MINICURSO DE PSCAD

Cleiton Magalhães Freitas

Visão Geral do PSCAD e do Curso

Objetivo

- Aprender a montar simulações de sistemas elétricos no PSCAD
- Aprender a extrair resultados
- Possivelmente, aprender o funcionamento de alguns circuitos básicos.

O que é o PSCAD

- O PSCAD (*Power Systems Computer Aided Design*) é uma interface gráfica para simulação no EMTDC

- o EMTDC é um programa utilizado para simulação de transitórios eletromagnéticos.

Para que serve o PSCAD

- Simulação de sistemas de potência: transitórios eletromagnéticos
  - Redes de distribuição e transmissão
  - Máquinas Elétricas
  - Sistemas de controle de fontes de energia

- Simulação de sistemas envolvendo eletrônica de potência.
  - Grid-connected/Grid-Forming Converters
  - HVDCs (*High Voltage Direct Current*)
  - FACTS (*flexible alternating current transmission system*)
  - Sistemas de controle

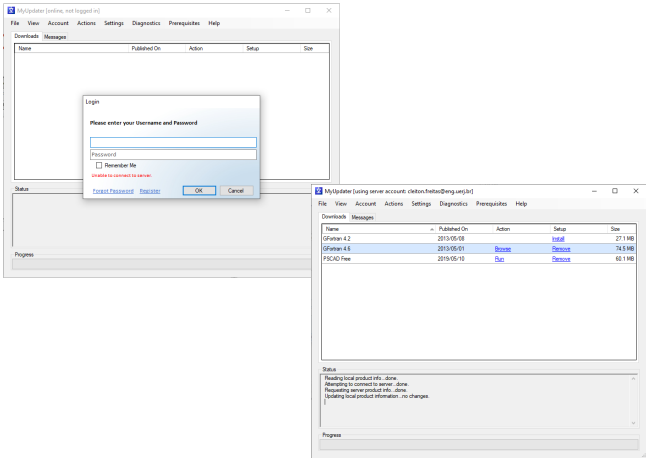
Ideia Geral do PSCAD

Circuito → Conversão para Fortran → Compilação → Simulação → Resultados

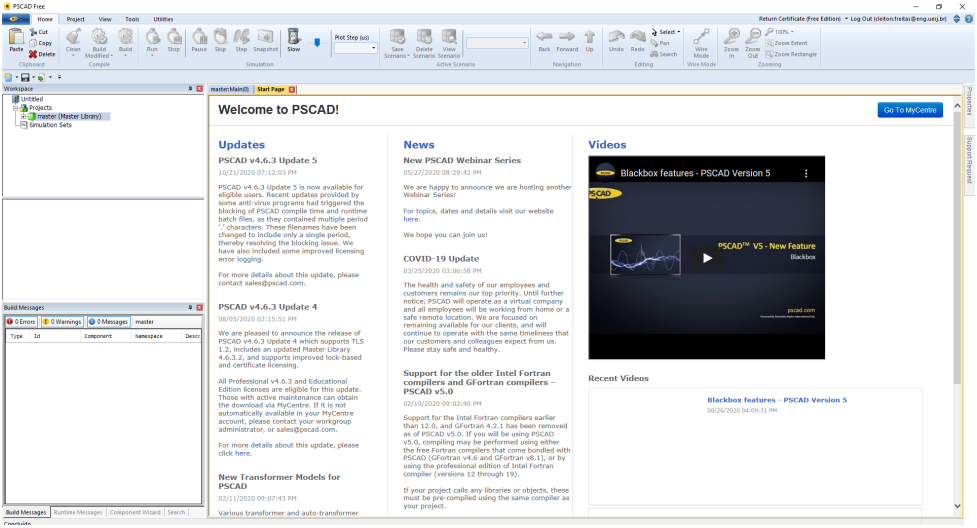
Primeiros Passos no PSCAD

PSCAD: Versão Gratuita

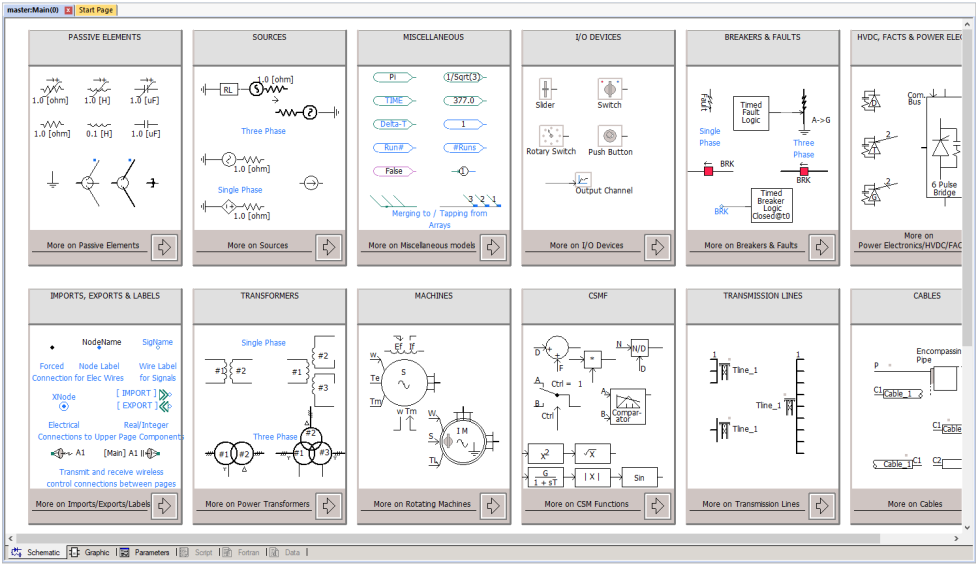
apenas um teste



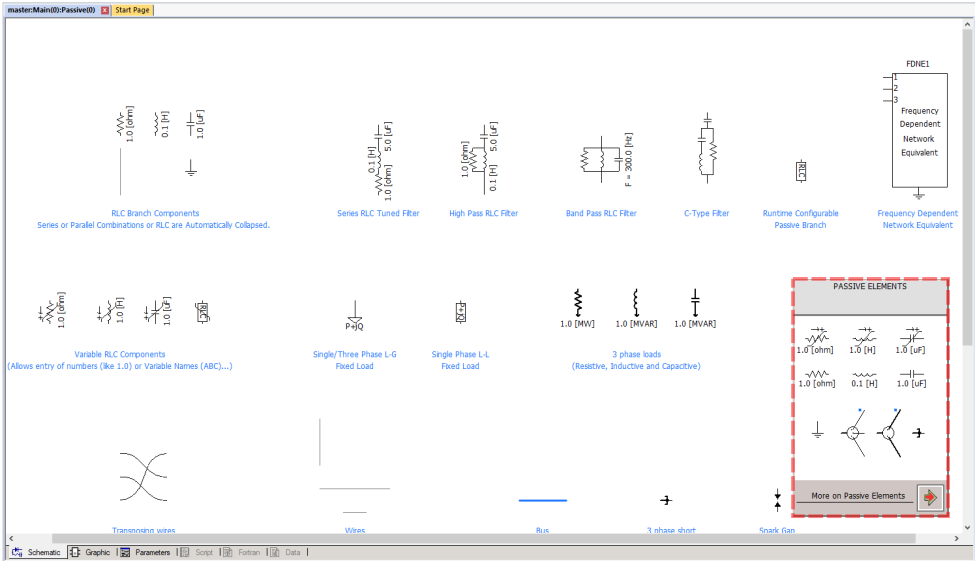
PSCAD: Versão Gratuita



PSCAD: Biblioteca Master

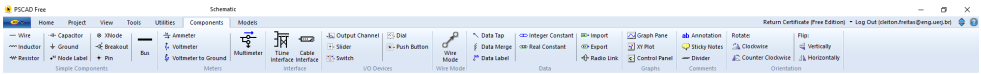


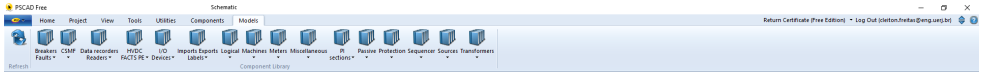
PSCAD: Biblioteca Master



PSCAD: Biblioteca Master

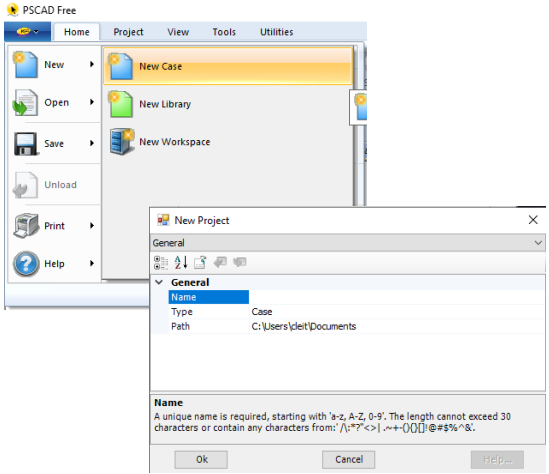
Quando um projeto está aberto, também podemos acessar os componentes através dos seguintes menus.





