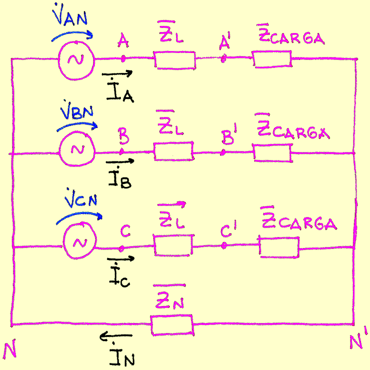
Circuitos Trifásicos

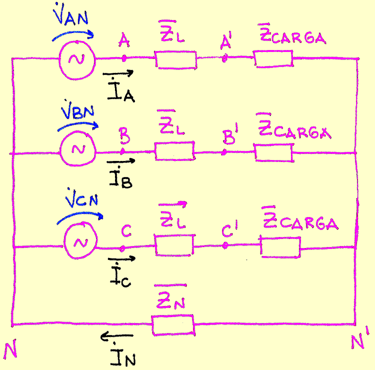
Milana Lima dos Santos

Depto. de Engenharia de Energia e Automação Elétricas
Escola Politécnica da USP

1 de março de 2016



$\dot{V}_{AN}$
A
$\bar{Z}_L$
A'
$\bar{Z}_{CARGA}$
$\dot{I}_A$
$\dot{V}_{BN}$
B
$\bar{Z}_L$
B'
$\bar{Z}_{CARGA}$
$\dot{I}_B$
$\dot{V}_{CN}$
C
$\bar{Z}_L$
C'
$\bar{Z}_{CARGA}$
$\dot{I}_C$
$\bar{Z}_N$
N
$\dot{I}_N$
N'



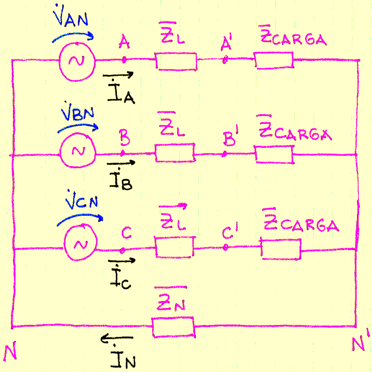
$\dot{V}_{AN} = (130\angle 25°)V,$

seq. direta, sistema simétrico

$\overline{Z}_L = 0,1 + j0,5\,\Omega$

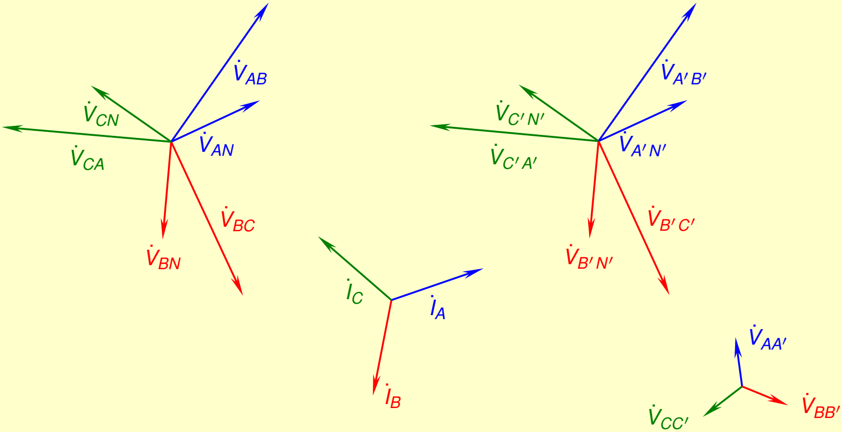
$\overline{Z}_{CARGA} = 100 + j10\,\Omega$

$\overline{Z}_N = 0,5 + j0,3\,\Omega$



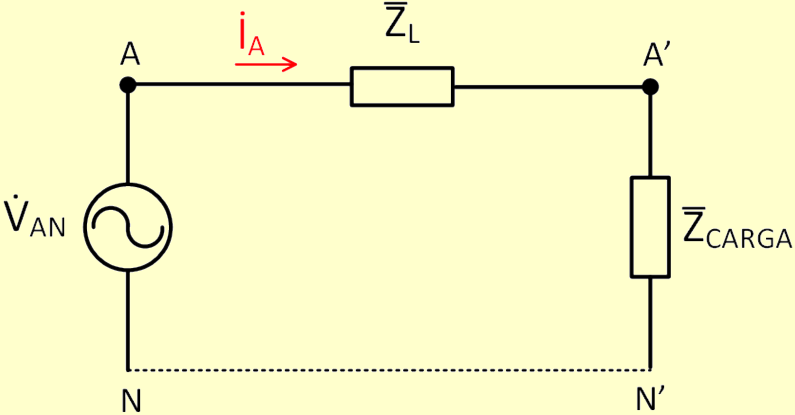
$\dot{V}_{AN}$
A
$\bar{Z}_L$
A'
$\bar{Z}_{CARGA}$
$\dot{I}_A$
$\dot{V}_{BN}$
B
$\bar{Z}_L$
B'
$\bar{Z}_{CARGA}$
$\dot{I}_B$
$\dot{V}_{CN}$
C
$\bar{Z}_L$
C'
$\bar{Z}_{CARGA}$
$\dot{I}_C$
$\bar{Z}_N$
N
$\dot{I}_N$
N'

carga:

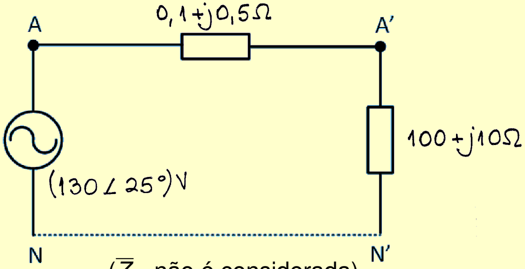


As tensões de linha na fonte, tensões de fase e linha na carga, correntes na linha e quedas de tensão na linha também formam sistemas trifásicos simétricos.

Circuito equivalente monofásico para circuito trifásico simétrico e equilibrado em Y



Fio neutro fictício (sem impedância, N e N têm o mesmo potencial)

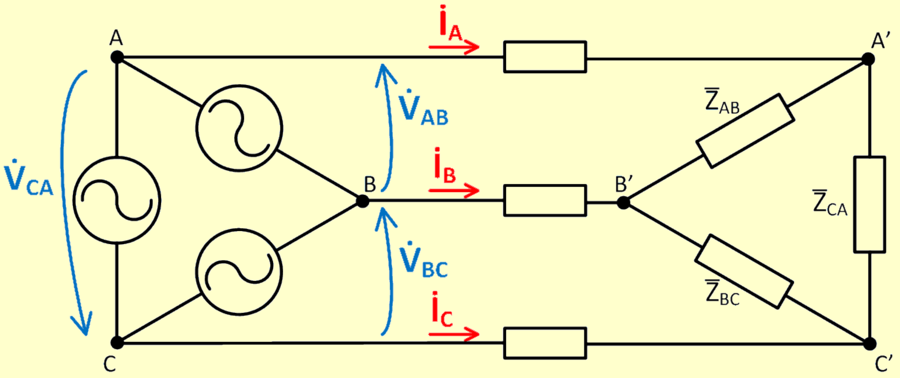


($\overline{Z}_N$ não é considerada)

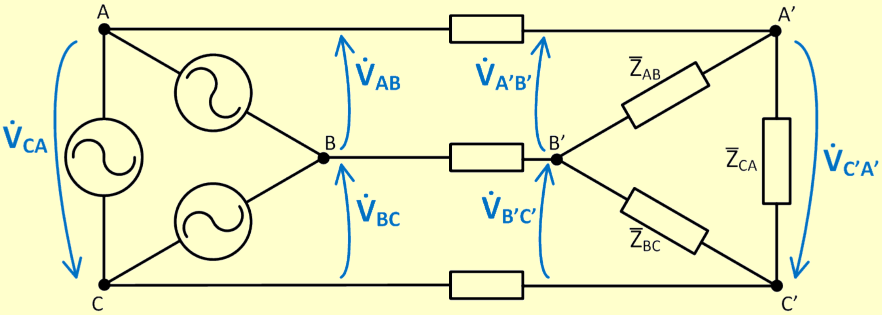
Valores restantes (BN, CN, BC ...) são obtidos aplicando-se as defasagens, de acordo com a sequência da fonte, direta ou inversa.

Circuitos em triângulo (Δ)

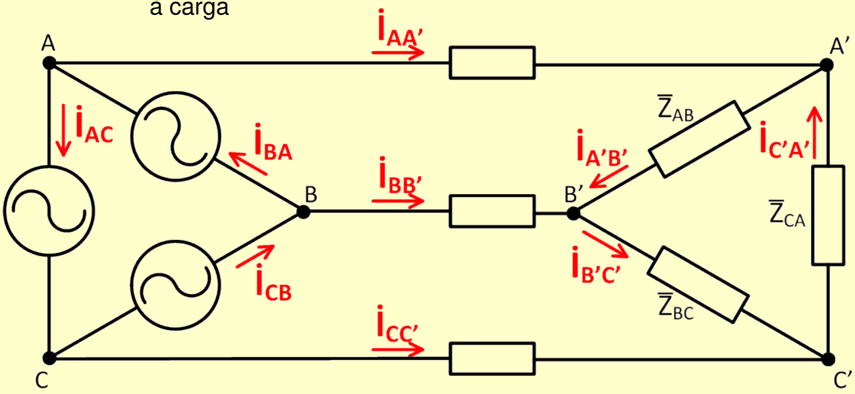
Circuito triângulo



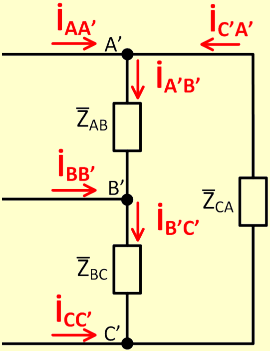
- Tensões de fase
  - Tensões observadas nas bobinas do gerador trifásico
  - Tensões observadas sobre cada uma das impedâncias de carga
- Tensões de linha
  - Tensões entre dois terminais do gerador, exceto o neutro
  - Tensões entre dois terminais da carga, exceto o neutro



- Correntes de fase
  - Correntes que percorrem as bobinas do gerador trifásico
  - Correntes que percorrem cada uma das impedâncias de carga
- Correntes de linha
  - Correntes que percorrem os condutores que interligam o gerador à carga



Relações entre $\dot{I}_L$ e $\dot{I}_F$, ligação triângulo (Δ), sistema trifásico qualquer



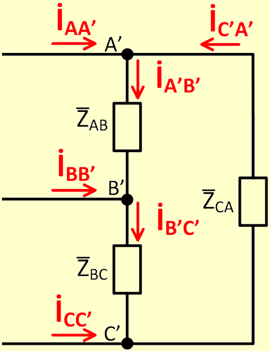
- Simétrico/assimétrico
- Sequência direta ou inversa
- Pela Lei das Correntes de Kirchoff,

$$\dot{I}_{AA'} = \dot{I}_{A'B'} - \dot{I}_{C'A'}$$
$$\dot{I}_{BB'} = \dot{I}_{B'C'} - \dot{I}_{A'B'}$$
$$\dot{I}_{CC'} = \dot{I}_{C'A'} - \dot{I}_{B'C'} \rightarrow \dot{I}_{AA'} + \dot{I}_{BB'} + \dot{I}_{CC'} = 0$$

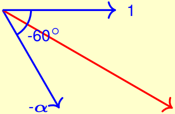
- Sendo $\dot{I}_{A'B'}$, $\dot{I}_{B'C'}$, $\dot{I}_{C'A'}$ conhecidas, $\dot{I}_{AA'}$, $\dot{I}_{BB'}$, $\dot{I}_{CC'}$ são determinadas de forma direta
- Sendo $\dot{I}_{AA'}$, $\dot{I}_{BB'}$, $\dot{I}_{CC'}$ conhecidas e $\dot{I}_{AB}$, $\dot{I}_{BC}$, $\dot{I}_{CA}$ incógnitas, só há duas equações linearmente independentes no sistema acima.

Relações entre $\dot{I}_L$ e $\dot{I}_F$, ligação triângulo (Δ), sistema simétrico e equilibrado

$$\boxed{\dot{I}_{AA'} = \dot{I}_{A'B'} - \dot{I}_{C'A'}}$$



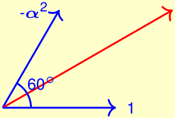
- Sequência direta



$$\dot{I}_{AA'} = \dot{I}_{A'B'} - \alpha\dot{I}_{A'B'} = \dot{I}_{A'B'}(1-\alpha)$$

$$\boxed{\dot{I}_{AA'} = \dot{I}_{A'B'}(\sqrt{3}\angle -30^\circ)}$$

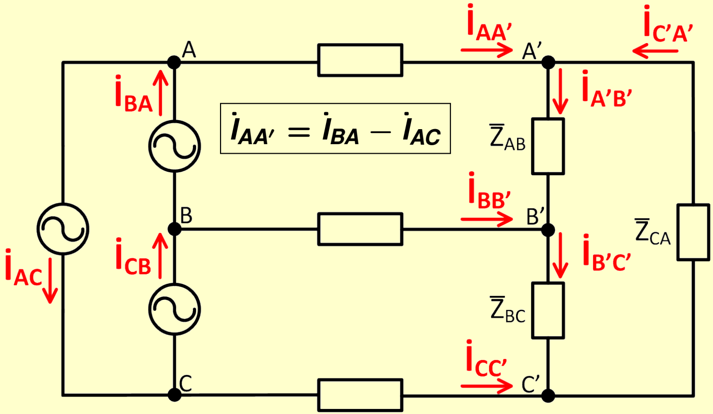
- Sequência inversa



$$\dot{I}_{AA'} = \dot{I}_{A'B'} - \alpha^2\dot{I}_{A'B'} = \dot{I}_{A'B'}(1-\alpha^2)$$

$$\boxed{\dot{I}_{AA'} = \dot{I}_{A'B'}(\sqrt{3}\angle 30^\circ)}$$

Correntes na fonte,sistema simétrico e equilibrado



Sequência direta:

$$\boxed{\dot{I}_{AA'} = \dot{I}_{BA}(\sqrt{3}\angle -30^\circ)}$$

Sequência inversa:

$$\boxed{\dot{I}_{AA'} = \dot{I}_{BA}(\sqrt{3}\angle 30^\circ)}$$

Diagrama de fasores de corrente, ligação triângulo (Δ), sistema simétrico e equilibrado

$\Longleftarrow$ Sequência direta

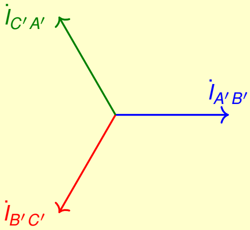


Diagrama de fasores de corrente, ligação triângulo (Δ), sistema simétrico e equilibrado

$\Longleftarrow$ Sequência direta

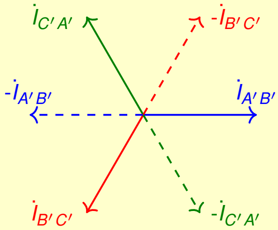


Diagrama de fasores de corrente, ligação triângulo (Δ), sistema simétrico e equilibrado

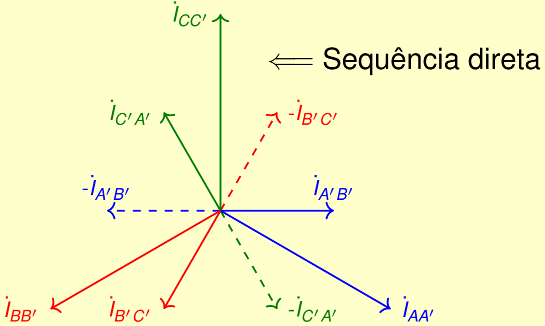


Diagrama de fasores de corrente, ligação triângulo (Δ), sistema simétrico e equilibrado

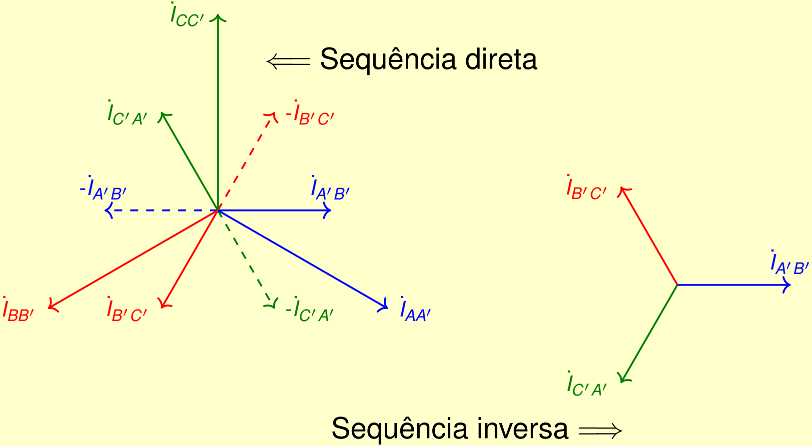


Diagrama de fasores de corrente, ligação triângulo (Δ), sistema simétrico e equilibrado

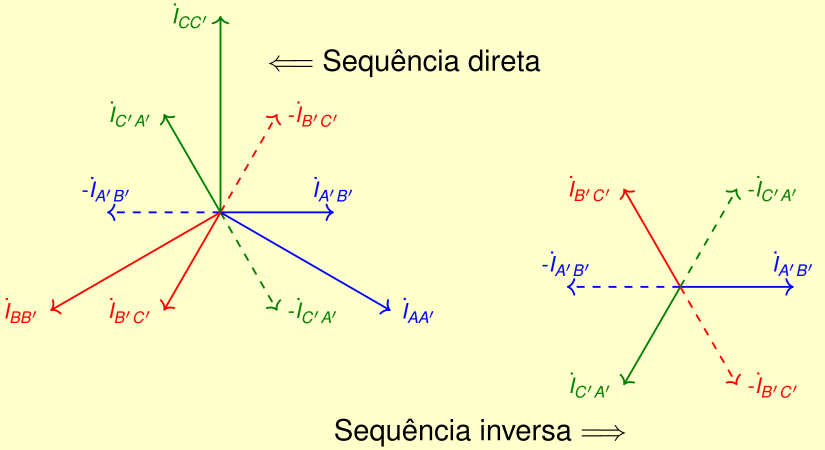
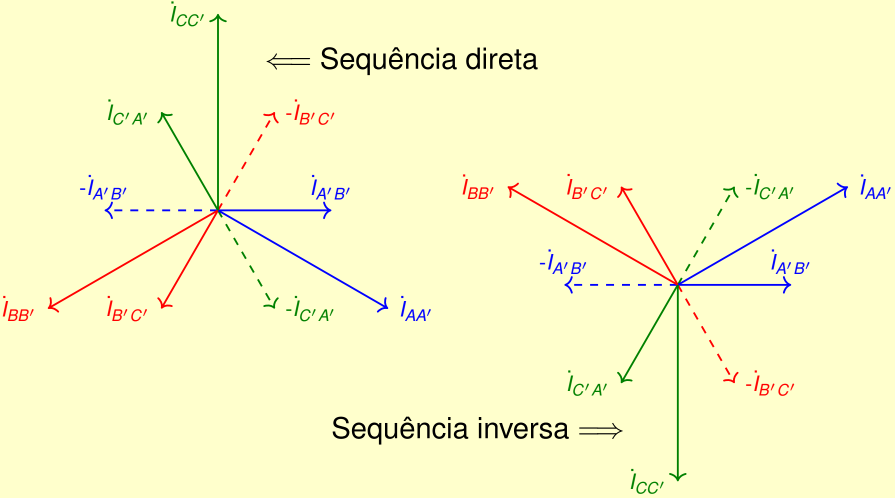
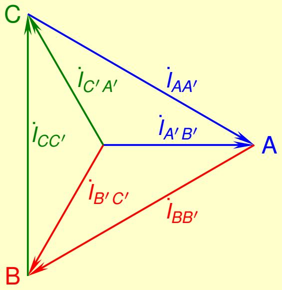


Diagrama de fasores de corrente, ligação triângulo (Δ), sistema simétrico e equilibrado

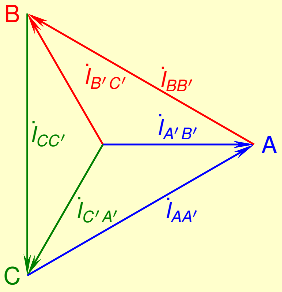


Outra disposição do diagrama de fasores



$\Longleftarrow$ Sequência direta

Sequência inversa $\Longrightarrow$



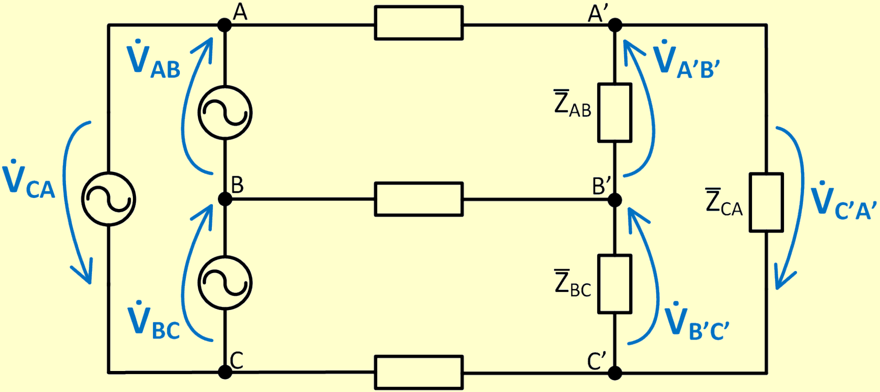
Determinação das correntes de fase dadas as correntes de linha?

- Dado um sistema de correntes de linha simétrico, há infinitas soluções para as correntes de fase, mas apenas uma delas resulta em um sistema de correntes de fase simétrico
- Exemplo numérico:

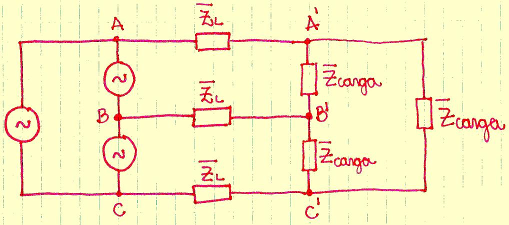
$$\dot{I}_{A'B'} =(5\angle-10^\circ)+(0.5\angle-80^\circ)=(5,19\angle-15,2^\circ)\ A$$
$$\dot{I}_{B'C'} =(5\angle-130^\circ)+(0.5\angle-80^\circ)=(5,33\angle-125,9^\circ)\ A$$
$$\dot{I}_{C'A'} =(5\angle110^\circ)+(0.5\angle-80^\circ)=(4,51\angle111,1^\circ)\ A$$

$$\dot{I}_{AA'}=8,66\angle-40^\circ\ A$$
$$\dot{I}_{BB'}=8,66\angle-160^\circ\ A$$
$$\dot{I}_{CC'}=8,66\angle80^\circ\ A$$

Relações entre $\dot{V}_L$ e $\dot{V}_F$, ligação triângulo



Na ligação triângulo, as tensões de fase são iguais às tensões de linha.

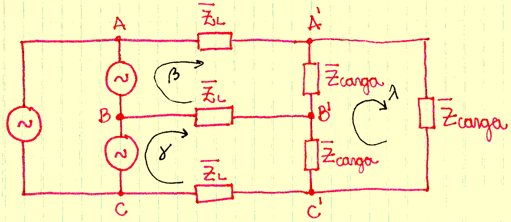


sist. simétrico de seqüência direta

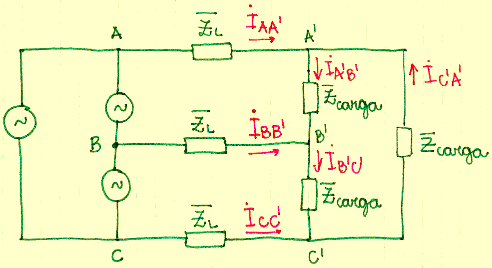
$\dot{V}_{AB} = (100\angle 15°)\,V$

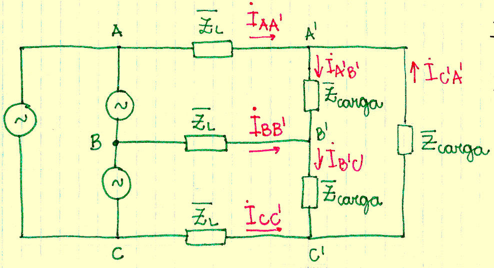
$\overline{Z}_L = (0,5 + j2)\,\Omega$

$\overline{Z}_{carga} = (100 + j20)\,\Omega$



A
$\vec{Z}_L$
A'
$\vec{Z}_{carga}$
β
$\vec{Z}_L$
λ
B
B'
$\vec{Z}_{carga}$
γ
$\vec{Z}_{carga}$
$\vec{Z}_L$
C
C'

