LSEE

3.6 - Cálculos Sistemáticos de C.C.

- **Impossibilidade de se usar o método anterior para grandes sistemas com muitas barras → uso do computador digital.**

- **Desenvolvimento de uma técnica geral aplicável a um sistema de n barras.**

- **Programas profissionais para tal finalidade.**
  Ex: *Power Factory*, Programas do CEPEL.

3.6 - Cálculos Sistemáticos de C.C.

As tensões <u>pós-falta</u> serão dadas por:

$$\boxed{V_{bus}^{f} = V_{bus}^{o} + V_{T}}$$

$$V_{bus}^{o} = \begin{bmatrix} V_1^o \\ V_2^o \\ V_3^o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \qquad V_T = \begin{bmatrix} \Delta V_{N1} \\ \Delta V_{N2} \\ \Delta V_{N3} \end{bmatrix} \qquad \textbf{(1)}$$

LSEE

3.6 - Cálculos Sistemáticos de C.C.

- **Obtenção de V_T:**

$$V_T = [Z_{bus}].[I_f] \qquad (2)$$

Z_{bus} = Matriz de impedância, 3x3, rede anterior.

$$I_f = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -I_f \end{bmatrix} \qquad (3)$$

I_f = corrente "injetada" na barra 3.

- **Levando (2) em (1):**

$$V_{bus}^{f} = V_{bus}^{o} + Z_{bus} I_f \qquad (4)$$

3.6 - Cálculos Sistemáticos de C.C.

- **Para um sistema com n barras:**

$$
I_f = \begin{array}{cc} \begin{bmatrix} 0 \\ \bullet \\ -I_f \\ \bullet \\ 0 \end{bmatrix} & \begin{matrix} 1 \\ \bullet \\ q \\ \bullet \\ n \end{matrix} \end{array}
$$

Corrente Total na Barra "q"

Curto na barra "q"

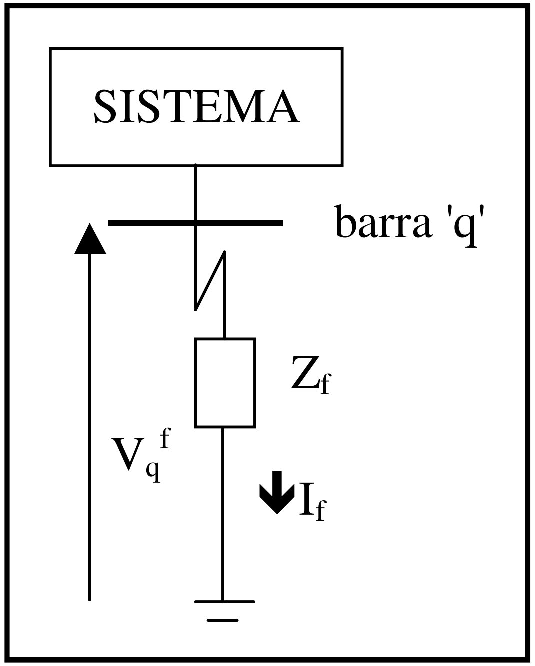
- **E (4) ficará:**

$$
\begin{bmatrix} V_1^f \\ \bullet \\ \bullet \\ \bullet \\ V_q^f \\ \bullet \\ \bullet \\ \bullet \\ V_n^f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_1^0 \\ \bullet \\ \bullet \\ \bullet \\ V_q^0 \\ \bullet \\ \bullet \\ \bullet \\ V_n^0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{11} & & Z_{n1} \\ \bullet & & \bullet \\ \bullet & & \bullet \\ \bullet & & \bullet \\ Z_{q1} & \bullet\bullet\bullet & Z_{qn} \\ \bullet & & \bullet \\ \bullet & & \bullet \\ \bullet & & \bullet \\ Z_{n1} & \bullet\bullet\bullet & Z_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \bullet \\ \bullet \\ \bullet \\ -I_f \\ \bullet \\ \bullet \\ \bullet \\ 0 \end{bmatrix}
$$

3.6 - Cálculos Sistemáticos de C.C.

