

Conteúdo da aula:

## 6. Circuitos trifásicos

6.1. Introdução

6.2. Sinais trifásicos

6.3. Sequência de fases e operador alfa

6.2. Fontes trifásicas

6.3. Linhas de transmissão trifásicas

6.4. Cargas trifásicas

6.5. Sistemas trifásicos, simétricos e equilibrados na ligação em estrela

6.5.1. Definições de grandezas de fase e de linha

6.5.2. Circuito monofásico equivalente

6.6. Sistemas trifásicos, simétricos e equilibrados na ligação em triângulo

6.6.1. Definições de grandezas de fase e de linha

6.6.2. Circuito monofásico equivalente

Começamos em breve

## 6. Circuitos trifásicos

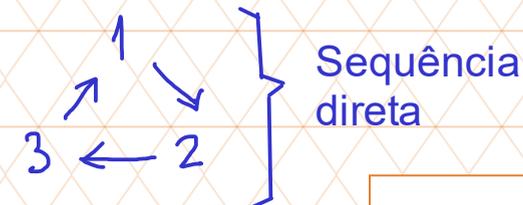
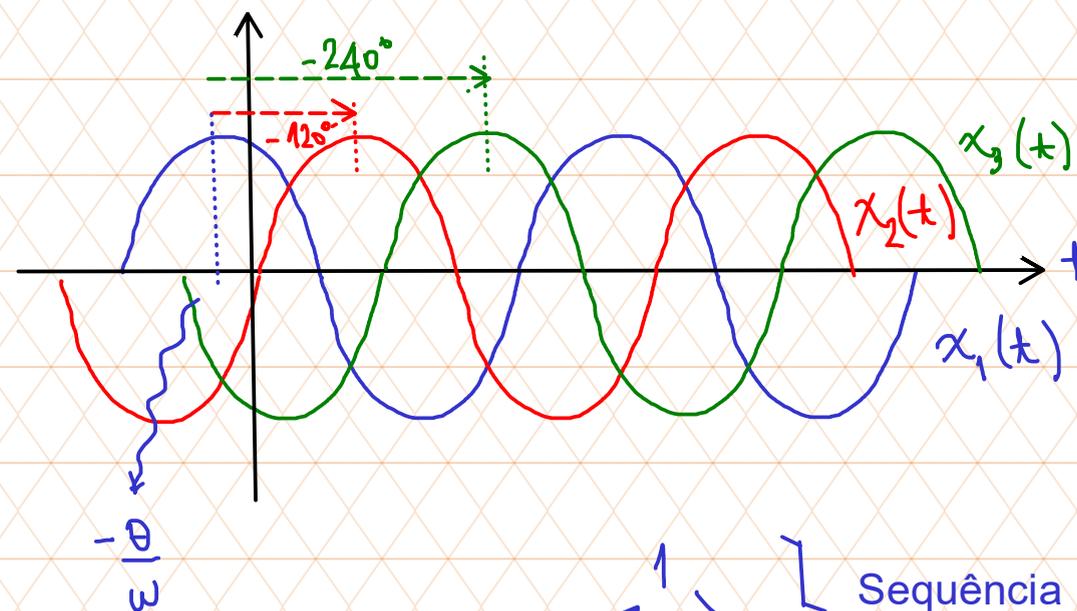
### 6.1. Introdução

Circuitos trifásicos são compostos por geradores, linhas de transmissão e cargas (motores, iluminação, aquecimento, etc.) conectados de forma ordenada, de modo a garantir o melhor custo benefício na produção, transporte e consumo de energia elétrica.

### 6.2. Sinais trifásicos

$$\begin{cases} x_1(t) = X_p \cos(\omega t + \theta) \\ x_2(t) = X_p \cos(\omega t + \theta + 120^\circ) \\ x_3(t) = X_p \cos(\omega t + \theta + 240^\circ) \end{cases}$$

Sinais trifásicos e simétricos, porque tem a mesma amplitude e estão atrasados de um mesmo intervalo de tempo (ou defasados de 120 graus elétricos)



## 6. Circuitos trifásicos

### 6.3. Sequência de fases e operador alfa

A sequência de fases tem impacto no equacionamento dos circuitos trifásicos e na forma de operação das cargas, em especial no sentido de rotação de motores trifásicos. Por essa razão, o cálculo elétrico que envolve circuitos trifásicos é feito com base nessa sequência. Diz-se que:

- A seq. é positiva se o sinal 2 sucede o sinal 1 e o sinal 3, o 2 (ordem 1-2-3-1-2-3 ...)
- A seq. é negativa se o sinal 3 sucede o sinal 1 e o sinal 2, o 3 (ordem 1-3-2-1-3-2 ...)