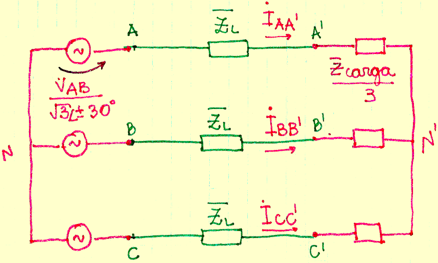

A
$\bar{Z}_L$
$\dot{I}_{AA'}$
A'
$\dot{I}_{A'B'}$
$\dot{I}_{C'A'}$
$\bar{Z}_{carga}$
B
$\bar{Z}_L$
$\dot{I}_{BB'}$
B'
$\dot{I}_{B'C'}$
$\bar{Z}_{carga}$
$\bar{Z}_{carga}$
$\bar{Z}_L$
$\dot{I}_{CC'}$
C
C'



$$\dot I_{AA'} = \dot I_{A'B'} - \dot I_{C'A'}$$

$$\dot I_{BB'} = \dot I_{B'C'} - \dot I_{A'B'}$$

$$\dot I_{CC'} = \dot I_{C'A'} - \dot I_{B'C'}$$



seq. direta

$$\dot{I}_{AA'} = \frac{\dot{V}_{AB}(1-\alpha)}{3\bar{Z}_L + \bar{Z}_{carga}} = \frac{\dot{V}_{AB}(\sqrt{3}\angle -30^\circ)}{3\left(\bar{Z}_L + \frac{\bar{Z}_{carga}}{3}\right)}$$

$$\dot{I}_{AA'} = \frac{\dot{V}_{AB}}{\sqrt{3}\angle 30^\circ} \; \frac{1}{\bar{Z}_L + \bar{Z}_{carga}/3}$$

...

$$\dot{I}_{BB'} = \frac{\dot{V}_{BC}}{\sqrt{3}\angle 30^\circ} \; \frac{1}{\bar{Z}_L + \frac{\bar{Z}_{carga}}{3}}, \quad \dot{I}_{CC'} = \frac{\dot{V}_{CA}}{\sqrt{3}\angle 30^\circ} \; \frac{1}{\bar{Z}_L + \frac{\bar{Z}_{carga}}{3}}$$

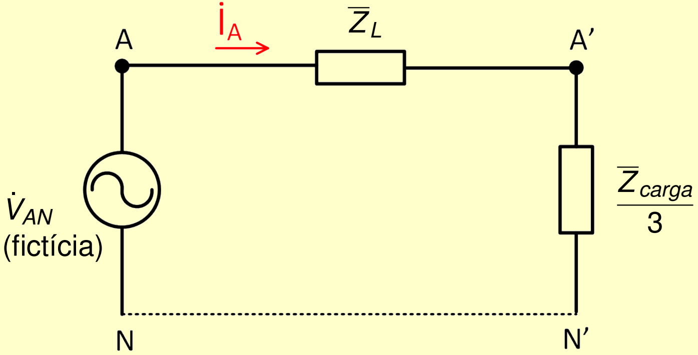
seq. inversa

$$\dot{I}_{AA'} = \frac{\dot{V}_{AB}(1-\alpha^2)}{3\bar{Z}_L + \bar{Z}_{carga}} = \ldots = \frac{\dot{V}_{AB}}{\sqrt{3}\angle -30^\circ} \; \frac{1}{\bar{Z}_L + \frac{\bar{Z}_{carga}}{3}}$$

$$\dot{I}_{BB'} = \frac{\dot{V}_{BC}}{\sqrt{3}\angle -30^\circ} \; \frac{1}{\bar{Z}_L + \bar{Z}_{carga}/3}$$

$$\dot{I}_{CC'} = \frac{\dot{V}_{CA}}{\sqrt{3}\angle -30^\circ} \; \frac{1}{\bar{Z}_L + \frac{\bar{Z}_{carga}}{3}}$$

Circuito equivalente monofásico para circuito trifásico simétrico e equilibrado em triângulo



Fio neutro fictício (sem impedância)

(Obtenção das correntes de linha. Para as demais grandezas, retornar ao circuito original, com os fasores de corrente de linha conhecidos.)