

## Transformadores trifásicos

---



## Transformadores trifásicos

---



## Transformadores trifásicos

---



## Por que precisamos usar transformadores trifásicos

---

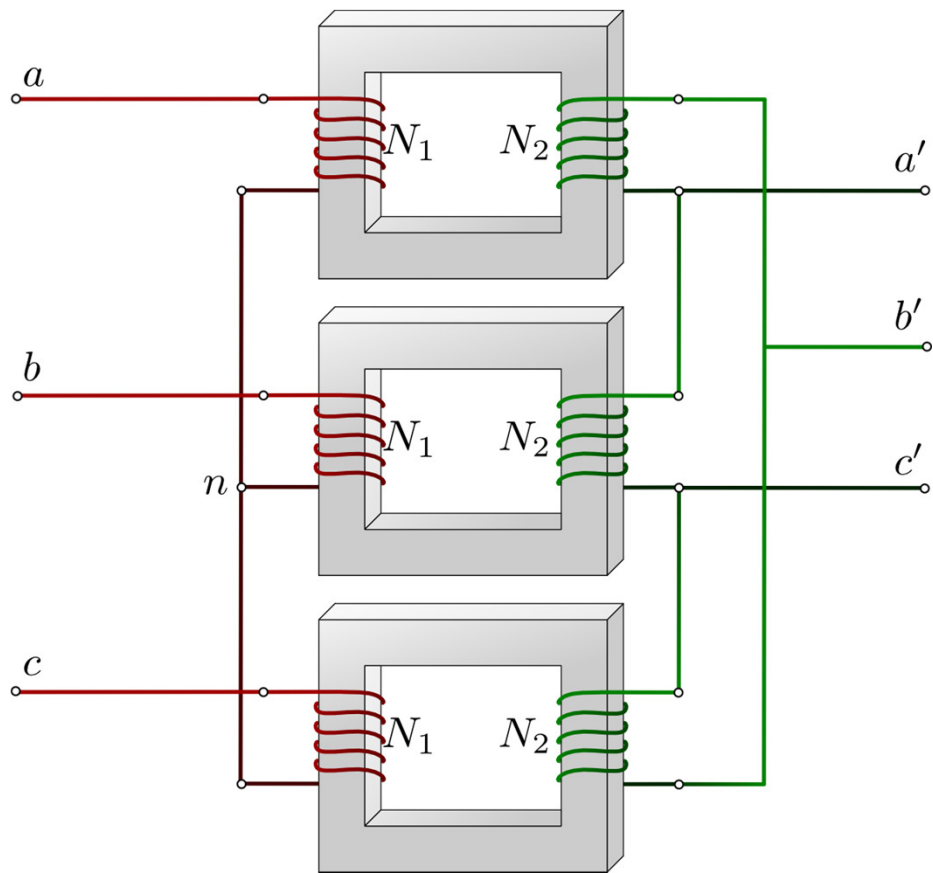
- Os sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica são sistemas trifásicos pois:
  - O volume de material condutor na transmissão em sistemas trifásicos é menor para a mesma quantidade de energia transmitida quando comparado com sistemas monofásicos ou outros sistemas polifásicos.
  - A capacidade dos geradores aumenta em função do número de fases.
  - A potência em sistemas monofásicos é pulsante com o dobro da frequência da rede, ao passo que a potência em sistemas trifásicos é constante. Portanto, possibilitando um funcionamento mais suave dos motores.
  - Para o funcionamento dos motores elétricos é necessário termos campos magnéticos girantes, o qual não é possível ser gerado em sistemas monofásicos.
- Transformadores monofásicos possuem em geral pequena capacidade de potência aparente (chamada capacidade de transformação). Quando se necessita de maiores potências utilizam-se transformadores trifásicos.



