

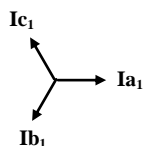
Como medir as componentes simétricas de um sistema elétrico trifásico?

Introdução

As componentes simétricas são usadas para calcular as condições de desbalanço de um sistema trifásico usando somente o cálculo monofásico. Isso simplifica enormemente o processo do cálculo das grandezas de falta nos sistemas de potência.

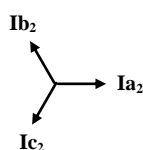
Consistem de grandezas positivas, negativas e de seqüência-zero. Basicamente os valores de seqüência-positiva são aqueles presentes durante condições trifásicas equilibradas. As grandezas de seqüência-negativa medem a quantidade de desbalanço existente no sistema de potência e as grandezas de seqüência-zero estão mais comumente associadas ao fato de se envolver a terra em condições de desbalanço.

As características das componentes simétricas são:



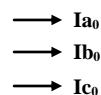
Seqüência Positiva

- Sistema trifásico
- Fasores iguais em módulo e defasados de 120°
- Seqüência de fases *abc* (original do sistema)



Seqüência Negativa

- Sistema trifásico
- Fasores iguais em módulo e defasados de 120°
- Seqüência de fases *cba* (inversa ao original)



Seqüência Zero

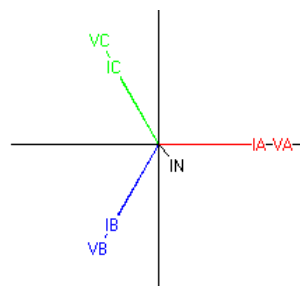
- Sistema trifásico
- Fasores iguais (módulo e ângulo) nas três fases

1. Medição Através de Softwares

Os equipamentos microprocessados calculam as componentes simétricas de corrente ou de tensão a partir da medição das componentes de fase. Estas medidas podem ser lidas no próprio equipamento ou on-line através de softwares instalados em um

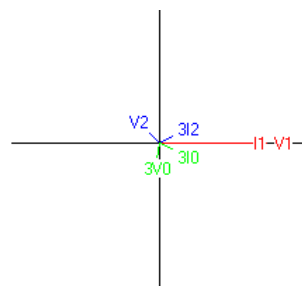
computador. As figuras a seguir foram obtidas do software SEL-5030 AcSELErator:

COMPONENTES DE FASE



IA =	130.65 A	∠	0.19°
IB =	123.87 A	∠	-119.59°
IC =	118.33 A	∠	120.16°
VA =	0.355 kV	∠	0.00°
VB =	0.356 kV	∠	-120.03°
VC =	0.355 kV	∠	119.82°

COMPONENTES SIMÉTRICAS



I1 =	124.28 A	∠	0.25°
I2 =	10.18 A	∠	27.00°
I0 =	11.20 A	∠	-26.36°
V1 =	0.355 kV	∠	-0.07°
V2 =	0.001 kV	∠	135.55°
V0 =	0.000 kV	∠	-97.92°

2. Medição através de circuitos

Existem ainda alguns circuitos que podem ser montados e através destes ser obtida uma leitura das componentes simétricas. Estes circuitos podem demonstrar e auxiliar o entendimento das componentes simétricas.

2.1. Tensão de Seqüência Zero

A componente de seqüência zero é medida utilizando-se 3 transformadores de tensão (TP). Os enrolamentos primários são conectados em estrela sendo a tensão em cada enrolamento a tensão fase-terra. Os enrolamentos secundários são conectados em série com um voltímetro (conexão delta-aberto) conforme figura 1.

$$V = 3.V_0.n$$

$$V_0 = \frac{V}{3.n}$$

Onde n = relação de transformação

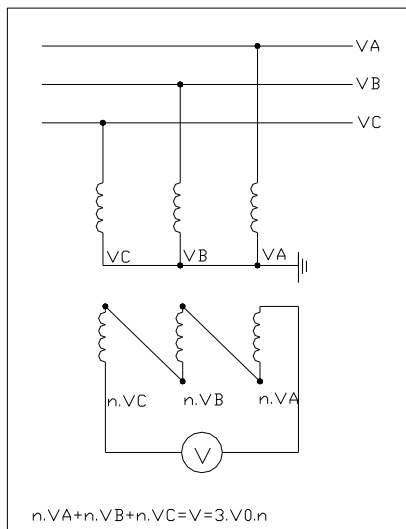


Figura 1

2.2. Tensão de Seqüência Negativa

A componente de seqüência negativa é medida através da conexão de 2 TPs. Um entre as fases V_A e V_B e outro entre as fases V_B e V_C como visto na figura 2. O primeiro TP alimenta uma resistência pura, enquanto o segundo alimenta uma indutância e uma resistência como:

$$Z = -a^2 \cdot R = R \cdot e^{j\frac{\pi}{3}}$$

Z é composta por uma resistência $R/2$ em série com uma reatância $R \cdot \sqrt{3}/2$.

