

## Componentes do SEP – Modelagem Estática

Componentes Internos: LTs, transformadores, reatores e capacitores

Componentes Externos: Geradores e cargas

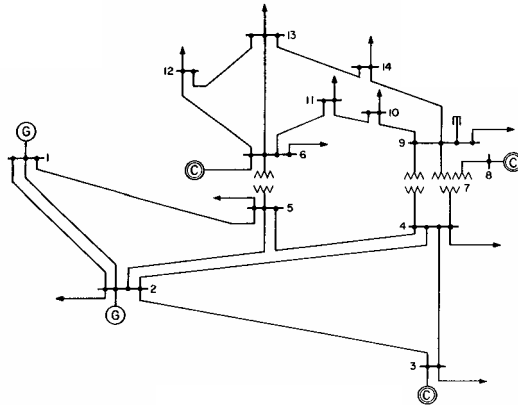
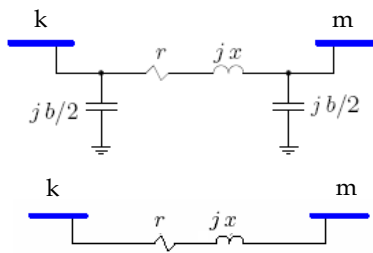


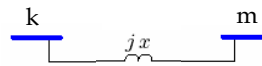
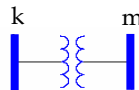
Diagrama Unifilar – Sistema de 14 barras

### Componentes Internos – Elementos Série

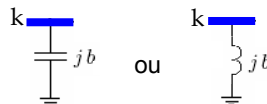
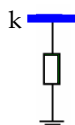
Linhas de Transmissão



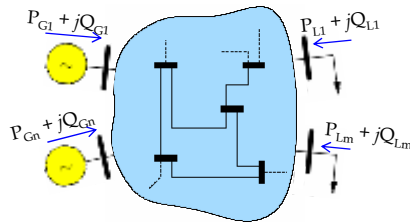
Transformadores



### Componentes Internos – Elementos Shunt



## Componentes Externos: modelados como injeção de potência



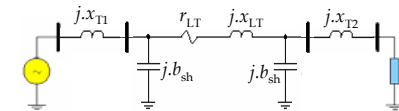
$P < 0 \rightarrow$  carga

$P > 0 \rightarrow$  gerador

$P = 0$  e  $Q \neq 0 \rightarrow$  comp. sincr.



Diagrama Unifilar



Circuito equivalente  
(representação estática)

## Sistema por unidade (pu)

Idéia básica: normalizar as grandezas fundamentais -  $V$ ,  $I$ ,  $Z$  e  $S$ .

$$\text{grandezas em pu} = \frac{\text{grandezas na unidade apropriada}}{\text{valor de base}}$$

Consequências :

-Todas as grandezas passam a ter a mesma unidade

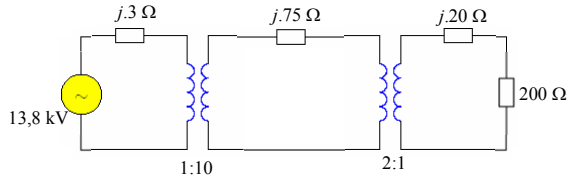
- A tensão de operação do sistema fica sempre próximo da unidade, assim, tensões muito acima ou abaixo de 1pu representam condições anormais de operação.

Aplicação:

Usualmente define-se a potência e a tensão base para cada trecho e a partir delas define-se as bases para as outras duas grandezas  $Z$  e  $I$ :

$$I_{BASE} = \frac{S_{BASE}}{V_{BASE}} \quad Z_{BASE} = \frac{V_{BASE}^2}{S_{BASE}}$$

## Exemplo

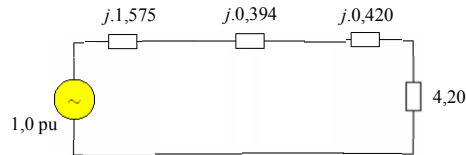


Considerando  $S_B = 100 \text{ MVA}$  e tensões nominais dos transformadores como base de tensão, obtêm-se as impedâncias base de cada trecho:

$$Z_{BASE}^G = \frac{(13,8 \text{ kV})^2}{100 \text{ MVA}} = 1,9 \Omega$$

$$Z_{BASE}^{LT} = \frac{(138 \text{ kV})^2}{100 \text{ MVA}} = 190 \Omega$$

$$Z_{BASE}^L = \frac{(69 \text{ kV})^2}{100 \text{ MVA}} = 47,6 \Omega$$



Resolvendo:

$$I = \frac{1,0}{4,20 + j.2,389} = 0,207 \angle -29,6^\circ \text{ pu}$$

$$V_L = I \cdot Z_L = (0,207 \angle -29,6^\circ) \cdot 4,20 = 0,869 \angle -29,6^\circ \text{ pu}$$

$$S_L = V_L \cdot I^* = \frac{|V_L|^2}{Z} = 0,180 \text{ pu}$$

$$S_G = V_G \cdot I^* = 0,207 \angle 29,6^\circ \text{ pu}$$

Para converter para os valores reais:

$$V_L^{real} = (0,869 \angle -29,6^\circ) \cdot 69 \text{ kV} = 59,96 \angle -29,6^\circ \text{ kV}$$

$$I_{LT}^{real} = I^{pu} \cdot I_{BASE}^{LT} = (0,207 \angle -29,6^\circ) \cdot \frac{100 \text{ MVA}}{138 \text{ kV}} = 150 \angle -29,6^\circ \text{ A}$$

$$I_G^{real} = I^{pu} \cdot I_{BASE}^G = (0,207 \angle -29,6^\circ) \cdot \frac{100 \text{ MVA}}{13,8 \text{ kV}} = 1500 \angle -29,6^\circ \text{ A}$$

