

Sistemas Elétricos de Potência 1 - Aula 1

Matheus Teixeira Rocha

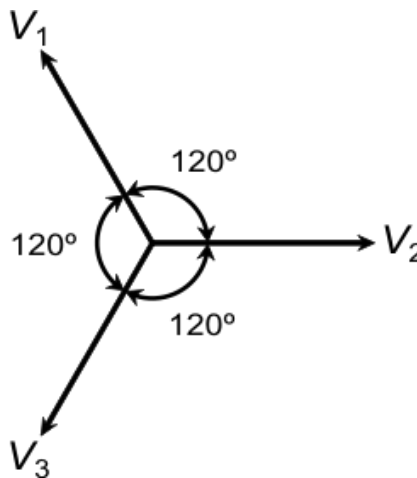
Sistemas Trifásicos

Sistemas Polifásicos

- **Sistema polifásico** é aquele que contém dois ou mais circuitos elétricos, cada um com sua fonte de tensão alternada. Estas tensões têm a mesma frequência e estão defasadas entre si de um ângulo definido. Cada circuito do sistema constitui uma fase.
- Um sistema é **simétrico** quando as tensões do sistema polifásico de n fases têm o mesmo módulo, se dispõem em sequência e estão defasadas, uma da outra, de $1/n$ do período (1 período = 360 graus).
- Um sistema polifásico em que, em cada fase, as correntes e o fator de potência têm o mesmo valor, é chamado **equilibrado**. Se a corrente ou o fator de potência de pelo menos uma das fases for diferente do das demais, o sistema é **desequilibrado**.

Circuitos trifásicos

- O estudo dos circuitos **trifásicos** é um caso particular dos circuitos polifásicos.
- Em um sistema trifásico simétrico, suas tensões estão defasadas entre si de **120 graus** ($1/3$ de 360° corresponde a 120°).

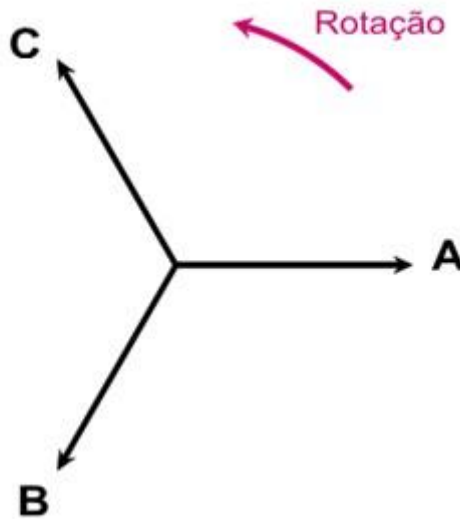


Sequência de Fases

- Será convencionalizado que os fasores representativos das tensões e correntes alternadas trifásicas giram no sentido **anti- horário**.
- **Sequência de fases** é a ordem na qual os fasores se sucedem, em sentido anti-horário, a partir do eixo de referência. Designando-se as fases por **A**, **B** e **C**, há duas possibilidades:

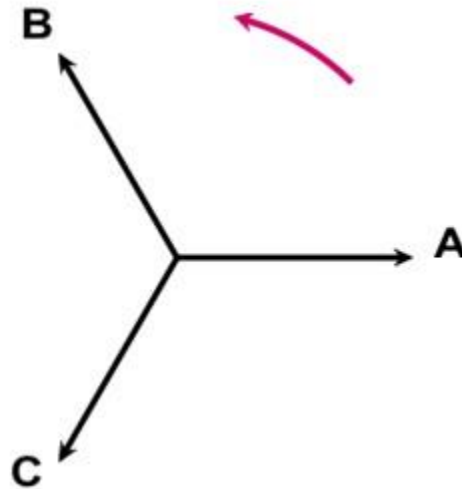
Sequência de Fases

- sequência **ABC** ou **positiva**: os fasores giram em sentido anti-horário, na seguinte ordem: fasor **A**, fasor **B**, fasor **C**.