Os dois circuitos são colocados em paralelo com um amperímetro que medirá uma corrente proporcional a:

$$\begin{aligned} & (V_A - V_B) + (V_B - V_C) / -a^2 \\ & (V_A - V_B) - (V_B - V_C) \cdot a \\ & = V_A - V_B \cdot (1 + a) + a \cdot V_C \\ & = V_A + a^2 \cdot V_B + a \cdot V_C = 3 \cdot V_2 \end{aligned}$$

$$V_2 = \frac{1}{3} \cdot (V_A + a^2 \cdot V_B + a \cdot V_C)$$

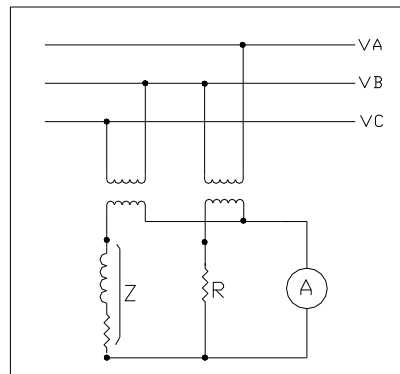


Figura 2

2.3. Tensão de Seqüência Positiva

A componente de seqüência positiva é medida da mesma maneira como a componente de seqüência negativa, porém, devem ser invertidas as fases B e C.

$$\begin{aligned} & (V_A - V_C) + (V_C - V_B) / -a^2 \\ & (V_A - V_C) - (V_C - V_B) \cdot a \\ & = V_A - V_C \cdot (1 + a) + a \cdot V_B \\ & = V_A + a^2 \cdot V_C + a \cdot V_B = 3 \cdot V_1 \end{aligned}$$

$$V_1 = \frac{1}{3} \cdot (V_A + a \cdot V_B + a^2 \cdot V_C)$$

2.4. Corrente de Seqüência Positiva

A componente de seqüência positiva é medida através da conexão de 3 transformadores de corrente (TC) de acordo com a figura 3. O transformador auxiliar T2 entrega uma corrente proporcional a $(I_C - I_B)$ através da resistência R. O transformador T1 entrega uma corrente proporcional a $(I_A - I_C)$ através de $Z = -a^2 \cdot R$.

A tensão nos terminais do voltímetro será proporcional a:

$$\begin{aligned} & \left(I_C - I_B \right) + \left(I_A - I_C \right) a^2 \\ &= I_C - I_B - a^2 I_A + a^2 I_C \\ &= -a^2 \left(I_A + a I_B + a^2 I_C \right) = -3 a^2 I_1 \end{aligned}$$

$$I_1 = \frac{1}{3} \left(I_A + a I_B + a^2 I_C \right)$$

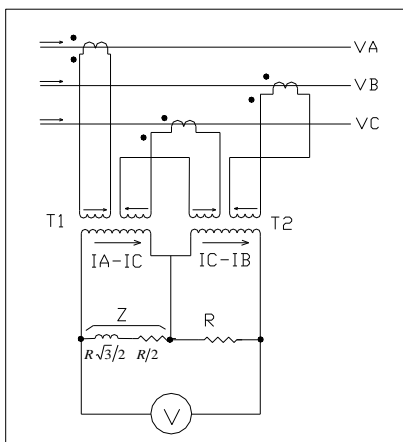


Figura 3

2.5. Corrente de Seqüência Negativa

A componente de seqüência negativa é medida também através de 3 TCs, como mostra a figura 4. Pela mesma razão do caso anterior, a tensão nos terminais do voltímetro será proporcional a:

$$\begin{aligned} & \left(I_A - I_C \right) + \left(I_C - I_B \right) a^2 \\ &= I_A + a^2 I_B - I_C \left(a^2 + 1 \right) \\ &= I_A + a^2 I_B + a I_C = 3 I_2 \end{aligned}$$

$$I_2 = \frac{1}{3} \left(I_A + a^2 I_B + a I_C \right)$$

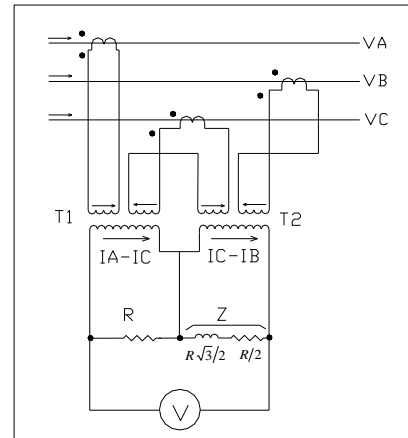


Figura 4

2.6. Corrente de Seqüência zero

A componente de seqüência zero é igual a um terço da corrente de neutro que circula diretamente na conexão com a terra. (neutro distribuído).

Os 3 TCs conectados em paralelo (figura 5) permitem a seguinte medida no amperímetro:

$$= I_A + I_B + I_C = 3 I_0$$

$$I_0 = \frac{1}{3} \left(I_A + I_B + I_C \right)$$

Um transformador toroidal envolvendo a totalidade dos condutores permite também esta medida pela soma vetorial das correntes de fase.

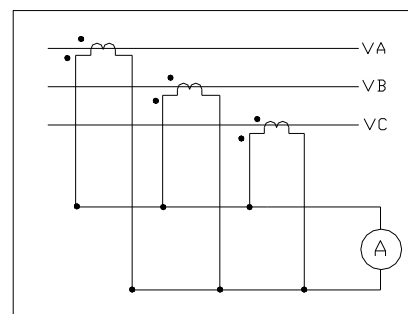


Figura 5