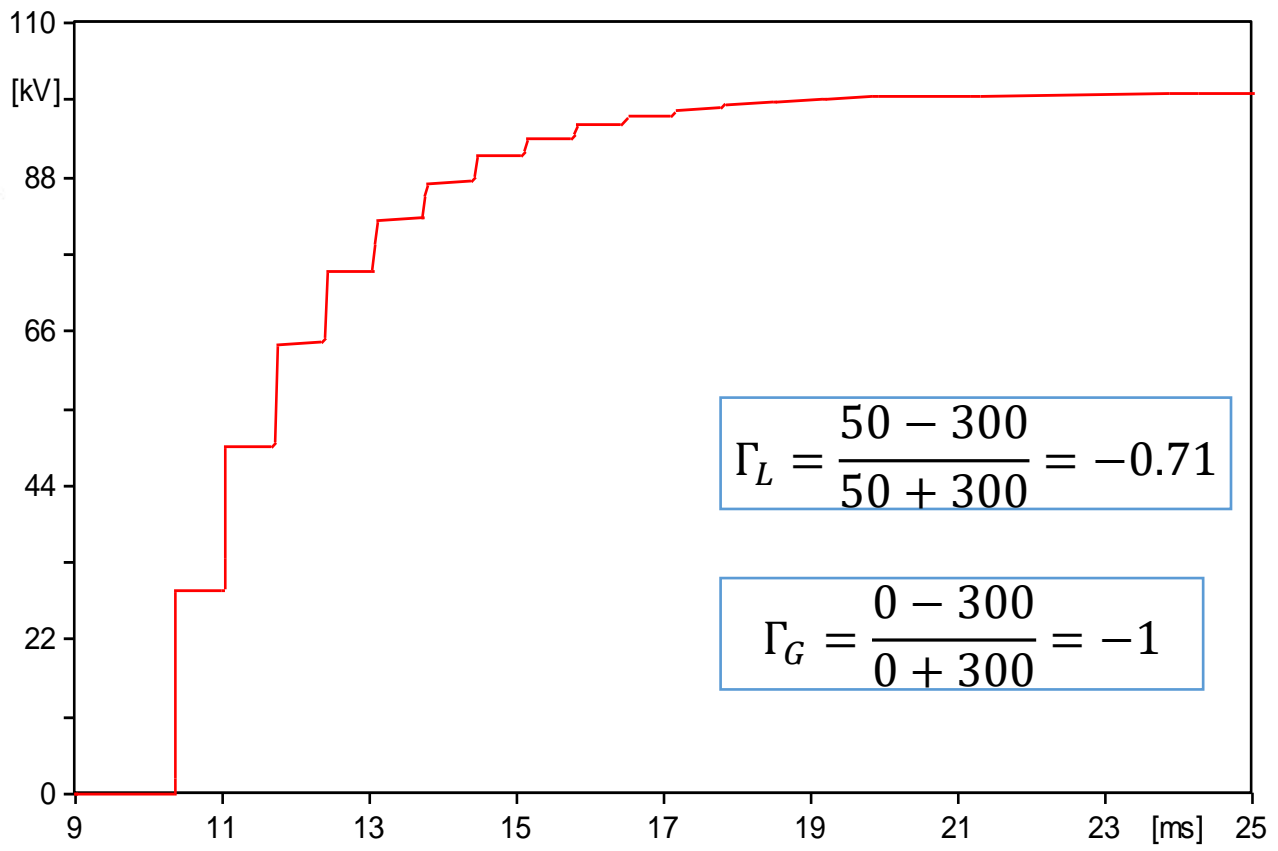
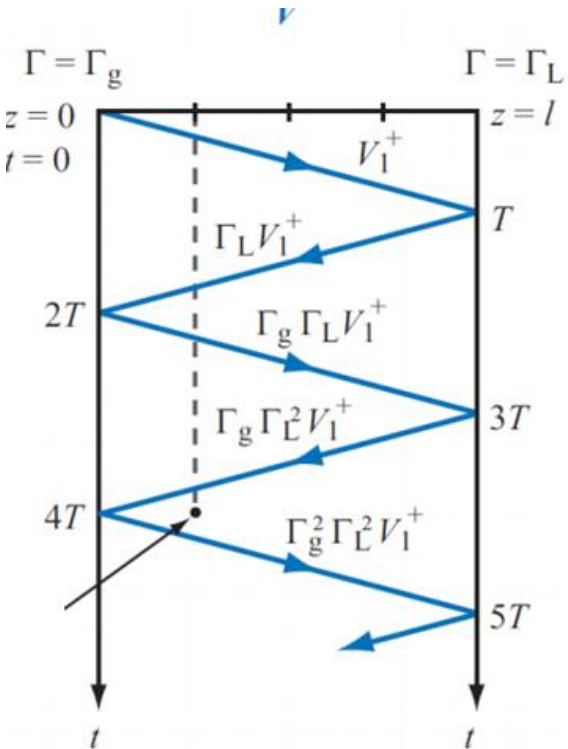
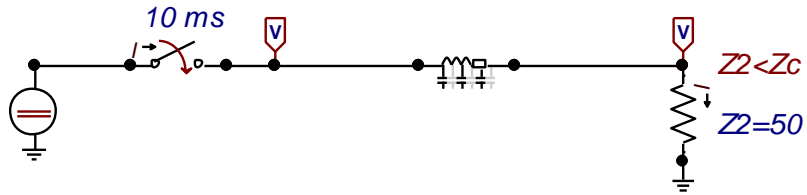