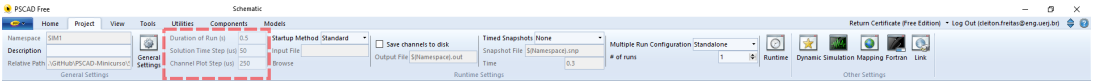
Criando uma Simulação: *New Case*

- *New Case:* Cria uma nova simulação
- *Name:* Nome do arquivo de simulação
- *Path:* Lugar onde salvar a simulação



Criando uma Simulação: Parâmetros do Projeto

Menu *Project*



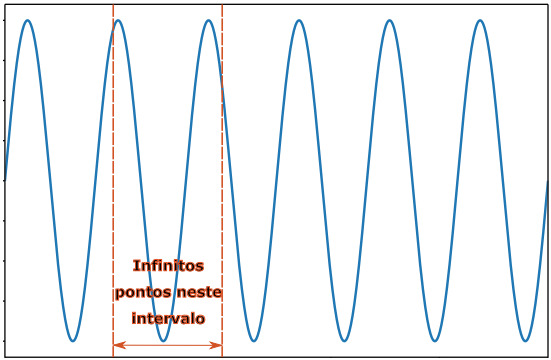
- *Duration of Run:* Tempo total de simulação
- *Time Step:* Intervalo de tempo entre os cálculos
- *Plot Step:* Intervalo de amostragem usado nos gráficos

Importância do Time Step

Mundo Real:

- O mundo é contínuo
- Existe um número **INFINITO** de instantes em um intervalo de tempo

$$y(t) = \sin(120\pi t)$$

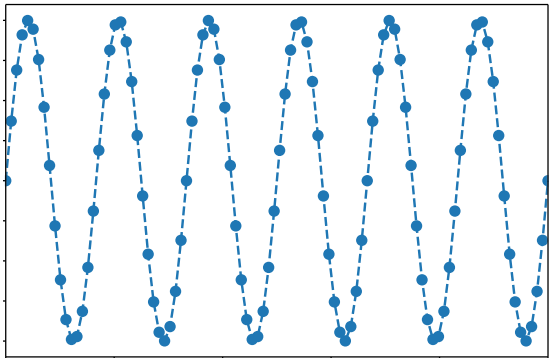


Importância do Time Step

Simulação Digital:

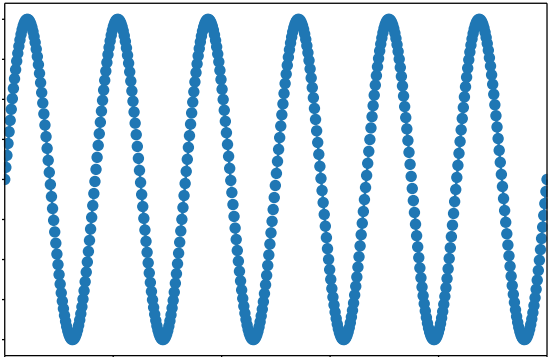
- O mundo é discreto
- Existe um número **FINITO** de instantes em um intervalo de tempo

$$y[kT_s] = \sin(120\pi kT_s)$$

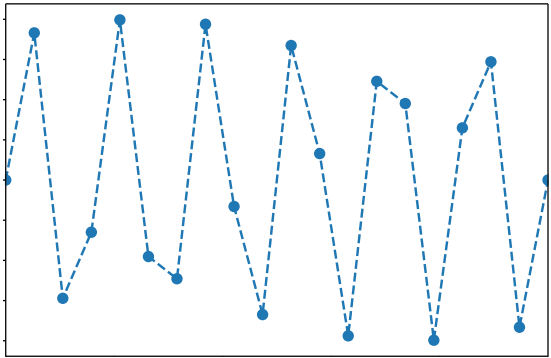


Importância do Time Step: ainda a senoide

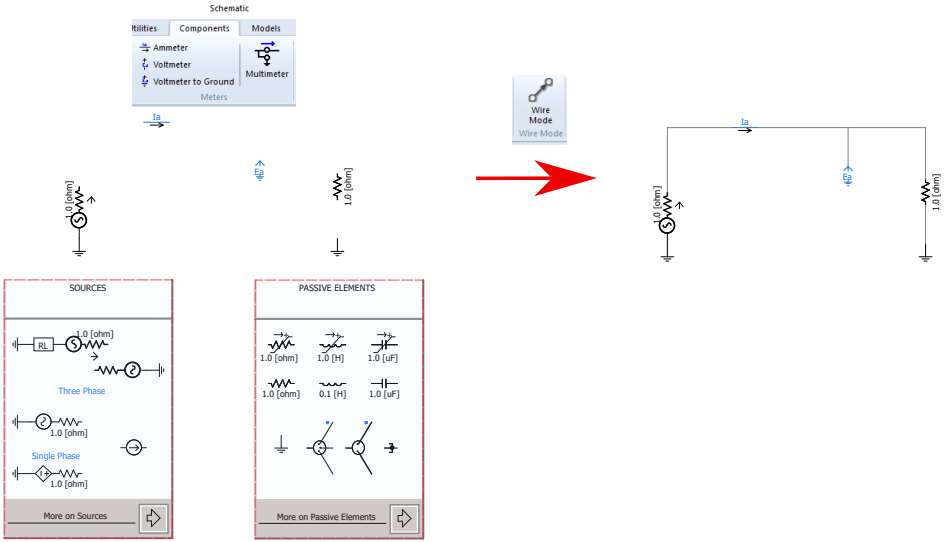
Simulação Digital: Muito preciso



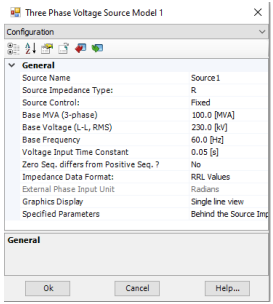
Simulação Digital: Pouco preciso

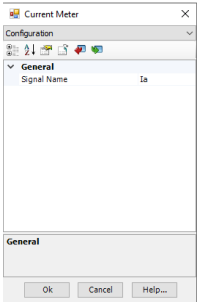


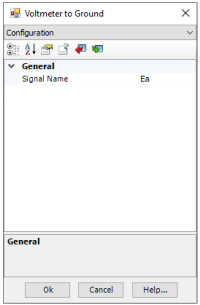
Criando uma Simulação: Continuando



Criando uma Simulação: Configuração dos componentes







Criando uma Simulação: Gráficos

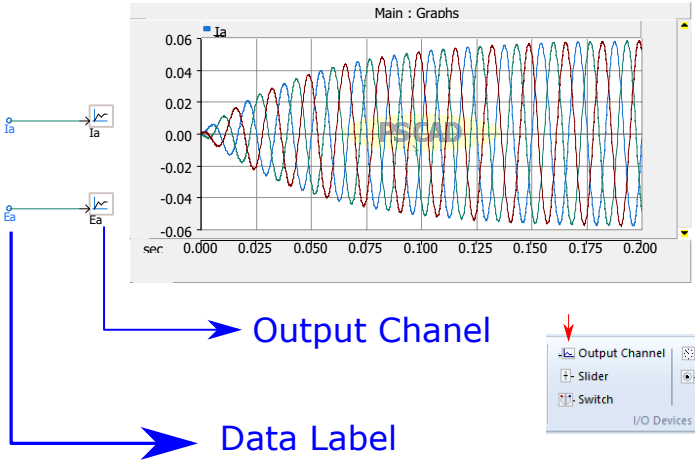
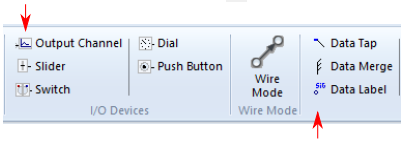


Grafico:
- Botão direito no output chanel

-Graph/meters/controls

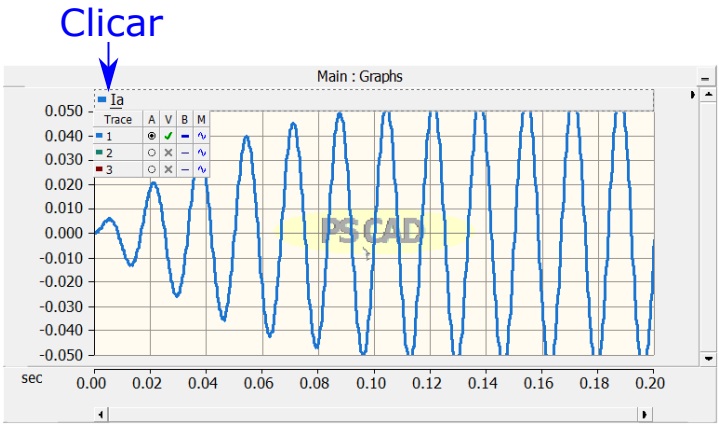
- add overlay graph with signal



Visualização de Resultados: Alguns Detalhes

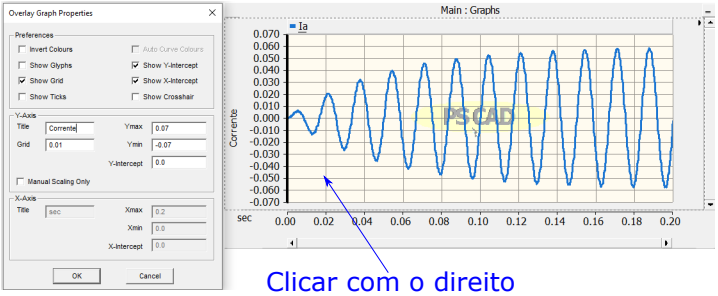
Ajustes nos Gráficos: Curvas

- É possível selecionar qual curva mostrar
- É possível selecionar aumentar a espessura da curva