A representação fasorial desses sinais é

$$\hat{x}_1 = X \angle \theta$$

$$\hat{x}_2 = X \angle \theta - 120^\circ = \hat{x}_1 \cdot 1 \angle -120^\circ$$

$$\hat{x}_3 = X \angle \theta + 120^\circ = \hat{x}_1 \cdot 1 \angle +120^\circ$$

seq. positiva

seq. positiva

$$\hat{x}_1 = X \angle \theta$$

$$\hat{x}_2 = X \angle \theta + 120^\circ = \hat{x}_1 \cdot 1 \angle +120^\circ$$

$$\hat{x}_3 = X \angle \theta - 120^\circ = \hat{x}_1 \cdot 1 \angle -120^\circ$$

seq. negativa

seq. negativa

O operador alfa é:  $\alpha = 1 \angle 120^\circ$

$$\left. \begin{aligned} \alpha^0 &= 1 \\ \alpha^1 &= 1 \angle 120^\circ \\ \alpha^2 &= 1 \angle 120^\circ \cdot 1 \angle 120^\circ = 1 \angle 240^\circ = 1 \angle -120^\circ \\ \alpha^3 &= 1 \angle 360^\circ = 1 = \alpha^0 \end{aligned} \right\}$$

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1 \angle 0^\circ}{1 \angle 120^\circ} = 1 \angle -120^\circ = \alpha^2$$

$$\frac{1}{\alpha^2} = \alpha \quad \text{e} \quad \frac{1}{\alpha^3} = 1$$

Utilizando o operador alfa:

$$\begin{aligned} \dot{\chi}_1 &= X \angle \theta = \dot{\chi}_1 \cdot 1 \\ \dot{\chi}_2 &= X \angle \theta - 120^\circ = \dot{\chi}_1 \alpha^2 \\ \dot{\chi}_3 &= X \angle \theta + 120^\circ = \dot{\chi}_1 \alpha \end{aligned}$$

seq. positiva

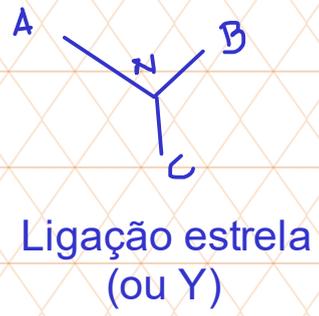
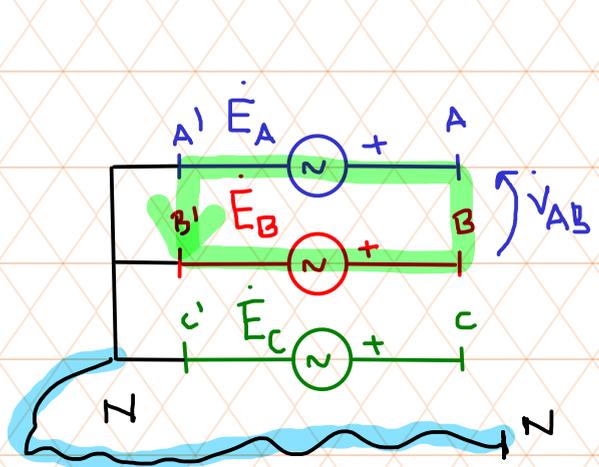
$$\dot{\chi}_1 = \dot{\chi}_1 \begin{bmatrix} 1 \\ \alpha^2 \\ \alpha \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \dot{\chi}_1 &= X \angle \theta = \dot{\chi}_1 \cdot 1 \\ \dot{\chi}_2 &= X \angle \theta + 120^\circ = \dot{\chi}_1 \alpha \\ \dot{\chi}_3 &= X \angle \theta - 120^\circ = \dot{\chi}_1 \alpha^2 \end{aligned}$$

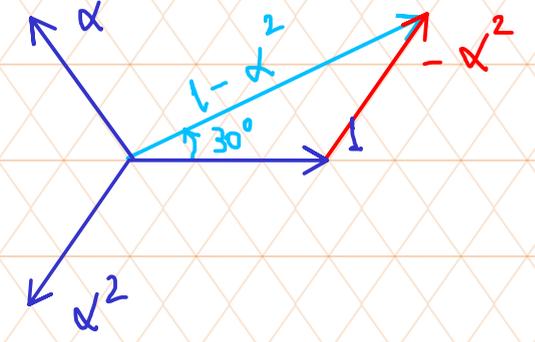
seq. negativa

$$\dot{\chi}_1 = \dot{\chi}_1 \begin{bmatrix} 1 \\ \alpha \\ \alpha^2 \end{bmatrix}$$