- **Ou seja:**

$$\begin{array}{ccccc}
V_1^f & = & V_1^0 & - & Z_{1q}.I_f \\
\bullet & & \bullet & & \bullet \\
\bullet & & \bullet & & \bullet \\
\bullet & & \bullet & & \bullet \\
V_q^f & = & V_q^0 & - & Z_{qq}.I_f \\
\bullet & & \bullet & & \bullet \\
\bullet & & \bullet & & \bullet \\
\bullet & & \bullet & & \bullet \\
V_n^f & = & V_n^0 & - & Z_{nq}.I_f
\end{array} \qquad (5)$$



I_f é desconhecido; para CC não sólido, $V_{pós\text{-}falta}$ na barra de curto:

$$V_q^f = Z^f.I_f \qquad (6)$$

$$V_q^0 - Z_{qq}.I_f$$

3.6 - Cálculos Sistemáticos de C.C.

- **Onde:**

$$\boxed{I_f = \frac{V_q^o}{Z_f + Z_{qq}}} \qquad (7)$$

$V_q^o \approx 1{,}0$ pu

Z_f e Z_{qq} → conhecidos

Z_{qq} → imp. de Thévènin a ser retirada de Z_{bus}

3.6 - Cálculos Sistemáticos de C.C.

- **Levando (7) em (5), as tensões de pós-falta são:**

$$V_i^f = V_i^o - \frac{Z_{iq}}{Z_f + Z_{qq}} V_q^o \qquad i \neq q$$

$$V_q^f = \frac{Z_f}{Z_f + Z_{qq}} V_q^o \qquad i = q \qquad (8)$$

- **Para um CC sólido: $Z_f = 0$, $I_f = V_q^o / Z_{qq}$**

$$V_i^f = V_i^o - \frac{Z_{iq}}{Z_{qq}} V_q^o \qquad i \neq q$$

$$V_q^f = 0 \qquad i = q \qquad (9)$$

LSEE

3.6 - Cálculos Sistemáticos de C.C.

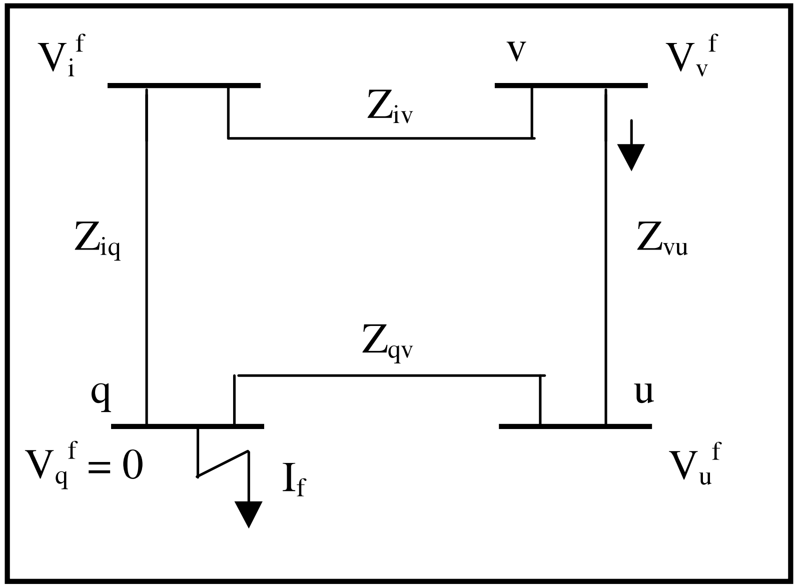
Notas importantes:

➢ V_i^o e V_q^o (tensões pré-falta) são obtidas do fluxo de carga ou tomadas como 1 pu.

➢ "Z_{iq}" e "Z_{qq}" são retirados de Z_{bus}.
Z_{bus} é o inverso de Y_{bus} → matriz admitância de barra

➢ Para conhecermos os valores das correntes de pós-falta em todos os ramos da rede, considere:

3.6 - Cálculos Sistemáticos de C.C.