Ajustes nos Gráficos: Escala

- Propriedades do gráfico
- Permite ajustar a escala
- Permite alterar a grade



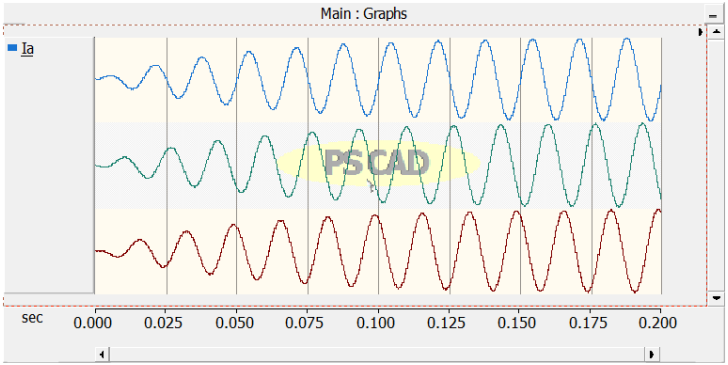
Ajustes nos Gráficos: Atalhos

Depois de clicar no gráfico:

- **E** - Ajusta a escala do tempo
- **Y** - Ajusta a escala y do gráfico para melhor visualização
- **B** - Ajusta a escala y do gráfico de acordo com a configuração do output chanel
- **M** - Habilita dois cursores

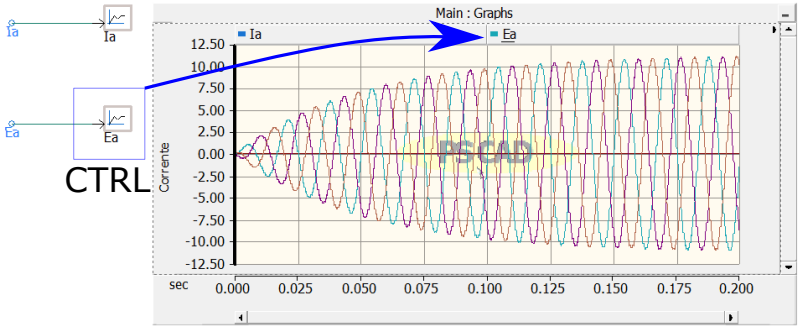
Ajustes nos Gráficos: Polygrphs

- Propriedades do gráfico
- Permite ajustar a escala
- Permite alterar a grade

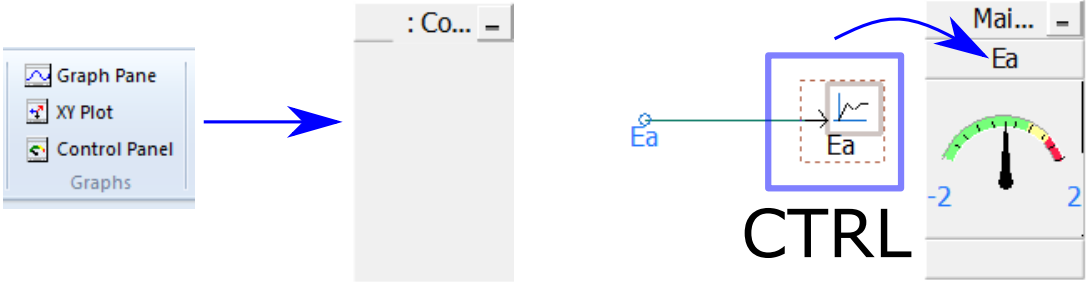


Ajustes nos Gráficos: adicionando curvas ao gráfico

- Selecione o *output chanel*
- Precione a tecla *CTRL*
- Arraste em direção a um gráfico existente

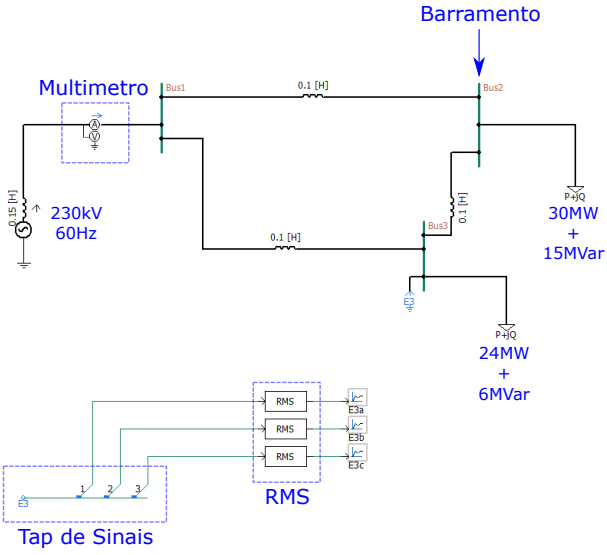


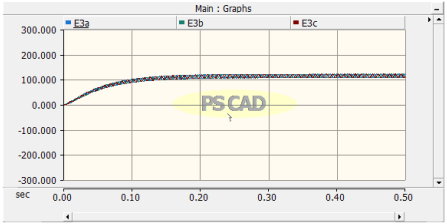
Ajustes nos Gráficos: Painéis de Controle



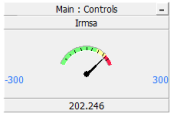
Circuitos Simples para Aprender Usar Outros Blocos

Circuito 2A

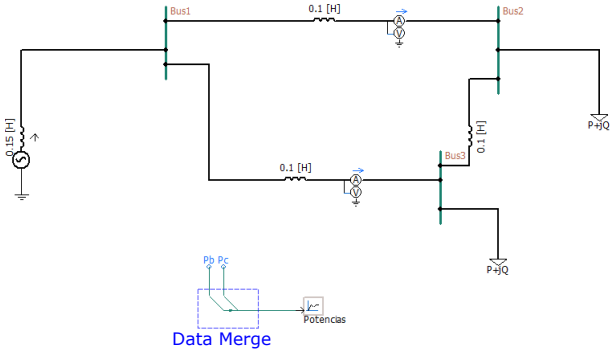

Barramento
Multimetro
Bus1
0.1 [H]
Bus2
0.15 [H]
230kV
60Hz
0.1 [H]
Bus3
0.1 [H]
P+jQ
30MW
+
15MVar
P+jQ
24MW
+
6MVar
RMS
RMS
RMS
E3a
E3b
E3c
1
2
3
E3
Tap de Sinais

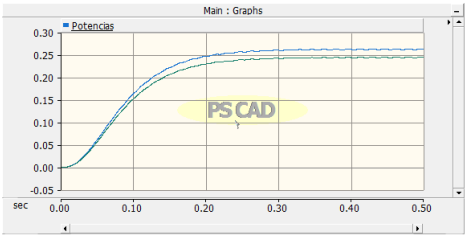

Main : Graphs
E3a
E3b
E3c
300.000
200.000
100.000
0.000
-100.000
-200.000
-300.000
sec
0.00
0.10
0.20
0.30
0.40
0.50
PSCAD


Irmsa
Irmsa

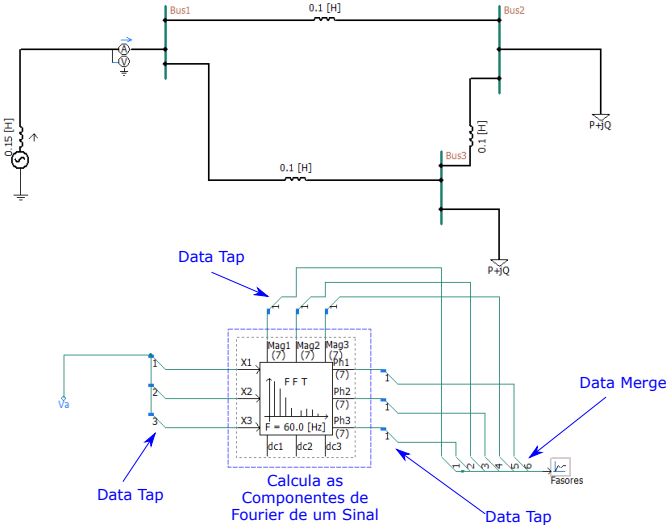

Main : Controls
Irmsa
-300
300
202.246

Circuito 2B

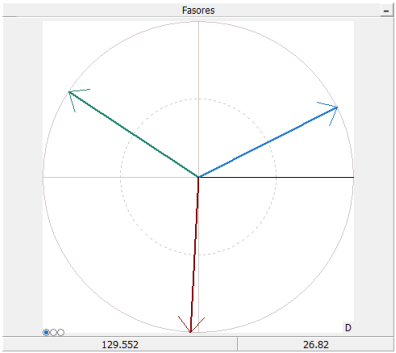

Bus1
0.1 [H]
Bus2
0.15 [H]
0.1 [H]
Bus3
0.1 [H]
P+jQ
P+jQ
Pb Pc
Potencias
Data Merge