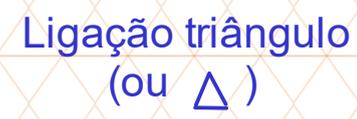
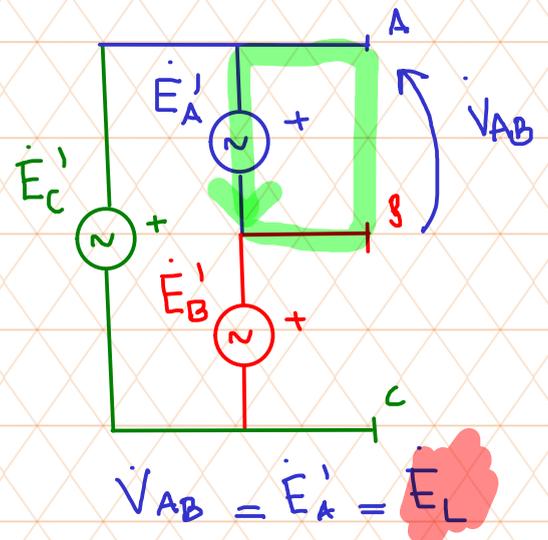
6. Circuitos trifásicos  
6.4. Fontes trifásicas



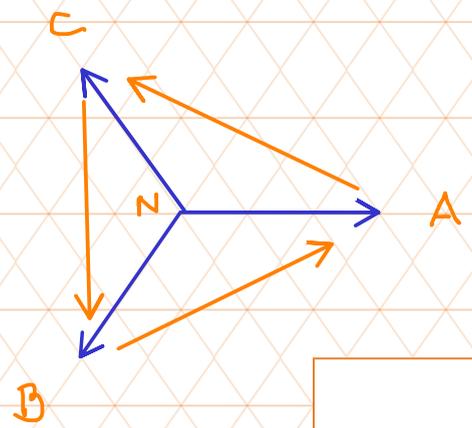
$$\begin{cases} \dot{E}_A = \dot{E}_F = E_F \angle \theta \\ \dot{E}_B = \dot{E}_F \cdot \alpha^2 \\ \dot{E}_C = \dot{E}_F \cdot \alpha \end{cases}$$



$$\dot{V}_{AB} - \dot{E}_A + \dot{E}_B = 0 \quad \rightsquigarrow \quad \dot{V}_{AB} = \dot{E}_A - \dot{E}_B = \dot{E}_F (1 - \alpha^2) = \dot{E}_F \cdot \sqrt{3} \angle 30^\circ$$



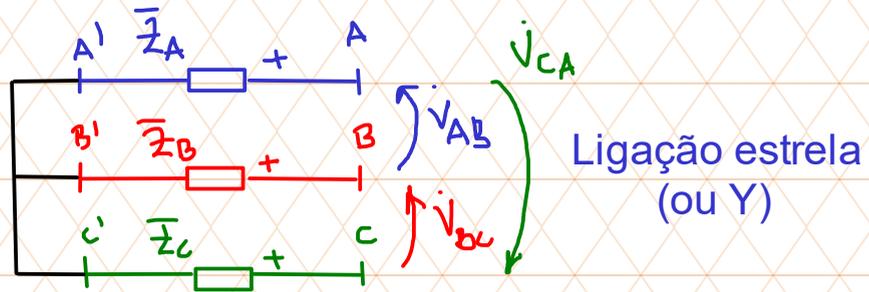
$$\begin{cases} \dot{E}'_A = \dot{E}_L = E_L \angle \theta \\ \dot{E}'_B = \dot{E}_L \cdot \alpha^2 \\ \dot{E}'_C = \dot{E}_L \cdot \alpha \end{cases}$$