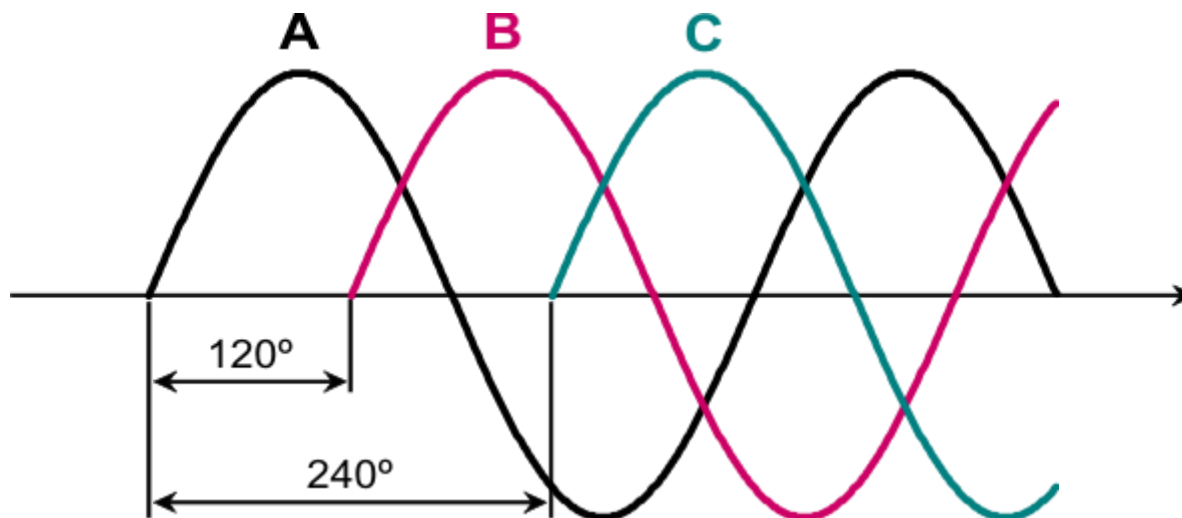
Sequência de Fases

- sequência **ACB** ou **negativa**: os fasores giram em sentido anti-horário, na ordem inversa: fasor **A**, fasor **C**, fasor **B**.



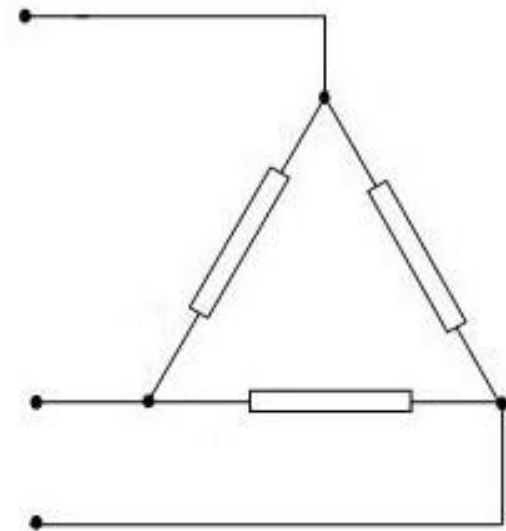
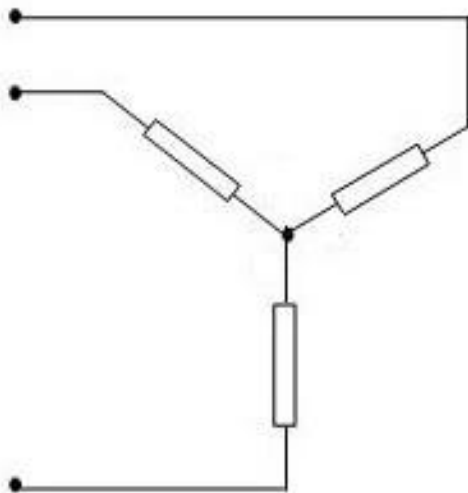
Circuitos trifásicos

- Um gerador trifásico produz três tensões alternadas defasadas entre si de 120° . Se as tensões induzidas forem senoidais, na sequência ABC a tensão **B** estará atrasada de 120° em relação a **A** e **C**, atrasada de 240° de **A**:



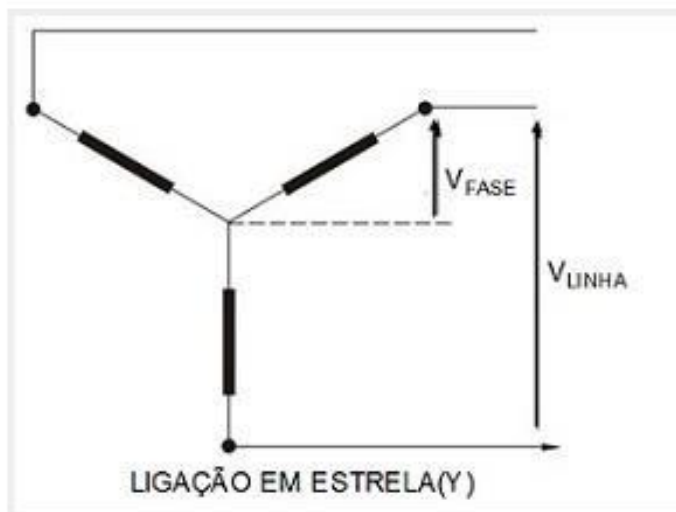
Circuitos trifásicos

- Um circuito trifásico pode ser ligado de 2 formas:
- Estrela
 - triângulo



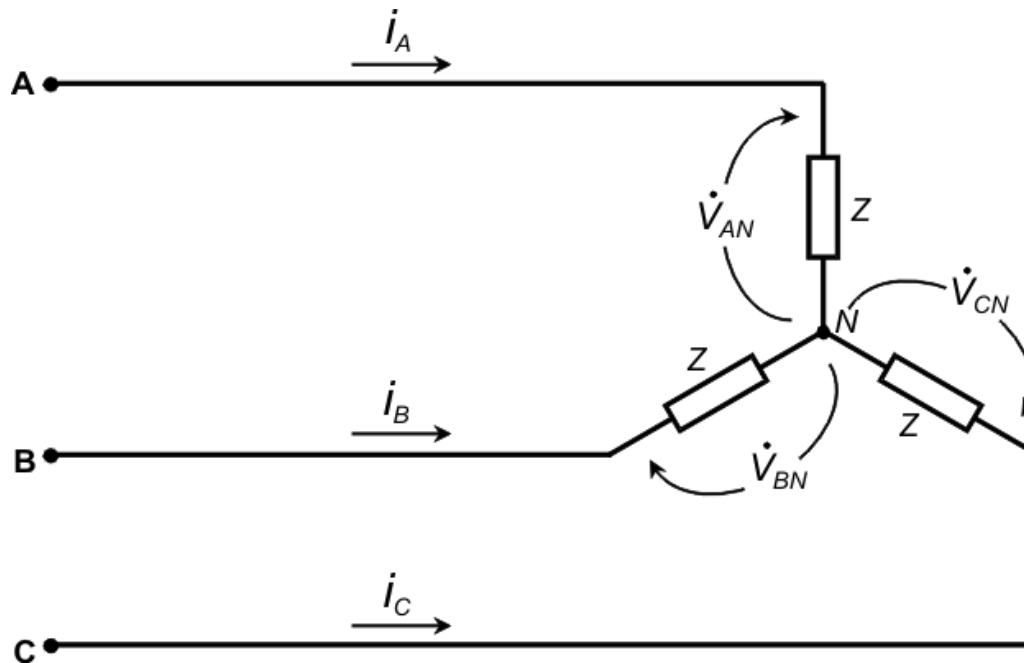
Circuitos trifásicos

- Padronizando a terminologia, tem-se:
- **Tensão de fase** - tensão entre uma fase e o neutro (fase-neutro);
 - **Tensão de Linha** – tensão entre duas fases (fase-fase);
 - **Corrente de Fase** – corrente fornecida (ou absorvida) por uma das fontes (cargas) monofásicas;
 - **Corrente de linha** – corrente conduzida pelo condutor que conecta a fonte à carga.



CARGAS EQUILIBRADAS EM ESTRELA (Y)

- Serão consideradas três impedâncias iguais, conectadas para formar uma carga equilibrada em estrela, alimentadas pelas fases **A**, **B** e **C** da rede:



➤ Vale, para este circuito, o seguinte:

1. As tensões aplicadas às impedâncias são as *tensões de fase*: $\dot{V}_{AN}$, $\dot{V}_{BN}$ e $\dot{V}_{CN}$.
2. A corrente em cada fio da linha flui também na impedância ligada à fase respectiva. Logo, as *correntes de linha* são iguais às *correntes de fase*: $\dot{I}_A$, $\dot{I}_B$ e $\dot{I}_C$ são correntes de linha e de fase.
3. As correntes de fase (e, neste caso, de linha) são calculadas com o uso da Lei de Ohm: $\dot{I}_A = \frac{\dot{V}_{AN}}{Z}$, $\dot{I}_B = \frac{\dot{V}_{BN}}{Z}$ e $\dot{I}_C = \frac{\dot{V}_{CN}}{Z}$.