Main : Graphs
Potencias
0.30
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
-0.05
PSCAD
sec
0.00
0.10
0.20
0.30
0.40
0.50

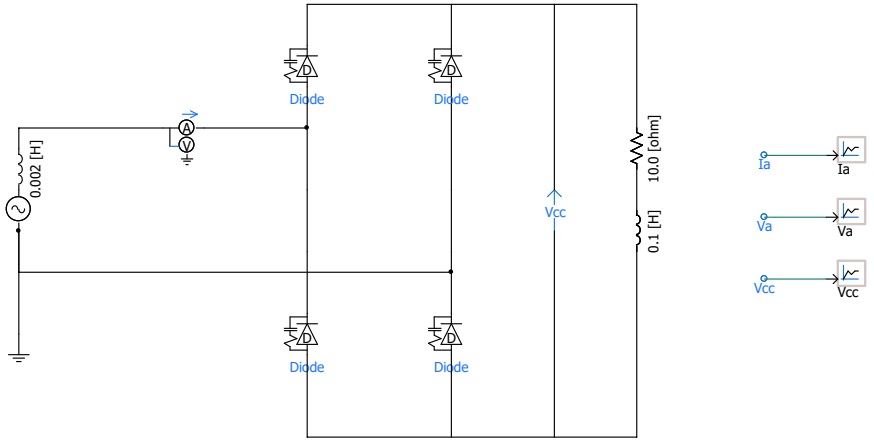
Circuito 2C



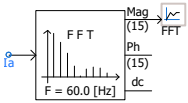
Em Grpahs/Meters/Controls:
Add PhasorMeter

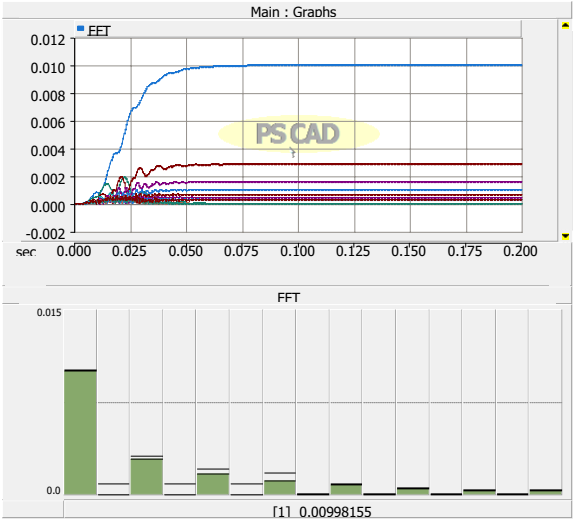


Circuito 2D: Nosso primeiro circuito monofásico

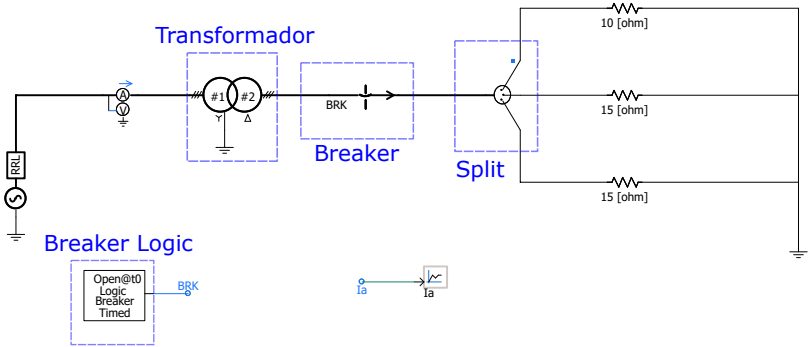


Circuito 2D: FFT



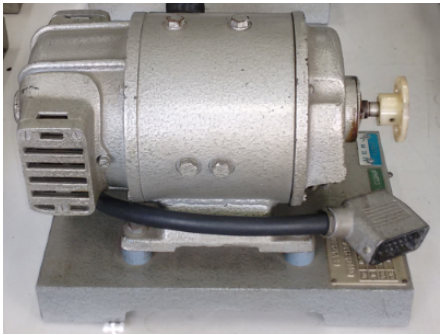


Circuito 2E: Transformadores e etc

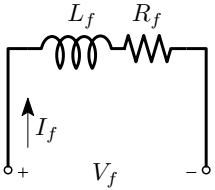


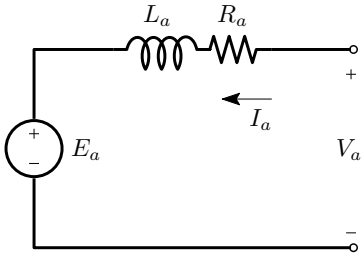
Circuito 2F: Máquinas CC

Máquina



Modelo Matemático[1]

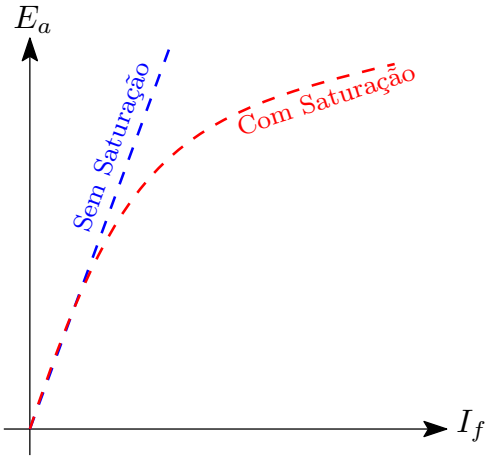




[1] Stephen J. Chapman, Fundamentos das Máquinas Elétricas. 5ed. Capítulos 7 e 8.

Circuito 2F: Mais Sobre o Modelo da Máquina

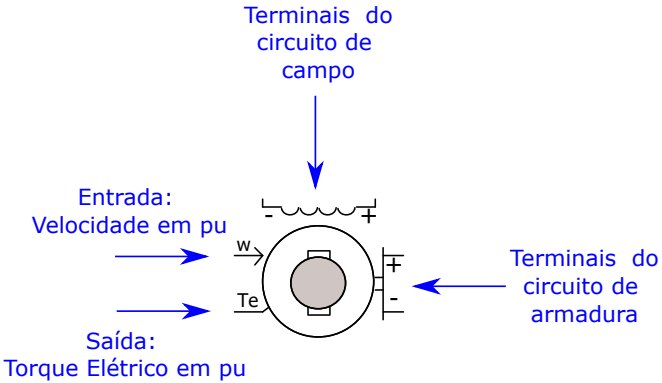
Movimento
+
Fluxo Magnético
↓
Tensão Induzida



Corrente
+
Fluxo Magnético
↓
Torque

Circuito 2F: Máquinas CC no PSCAD

- Representa apenas as equações elétricas
- A dinâmica mecânica é deixada de lado



Circuito 2F: Modelando a Dinâmica Mecânica

Lei de Newton dos sistemas rotacionais:

$$J\frac{d\omega_m}{dt} = T_e - T_m$$

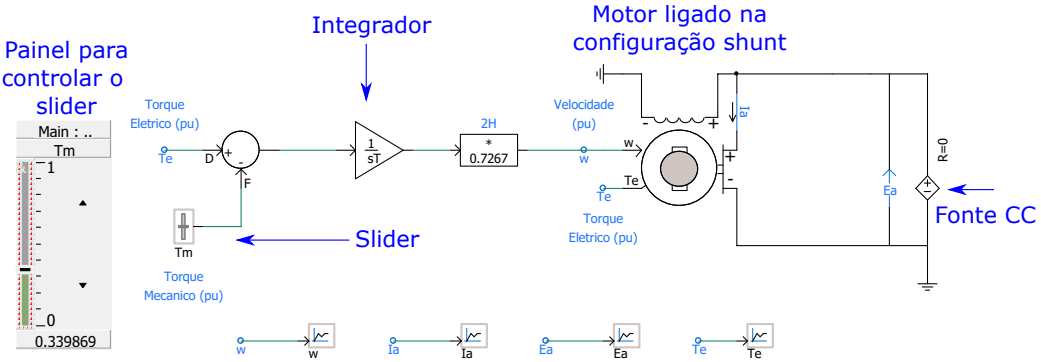
Convertendo para pu:

$$2H\frac{d\omega_{m,pu}}{dt} = T_{e,pu} - T_{m,pu}$$

$$H = \frac{J}{2}\frac{\omega_{nominal}}{P_{nominal}}$$

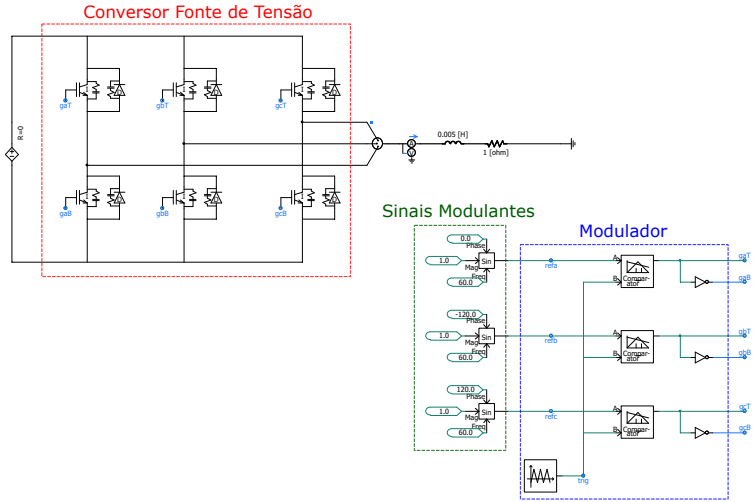
- T_e - Torque eletromagnético (calculado pelo modelo da máquina)
- T_m - Torque mecânico
- ω_m - Velocidade mecânica

Circuito 2F: Circuito

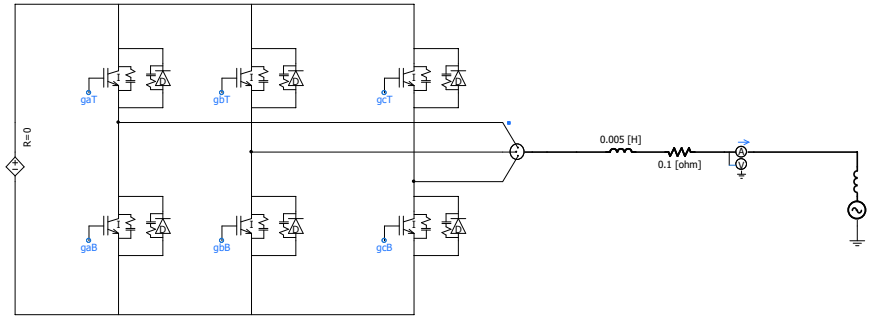


Mais Simulações

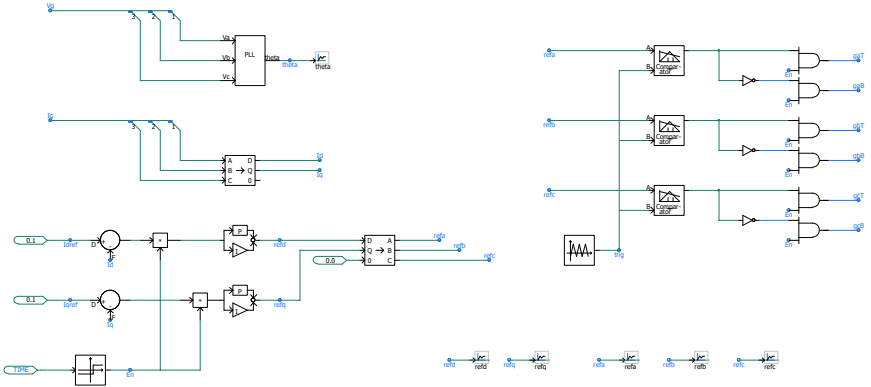
Circuito A: Inversor *Stand alone*



Circuito B: Inversor Conectado a Rede



Circuito B: Inversor Conectado a Rede - Controle

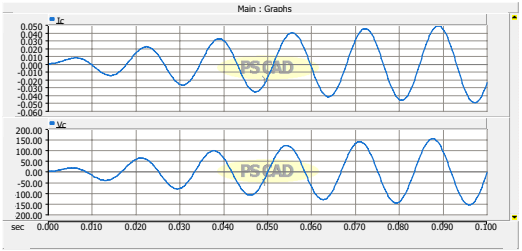


Exportando Dados

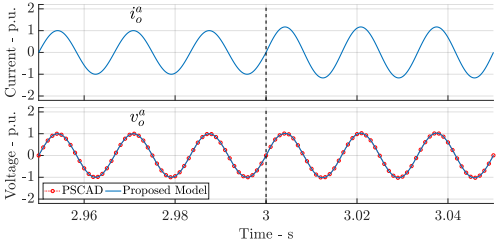
Porque Exportar Dados?

Motivo 1: Para produzir gráficos com melhor qualidade

PSCAD



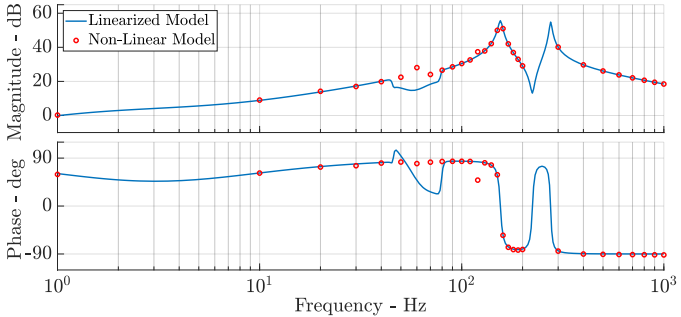
MATLAB/OCTAVE/matplotlib/etc



Porque Exportar Dados?

Motivo 2: Para produzir gráficos de variáveis/funções indiretamente obtidas

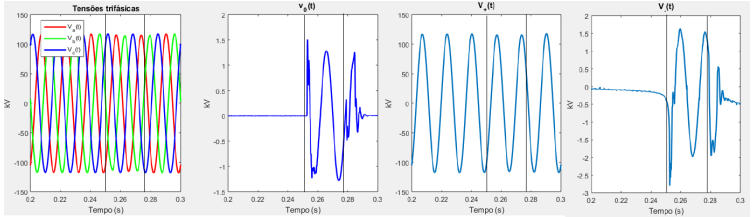
Diagrama de bode



Porque Exportar Dados?

Motivo 3: Para Processar Dados

Ex: Extração de componentes simétricas no domínio do tempo[2]

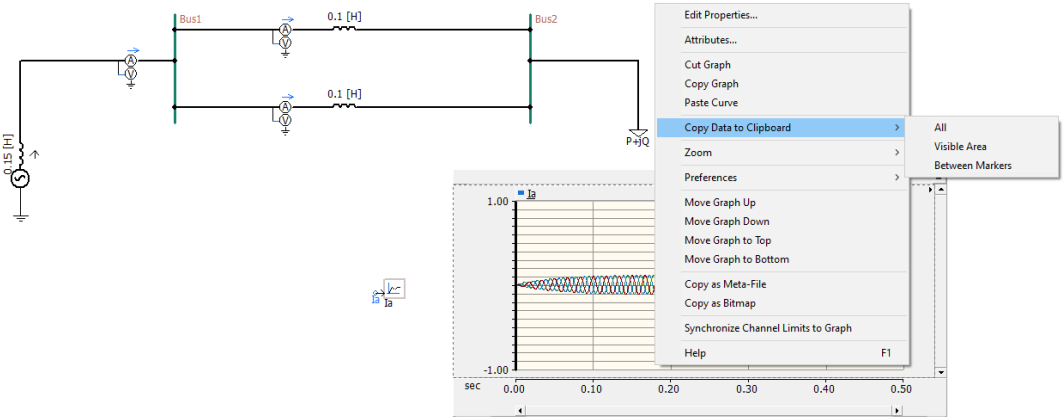


$$v_2(\omega t) = \frac{1}{3}\begin{pmatrix}1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2}\end{pmatrix}\begin{pmatrix} g_\omega(t)v_a(\omega t) \\ g_\omega(t)v_b(\omega t) \\ g_\omega(t)v_c(\omega t)\end{pmatrix} + \frac{1}{3}\begin{pmatrix}0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2}\end{pmatrix}\begin{pmatrix} H\{g_\omega(t)v_a(\omega t)\} \\ H\{g_\omega(t)v_b(\omega t)\} \\ H\{g_\omega(t)v_c(\omega t)\}\end{pmatrix} \quad (12)$$

$$H\{s(t)\} = \frac{1}{\pi}\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{s(\tau)}{\tau - t}d\tau$$

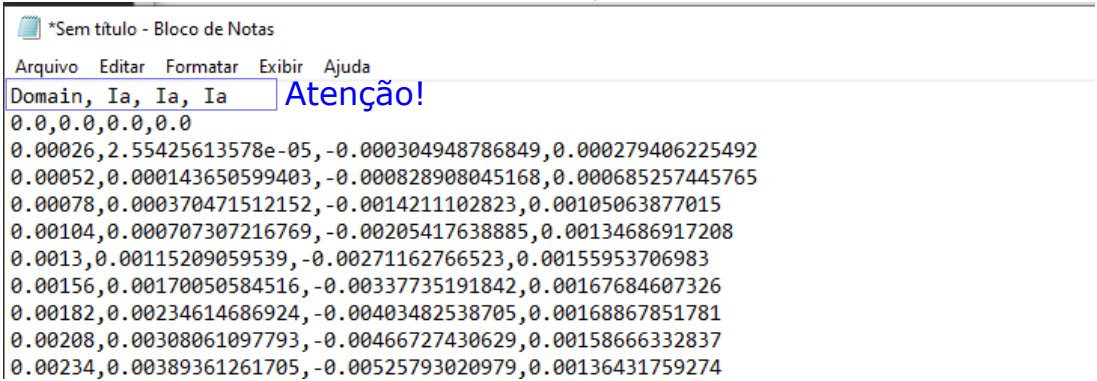
[2] Verônica Rodrigues Feijão, Estudo de Localização de Faltas de Curta Duração para uma Rede de 14 Barras. Projeto de Graduação - UERJ, 2019.

