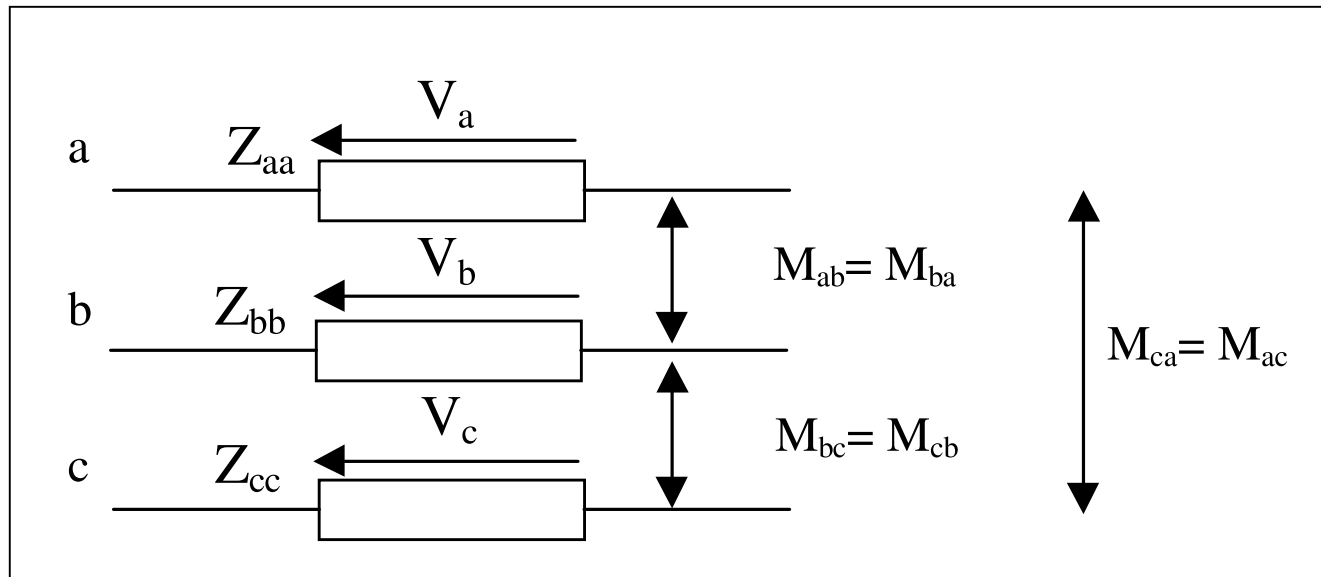


4.5 - Componentes Simétricos das Impedâncias

4.5.1-Caso Geral



4.5 - Componentes Simétricos das Impedâncias

MATRICIALMENTE

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{aa} & M_{ab} & M_{ac} \\ M_{ab} & Z_{bb} & M_{bc} \\ M_{ca} & M_{cb} & Z_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \Rightarrow V_a = Z_{aa}I_a + M_{ab}I_b + M_{ac}I_c$$

$$[V_p] = [Z_{pp}][I_p]$$

$$[V_c] = [Z_{cc}][I_c]$$

?

$$\underbrace{[A^{-1}][V_p]}_{V_c} = [Z_{cc}]\underbrace{[A^{-1}][I_p]}_{I_c} \Rightarrow [V_p] = [A][Z_{cc}]\underbrace{[A^{-1}][I_p]}_{(.A)}$$

$$Z_{pp} = [A][Z_{cc}][A^{-1}] \Rightarrow Z_{cc} = [A^{-1}][Z_{pp}][A]$$

4.5 - Componentes Simétricos das Impedâncias

Desenvolvendo:

$$[Z_{cc}] = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{aa} & M_{ab} & M_{ac} \\ M_{ba} & Z_{bb} & M_{bc} \\ M_{ca} & M_{cb} & Z_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$$

4.5 - Componentes Simétricos das Impedâncias

4.5.2-Circuito Equilibrado

Para as três fases equilibradas:

$$\mathbf{Z}_{aa} = \mathbf{Z}_{bb} = \mathbf{Z}_{cc} = \mathbf{Z}$$

$$\mathbf{M}_{ab} = \mathbf{M}_{ba} = \mathbf{M}_{cb} = \mathbf{M}_{bc} = \mathbf{M}_{ac} = \mathbf{M}$$

Então:

$$[\mathbf{Z}_{cc}] = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{Z} & \mathbf{M} & \mathbf{M} \\ \mathbf{M} & \mathbf{Z} & \mathbf{M} \\ \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{Z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$$

4.5 - Componentes Simétricos das Impedâncias

Resolvendo:

$$[Z_{cc}] = \begin{bmatrix} (Z + 2M) & 0 & 0 \\ 0 & (Z - M) & 0 \\ 0 & 0 & (Z - M) \end{bmatrix} \quad \text{a matriz se DIAGONALIZOU!!!}$$

