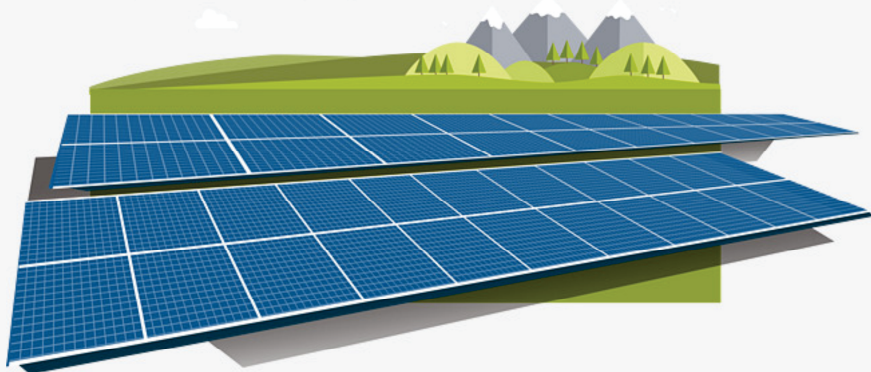




Sistemas Elétricos de Potência

Aula 01-P3 – Representação de Equipamentos em Valores por unidade (pu)

Prof. Heverton Augusto Pereira
heverton.pereira@ufv.br



Valor por Unidade

- Como trabalhar em um sistema com diferentes níveis de tensão?
- Teríamos que referir as corrente do primário para o secundário
- Para sistemas grandes, é quase impossível fazer cálculos

$$\text{Valor } pu = \frac{\text{Valor real da grandeza}}{\text{Valor de base}}$$

Vantagens do Valor por Unidade

- Para transformadores a potência em pu é a mesma independente se é do lado de alta ou de baixa
- Também independe da conexão do transformador
- O fabricante fornece o valor da impedância do equipamento em pu, considerando os dados nominais do equipamento (potência e tensão)

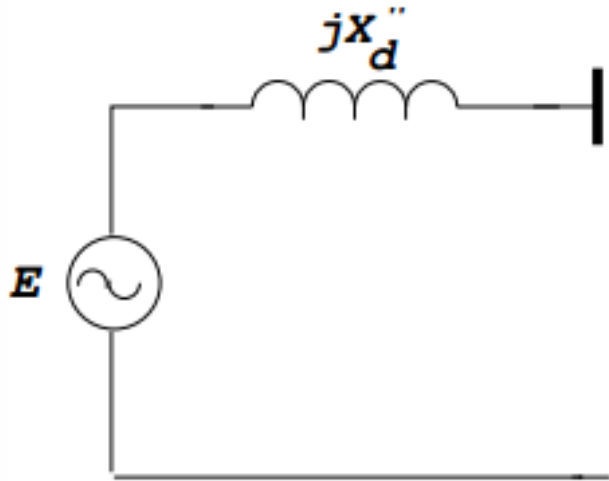
Valores Base – Sistemas Trifásicos

- S_B = potência base, em MVA
- V_B = tensão de base, em kV
- I_B = corrente de base, em A
- Z_B = impedância de base, em Ω

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3}V_B} \quad Z_B = \frac{V_B^2}{S_B}$$