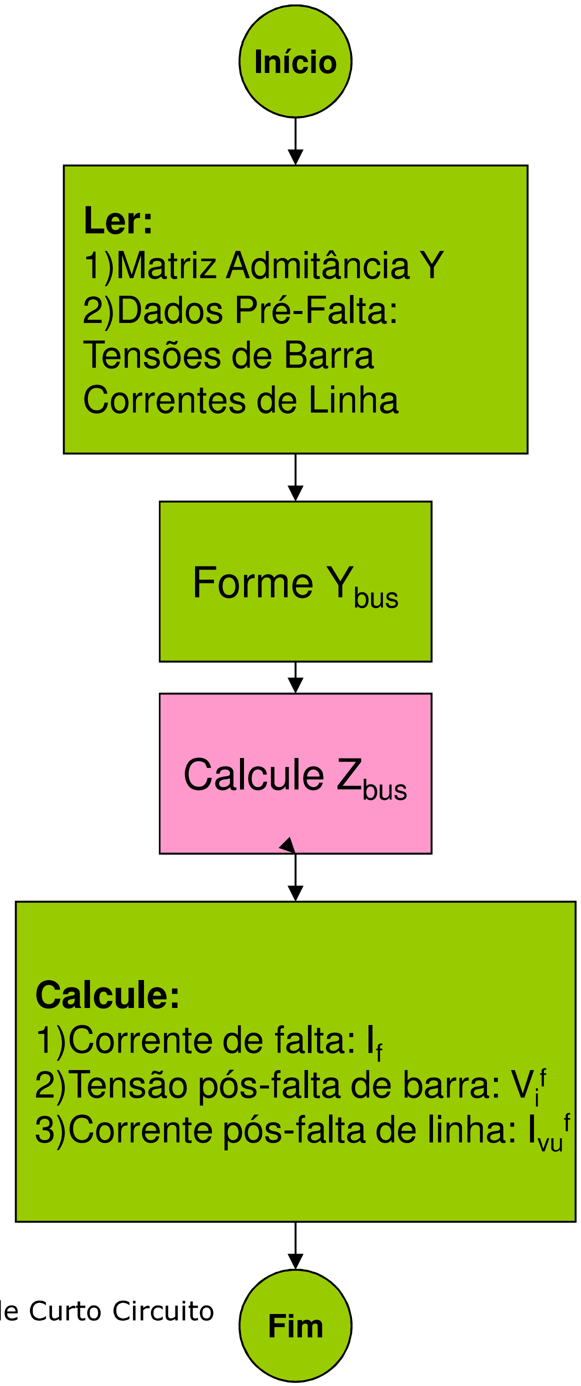


$$I_{vu}^f = \frac{V_v^f - V_u^f}{Z_{vu}} \qquad (10)$$

As tensões V_v^f, V_u^f ➔ previamente calculados.

Z_{vu} ➔ não é retirada de Z_{bus}.

- **Fluxograma para análise de CC:**



3.6 - Cálculos Sistemáticos de C.C.

➢ Matriz Admitância

As matrizes $\mathbf{Y}_{bus}$ e/ou $\mathbf{Z}_{bus}$ constituem, evidentemente, modelos das porções passivas do sistema com n barras, *em forma sistemática.* Das Eqs. (7.34) tiramos as seguintes regras simples para determinar os elementos da matriz:

Os elementos diagonais y_{ii} são obtidos pela soma algébrica de todas as admitâncias incidentes no nó i.

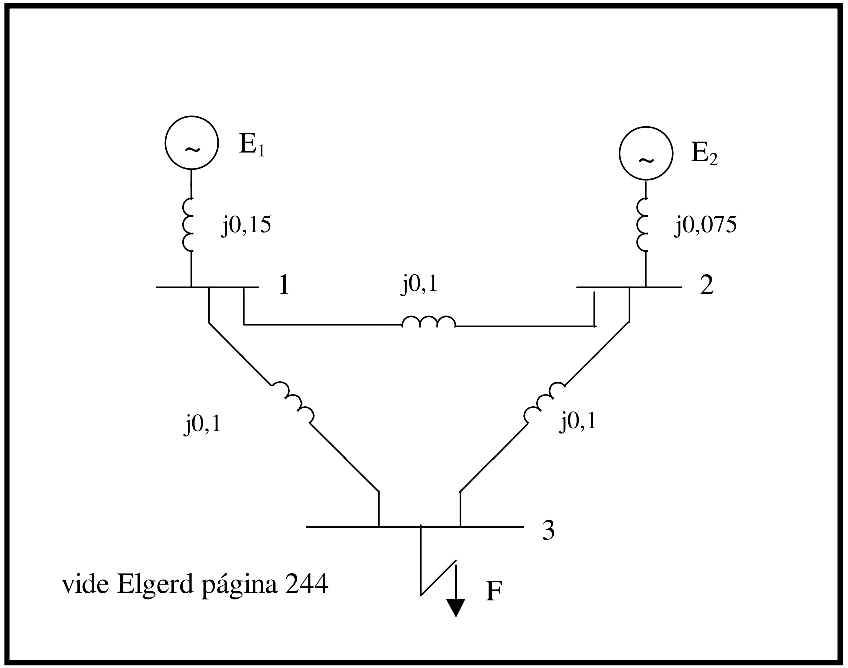
Os elementos fora da diagonal, $y_{ij} = y_{ji}$ são obtidos das admitâncias que ligam os nós i e j, com sinal negativo.