"as quantidades de seqüência não estão acopladas mutuamente"

4.5 - Componentes Simétricos das Impedâncias

$$[Z_{cc}] = \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{aligned} Z_0 &= Z + 2M \\ Z_1 &= Z - M \\ Z_2 &= Z - M \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} V_0 &= Z_0 I_0 \\ V_1 &= Z_1 I_1 \\ V_2 &= Z_2 I_2 \end{aligned}$$

4.5 - Componentes Simétricos das Impedâncias

Significado Físico:

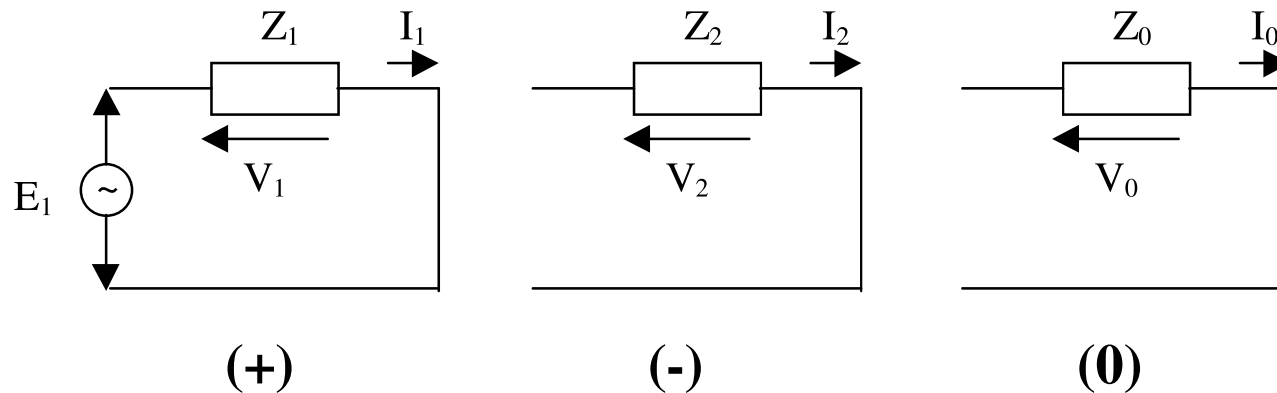
⇒ **Sistemas equilibrados** → circuitos independentes de acoplamento;

⇒ Z_0 = impedância de seqüência 0 (zero);
 Z_1 = impedância de seqüência (+);
 Z_2 = impedância de seqüência (-); e

⇒ *fem.* dos geradores é só de seq. (+).

4.5 - Componentes Simétricos das Impedâncias

↪ Circuitos equivalentes:



⇒ **Caso a rede seja desequilibrada → haverá acoplamento entre os circuitos.**

4.6 - Impedância de Seqüência dos Componentes do Sistema

Linhas Aéreas e Cabos:

$$Z_0 = Z + 2M \quad Z_0 > Z_1 = Z_2$$

$$Z_1 = Z - M$$

$$Z_2 = Z - M$$

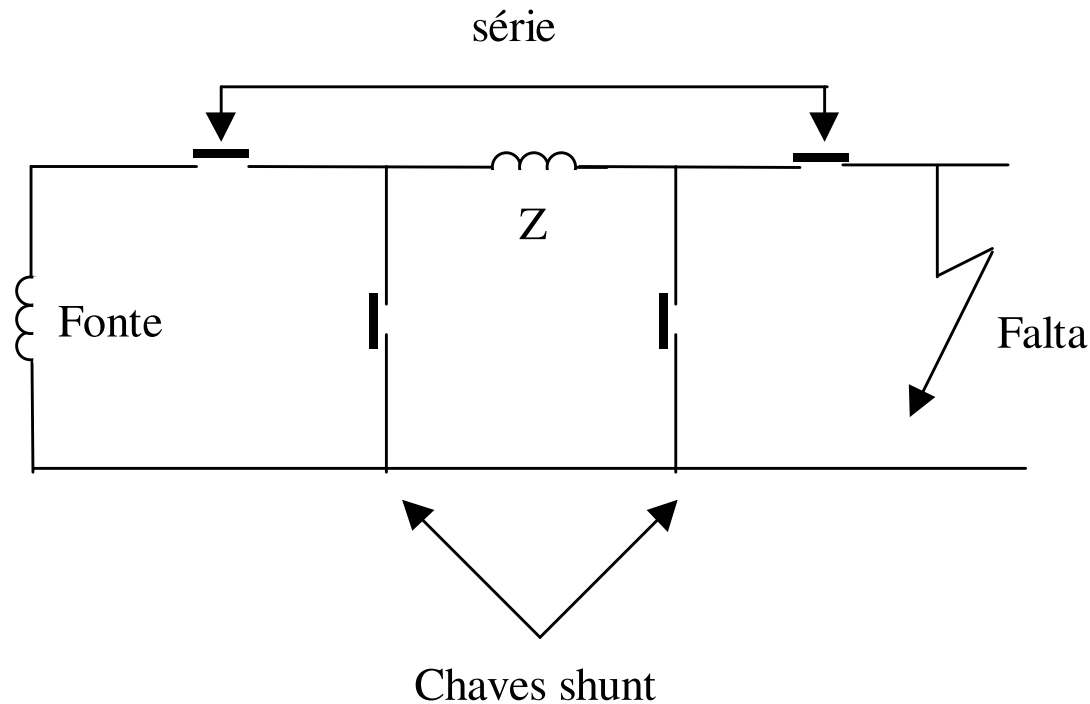
Transformadores:

$Z_1 = Z_2 \rightarrow$ deslocamento angular oposto, e

$Z_0 \rightarrow$ depende da conexão dos enrolamentos e forma do núcleo.

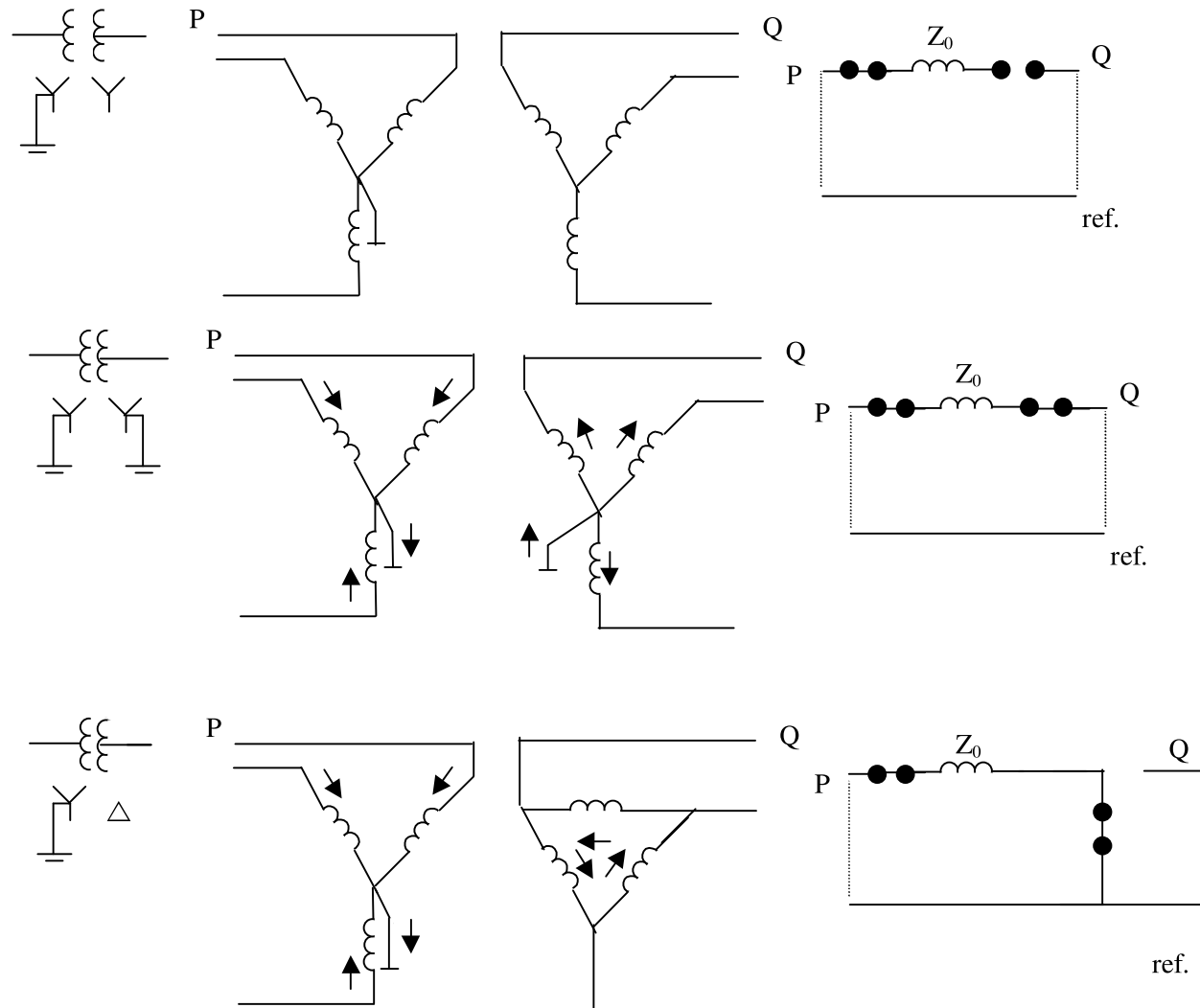
4.6 - Impedância de Seqüência dos Componentes do Sistema