## POTÊNCIA e ENERGIA

### Brasil (dados de 2005)

Capacidade instalada de geração é cerca de 100 GW ( cerca de 550 W per capita)

Itaipu: 12600MW (Tres Gargantas: 9800MW -> 22400MW)

Consumo anual de energia é de cerca de 400 milhões de MWh (aproximadamente 2200 kWh per capita, que significa que em média de um de nós usa 250 W continuamente)

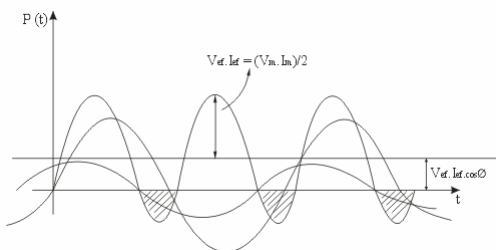
Itaipu: 93,4 bilhoes kWh (2000) (Três Gargantas: 49 bilhoes kWh)

EUA: 775 GW (2,9 kW pp) e 3600 bilhoes kWh (1500W pp)

### POTÊNCIA (kW): Consumo Instantâneo de ENERGIA (kWh)

$$P = dE/dt \iff E = \int p(t).dt$$

### Potência Instantânea: $p(t) = v(t).i(t)$



Sendo

$$v(t) = V \cdot \text{sen}(\omega t) = \frac{V_{ef}}{\sqrt{2}} \text{sen}(\omega t)$$

$$i(t) = I \cdot \text{sen}(\omega t + \phi) = \frac{I_{ef}}{\sqrt{2}} \text{sen}(\omega t + \phi)$$

( $\cos \phi = \text{fator de potencia}$ )

$$p(t) = v(t).i(t) = V \cdot I \cdot \text{sen}(\omega t) [\text{sen}(\omega t) \cos \phi + \cos(\omega t) \text{sen} \phi]$$

$$p(t) = V_{ef} \cdot I_{ef} \cos \phi [1 - \cos(2\omega t)] - V_{ef} \cdot I_{ef} \text{sen} \phi \cdot \text{sen}(2\omega t)$$

$$p(t) = \underbrace{P \cdot [1 - \cos(2\omega t)]}_{P_R(t)} - \underbrace{Q \cdot \text{sen}(2\omega t)}_{P_X(t)}$$

$p_R(t)$  é a potência ativa instantânea

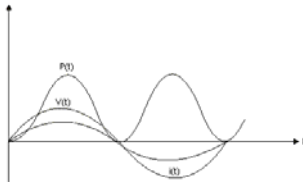
$$P = V_{ef} I_{ef} \cos \phi \text{ é o valor médio de } p(t) \text{ (e de } p_R(t))$$

$P$  só existe quando há elementos resistivos no circuito ( $\phi \neq \pm 90^\circ$ )

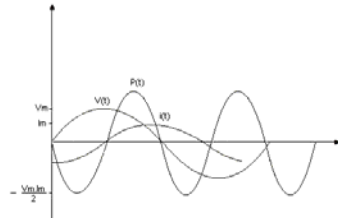
$p_X(t)$  é a potência reativa instantânea

$$Q = V_{ef} I_{ef} \sin \phi \text{ é o valor de pico de } p_X(t)$$

$Q$  só existe quando há elementos reativos no circuito ( $\phi \neq 0$ )



Carga puramente resistiva



Carga puramente indutiva

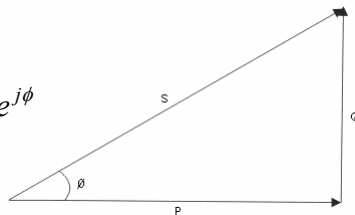
## Potência Complexa

$$S = P + jQ$$

$$S = V_{ef} I_{ef} \cos \phi + j V_{ef} I_{ef} \sin \phi = V_{ef} I_{ef} \cdot e^{j\phi}$$

$$S = V_{ef} I_{ef} e^{j(\theta_V - \theta_I)} = V_{ef} I_{ef} \angle (\theta_V - \theta_I)$$

$$S = V_{ef} \angle \theta_V \cdot I_{ef} \angle -\theta_I$$



$$S = \vec{V} \cdot \vec{I}^*$$

$P$  - potência ativa (W)

$Q$  - potência reativa (VAr)

$|S|$  - potência aparente (VA)