Primeira Possibilidade: Serve para Pequenas Tarefas



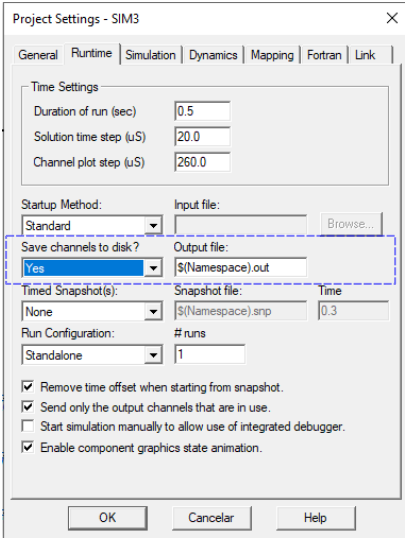
Primeira Possibilidade: Serve para Pequenas Tarefas

É só colar em um arquivo de texto:



Segunda Possibilidade: Útil para Grandes Tarefas

- Podemos configurar a simulação para salvar os dados dos ıoutput chanels
- Basta configurar a opção *save to disk*
- É gerado um arquivo com extensão *.map* contendo informações
- São gerados aquivos com extensão *.out* contendo os dados



Segunda Possibilidade: Útil para Grandes Tarefas

- Os arquivos *.out* e *.map* são dispostos na pasta de arquivos compilados da simulação

- Cada arquivo *.out* têm até 10 sinais, um por coluna

- A primeira coluna de todos os arquivos *.out* contém o vetor de domínio (Tempo ou Frequência)

Segunda Possibilidade: Útil para Grandes Tarefas

SIM3.map - Bloco de Notas

Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda

```
  0   0

MAP: "Main.dta" !
  1   9     1   2   3   4   5   6   7   8   9 /
  0   0


!-------------------------------------------------------------------------
! Recorder Channel Information
!-------------------------------------------------------------------------
PGBList:
PGB(1)          Output  Desc="Ia:1"  Group="Main"  Max=2.0  Min=-2.0  Units=""
PGB(2)          Output  Desc="Ia:2"  Group="Main"  Max=2.0  Min=-2.0  Units=""
PGB(3)          Output  Desc="Ia:3"  Group="Main"  Max=2.0  Min=-2.0  Units=""
PGB(4)          Output  Desc="Ib:1"  Group="Main"  Max=2.0  Min=-2.0  Units=""
PGB(5)          Output  Desc="Ib:2"  Group="Main"  Max=2.0  Min=-2.0  Units=""
PGB(6)          Output  Desc="Ib:3"  Group="Main"  Max=2.0  Min=-2.0  Units=""
PGB(7)          Output  Desc="Ic:1"  Group="Main"  Max=0.010  Min=-0.010  Units=""
PGB(8)          Output  Desc="Ic:2"  Group="Main"  Max=0.010  Min=-0.010  Units=""
PGB(9)          Output  Desc="Ic:3"  Group="Main"  Max=0.010  Min=-0.010  Units=""
PGB(10)         Output  Desc="Va:1"  Group="Main"  Max=2.0  Min=-2.0  Units=""
PGB(11)         Output  Desc="Va:2"  Group="Main"  Max=2.0  Min=-2.0  Units=""
PGB(12)         Output  Desc="Va:3"  Group="Main"  Max=2.0  Min=-2.0  Units=""
PGB(13)         Output  Desc="Vb:1"  Group="Main"  Max=2.0  Min=-2.0  Units=""
PGB(14)         Output  Desc="Vb:2"  Group="Main"  Max=2.0  Min=-2.0  Units=""
PGB(15)         Output  Desc="Vb:3"  Group="Main"  Max=2.0  Min=-2.0  Units=""
PGB(16)         Output  Desc="Vc:1"  Group="Main"  Max=2.0  Min=-2.0  Units=""
PGB(17)         Output  Desc="Vc:2"  Group="Main"  Max=2.0  Min=-2.0  Units=""
PGB(18)         Output  Desc="Vc:3"  Group="Main"  Max=2.0  Min=-2.0  Units=""
PGB(19)         Output  Desc="Pa"  Group="Main"  Max=2.0  Min=-2.0  Units=""
PGB(20)         Output  Desc="Pb"  Group="Main"  Max=2.0  Min=-2.0  Units=""
PGB(21)         Output  Desc="Pc"  Group="Main"  Max=2.0  Min=-2.0  Units=""
PGB(22)         Output  Desc="Qa"  Group="Main"  Max=2.0  Min=-2.0  Units=""
PGB(23)         Output  Desc="Qb"  Group="Main"  Max=2.0  Min=-2.0  Units=""
PGB(24)         Output  Desc="Qc"  Group="Main"  Max=2.0  Min=-2.0  Units=""
```