Diagrama equivalente de seq. 0 para trafos com 2 enrolamentos:

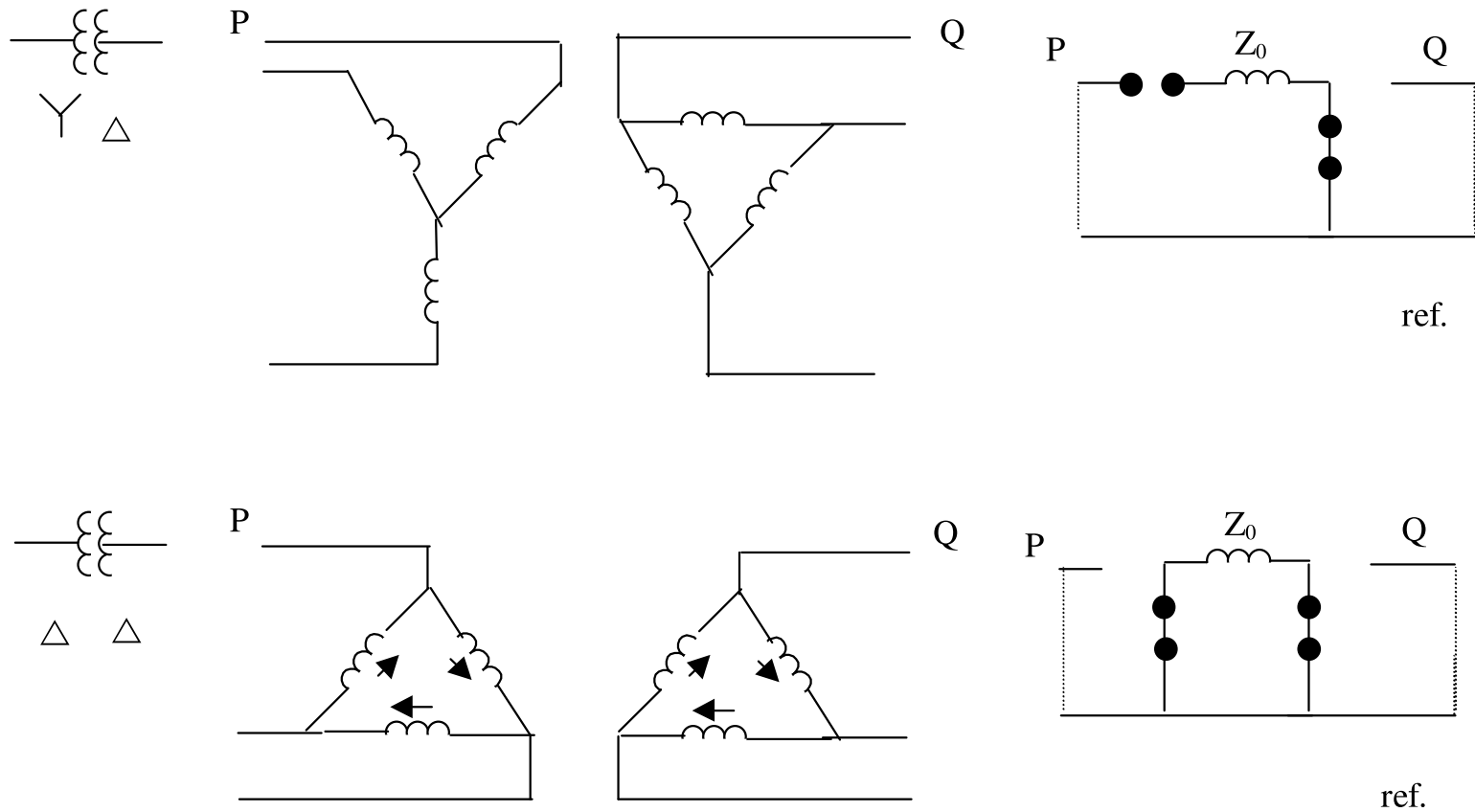


- ➔ fechar chave série para **ESTRELA ATERRADO** e
- ➔ fechar shunt para **DELTA**