O par de matrizes $\mathbf{Y}_{bus}$ e $\mathbf{Z}_{bus}$ representam uma das formas de modelo de rede. É de grande valor teórico, pedagógico e também prático, que nos aprofundemos um pouco mais no assunto matrizes de rede e por isso incluímos a análise que segue.

LSEE

3.6 - Cálculos Sistemáticos de C.C.

- **Exemplo Anterior**



- **Matriz Admitância**

$$Y_{11} = \frac{1}{j0,15} + \frac{1}{j0,1} + \frac{1}{j0,1} = -j26,67$$

$$Y_{22} = \frac{1}{j0,0755} + \frac{1}{j0,1} + \frac{1}{j0,1} = -j33,33$$

$$Y_{33} = \frac{1}{j0,1} + \frac{1}{j0,1} = -j20,0$$

$$Y_{12} = Y_{21} = \frac{-1}{j0,1} = j10,0$$

$$Y_{23} = Y_{32} = \frac{-1}{j0,1} = j10,0$$

$$Y_{13} = Y_{31} = \frac{-1}{j0,1} = j10,0$$

3.6 - Cálculos Sistemáticos de C.C.

$$Y_{bus} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -j26,67 & j10 & j10 \\ j10 & -j33,33 & j10 \\ j10 & j10 & -j20 \end{bmatrix}$$

- **Invertendo:**

$$Z_{bus} = \begin{bmatrix} j0,073 & j0,0386 & j0,0558 \\ j0,0386 & j0,0558 & j0,0472 \\ j0,0558 & j0,0472 & j0,1014 \end{bmatrix}$$

3.6 - Cálculos Sistemáticos de C.C.

PROBLEMA!!!

- **Inversão da Matriz A ($A.A^{-1} = I$)**

$$A^{-1} = \frac{1}{|A|} A^{+}$$

$|A|$ = determinante de A
A^{+} = matriz adjunta

- **Tensões pós-falta e correntes de falta:**

$$V_i^{\,f} = V_i^{\,o} - \frac{Z_{iq}}{Z_{qq}} V_q^{\,o}$$

3.6 - Cálculos Sistemáticos de C.C.

- **Barra 3 em CC**

$$\boxed{V_1^f = 1{,}0 - \frac{Z_{13}}{Z_{33}}.1{,}0 = 1{,}0 - \frac{j0{,}0558}{j0{,}1014}.1 = 0{,}450\ pu}$$

$$\boxed{V_2^f = 1{,}0 - \frac{Z_{23}}{Z_{33}}.1{,}0 = 1{,}0 - \frac{j0{,}0472}{j0{,}1014}.1 = 0{,}535\ pu}$$

$$\boxed{V_3^f = 0}$$

$$\boxed{I_f = \frac{V_q^o}{Z_{qq}} \Rightarrow I_f = \frac{1{,}0}{j0{,}1014} = -j9{,}86\,pu}$$

3.6 - Cálculos Sistemáticos de C.C.

Barra 1 em curto-circuito:

$$I_f = \frac{1{,}0}{Z_{11}} = \frac{1}{j0{,}073} = -j13{,}7\,pu$$

$$V_1^f = 0$$

$$V_2^f = 1{,}0 - \frac{Z_{21}}{Z_{11}}.1{,}0 = 1 - \frac{j0{,}0386}{j0{,}073}.1 = 0{,}471\,pu$$

$$V_3^f = 1{,}0 - \frac{Z_{31}}{Z_{11}}.1{,}0 = 1 - \frac{j0{,}0558}{j0{,}073}.1 = 0{,}236\,pu$$