4. A soma fasorial das três correntes $\dot{I}_A$, $\dot{I}_B$ e $\dot{I}_C$ é igual a zero:

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$$

5. As tensões $\dot{V}_{BC}$ e $\dot{V}_{CA}$ são as *tensões de linha* do circuito.

6. A relação entre as tensões de linha e de fase é obtida aplicando-

se a Lei das Tensões de Kirchhoff:

$$-\dot{V}_{AB} + \dot{V}_{AN} - \dot{V}_{BN} = 0$$

$$\dot{V}_{AB} = \dot{V}_{AN} - \dot{V}_{BN}$$

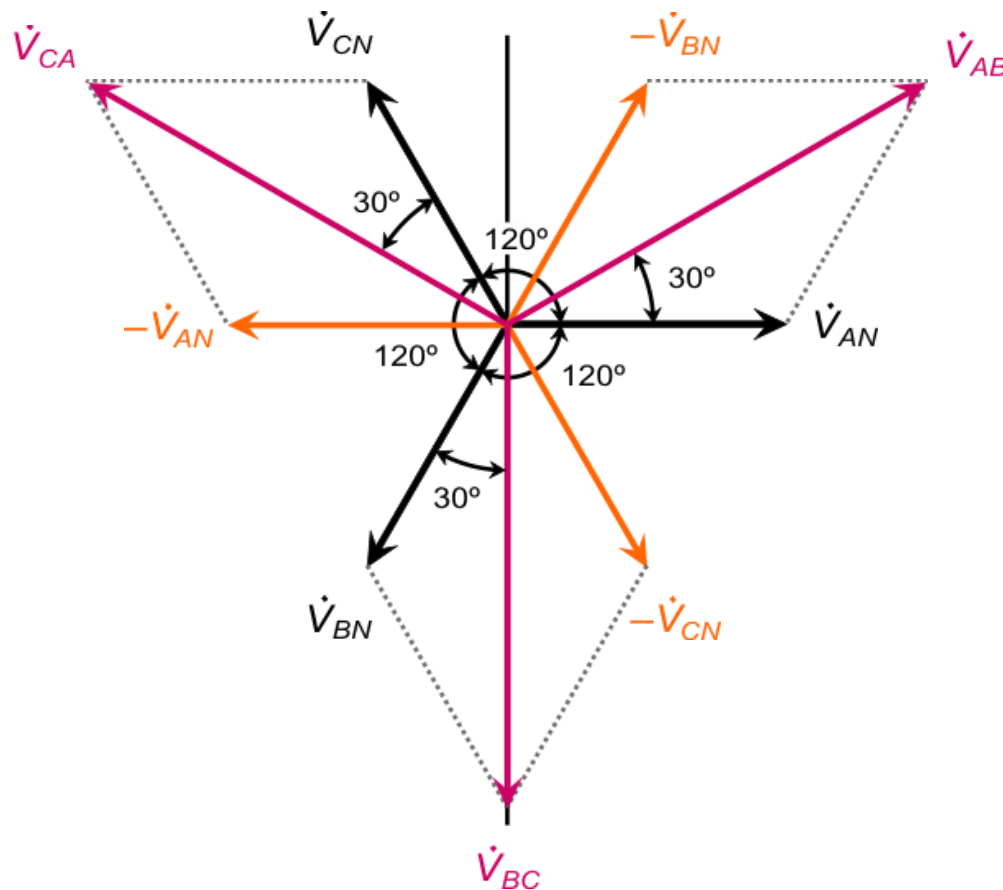
Do mesmo modo:

$$\dot{V}_{BC} = \dot{V}_{BN} - \dot{V}_{CN}$$

$$\dot{V}_{CA} = \dot{V}_{CN} - \dot{V}_{AN}$$

➤ Para a sequência **positiva**, tem-se o seguinte diagrama de fasores:

Em que:



$$\dot{V}_{AN} = |\dot{V}_{AN}| \angle 0^\circ \text{ V}$$

$$\dot{V}_{BN} = |\dot{V}_{BN}| \angle -120^\circ \text{ V}$$

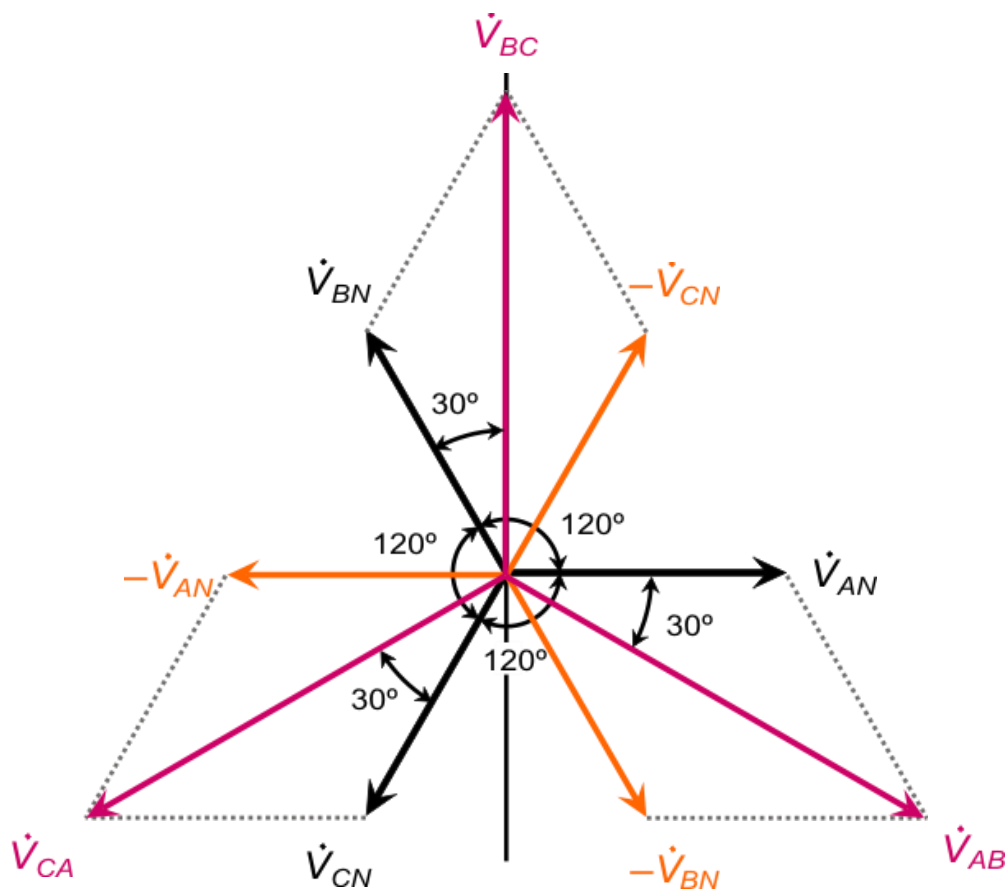
$$\dot{V}_{CN} = |\dot{V}_{CN}| \angle 120^\circ \text{ V}$$

$$\dot{V}_{AB} = |\dot{V}_{AB}| \angle 30^\circ \text{ V}$$

$$\dot{V}_{BC} = |\dot{V}_{BC}| \angle -90^\circ \text{ V}$$

$$\dot{V}_{CA} = |\dot{V}_{CA}| \angle 150^\circ \text{ V}$$

➤ E para a sequência **negativa**, tem-se:



Em que:

$$\dot{V}_{AN} = |\dot{V}_{AN}| \angle 0^\circ \text{ V}$$

$$\dot{V}_{BN} = |\dot{V}_{BN}| \angle 120^\circ \text{ V}$$

$$\dot{V}_{CN} = |\dot{V}_{CN}| \angle -120^\circ \text{ V}$$

$$\dot{V}_{AB} = |\dot{V}_{AB}| \angle -30^\circ \text{ V}$$

$$\dot{V}_{BC} = |\dot{V}_{BC}| \angle 90^\circ \text{ V}$$

$$\dot{V}_{CA} = |\dot{V}_{CA}| \angle -150^\circ \text{ V}$$

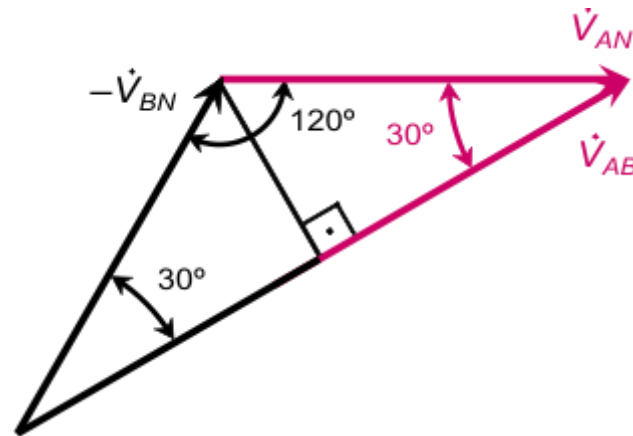
- Nas figuras anteriores, vê-se que a tensão fase-fase está defasada de 30 graus da respectiva tensão fase-neutro. A tensão fase-fase está adiantada da tensão fase-neutro se a sequência for positiva (**ABC**) e atrasada, se a sequência for negativa (**CBA**). No caso, são respectivas:

- $\dot{V}_{AB}(\text{fase-fase})$ e $\dot{V}_{AN}(\text{fase-neutro})$;

- $\dot{V}_{BC}$ e $\dot{V}_{BN}$;

- $\dot{V}_{CA}$ e $\dot{V}_{CN}$.