4.6 - Impedância de Seqüência dos Componentes do Sistema

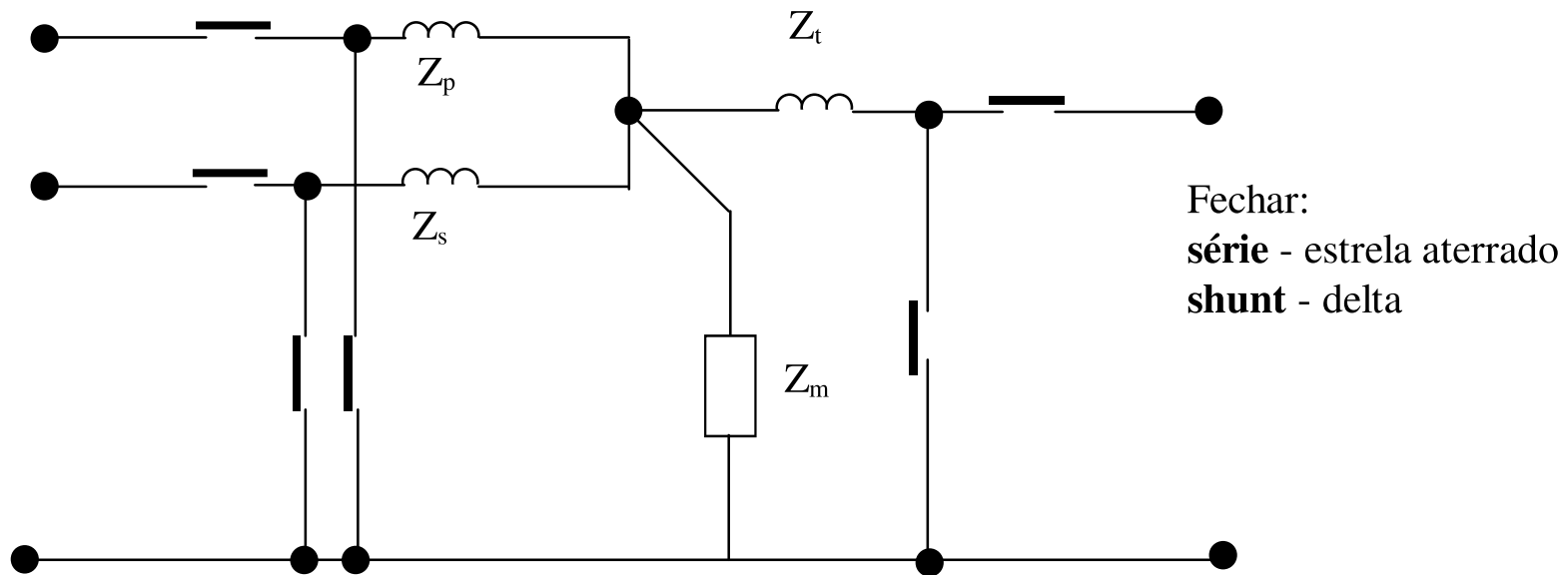


4.6 - Impedância de Seqüência dos Componentes do Sistema



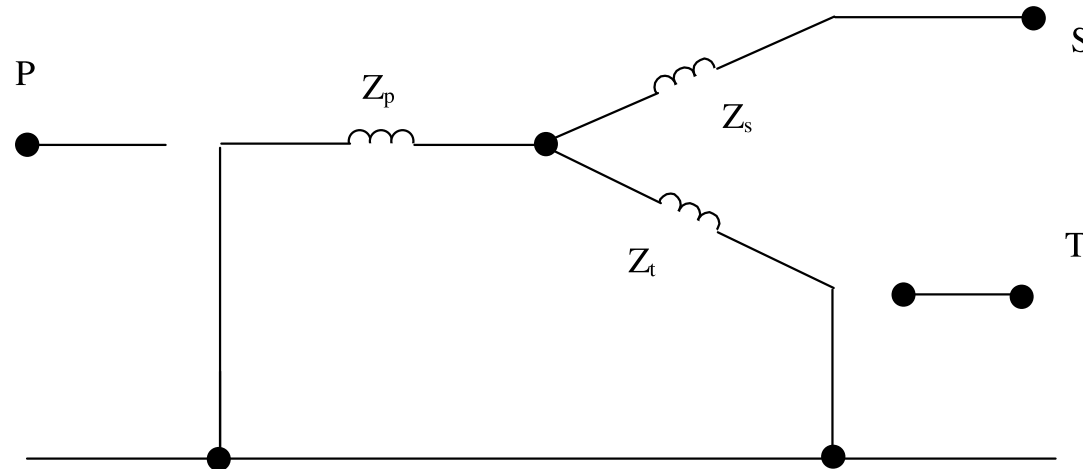
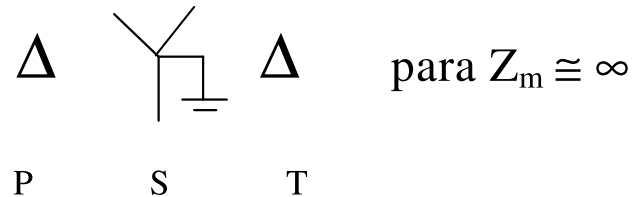
4.6 - Impedância de Seqüência dos Componentes do Sistema

↪ Transformador de 3 enrolamentos:



4.6 - Impedância de Seqüência dos Componentes do Sistema

Exemplo:



4.6 - Impedância de Seqüência dos Componentes do Sistema

4.6.3 - Máquinas Rotativas:

$$Z_1 \neq Z_2$$

a) Impedância de seq. (+)

Toma-se o valor subtransitório ou síncrono (conforme a natureza do problema).