$$\dot{V}_{AB} = \dot{E}'_A = E_L$$

## 6. Circuitos trifásicos

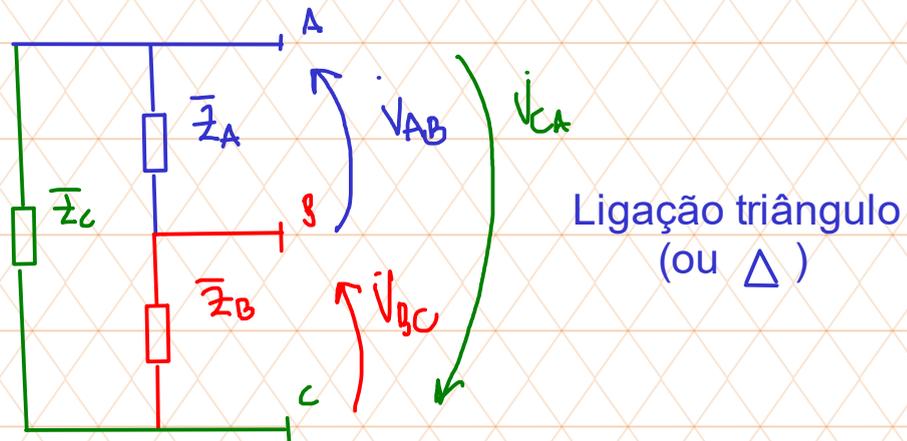
### 6.5. Cargas trifásicas equilibradas



$$\begin{cases} \bar{Z}_A = \bar{Z}_Y \\ \bar{Z}_B = \bar{Z}_A \\ \bar{Z}_C = \bar{Z}_C \end{cases}$$

As cargas trifásicas são equivalentes quando

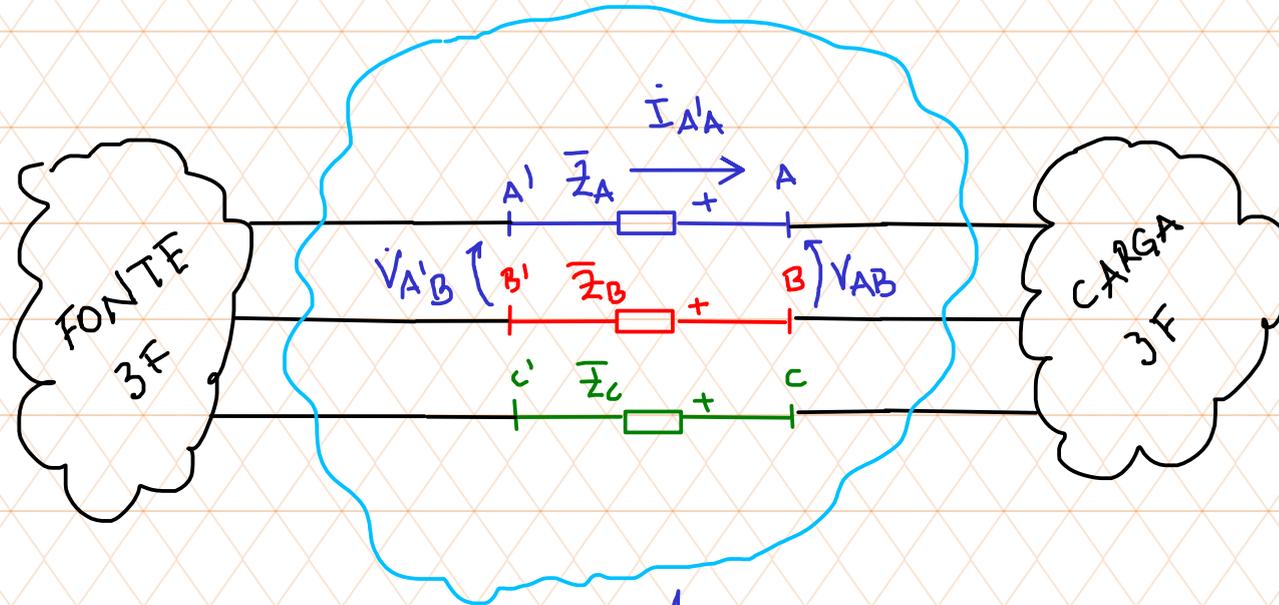
$$\bar{Z}_Y = \frac{\bar{Z}_\Delta}{3}$$



$$\begin{cases} \bar{Z}_A = \bar{Z}_\Delta \\ \bar{Z}_B = \bar{Z}_A \\ \bar{Z}_C = \bar{Z}_C \end{cases}$$

## 6. Circuitos trifásicos

### 6.6. Linhas de transmissão trifásicas equilibradas



Linha e transmissão SEM mútuas

$$\bar{Z}_A = \bar{Z}_B = \bar{Z}_C = \bar{Z}_L \text{ (equilibrada)}$$

## 6. Circuitos trifásicos

### 6.6. Circuitos trifásicos de sequência positiva (ABC), simétricos e equilibrados na ligação estrela