➤ Considerando o diagrama fasorial da sequencia positiva:



$$\cos 30^\circ = \frac{\frac{1}{2} |\dot{V}_{AB}|}{|\dot{V}_{AN}|}$$

$$\frac{\sqrt{3}}{2} |\dot{V}_{AN}| = \frac{1}{2} |\dot{V}_{AB}|$$

$$\sqrt{3} |\dot{V}_{AN}| = |\dot{V}_{AB}|$$

- então, em um circuito equilibrado ligado em **Y** (estrela):

$$|\dot{\mathbf{V}}_L| = \sqrt{3} |\dot{\mathbf{V}}_F|$$

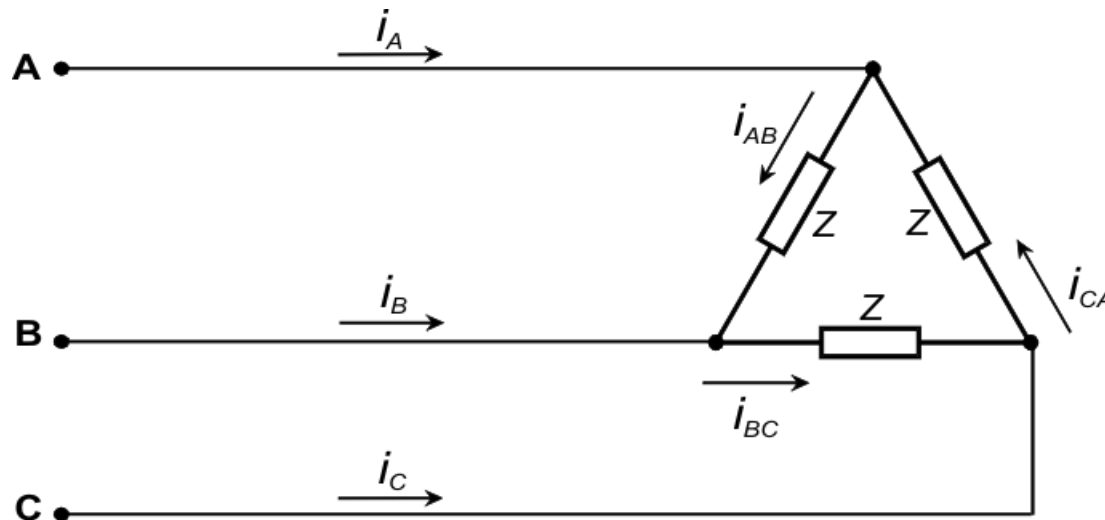
em que V_L é a tensão de linha e V_F , a tensão de fase.

- e, para relacionar estas tensões, em módulo, no diagrama fasorial de um circuito trifásico equilibrado:

$$|\dot{\mathbf{V}}_{\text{FASE-FASE}}| = \sqrt{3} |\dot{\mathbf{V}}_{\text{FASE-NEUTRO}}|$$

18.5 CARGAS EQUILIBRADASEM TRIÂNGULO (Δ)

- Serão consideradas, agora, três impedâncias iguais conectadas para formar a carga trifásica equilibrada em triângulo mostrada na figura:



➤ Para este circuito, é válido o seguinte:

1. As correntes $\dot{I}_{AB}$ (corrente da fase **A** para a fase **B**), $\dot{I}_{BC}$ e $\dot{I}_{CA}$, que circulam nas impedâncias, são as *correntes de fase* do circuito.
2. As tensões fase-fase são aplicadas às impedâncias da carga. Logo, as tensões V_{AB} , V_{BC} e V_{CA} são *tensões de linha* e de *fase* (ao mesmo tempo).
3. Aplicando-se a Lei das Correntes de Kirchhoff nos nós do circuito, tem-se as *correntes de linha* do circuito $\dot{I}_A$, $\dot{I}_B$ e $\dot{I}_C$:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA} \quad \dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB} \quad \dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC}$$