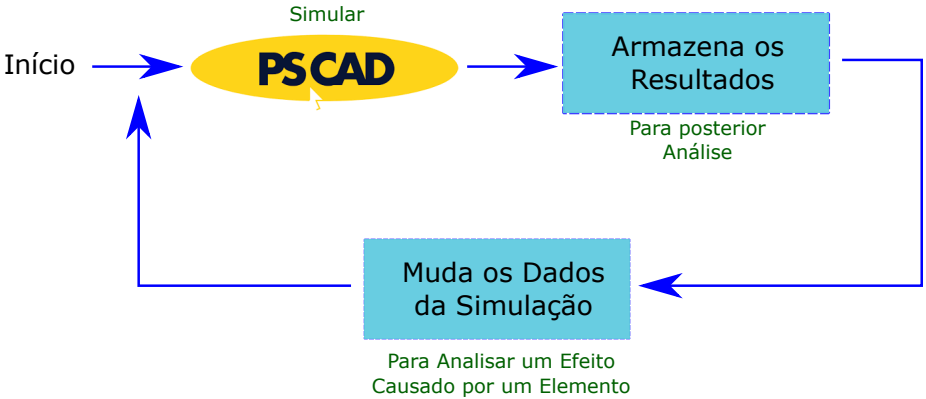
SIM3_01.out - Bloco de Notas

Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda

0.0000000000000	0.0000000000000	0.0000000000000	0.000
0.2600000000000E-03	0.2554256135775 3E-04	-0.3049487868492 9E-03	0.2794
0.5200000000000E-03	0.1436505994025 4E-03	-0.8289808451677 9E-03	0.6852
0.7800000000000E-03	0.3704751215170E-03	-0.1421110282300 5E-02	0.1050
0.1040000000000E-02	0.7073072167694 5E-03	-0.2054176388852 5E-02	0.1346
0.1300000000000E-02	0.1152090595393 1E-02	-0.2711627665226 5E-02	0.1559
0.1560000000000E-02	0.1700505845157 5E-02	-0.3377351918416 6E-02	0.1676
0.1820000000000E-02	0.2346146869239 8E-02	-0.4034825387047 3E-02	0.1688
0.2080000000000E-02	0.3080610977925 1E-02	-0.4667274306292 0E-02	0.1586
0.2340000000000E-02	0.3893612617046 8E-02	-0.5257930209787 1E-02	0.1364
0.2600000000000E-02	0.4773128361279 E-02	-0.5790294887502 6E-02	0.1017
0.2860000000000E-02	0.5705540355816 E-02	-0.6248403733480 4E-02	0.5428
0.3120000000000E-02	0.6675871694284 6E-02	-0.6617083210918 5E-02	-0.5878
0.3380000000000E-02	0.7667951209582 8E-02	-0.6882198903183 9E-02	-0.7857
0.3640000000000E-02	0.8664666610466 65E-02	-0.7038908011256 E-02	-0.1633
0.3900000000000E-02	0.9648201620959 5E-02	-0.7051792642335 1E-02	-0.2596
0.4160000000000E-02	0.1060029791317 9E-01	-0.6935232316821 6E-02	-0.3665
0.4420000000000E-02	0.1150251570387 4E-01	-0.6673410588481 0E-02	-0.4829
0.4680000000000E-02	0.1233650733435 53E-01	-0.6260555650374 7E-02	-0.6075
0.4940000000000E-02	0.1308428967137 5E-01	-0.5693051331005 8E-02	-0.7391
0.5200000000000E-02	0.1372851529467 4E-01	-0.4969537094035 E-02	-0.8758
0.5460000000000E-02	0.1425273839971 2E-01	-0.4090978330017 6E-02	-0.1016
0.5720000000000E-02	0.1464167190294 4E-01	-0.3060705782509 3E-02	-0.1158
0.5980000000000E-02	0.1488143233258 4E-01	-0.1884233821527 E-02	-0.1299
0.6240000000000E-02	0.1495976922542 0E-01	-0.5701840941696 1E-03	-0.1438
0.6500000000000E-02	0.1486627592788 3E-01	0.8716661687189 6E-03	-0.1573
0.6760000000000E-02	0.1459257891539 0E-01	0.2428576141658 3E-02	-0.1702
0.7020000000000E-02	0.1413250299529 2E-01	0.4085907483573 4E-02	-0.1821
0.7280000000000E-02	0.1348221004281 7E-01	0.5827082521017 9E-02	-0.1930
0.7540000000000E-02	0.1264030923271 5E-01	0.7633759874926 3E-02	-0.2027
0.7800000000000E-02	0.1160793706838 2E-01	0.9486036305526 E-02	-0.2109
0.8060000000000E-02	0.1038880587106 0E-01	0.1136267057815 2E-01	-0.2175
0.8320000000000E-02	0.8989219770050 12E-02	0.1324133254513 9E-01	-0.2223
0.8580000000000E-02	0.7418057626435 1E-02	0.1509886496322 0E-01	-0.2251
0.8840000000000E-02	0.5696723272385 43E-02	0.1691456456065 8E-01	-0.2259

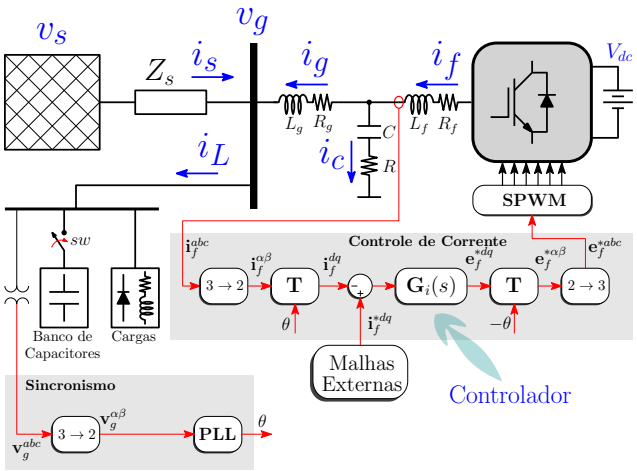
Automação de Simulações

O que significa automatizar simulações?



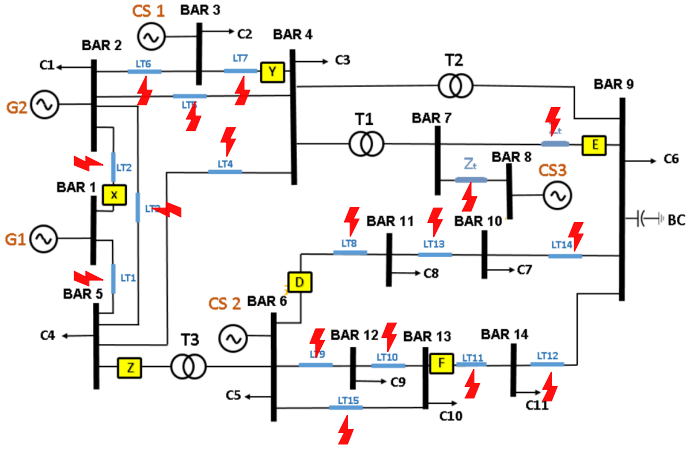
Por que automatizar simulações?

Motivo 1: Ajustar sistemas de controle



Por que automatizar simulações?

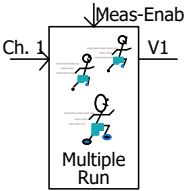
Motivo 2: Avaliar efeitos de eventos em diferentes pontos em um sistema grande[3]



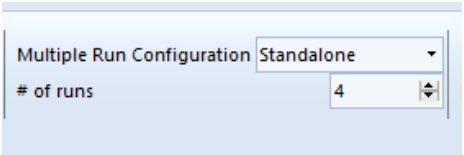
[3] Verônica Rodrigues Feijão, Estudo de Localização de Faltas de Curta Duração para uma Rede de 14 Barras. Projeto de Graduação - UERJ, 2019.

Como fazer?

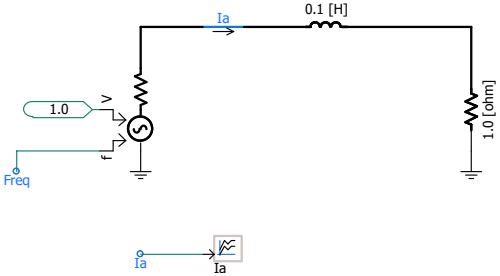
- Inserir/Configurar o bloco *Multiple run* localizado no grupo de *I/O Devices* na biblioteca Master.

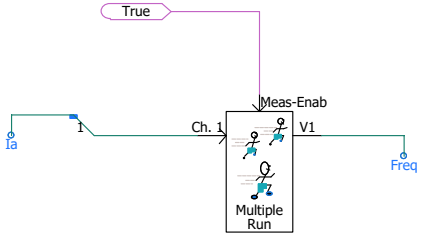


- Configurar o projeto para *Multiple run*.



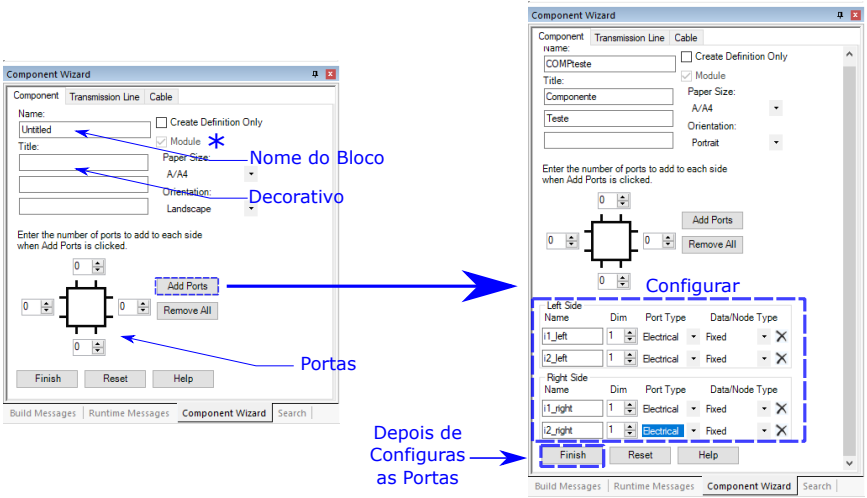
Circuito Exemplo



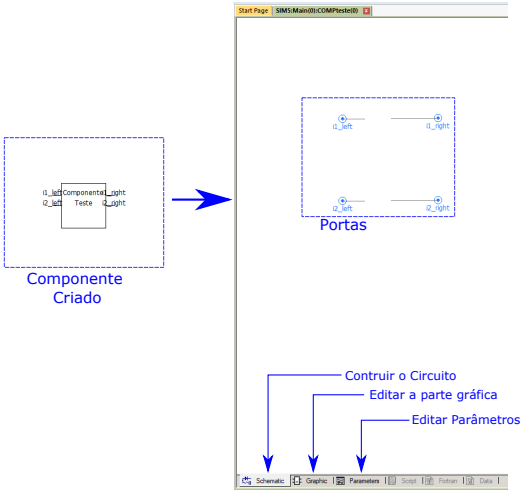


Criação de Componentes e Bibliotecas

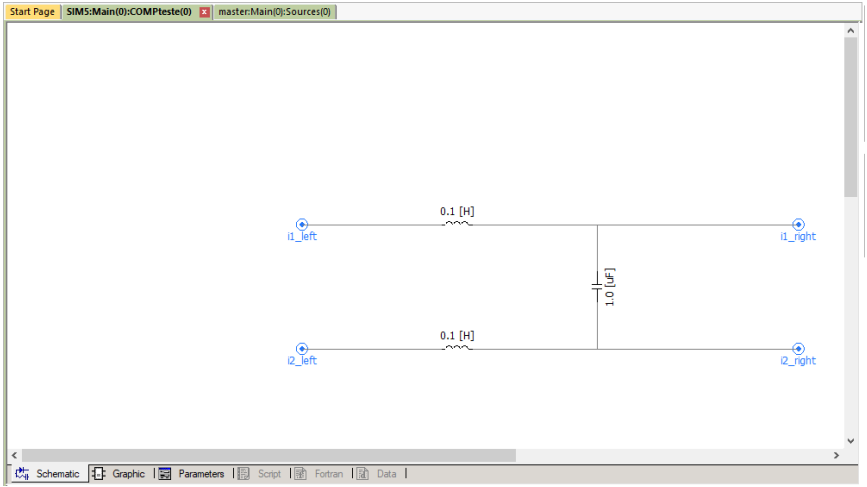
Encapsulando Circuitos: *Component Wizard*