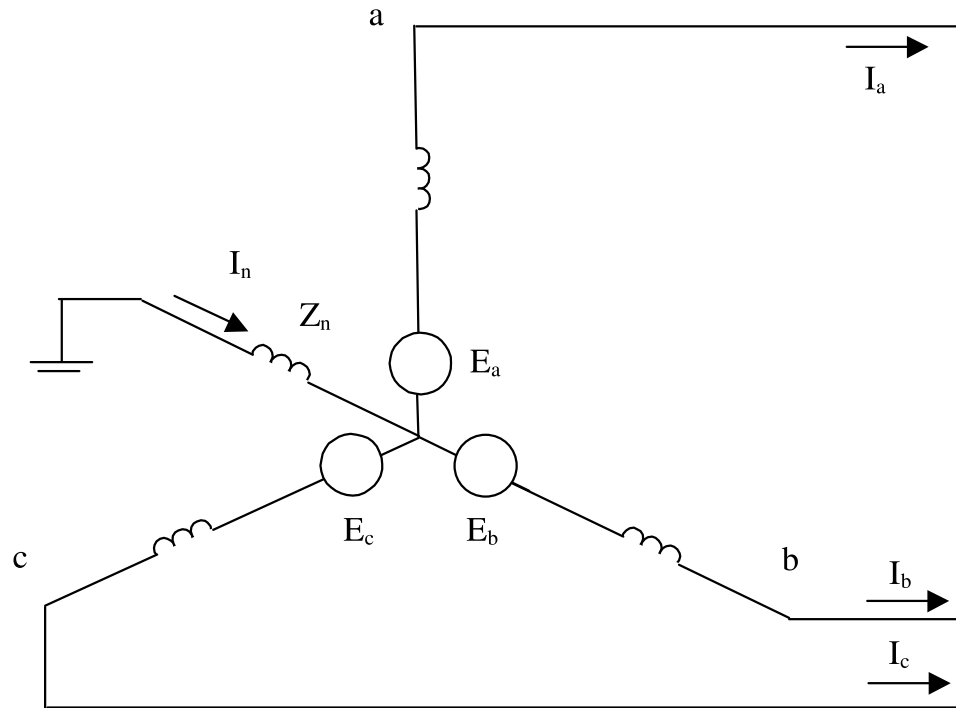
b) Impedância de seq. (-)

É dada pela média das reatâncias subtransitórias x_d'' e x_q'' :

$$Z_2 = \frac{x_d'' + x_q''}{2}$$

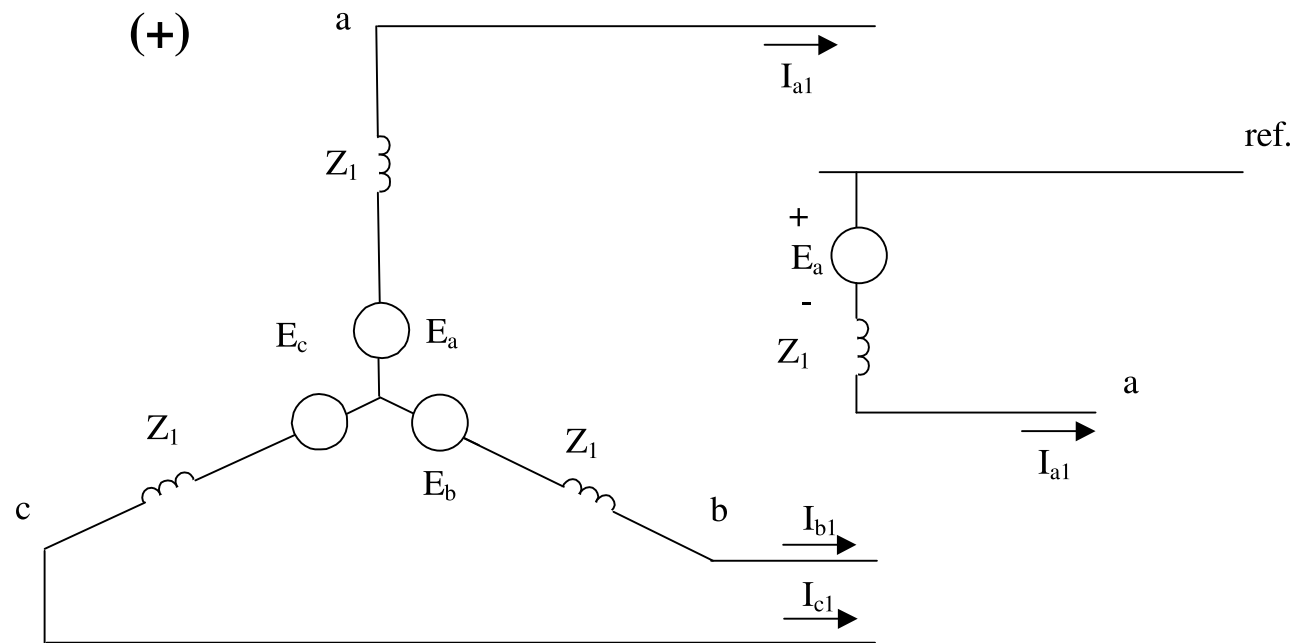
4.6 - Impedância de Seqüência dos Componentes do Sistema