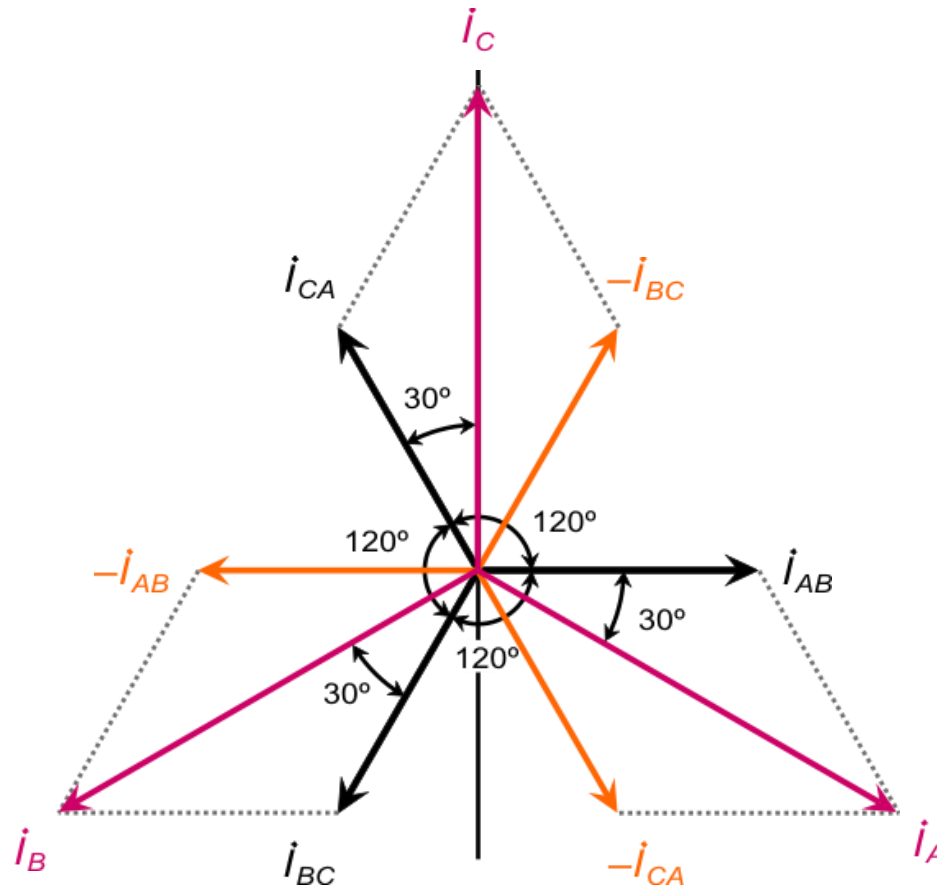
4. As correntes de fase são obtidas através da Lei de Ohm:

$$i_{AB} = \frac{\dot{V}_{AB}}{Z}$$

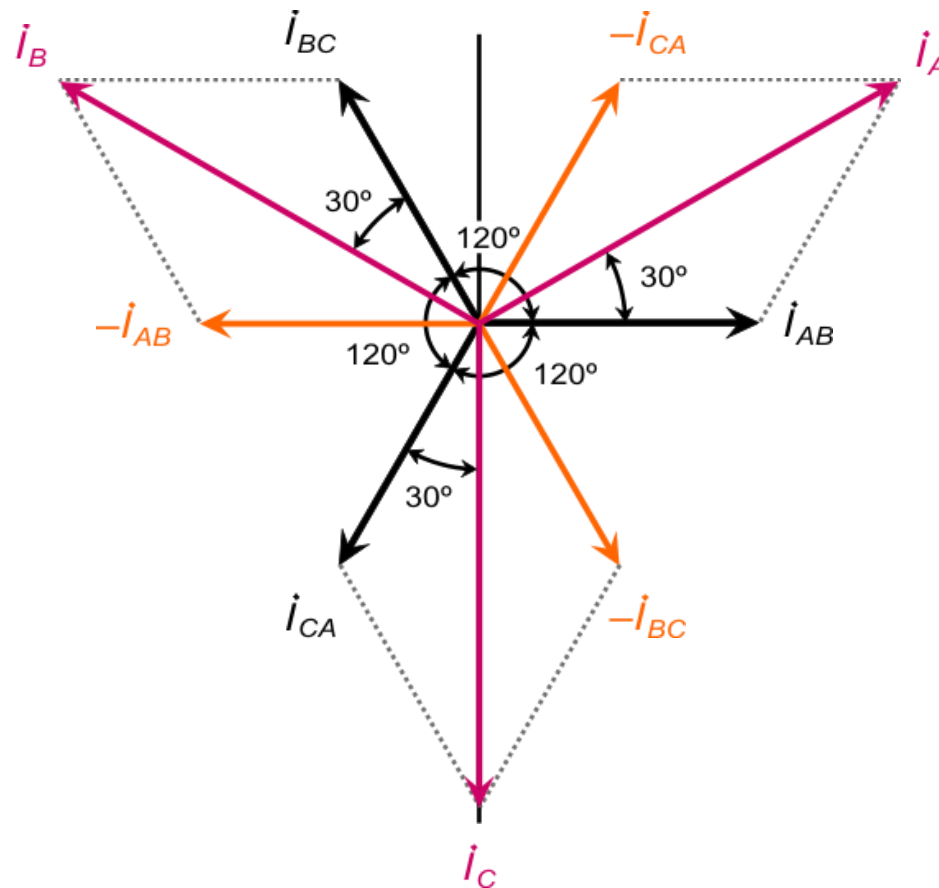
$$i_{BC} = \frac{\dot{V}_{BC}}{Z}$$

$$i_{CA} = \frac{\dot{V}_{CA}}{Z}$$

- Diagrama fasorial de correntes de circuito equilibrado ligado em triângulo, sequência **positiva**.



- Diagrama fasorial de correntes de circuito equilibrado ligado em triângulo, sequência **negativa**:



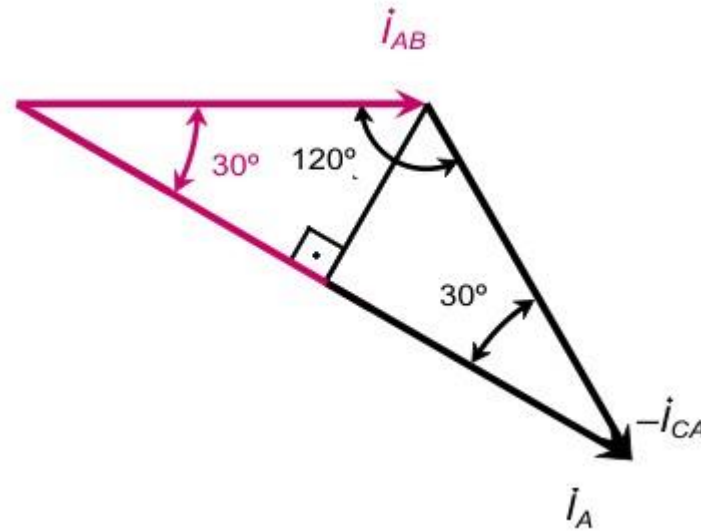
- Portanto, em um circuito trifásico equilibrado ligado em triângulo, a corrente de linha está defasada de 30 graus em relação à respectiva corrente de fase. A corrente de linha está **atrasada** da corrente de fase se a sequência for positiva (**ABC**) e **adiantada** se a sequência for negativa (**CBA**). São respectivas:

- i_{AB} e i_A ;

- i_{BC} e i_B ;

- i_{CA} e i_C .

➤ Considerando, por exemplo, o diagrama fasorial:



$$\cos 30^\circ = \frac{\frac{1}{2}|i_A|}{|i_{AB}|}$$

$$\frac{\sqrt{3}}{2}|i_{AB}| = \frac{1}{2}|i_A|$$

$$|i_A| = \sqrt{3}|i_{AB}|$$

Com o circuito equilibrado:

$$|\dot{i}_{AB}| = |\dot{i}_{BC}| = |\dot{i}_{CA}| = |\dot{i}_F|$$

e

$$|\dot{i}_A| = |\dot{i}_B| = |\dot{i}_C| = |\dot{i}_L|$$

Então, em um circuito trifásico equilibrado ligado em Δ :

$$|\dot{i}_{\text{LINHA}}| = \sqrt{3} |\dot{i}_{\text{FASE}}|$$

Bibliografia:

KAGAN, Nelson e OLIVEIRA, Carlos César Barioni de e ROBBA, Ernesto João. **Introdução aos sistemas de distribuição de energia elétrica**. . São Paulo, 2005.

MONTICELLI, A. **Introdução a Sistemas de Energia Elétrica**, Editora UNICAMP, 1ª Edição – 2004