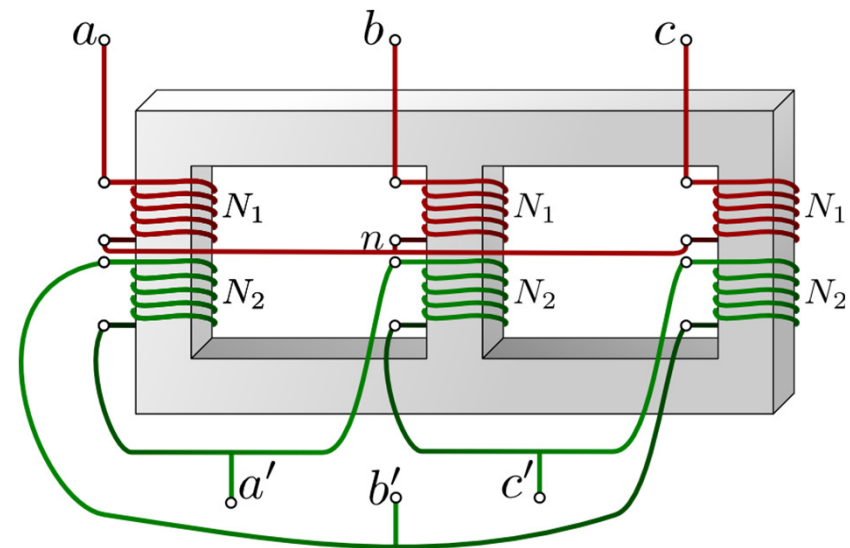
## Transformadores trifásicos

Os transformadores trifásicos podem ser construídos de duas maneiras:

- (a) banco trifásico (composto por 3 transformadores monofásicos)
- (b) núcleo trifásico (composto por um único núcleo – mononuclear)



(a) banco trifásico



(b) núcleo trifásico

## Transformadores trifásicos

---

- (a) banco trifásico (composto por 3 transformadores monofásicos)

A conexão em banco trifásico facilita a manutenção e substituição dos transformadores, porém com maior custo de investimento.

- (b) núcleo trifásico (composto por um único núcleo – mononuclear)

Esta forma de ligação resulta em transformadores menores e mais baratos devido a necessidade de menos material ferromagnético, porém com menor flexibilidade de manutenção.



Transformadores trifásicos

<http://www.youtube.com/watch?v=IHV0V3XwV34>

## Transformadores trifásicos

---

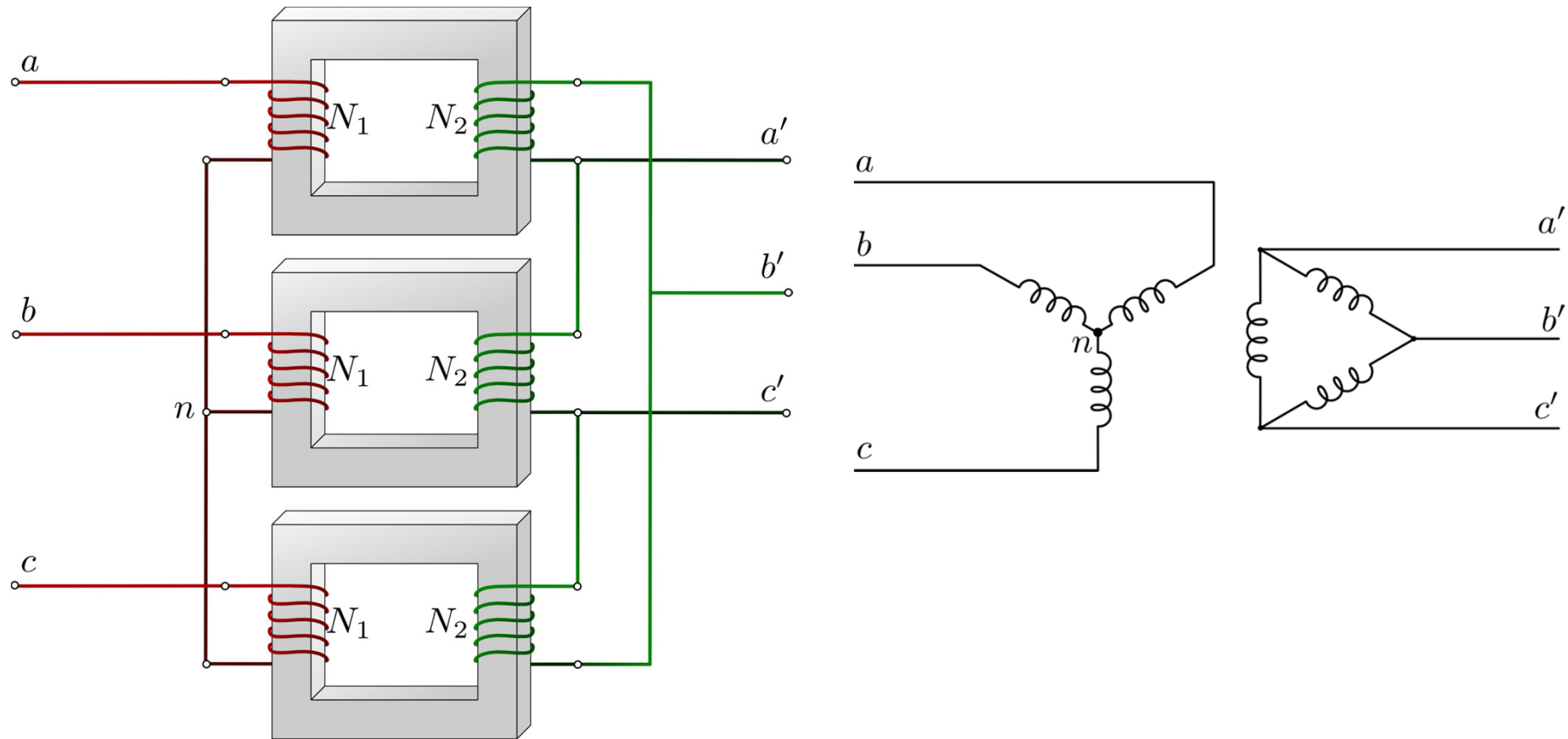
Um transformador trifásico é constituído de pelo menos três enrolamentos no primário e três enrolamentos no secundário, os quais (como qualquer componente trifásico) podem ser conectado em Estrela (Y) ou Delta ( $\Delta$ ). Por conseguinte, temos quatro possibilidades de ligação (conexão):

Primário	Secundário
Y	Y
Y	$\Delta$
$\Delta$	Y
$\Delta$	$\Delta$

Cada conexão possui determinadas características que determinam o uso mais adequado conforme a aplicação.

## Transformadores trifásicos – banco trifásico

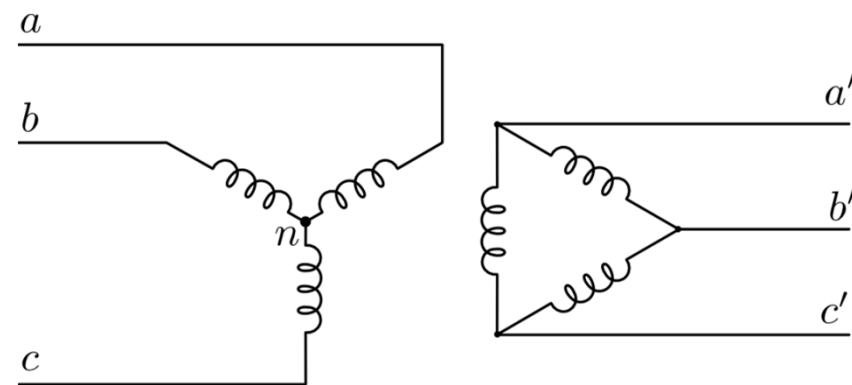
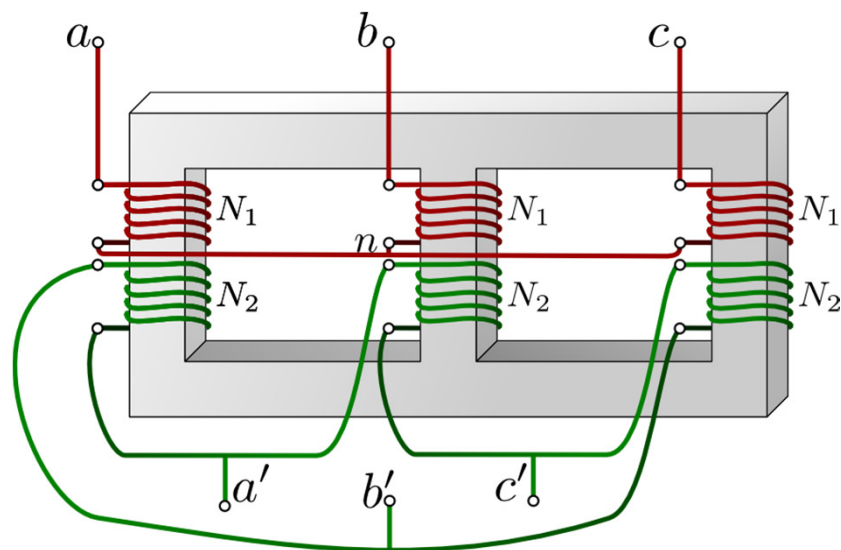
### Exemplo de conexão Y-Δ





## Transformadores trifásicos – núcleo trifásico

Exemplo de conexão Y- $\Delta$



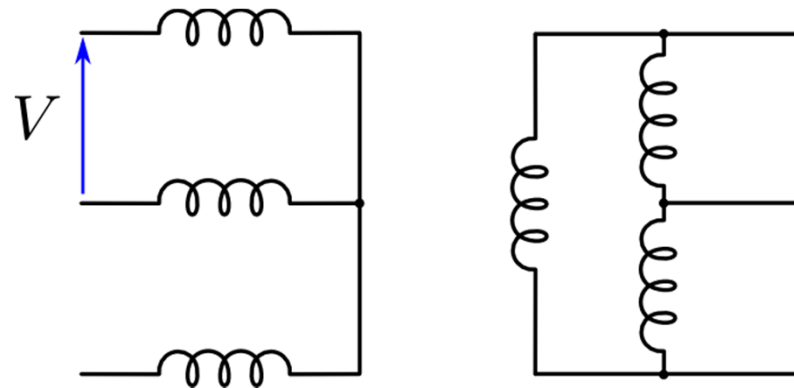
## Relação de espiras e transformação

---

Em transformadores trifásicos, a **relação de transformação** é definida pela relação entre a tensão de linha do primário e a tensão de linha do secundário.

Portanto, dependendo da ligação, a relação de transformação pode ser diferente da relação de espiras, como será visto a seguir.

Conexão Y-  $\Delta$ :



Se a tensão de linha no lado Y é  $V$ , qual a tensão de linha do lado  $\Delta$ ?

## Revisão: relação entre tensão de linha e de fase – conexão em Y

---

Definições:

Tensão de fase: tensão entre uma fase e o neutro.

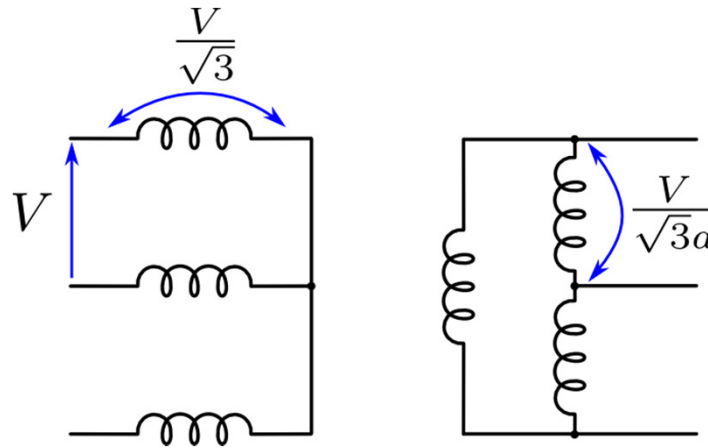
Tensão de linha: tensão entre duas fases

$$V_l = \sqrt{3}V_f$$

$$V_f = \frac{V_l}{\sqrt{3}}$$

## Relação de espiras e transformação: conexão Y-Δ

Ou seja, se uma tensão de linha  $V$  é aplicada a um enrolamento trifásico ligado em Y, a tensão efetiva sobre a fase é dada por  $V/\sqrt{3}$ . Esta tensão é que será refletida ao enrolamento no secundário do transformador. Portanto, sendo o secundário em  $\Delta$ , temos:



A tensão de linha no lado em  $\Delta$  será  $V/\sqrt{3}a$ , onde  $a$  é a relação de espira. Assim, a relação de transformação de um transformador ligado Y-  $\Delta$  em é:

$$RT = \frac{V_{l,Y}}{V_{l,\Delta}} = \frac{V}{\frac{V}{\sqrt{3}a}} = \sqrt{3}a$$

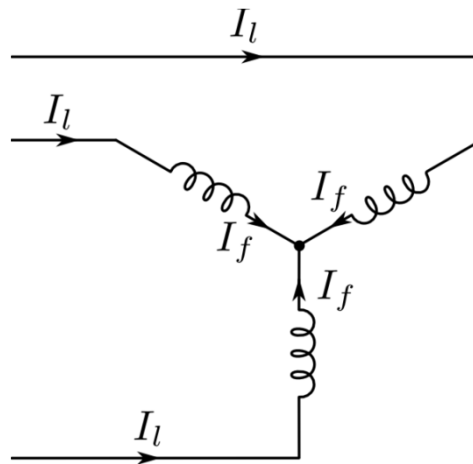
## Relação de corrente: conexão Y-Δ

Definições:

Corrente de linha: percorre as linhas do sistema.

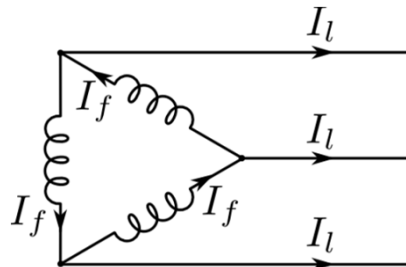
Corrente de fase: percorre os enrolamentos do transformador (cada fase da carga, gerador).

Em Y, a corrente de linha é igual à corrente de fase:



$$I_l = I_f$$

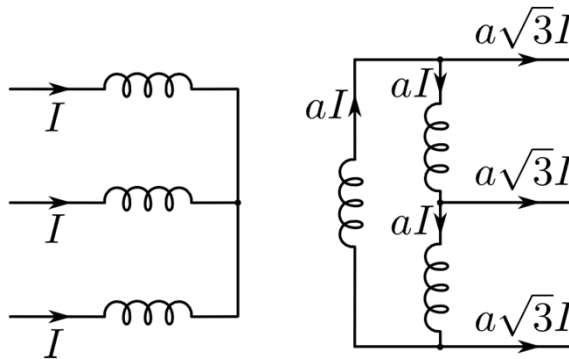
Em Δ, a corrente de linha é  $\sqrt{3}$  vezes a corrente de fase:



$$I_l = \sqrt{3}I_f$$

## Relação de corrente: conexão Y-Δ

Assim, a corrente  $I$  no enrolamento do primário será refletida no enrolamento do secundário como  $aI$ . E a corrente de linha no  $\Delta$  será, portanto,  $aI\sqrt{3}$ .



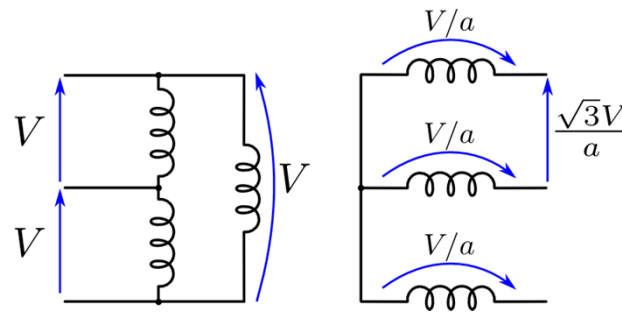
a relação de correntes é:

$$\frac{I_{l,Y}}{I_{l,\Delta}} = \frac{I}{a\sqrt{3}I} = \frac{1}{a\sqrt{3}}$$

que é o inverso da relação de tensão.



## Relação de corrente: conexão Δ-Y

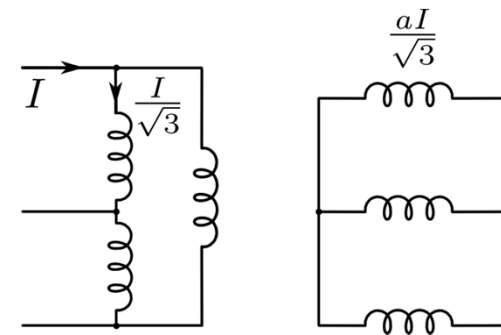


Uma tensão de linha  $V$  no primário em  $\Delta$  provoca uma tensão de fase  $V/a$  no secundário em  $Y$ . Daí, a relação de transformação é:

$$RT = \frac{V_{l,\Delta}}{V_{l,Y}} = \frac{V}{\frac{\sqrt{3}V}{a}} = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

A relação de corrente é:

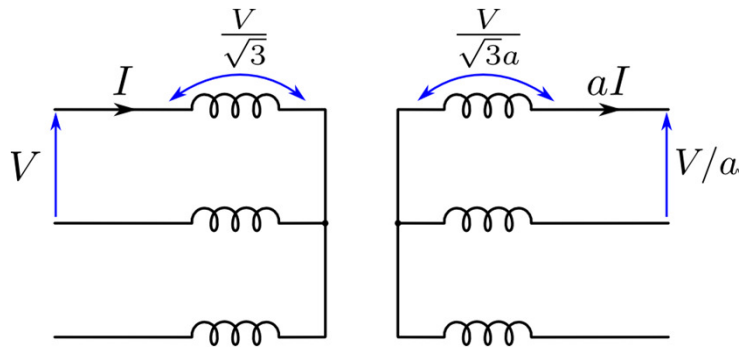
$$\frac{I_{l,\Delta}}{I_{l,Y}} = \frac{I}{\frac{aI}{\sqrt{3}}} = \frac{\sqrt{3}}{a}$$



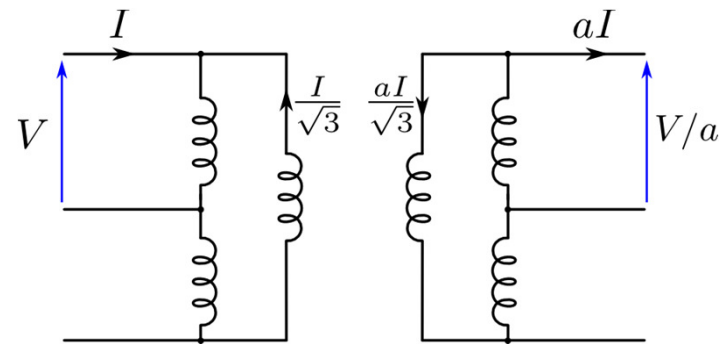
## Relação de corrente: conexão $\Delta$ - $\Delta$ e Y-Y

Nas conexões Y-Y e  $\Delta$ - $\Delta$  as relações de transformação são dadas por:

$$RT = \frac{V_{l,Y}}{V_{l,Y}} = a$$



$$RT = \frac{V_{l,\Delta}}{V_{l,\Delta}} = a$$

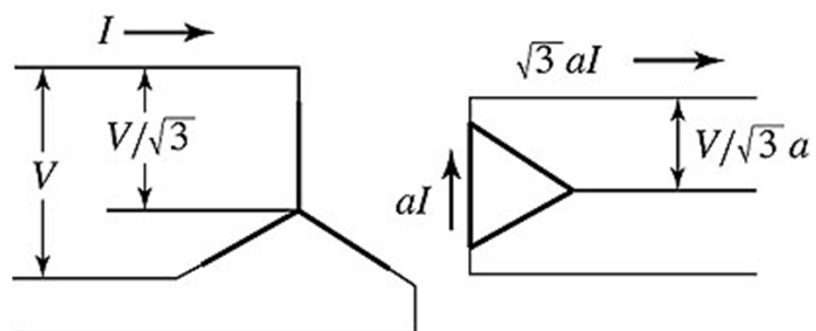


e as relações de correntes são dadas por:

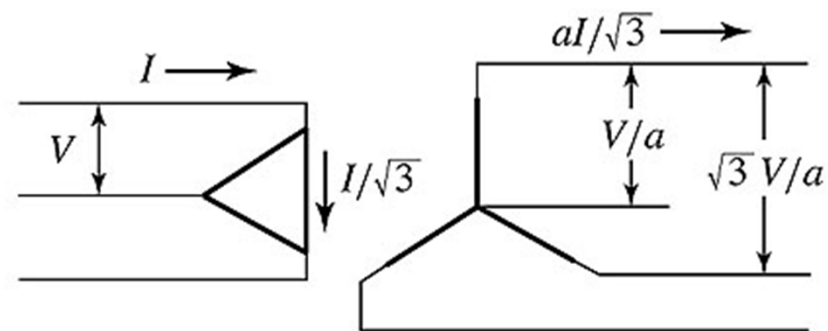
$$\frac{I_{l,Y}}{I_{l,Y}} = \frac{1}{a}$$