Diagrama do circuito de um gerador em vazio aterrado através de uma impedância:



4.6 - Impedância de Seqüência dos Componentes do Sistema

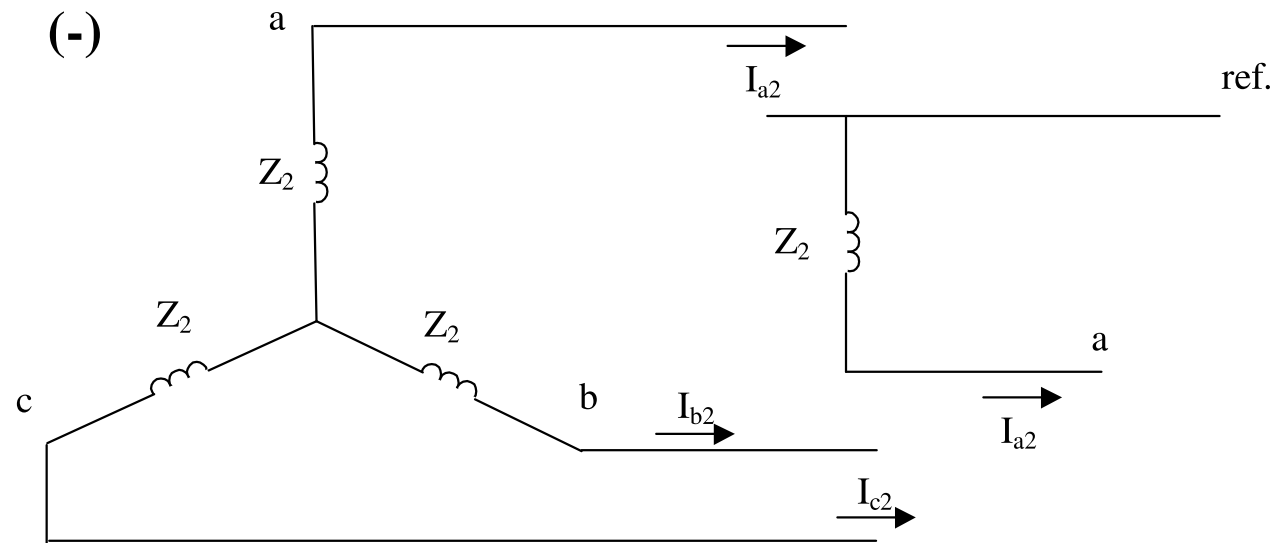
Diagrama de Seqüências:



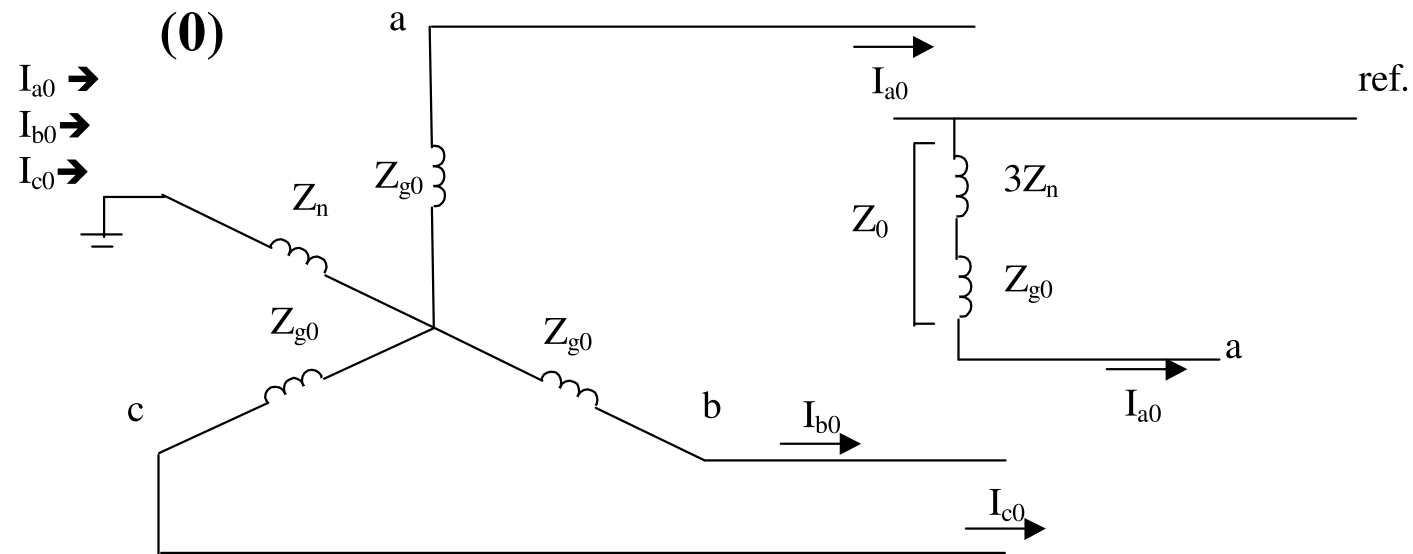
* as tensões geradas são apenas de seq. + visto que o gerador é projetado para fornecer tensões trifásicas.

4.6 - Impedância de Seqüência dos Componentes do Sistema

Diagrama de Seqüências:



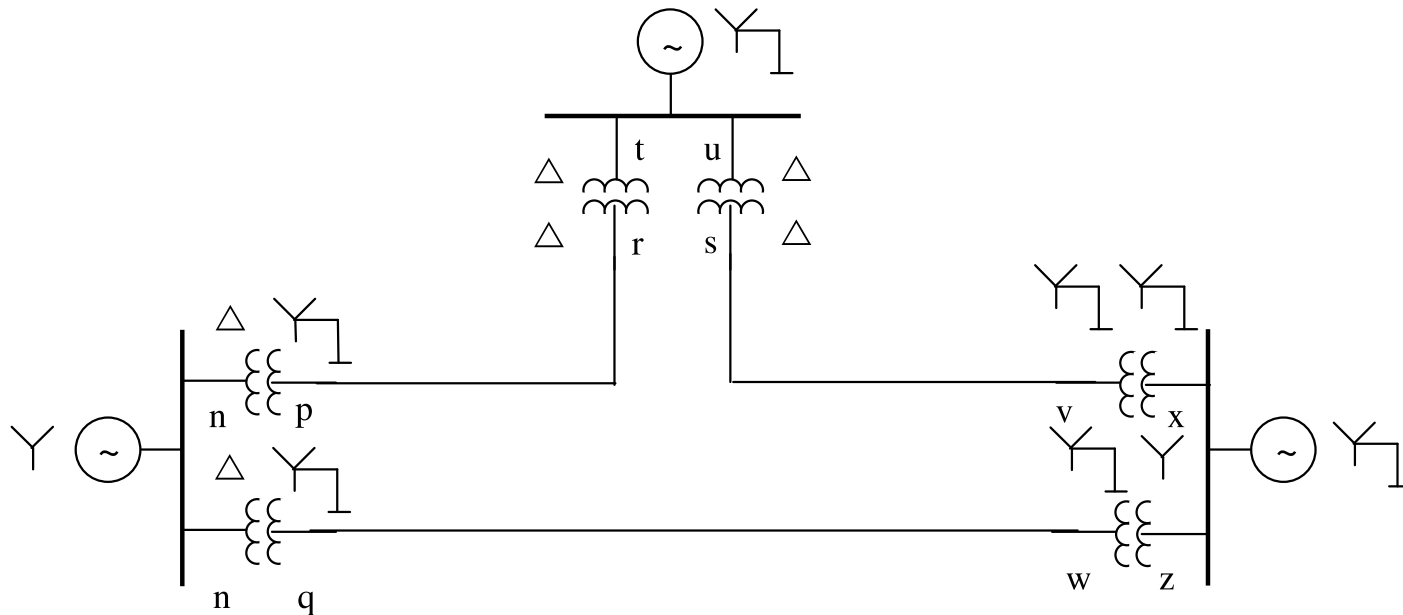
4.6 - Impedância de Seqüência dos Componentes do Sistema



4.6 - Impedância de Seqüência dos Componentes do Sistema

Exercício 1

Determine o circuito de seq. +, - e 0 do sistema:



4.6 - Impedância de Seqüência dos Componentes do Sistema

↳ Exercício 2

Determine o circuito de seq. +, - e 0 do sistema:

