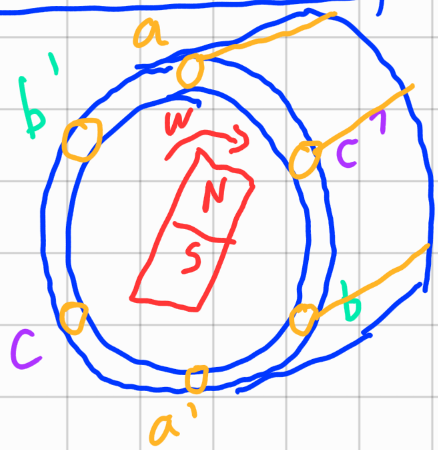
Circuitos trifásicos



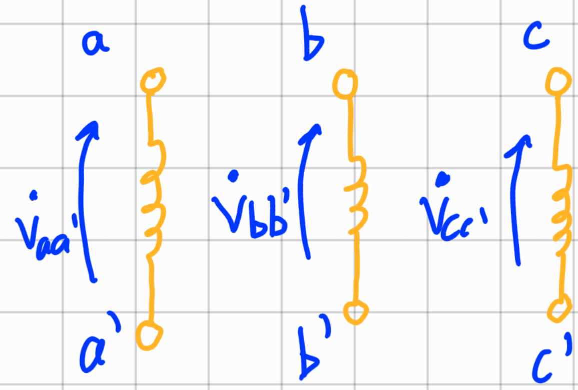
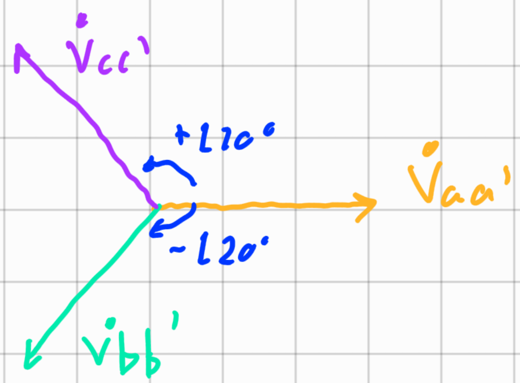


Diagrama de fasores



$$|\dot{V}_{aa'}| = |\dot{V}_{bb'}| = |\dot{V}_{cc'}| = |\dot{V}_F|$$

referência

$\dot{V}_{aa'} = |\dot{V}_F| \angle 0°$ (V)

$\dot{V}_{bb'} = |\dot{V}_F| \angle -120°$ (V)

$\dot{V}_{cc'} = |\dot{V}_F| \angle 120°$ (V)

Rede elétrica brasileira:

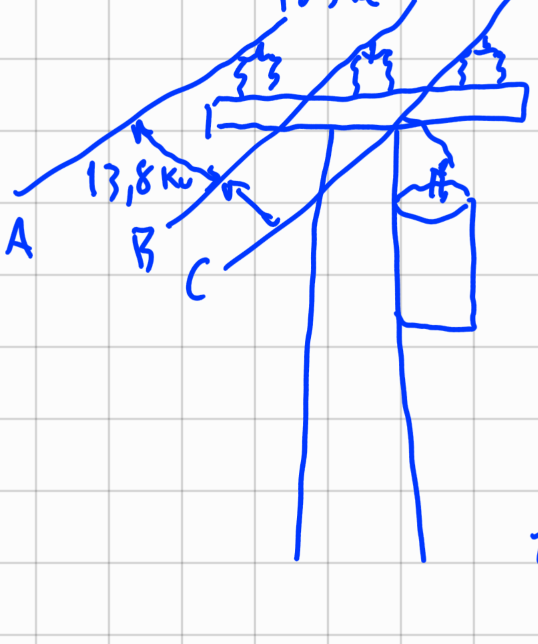
Geração ($V_{bb'}$, $V_{aa'}$, $V_{cc'}$) → 13,8 kV → Elevação tensão → 440 kV →

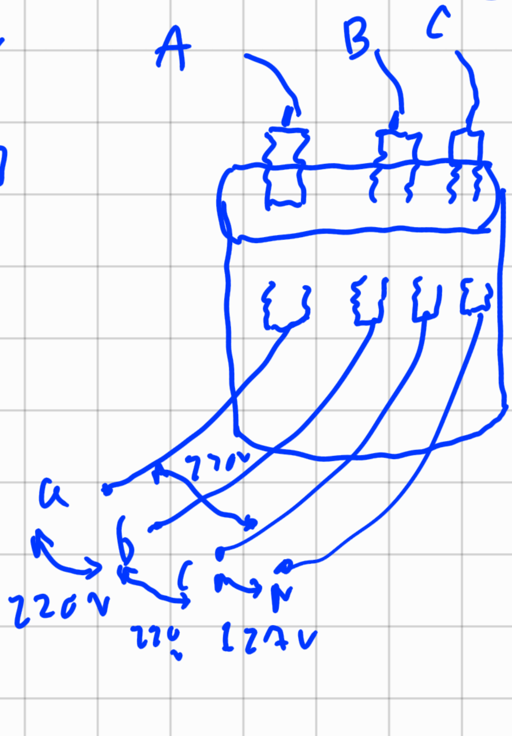
→ transmissão linhas de transmissão → subestações de distrib. → 13,8 [kV] →

→ distribuição → transformador no poste → consumo

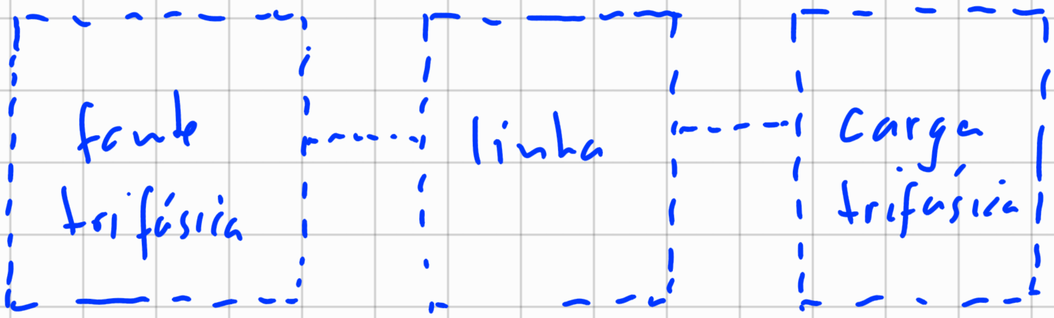
220 V / 127 V

Poste





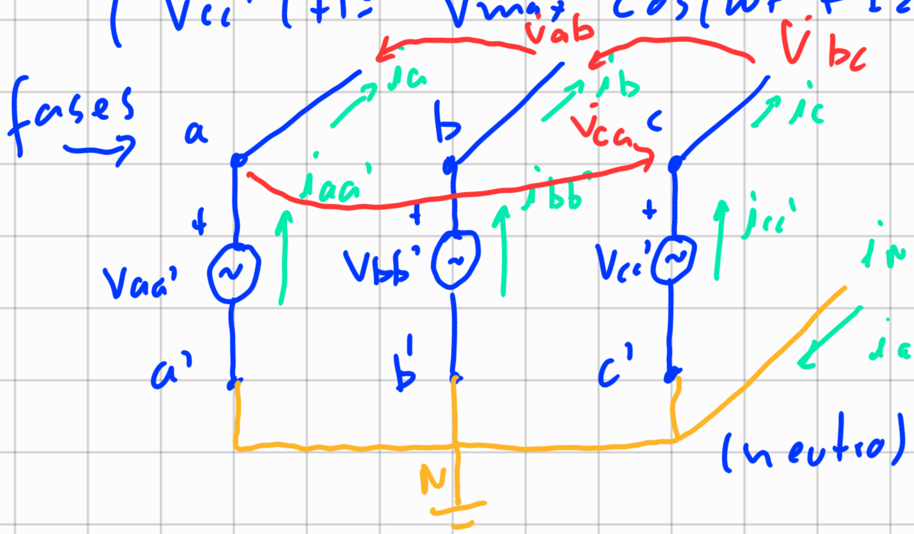
De maneira geral:



Fonte trifásica

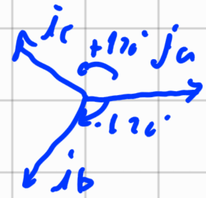
eu escolho

$$\begin{cases} V_{aa'}(t) = V_{max}\cos(\omega t + \theta_{aa'}) \\ V_{bb'}(t) = V_{max}\cos(\omega t - 120° + \theta_{cc'}) \\ V_{cc'}(t) = V_{max}\cos(\omega t + 120° + \theta_{aa'}) \end{cases}$$



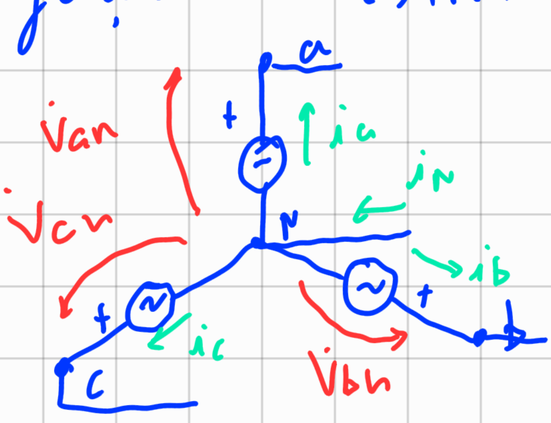
$i_{aa'} + i_{bb'} + i_{cc'} = i_N$

$i_a + i_b + i_c = i_N$

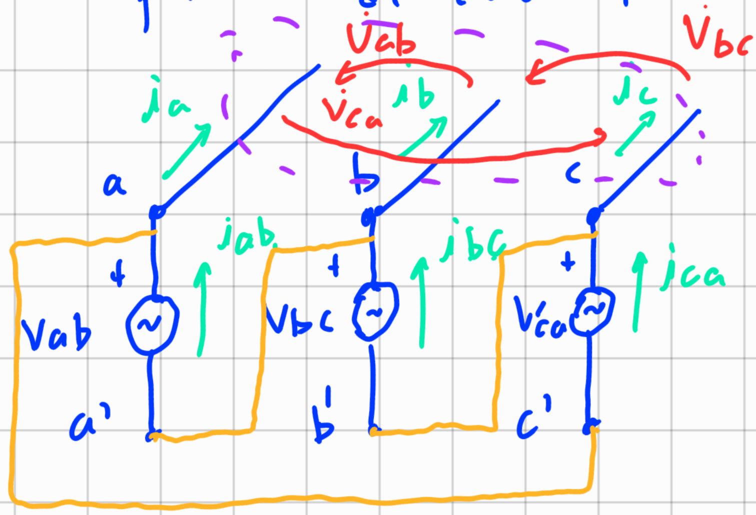


Só vai ser zero quando as correntes forem equilibradas

Ligação em estrela:



Outra forma de conectar as fontes é:



$\dot{V}_{aa'} = \dot{V}_{ab}$

$\dot{V}_{bb'} = \dot{V}_{bc}$

$\dot{V}_{cc'} = \dot{V}_{ca}$

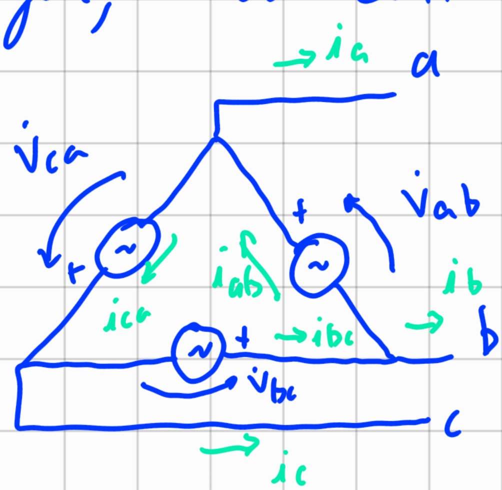
$\dot{I}_a = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca}$

$\dot{I}_b = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab}$

$\dot{I}_c = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc}$

$\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = 0$

Ligação em delta:



Nomear as tensões e correntes:

1) Tensão de fase: tensão sobre a fonte ($\dot{V}_{aa'}, \dot{V}_{bb'}, \dot{V}_{cc'}$)

ex) estrela: $\dot{V}_{an}$, $\dot{V}_{bn}$ e $\dot{V}_{ca}$

delta: $\dot{V}_{ab}$, $\dot{V}_{bc}$ e $\dot{V}_{ca}$

2) Tensão de linha: tensão entre duas fases.

ex) estrela: $\dot{V}_{ab}$, $\dot{V}_{bc}$ e $\dot{V}_{ca}$

delta: $\dot{V}_{ab}$, $\dot{V}_{bc}$ e $\dot{V}_{ca}$

OBS: No delta tensão de linha ≡ tensão de fase.

3) Correntes de fase: a corrente que atravessa a fonte. ($\dot{I}_{aa'}$, $\dot{I}_{bb'}$, $\dot{I}_{cc'}$)

ex) estrela: $\dot{I}_a$, $\dot{I}_b$ e $\dot{I}_c$

delta: $\dot{I}_{ab}$, $\dot{I}_{bc}$ e $\dot{I}_{ca}$

4) Correntes de linha: a corrente que passa na linha.

ex: estrela: $\dot{I}_a$, $\dot{I}_b$ e $\dot{I}_c$

delta: $\dot{I}_a$, $\dot{I}_b$ e $\dot{I}_c$

OBS: Na ligação estrela corrente de fase ≡ corrente de linha

Simetria: tensões e correntes

Tensões/correntes possuem o mesmo módulo e fases defasadas de 120° entre si.

$$\begin{cases} \dot{V}_{AN} = V_F \angle \theta_{an} \\ \dot{V}_{BN} = V_F \angle \theta_{an} - 120° \\ \dot{V}_{CN} = V_F \angle \theta_{an} + 120° \end{cases}$$

tensões de fase.

Tensões de linha:

$$\begin{cases} \dot{V}_{AB} = V_L \angle \theta_{ab} \\ \dot{V}_{BC} = V_L \angle \theta_{ab} - 120° \\ \dot{V}_{CA} = V_L \angle \theta_{ab} + 120° \end{cases}$$

Correntes de fase

$$\begin{cases} \dot{I}_A = I_F \angle \delta_a \\ \dot{I}_B = I_F \angle \delta_a - 120° \\ \dot{I}_C = I_F \angle \delta_a + 120° \end{cases}$$
(estrela)

$$\begin{cases} \dot{I}_{AB} = I_F \angle \delta_{ab} \\ \dot{I}_{BC} = I_F \angle \delta_{ab} - 120° \\ \dot{I}_{CA} = I_F \angle \delta_{ab} + 120° \end{cases}$$
(delta)

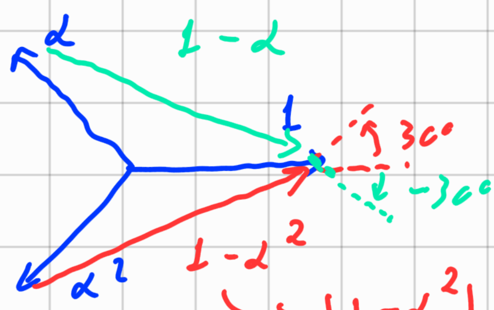
Correntes de linha (estrela ou delta)

$$\begin{cases} \dot{I}_A = I_L \angle \delta_a \\ \dot{I}_B = I_L \angle \delta_a - 120° \\ \dot{I}_C = I_L \angle \delta_a + 120° \end{cases}$$

Operador α:

$\alpha = 1 \angle 120°$
$\alpha^2 = 1 \angle -120°$
$\alpha^3 = 1$

$1 + \alpha + \alpha^2 = 0$



$\rightarrow |1-\alpha^2| = \sqrt{3}$

Quanto vale: $1 - \alpha^2 = 1 - 1\angle -120°$

$1 - \alpha^2 = 1 - [\cos -120° + j\,\text{sen}(-120°)]$

$1 - \alpha^2 = 1 - \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$

$1 - \alpha^2 = \frac{3}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{\left(\frac{3}{2}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2} \angle \text{atg}\left(\frac{\frac{\sqrt{3}}{2}}{\frac{3}{2}}\right)$

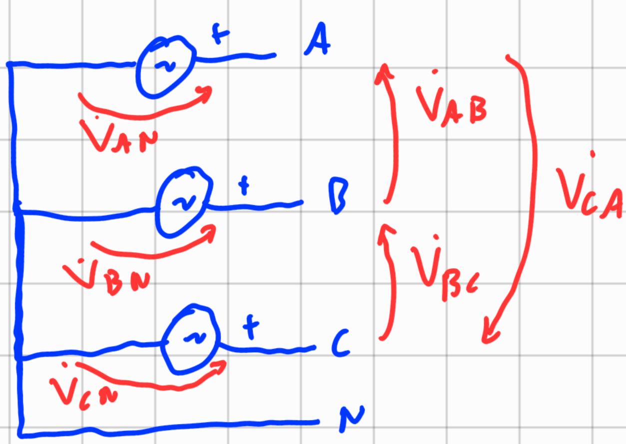
$\boxed{1 - \alpha^2 = \sqrt{3}\angle 30°}$

Agora, quanto vale $\boxed{1 - \alpha = \sqrt{3}\angle -30°}$

a) Relações entre tensões de fase e de linha.

Na estrela:

Pela 2ª LK:



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

$$\begin{cases} \dot{V}_{AB} = \dot{V}_{AN} - \dot{V}_{BN} \\ \dot{V}_{BC} = \dot{V}_{BN} - \dot{V}_{CN} \\ \dot{V}_{CA} = \dot{V}_{CN} - \dot{V}_{AN} \end{cases}$$

Porém: $\dot{V}_{AN} = V_F \angle \theta_{an}$

$\dot{V}_{BN} = V_F \angle (\theta_{an} - 120^\circ)$

$\dot{V}_{CN} = V_F \angle (\theta_{an} + 120^\circ)$

Em termos de α:

$$\dot{V}_{AN} = 1 \cdot (V_F \angle \theta_{an})$$

$$\dot{V}_{BN} = (V_F \angle \theta_{an}) \cdot (1 \angle -120^\circ)$$

$$\dot{V}_{BN} = \alpha^2 \dot{V}_{AN}$$

$$\dot{V}_{CN} = \alpha \dot{V}_{AN}$$

Voltando nas eqs. da 2ª LK:

$$\dot{V}_{AB} = \dot{V}_{AN} - \alpha^2 \dot{V}_{AN} = (1 - \alpha^2) \dot{V}_{AN}$$

$$\boxed{\dot{V}_{AB} = \sqrt{3} \angle 30^\circ \cdot \dot{V}_{AN}}$$

$$\boxed{\begin{aligned} \dot{V}_{BC} &= (1 - \alpha^2) \dot{V}_{BN} \\ \dot{V}_{CA} &= (1 - \alpha^2) \dot{V}_{CN} \end{aligned}}$$

$\dot{V}_{BC} \rightarrow (1 - \alpha^2) \cdot \alpha^2 \dot{V}_{AN}$

$\dot{V}_{CA} \rightarrow (1 - \alpha) \cdot \alpha \dot{V}_{AN}$

<u>No delta:</u> tensão fase = tensão linha

b) Relação entre as correntes de fase e de linha.

<u>Estrela</u>: corrente de fase = corrente de linha.

<u>Delta</u>: Aplicando a 1ª LK:

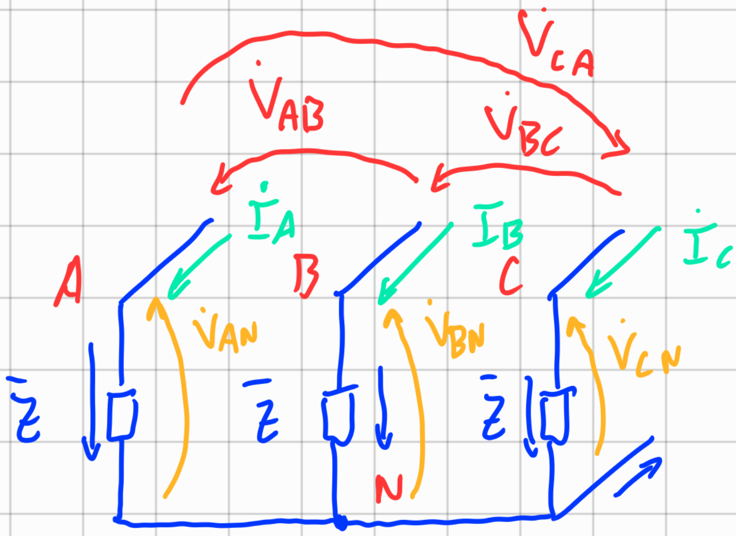
$$\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA}$$

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \alpha\,\dot{I}_{AB} = (1-\alpha)\,\dot{I}_{AB}$$

$$\left\{\begin{array}{l} \boxed{\dot{I}_A = \sqrt{3}\,\angle -30^\circ\,\dot{I}_{AB}} \\ \dot{I}_B = \sqrt{3}\,\angle -30^\circ \cdot \dot{I}_{BC} \rightarrow \sqrt{3}\,\angle -30^\circ \cdot \alpha^2\,\dot{I}_{AB} = \alpha^2\,\dot{I}_A \\ \dot{I}_C = \sqrt{3}\,\angle -30^\circ \cdot \dot{I}_{CA} \rightarrow \sqrt{3}\,\angle -30^\circ \cdot \alpha\,\dot{I}_{AB} = \alpha\,\dot{I}_A \end{array}\right.$$

Cargas trifásicas

Carga em estrela com retorno (Y):



1) Corrente de linha = corrente de fase na carga.

↳ equilibrada, pois tem a mesma imp. em cada fase.

2) $\dot V_{linha} = \sqrt{3} \angle 30° \cdot \dot V_{fase}$

$$\begin{cases} \dot V_{AB} = \sqrt{3} \angle 30° \cdot \dot V_{AN} \\ \dot V_{BC} = \sqrt{3} \angle 30° \cdot \dot V_{BN} \\ \dot V_{CA} = \sqrt{3} \angle 30° \cdot \dot V_{CN} \end{cases}$$

$\dot I_B = \alpha^2 \dot I_A$

$\dot I_c = \alpha \dot I_A$

$\alpha = 1 \angle 120°$

$\alpha^2 = 1 \angle -120°$

Como a impedância nas três fases são iguais a carga é equilibrada.

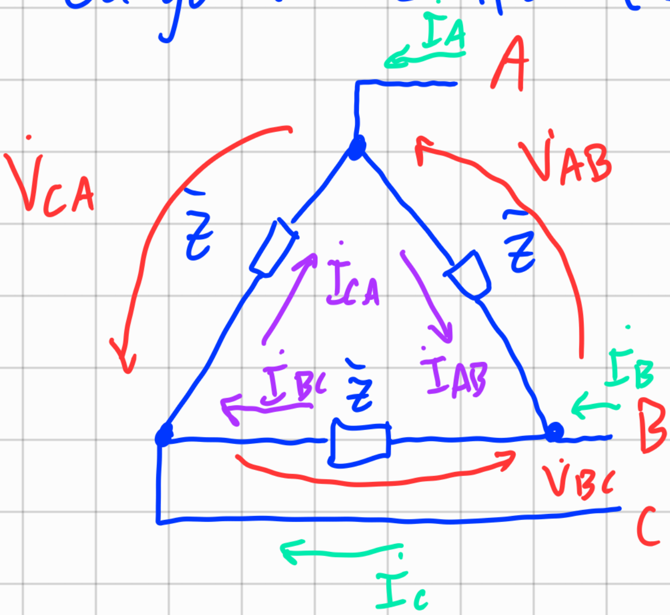
$$\begin{cases} \dot V_{BN} = \alpha^2 \dot V_{AN} \\ \dot V_{CN} = \alpha \dot V_{AN} \end{cases}$$

$\dot V_{AB}$

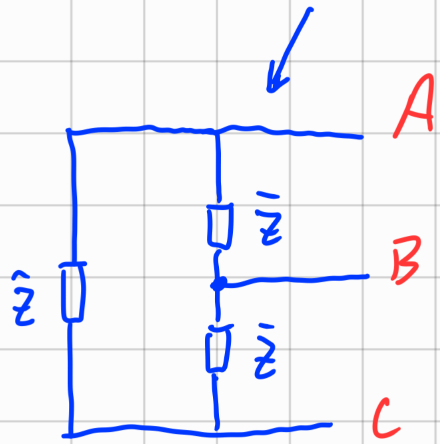
$\dot V_{BC} = \alpha^2 \dot V_{AB}$

$\dot V_{CA} = \alpha \dot V_{AB}$

Carga em delta (Δ):



ou



Não temos neutro!

1) Tensão de linha = tensão de fase ✓

2) $\dot{I}_{linha} = \sqrt{3}\angle{-30^\circ} \cdot \underline{\dot{I}_{fase}}$ ✓

$$\begin{cases} \dot{I}_A = \sqrt{3}\angle{-30^\circ} \cdot \dot{I}_{AB} \\ \dot{I}_B = \sqrt{3}\angle{-30^\circ} \cdot \dot{I}_{BC} \\ \dot{I}_C = \sqrt{3}\angle{-30^\circ} \cdot \dot{I}_{CA} \end{cases}$$

$\dot{I}_B = \alpha^2 \dot{I}_A$

$\dot{I}_C = \alpha \dot{I}_A$

$\dot{I}_{BC} = \alpha^2 \dot{I}_{AB}$

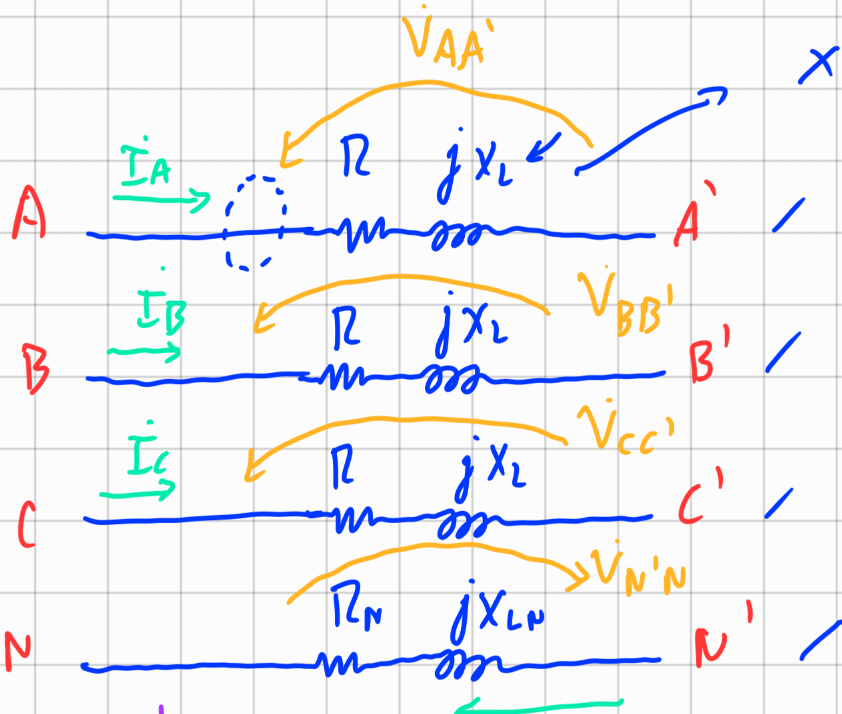
$\dot{I}_{CA} = \alpha \dot{I}_{AB}$

Como a impedância nas três fases são iguais a carga é equilibrada.

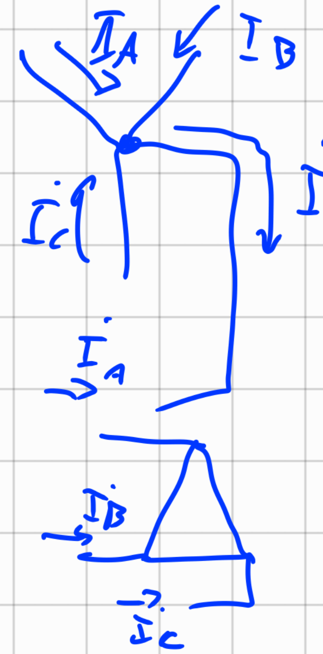
Linha trifásica (cabos)

$X_L = \omega L$

$\hookrightarrow 2\pi \cdot f$



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



pode ter ou não
(depende do modo de conexão do sistema trifásico!)

$\dot{V}_{AA'}$, $\dot{V}_{BB'}$ e $\dot{V}_{CC'}$ são as quedas de tensão na linha.

$$\dot{V}_{AA'} = (R + jX_L) \cdot \dot{I}_A$$
$$\dot{V}_{BB'} = (R + jX_L) \cdot \dot{I}_B$$
$$\dot{V}_{CC'} = (R + jX_L) \cdot \dot{I}_C$$

$\dot{V}_{NN'}$: queda se tensão no fio de retorno.

Resolução de circuitos trifásicos

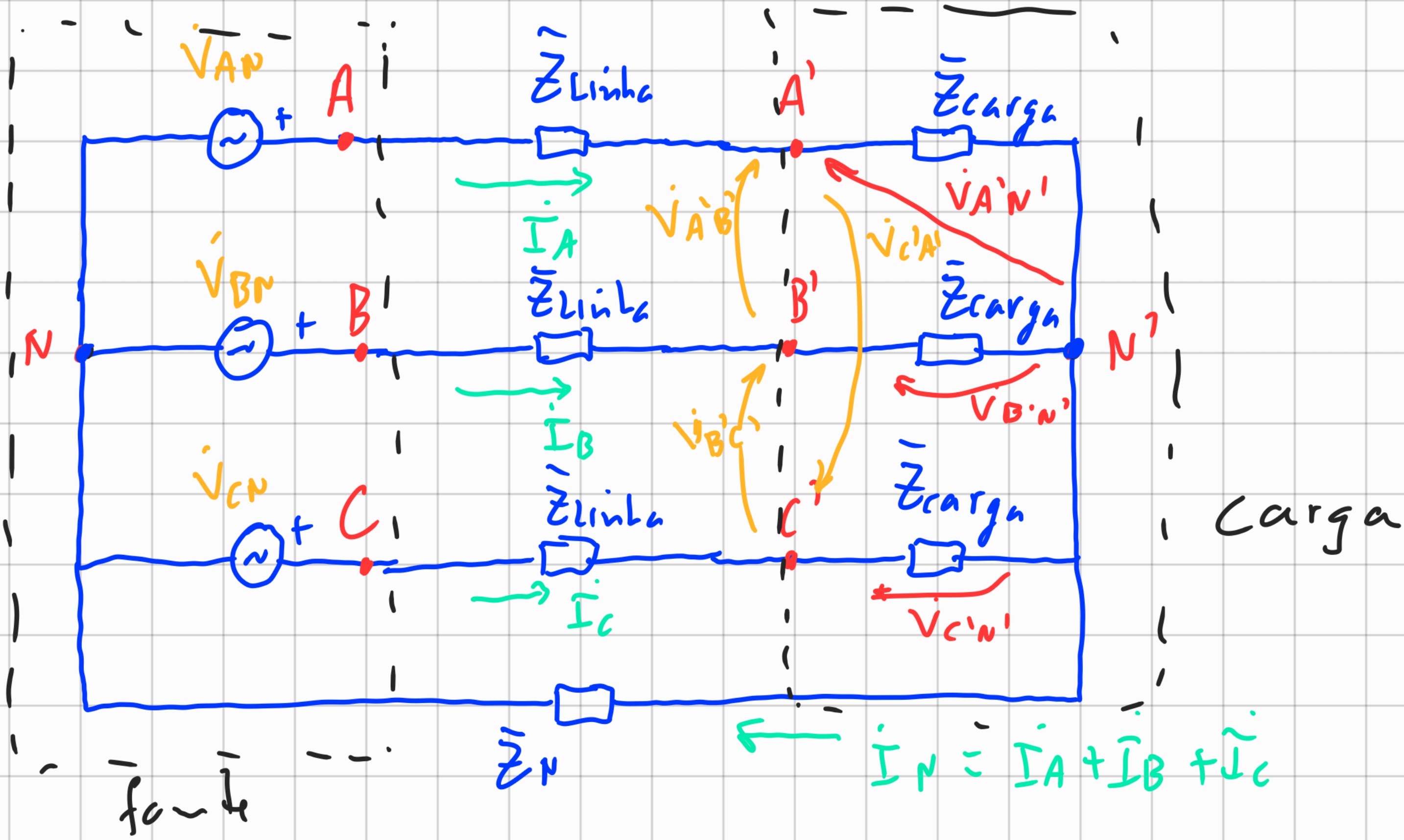
1) Qualquer método de solução de circuitos vistos até agora podem ser aplicados.

2) Se a fonte for simétrica e a linha e a carga equilibradas, pode-se resolver o circuito trifásico de uma maneira mais simples, usando apenas uma das fases e depois usando as relações existentes.

Neste curso usaremos a 2ª opção.

Vejamos os procedimentos:

Considere o circuito trifásico, simétrico, com linha e carga equilibradas:



Neste caso:

$$\dot V_{BN} = \alpha^2 \dot V_{AN}$$
$$\dot V_{CN} = \alpha \dot V_{AN}$$

, lembrando $\boxed{\begin{array}{l}\alpha = 1\angle 120° \\ \alpha^2 = 1\angle -120°\end{array}}$

Aplicando a 2ª LK:

$$\dot V_{A'N} = (\bar Z_{linha} + \bar Z_{carga})\dot I_{A'} + \cancelto{0}{\bar Z_N \dot I_N}$$
$$\dot V_{B'N} = (\bar Z_{linha} + \bar Z_{carga})\dot I_{B'} + \cancelto{0}{\bar Z_N \dot I_N}$$
$$\dot V_{C'N} = (\bar Z_{linha} + \bar Z_{carga})\dot I_{C'} + \cancelto{0}{\bar Z_N \dot I_N}$$

$$\underbrace{\dot V_{AN} + \dot V_{BN} + \dot V_{CN}}_{0} = (\bar Z_{linha} + \bar Z_{carga})(\dot I_A + \dot I_B + \dot I_C) + 3\bar Z_N \dot I_N$$

$$\dot V_{AN} + \alpha^2 \dot V_{AN} + \alpha \dot V_{AN} = x$$
$$x = \underbrace{(1 + \alpha^2 + \alpha)}_{=0} \dot V_{AN} = 0$$

Então:

$$(\bar{Z}_{linha} + \bar{Z}_{carga})(\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C) = -3\bar{Z}_N \dot{I}_N$$

A única solução desta equação é se

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

Logo, não passa corrente pelo fio de retorno e $\dot{V}_{N'N} = 0$

E, ainda:
$$\dot{I}_B = \alpha^2 \dot{I}_A$$
$$\dot{I}_C = \alpha \dot{I}_A$$

As equações de cada fase ficam:

$$\begin{cases} \dot{V}_{AN} = (\bar{Z}_{linha} + \bar{Z}_{carga})\dot{I}_A \\ \dot{V}_{BN} = (\bar{Z}_{linha} + \bar{Z}_{carga})\dot{I}_B \\ \dot{V}_{CN} = (\bar{Z}_{linha} + \bar{Z}_{carga})\dot{I}_C \end{cases}$$

Percebam que cada equação só envolve tensões e correntes da própria fase, ou seja, é como se fossem três circuitos independentes.

Então, por exemplo:

$$\begin{cases} \dot{I}_A = \dfrac{\dot{V}_{AN}}{(\bar{Z}_{linha} + \bar{Z}_{carga})} \\ \dot{I}_B = \alpha^2 \dot{I}_A \\ \dot{I}_C = \alpha \dot{I}_A \end{cases}$$

Tensão de fase na carga:

$$\begin{cases} \dot{V}_{A'N'} = \bar{Z}_{carga} \dot{I}_A \\ \dot{V}_{B'N'} = \alpha^2 \dot{V}_{A'N} \\ \dot{V}_{C'N'} = \alpha \dot{V}_{A'N} \end{cases}$$

Tensão de linha nos terminais da carga:

$$\begin{cases} \dot{V}_{A'B'} = \sqrt{3} \angle 30^\circ \cdot \dot{V}_{A'N} \\ \dot{V}_{B'C'} = \alpha^2 \dot{V}_{A'B'} \\ \dot{V}_{C'A'} = \alpha \dot{V}_{A'B'} \end{cases}$$

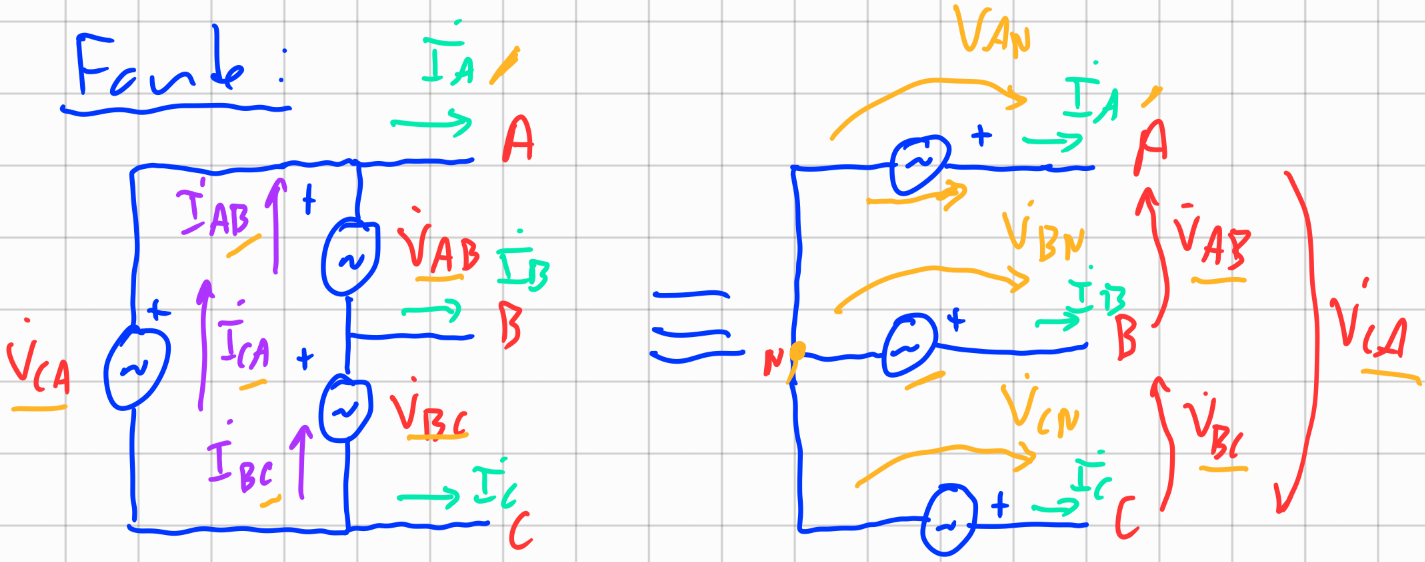
Queda de tensão na linha:

$$\begin{cases} \dot{V}_{AA'} = \bar{Z}_{linha} \cdot \dot{I}_A \\ \dot{V}_{BB'} = \alpha^2 \dot{V}_{AA'} \\ \dot{V}_{CC'} = \alpha \dot{V}_{AA'} \end{cases}$$

Para fontes e/ou cargas em delta, deve-se primeiramente, achar o circuito em estrela equivalente:

Vamos ver como se faz isso:

Fonte:



Se:

$$\begin{cases} \dot{V}_{AN} = \dfrac{\dot{V}_{AB}}{\sqrt{3}\angle 30°} \\ \dot{V}_{BN} = \dfrac{\dot{V}_{BC}}{\sqrt{3}\angle 30°} \\ \dot{V}_{CN} = \dfrac{\dot{V}_{CA}}{\sqrt{3}\angle 30°} \end{cases}$$

e $\dot{I}_A$, $\dot{I}_B$ e $\dot{I}_C$ se mantêm iguais em ambos os circuitos.

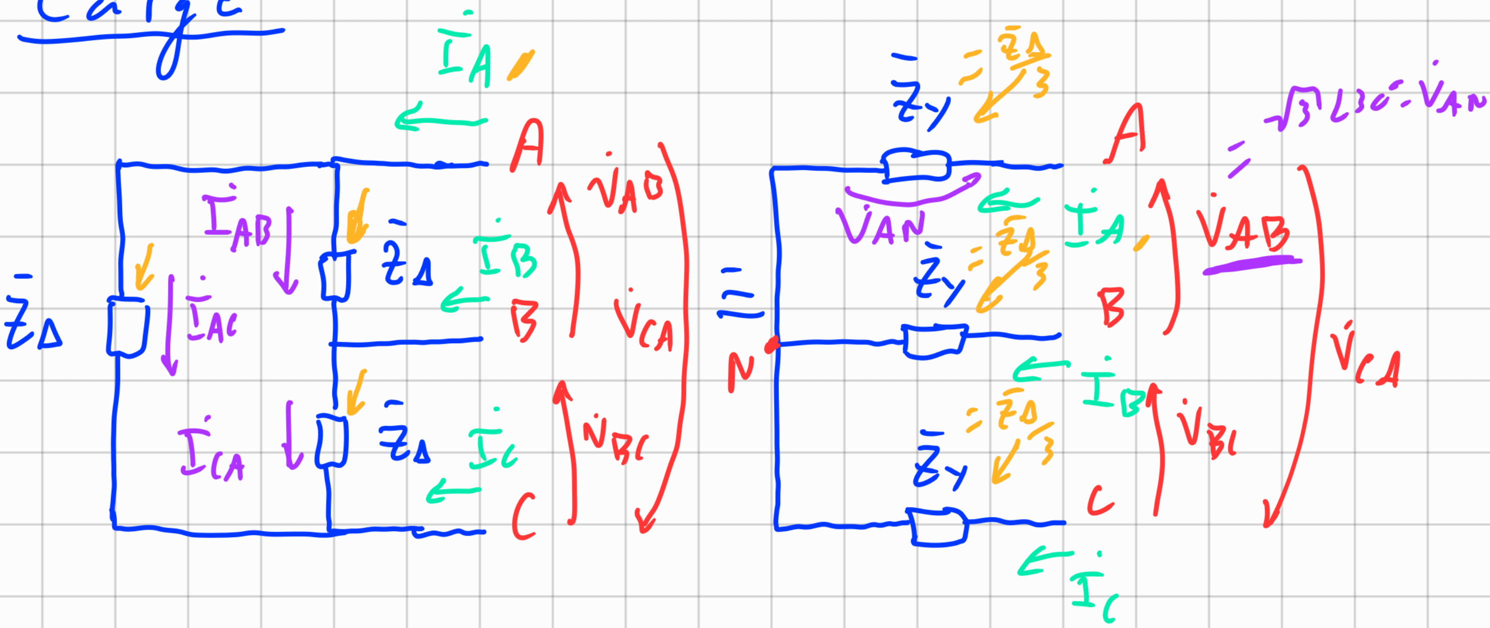
Ao calcular $\dot{I}_A$, $\dot{I}_B$ e $\dot{I}_C$ deve-se encontrar as correntes de fase da fonte original!

Fazendo:

$$\dot{I}_{AB} = \frac{\dot{I}_A}{\sqrt{3}\angle -30^\circ} \quad \Bigg| \quad \dot{I}_{BC} = \frac{\dot{I}_B}{\sqrt{3}\angle -30^\circ} = \alpha^2 \dot{I}_{AB}$$

$$\dot{I}_{CA} = \frac{\dot{I}_C}{\sqrt{3}\angle -30^\circ} = \alpha \dot{I}_{AB}$$

Carga



Neste caso, os circuitos serão idênticos se tiverem as mesmas tensões de linha e as mesmas correntes de linha.

Em termos de potência:

$$\bar{S}_{carga\Delta} = 3 \cdot \bar{Z}_\Delta \cdot |\dot{I}_{AB}|^2 = 3 \cdot \bar{Z}_\Delta \cdot \left| \frac{\dot{I}_A}{\sqrt{3}\angle -30^\circ} \right|^2$$

$$\boxed{\bar{S}_{carga\,\Delta}} = 3 \cdot \bar{Z}_\Delta \cdot \frac{|\dot{I}_A|^2}{3} = \underline{\bar{Z}_\Delta} \cdot \underline{|\dot{I}_A|^2}$$

$$\bar{S}_{carga\,Y} = \underline{3} \cdot \bar{Z}_Y \cdot |\dot{I}_A|^2$$

P/ serem equivalentes:

$$\bar{S}_{carga\,\Delta} = \bar{S}_{carga\,Y}$$

$$\bar{Z}_\Delta \cdot \cancel{|\dot{I}_A|^2} = 3 \cdot \bar{Z}_Y \cancel{|\dot{I}_A|^2}$$

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

Proceder como na resolução do circuito em Y!

Ao calcular $\dot{I}_A$, $\dot{I}_B$ e $\dot{I}_C$ deve-se encontrar as correntes de fase da carga original!

↳ e as tensões

Potência em circuitos trifásicos

Mesmas equações e conceitos de circuitos CA.

Porém, como o circuito é simétrico e equilibrado, a potência fornecida/consumida em cada fase é a mesma.

Assim, para encontrar a potência total fornecida/consumida pela fonte/carga, basta calcular a potência em uma das fases e multiplicar por 3.

$Y \Rightarrow \dot{V}_{AN} \quad \dot{I}_{A}$

$\Delta \Rightarrow \dot{V}_{AB} \quad \dot{I}_{AB}$

Ex: $\bar{S}_{total\,carga} = 3 \cdot \underline{\dot{V}_{fase}} \cdot \dot{I}_{fase}^{*}$ ✓ ou

$$= 3 \cdot \frac{|\dot{V}_{fase}|^2}{\bar{Z}_{carga}^{*}}$$ ✓ ou

$$= 3 \cdot \bar{Z}_{carga} \cdot |\dot{I}_{fase}|^2$$

$$\bar{S}_{total\,fonte} = 3 \cdot \dot{V}_{fase} \cdot \dot{I}_{fase}^{*}$$

Potência complexa absorvida pela linha:

Ex: $\underbrace{\tilde{S}_{totalLinha}} = 3 \cdot \dot{V}_{AA'} \cdot \dot{I}_A^*$

Perda de pot. ativa na linha = $P_{totalLinha}$

$P_{totalLinha} = \mathrm{Re}\{\bar{S}_{totalLinha}\} = 3 \cdot R_{Linha} \cdot |\dot{I}_A|^2$

Ainda, pode-se usar as grandezas de linha p/ calcular as potências:

Ex: $\bar{S}_{totalcarga} = 3 \cdot \dot{V}_{fase} \, \dot{I}_{fase}^*$

Se a carga for conectada em Y:

$\hookrightarrow \dot{I}_{fase} = \dot{I}_{Linha}$

$\bar{S}_{totalcarga} = 3 \cdot \dfrac{\dot{V}_{Linha}}{\sqrt{3}\angle 30°} \cdot \dot{I}_{Linha}^*$

$\boxed{\bar{S}_{totalcarga} = \sqrt{3}\angle -30° \cdot \dot{V}_{Linha} \cdot \dot{I}_{Linha}^*}$ ✓

ou $\bar{S}_{total\,carga} = \dfrac{3 \cdot |\dot{V}_{fase}|^2}{\bar{Z}_{cargaY}^*} = \dfrac{3 \cdot \left|\dfrac{\dot{V}_{Linha}}{\sqrt{3}\angle 30°}\right|^2}{\bar{Z}_{cargaY}^*}$

$\bar{S}_{totalcarga} = \dfrac{|\dot{V}_{Linha}|^2}{\bar{Z}_{cargaY}^*}$

ou : $\bar{S}_{total\,carga} = 3 \cdot \bar{Z}_{carga_Y} \cdot |\dot{I}_{fase}|^2$

$\bar{S}_{total\,carga} = 3 \cdot \bar{Z}_{carga_Y} \cdot |\dot{I}_{linha}|^2$

Se a carga estiver conectada em Δ:

$$\bar{S}_{total\,carga} = 3 \cdot \underbrace{\dot{V}_{linha}}_{= \dot{V}_{fase}} \cdot \left(\frac{\dot{I}_{linha}}{\sqrt{3} \angle -30°} \right)^*$$

$$\boxed{\bar{S}_{total\,carga} = \sqrt{3} \angle -30° \cdot \dot{V}_{linha} \cdot \dot{I}_{linha}^*}$$ ✓

ou $\bar{S}_{total\,carga} = 3 \cdot \frac{|\dot{V}_{fase}|^2}{\bar{Z}_{carga_\Delta}^*} = 3 \cdot \frac{|\dot{V}_{linha}|^2}{\bar{Z}_{carga_\Delta}^*}$

ou $\bar{S}_{total\,carga} = 3 \cdot \bar{Z}_{carga_\Delta} \cdot |\dot{I}_{fase}|^2$ ✓

$$\bar{S}_{total\,carga} = 3 \cdot \bar{Z}_{carga_\Delta} \cdot \left| \frac{\dot{I}_{linha}}{\sqrt{3} \angle -30°} \right|^2$$

$\bar{S}_{total\,carga} = \bar{Z}_{carga_\Delta} \cdot |\dot{I}_{linha}|^2$ ✓

Exemplo:

Dados:

- Gerador 3ϕ – Δ → $V_{Linha} = 220\ (V)$
- Carga 3ϕ – Δ → $\bar{Z}_\Delta = 3 + j4\ [\Omega]$
- Linha 3ϕ → $\bar{Z}_{Linha} = 0{,}2 + j\,0{,}15\ [\Omega]$

Pede-se:

a) As tensões de fase e de linha no gerador:

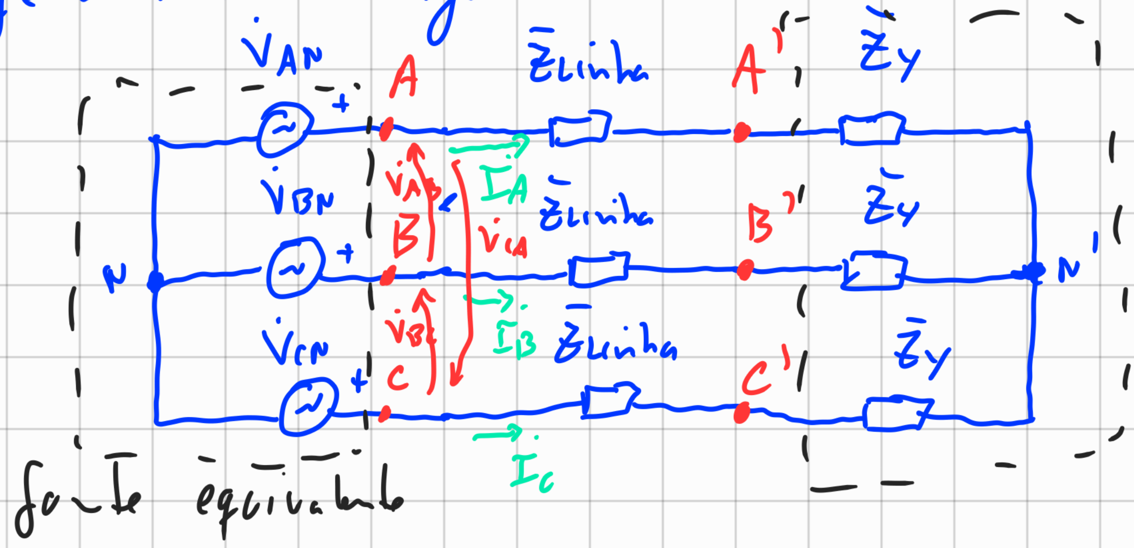
$\dot{V}_{AB} = 220\ \angle 0°\ [V]$ → eu escolhi!

$\dot{V}_{BC} = \alpha^2 \cdot \dot{V}_{AB} = 220\ \angle -120°\ [V]$

$\dot{V}_{CA} = \alpha \cdot \dot{V}_{AB} = 220\ \angle 120°\ [V]$

Como está em delta tensões de fase são iguais as de linha.

b) Calcule as correntes na linha entre o gerador e a carga.



carga equivalente

$\dot{V}_{N'N} = 0$

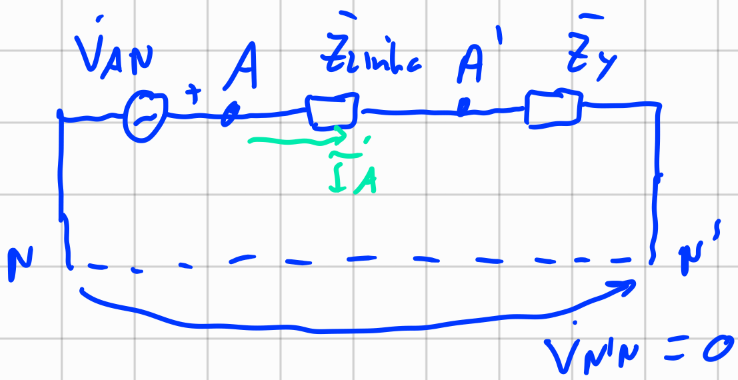
Fonte:

$$\begin{cases} \dot{V}_{AN} = \dfrac{\dot{V}_{AB}}{\sqrt{3}\angle 30^\circ} = \dfrac{220\angle 0^\circ}{\sqrt{3}\angle 30^\circ} = 127\angle -30^\circ \ [V] \\ \dot{V}_{BN} = \alpha^2 \dot{V}_{AN} = 127\angle -150^\circ \ [V] \\ \dot{V}_{CN} = \alpha \dot{V}_{AN} = 127\angle 90^\circ \ [V] \end{cases}$$

Carga:

$$\bar{Z}_Y = \frac{\bar{Z}_\Delta}{3} = \frac{3+j4}{3} = 1 + j1,333 \ [\Omega]$$

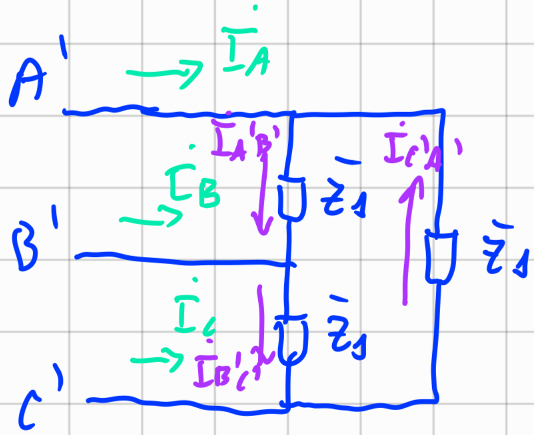
Então: $\dot{V}_{AN} = (\bar{Z}_{linha} + \bar{Z}_Y)\dot{I}_A$



$$\dot{I}_A = \frac{127\angle -30^\circ}{(0,2 + j0,15 + 1 + j1,333)}$$

$$\begin{cases} \dot{I}_A = \dfrac{127\angle -30^\circ}{1,2 + j1,48333} = 66,57\angle -81^\circ \ [A] \\ \\ \dot{I}_B = \alpha^2 \dot{I}_A = 66,57\angle 159^\circ \ [A] \\ \dot{I}_C = \alpha \dot{I}_A = 66,57\angle 39^\circ \ [A] \end{cases}$$

c) Calcule as correntes nas fases da carga:



$$\dot{I}_{A'B'} = \frac{\dot{I}_A}{\sqrt{3}\,\angle -30°} = \frac{66{,}57\,\angle -81°}{\sqrt{3}\,\angle -30°}$$

$$\begin{cases} \dot{I}_{A'B'} = 38{,}43\,\angle -51°\ [A] \\ \dot{I}_{B'C'} = \alpha^2\,\dot{I}_{A'B'} = 38{,}43\,\angle -171°\ [A] \\ \dot{I}_{C'A'} = \alpha\,\dot{I}_{A'B'} = 38{,}43\,\angle 69°\ [A] \end{cases}$$

d) Calcule a potência complexa total absorvida pela carga.

$$\bar{S}_{carga} = 3 \cdot \bar{Z}_1 \cdot |\dot{I}_{AB}|^2$$

$$\bar{S}_{carga} = 3 \cdot (3 + j4) \cdot 38{,}43^2$$

$$\bar{S}_{carga} = 13{,}29 + j\,17{,}72\ (kVA)$$

e) Quanto vale a potência ativa:

$P_{carga} = \mathrm{Re}\{\bar{S}_{carga}\} = 13,29\,[kW]$

f) Quanto vale a potência reativa:

$Q_{carga} = \mathrm{Im}\{\bar{S}_{carga}\} = 17,72\,[kVAr]$