$$z_{pu} = \frac{Z_\Omega}{Z_B} = \left(\frac{S_B}{V_B^2}\right)Z_\Omega$$

Impedância de Máquinas Síncronas



- 12% nos turbogeradores
- 18% nas máquinas de polos salientes

Impedância de Máquinas Síncronas

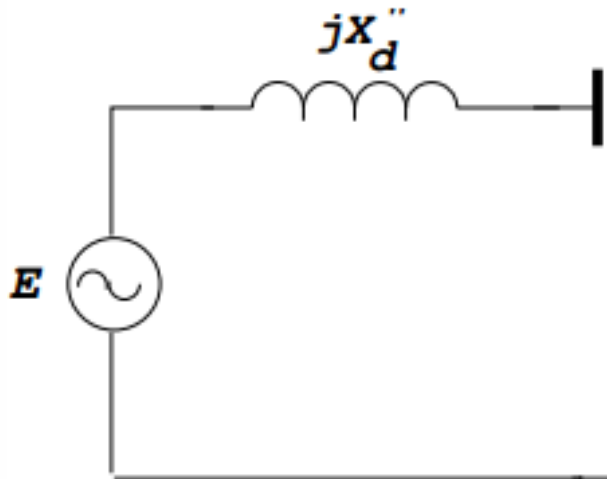
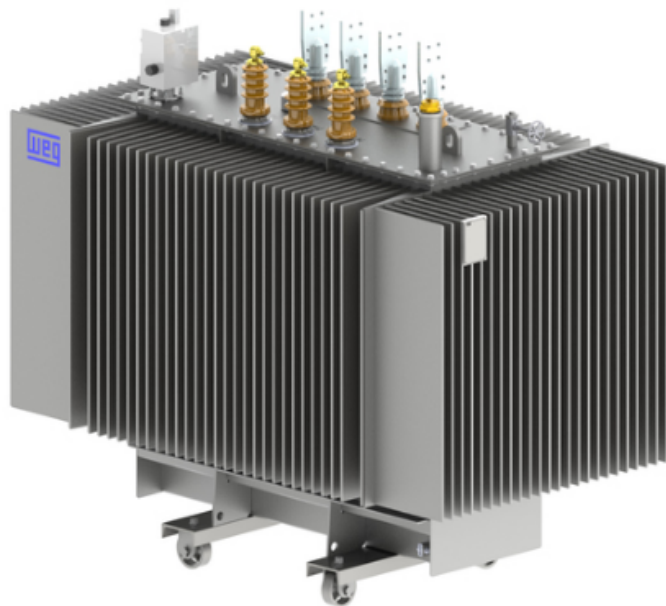


Tabela 8 - Valores típicos de reatâncias de máquinas síncronas.

Máquina Síncrona	Número de Polos	Reatância	Reatância
		subtransitória X''_d	transitória X'_d
		[p.u.]	[p.u.]
Gerador de Turbinas	2	0,09	0,15
	4	0,15	0,23
Gerador de polos salientes com enrolamentos de amortecimento	12 polos ou menos	0,16	0,33
	14 polos ou menos	0,21	0,33

Fonte: IEEE Std 141 (1993).

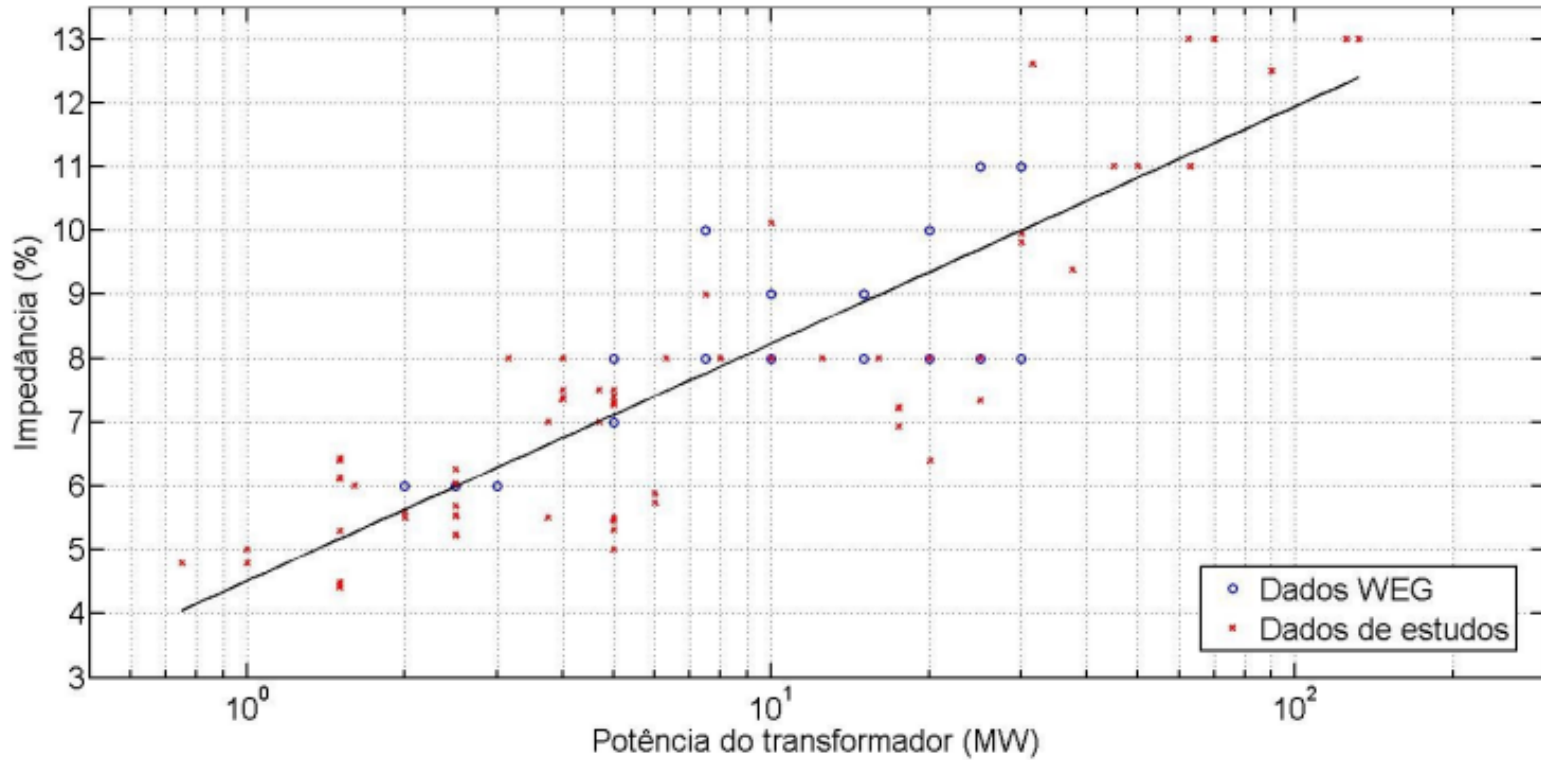
Exemplo de Dados do Transformador



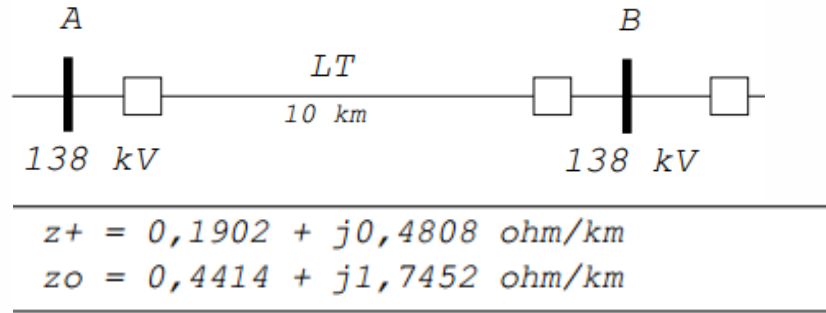
Resumo das características técnicas

Potência	750 kVA	Norma	NBR 5356
Tensão nominal AT	13.8 kV	Frequência	60.0 Hz
Tensão nominal BT	0.38 kV	Grupo ligação WT	Dyn1
Forma construtiva	Tanque corrugado	Fase	Trifásico
Impedância	5.0 %		

Exemplo de Dados do Transformador



Impedância da Linha de Transmissão



$$Z_B = \frac{V_B^2}{S_B} = \frac{(138 \times 10^3)^2}{100 \times 10^6} = 190,44 \Omega$$

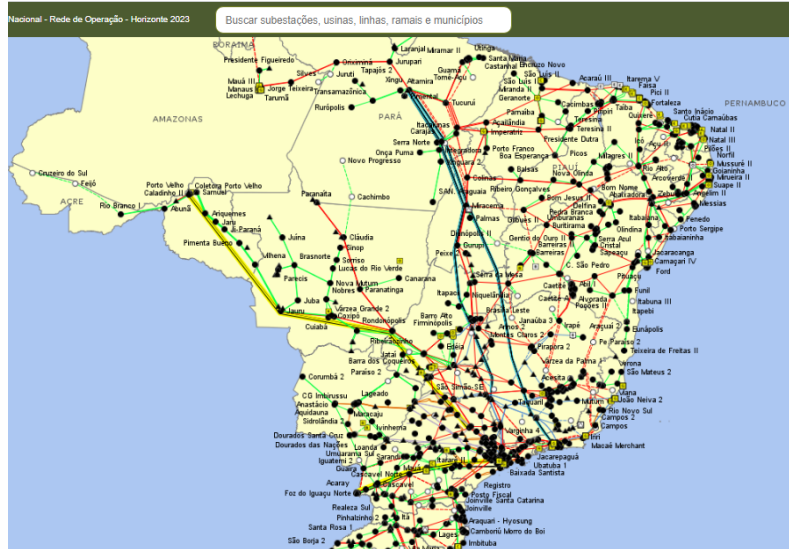
$$z_+ = \frac{0,1902 + j0,4808}{190,44} \times 10 \text{ km} = (1,00 + j2,52)\%$$

$$z_0 = \frac{0,4414 + j1,7452}{190,44} \times 10 \text{ km} = (2,32 + j9,16)\%$$

Impedância de Cabos

Seção nominal (mm ²)	3,6/6 kV		6/10 kV		8,7/15 kV	
	R _{CA} (Ω/km)	X _L (Ω/km)	R _{CA} (Ω/km)	X _L (Ω/km)	R _{CA} (Ω/km)	X _L (Ω/km)
16	1,47	0,171	0,147	0,174	-	-
25	0,928	0,159	0,928	0,162	0,928	0,17
35	0,67	0,151	0,67	0,154	0,67	0,162
50	0,495	0,144	0,495	0,147	0,495	0,155
70	0,343	0,136	0,343	0,139	0,343	0,145
95	0,248	0,129	0,248	0,132	0,248	0,138
120	0,197	0,125	0,197	0,128	0,198	0,134
150	0,161	0,121	0,161	0,124	0,161	0,13
185	0,13	0,118	0,13	0,12	0,13	0,126
240	0,1	0,113	0,1	0,115	0,1	0,12
300	0,082	0,11	0,082	0,112	0,082	0,117
400	0,066	0,107	0,067	0,109	0,066	0,113
500	0,054	0,105	0,055	0,106	0,054	0,11

Equivalente da rede



Curto-circuito trifásico = 4.808 MVA -80°
 Curto-circuito monofásico = 4.109 MVA -80°

$$z_{\%}^{+}(s) = \frac{S_B}{S_{cc}^{3f}} 100\%$$

$$z_{\%}^{0}(s) = \left(\frac{3S_B}{S_{cc}^{1f}} - \frac{2S_B}{S_{cc}^{3f}} \right) 100\%$$

$$z_{\%}^{+}(s) = \frac{100,0}{4808,04 - 80^\circ} 100\% = 2,08\% \angle 80^\circ$$

$$z_{\%}^{0}(s) = \left(\frac{300,0}{4109,04 - 80^\circ} - \frac{200,0}{4808,04 - 80^\circ} \right) 100\% = 3,14\% \angle 80^\circ$$



www.gesep.ufv.br



Gesep



gesep_vicosa



Gesep UFV



ES
EStimate - Sistemas
Fotovoltaicos



<https://play.google.com/store/apps/details?id=br.developer.gesep.estimate>



Obrigado!

Heverton Augusto Pereira

Prof. Departamento de Engenharia Elétrica | UFV

Coordenador da Gerência de Especialistas em Sistemas Elétricos de Potência | Gesep

Membro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica | PPGEL/CEFET-MG

E-mail: heverton.pereira@ufv.br