$$\Gamma_L = \frac{800 - 300}{800 + 300} = 0.45$$

$$\Gamma_G = \frac{0 - 300}{0 + 300} = -1$$

(file Exercise\_3\_Resistor.pl4; x-v ar t) v:VREC

# Simulação de manobras em linhas de transmissão.



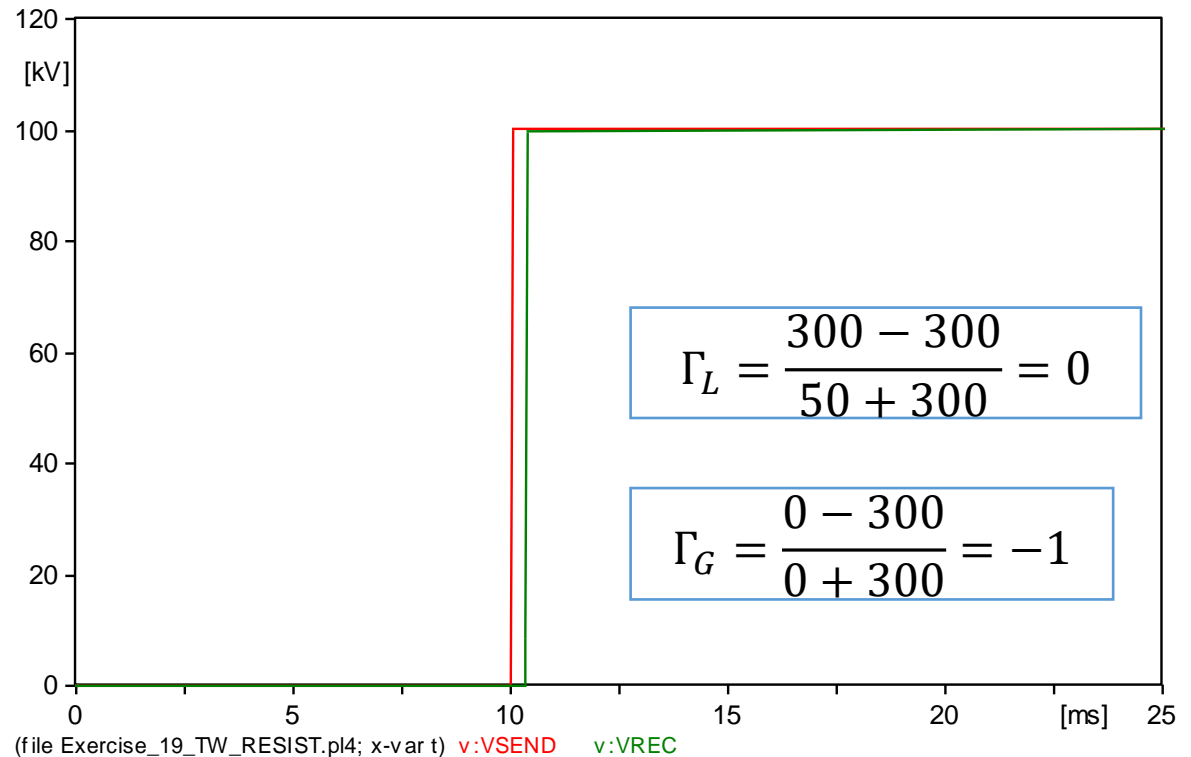
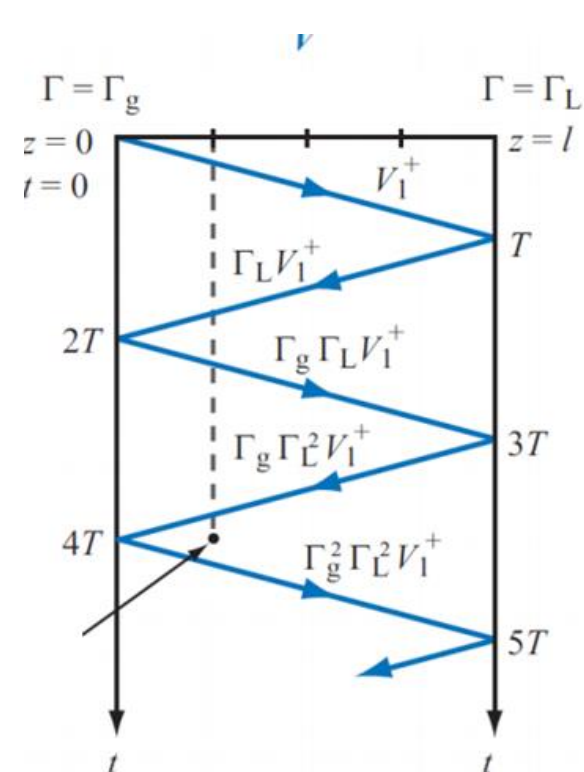
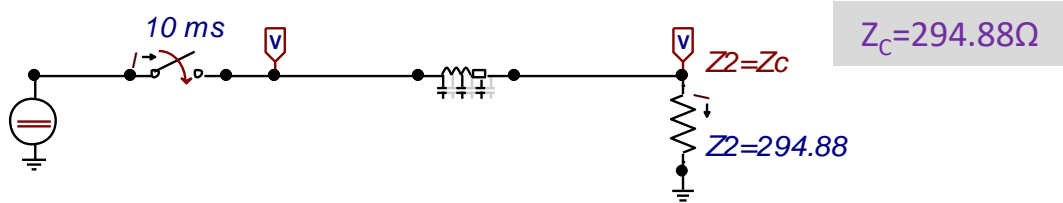
$$\Gamma_L = \frac{50 - 300}{50 + 300} = -0.71$$

$$\Gamma_G = \frac{0 - 300}{0 + 300} = -1$$

ile Exercise\_3\_Resistor.pl4; x-var t) v:VREC

# 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  $Z_2 = Z_c$

site

Acesso à Informação

BRASIL

Ir para conteúdo | Ir para menu | Ir para rodapé | Contraste | Acessibilidade | Acesso à Informação | Portal da UFC

Procurar...

Universidade Federal do Ceará  
IMPrensa UNIVERSITÁRIA / EDIÇÕES UFC



EDIÇÕES  
UFC



Início

Sobre a Editora da UFC

Catálogo

Livros Digitais

Produtos de Venda Proibida

Livraria da UFC

Fale Conosco

Você está aqui: Home > Catálogo > Engenharia Elétrica > Transmissão de Energia Elétrica em Corrente Alternada

## Transmissão de Energia Elétrica em Corrente Alternada



Este livro tem enfoque computacional através do uso do programa Alternative Transient Program (ATPdraw), que é um programa de uso mundial. A quantidade de exercícios resolvidos, incluindo simulações computacionais com o ATPdraw e códigos fonte em linguagem MATLAB tornam a obra didática e de fácil assimilação, mesmo para aqueles que são iniciantes no assunto.

A matéria apresentada ao longo do texto tem como objetivo que o leitor adquira conhecimentos suficientes para analisar a operação de linhas de transmissão aéreas em regime permanente e em regime transitório, além de realizar um projeto elétrico de uma linha de transmissão aérea. O livro pode ser utilizado em cursos de graduação e de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.

**LIVRO DIGITAL:** [Download gratuito da obra](#)

### Dados da obra

Autores: **Ailson P. Moura, Adriano Aron F. Moura, Ednardo P. Rocha**

Numero de páginas: 353

ISBN: 978-85-7282-762-1

Ano: 2019

<http://www.editora.ufc.br/catalogo/76-engenharia-eletrica/979-transmissao-de-energia-eletrica-em-corrente-alternada>



# Exercício 01