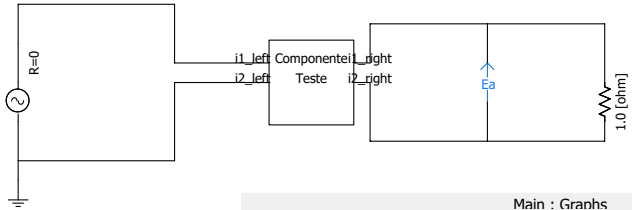
Encapsulando Circuitos: Resultado

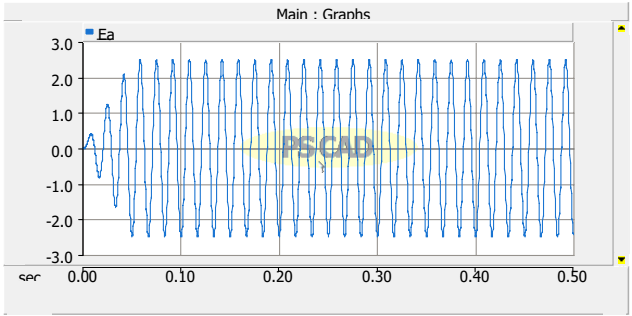


Encapsulando Circuitos: Montando o Esquemático

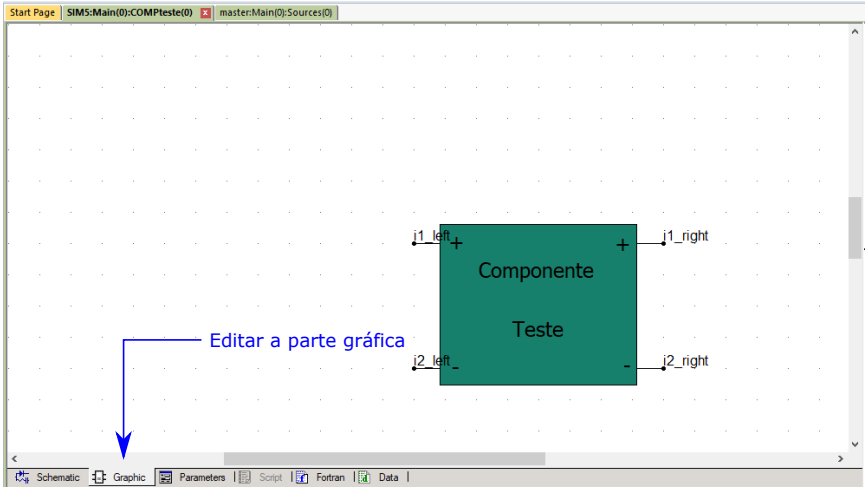


Encapsulando Circuitos: Testando

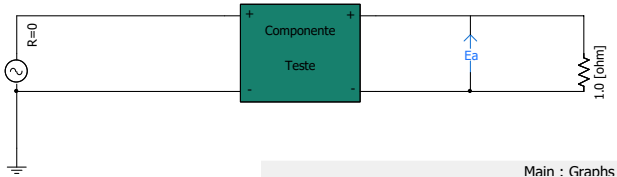


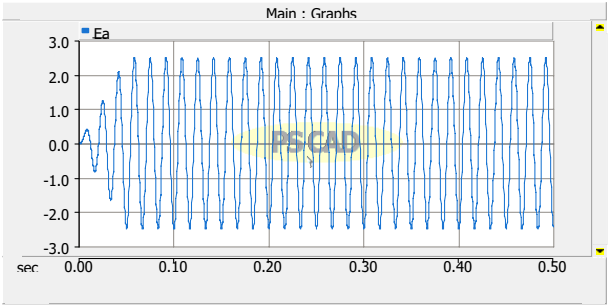


Encapsulando Circuitos: *Decorando o Bloco*



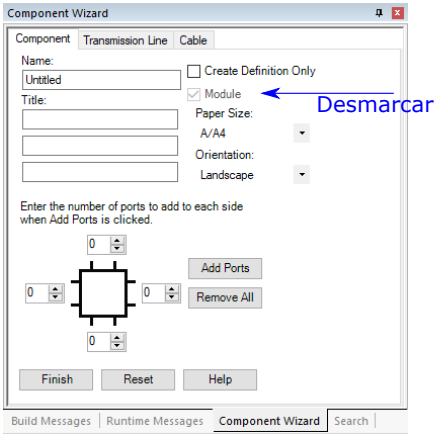
Encapsulando Circuitos: Testando, de novo





Programando componentes com FORTRAN

- Criar um bloco seguindo os passos anteriores
- Demarcar a opção *Module*
- Programar o bloco na aba script



Programando componentes com FORTRAN: Componente A

Componente que soma uma constante K a todos os elementos de um vetor. Ou seja:

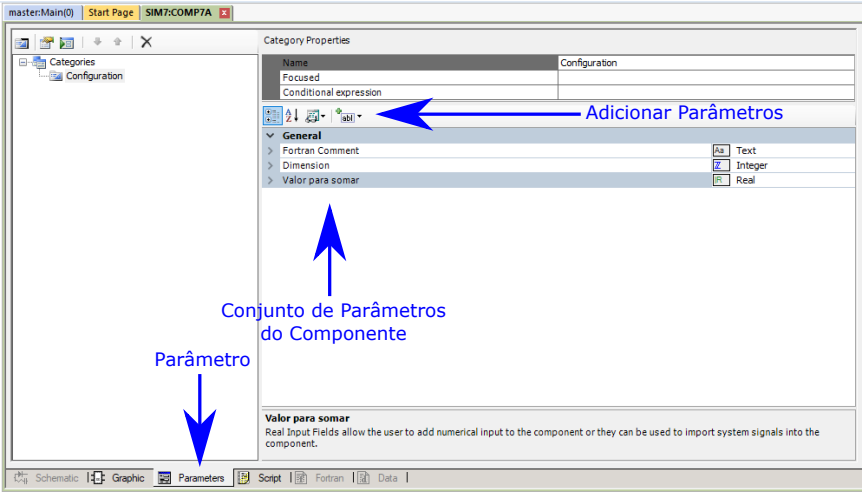
$$\mathbf{y}[n] = \mathbf{x}[n] + K$$

$\mathbf{y}$ - Vetor com N posições (saída do bloco)

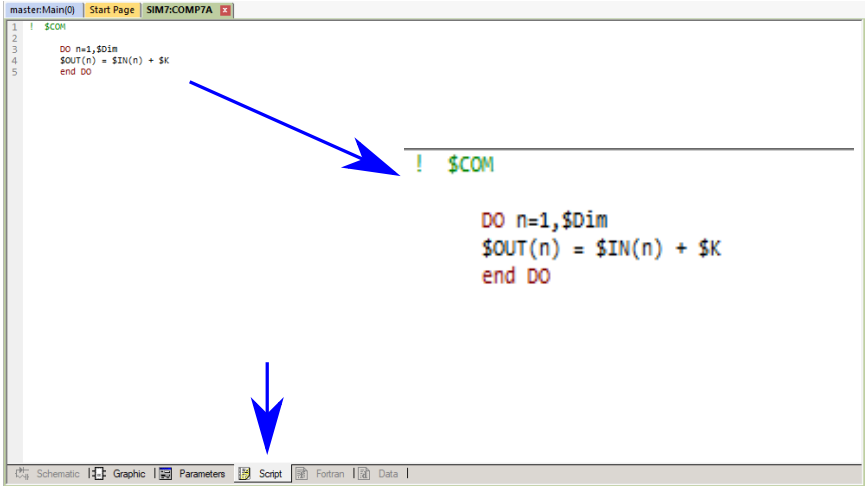
$\mathbf{x}$ - Vetor com N posições (entrada do bloco)

K - Constante

Programando componentes com FORTRAN: Componente A



Programando componentes com FORTRAN: Componente A



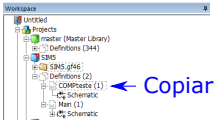
Programando componentes com FORTRAN: Componente B

master:Main(0):CSMF(0) | Start Page | S

```
1  !  $COM
2
3
4  IF ($IN > $Teste) THEN
5  $OUT = 5.23
6  ELSE
7  $OUT = -2.1
8  END IF
```

Guardando componentes em uma Biblioteca

- Crie uma biblioteca
- No workspace, Copie a definição do componente do seu projeto
- Cole na seção de definições da biblioteca



Obrigado pela Atenção!

Cleiton Magalhães Freitas
✉ cleiton.freitas@uerj.br