$$\frac{I_{l,\Delta}}{I_{l,\Delta}} = \frac{1}{a}$$

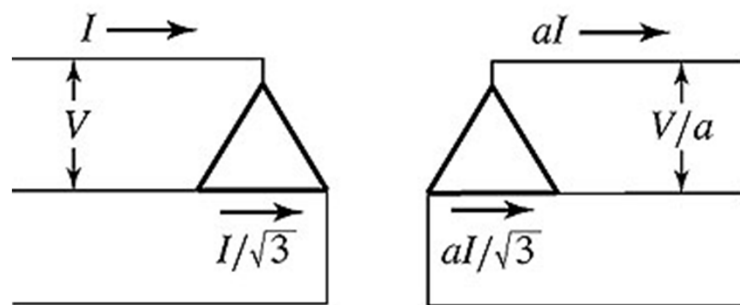
## Relações de correntes e tensões



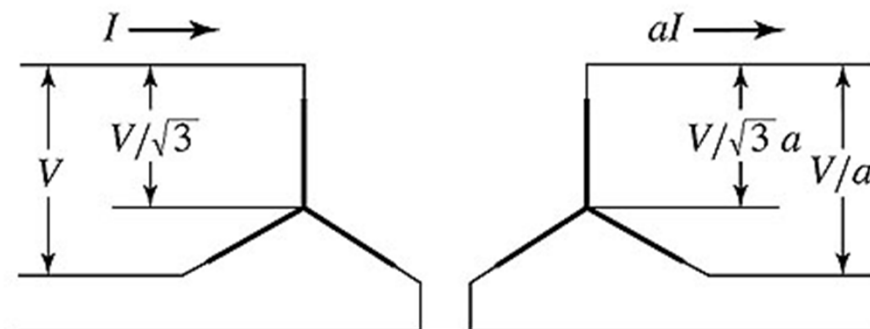
(a) Y-Δ connection



(b) Δ-Y connection



(c) Δ-Δ connection



(d) Y-Y connection

### Vantagens da conexão Y-Y

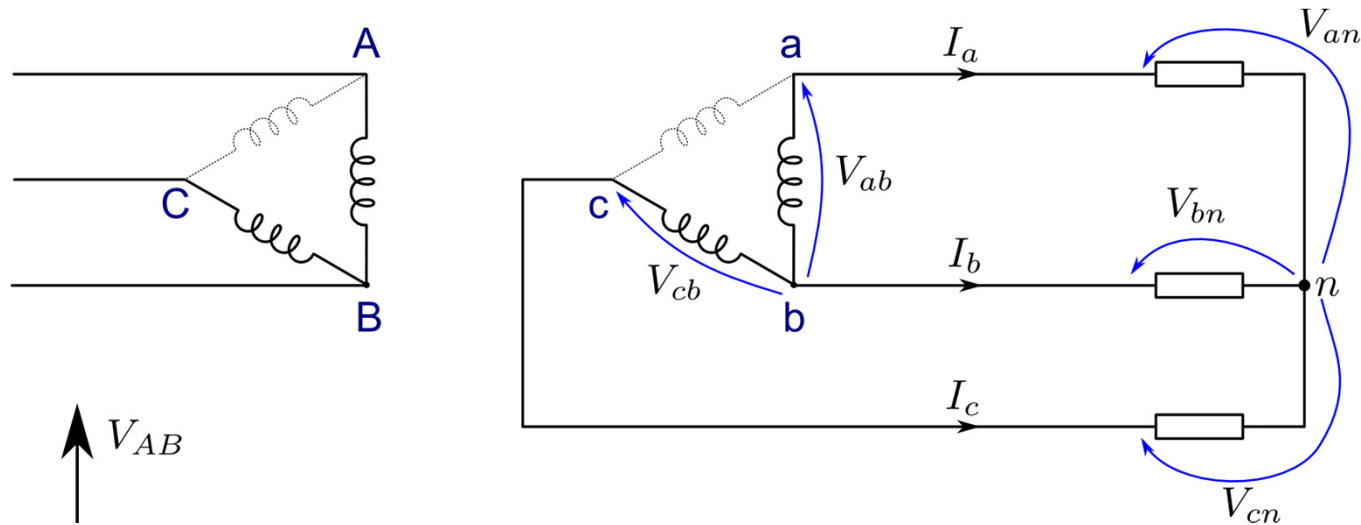
- Pode ser construído como auto-transformador
- Como a tensão sobre o enrolamento é 57,7% da tensão de linha, o número de espiras necessário é menor.
- Fornece dois níveis de tensão, fase-neutro e fase-fase

### Principal aplicação da conexão Y- $\Delta$ e $\Delta$ -Y

- A conexão  $\Delta$ -Y é mais empregada como transformador elevador em subestações de geração
- A conexão  $\Delta$ -Y é mais empregada como transformador abaixador em subestações industriais
- O neutro do lado de alta-tensão pode ser aterrado
- O lado em  $\Delta$  funciona como um filtro para correntes harmônicas.

### Vantagem da conexão $\Delta-\Delta$

- Transformadores trifásicos em banco podem operar em conexão Delta aberto (V), com um dos transformadores monofásicos em manutenção, podendo fornecer 58% da capacidade nominal do banco





## Dados de placa transformador trifásico

Entre as informações fornecidas pela placa encontram-se:

- nome e dados do fabricante;
- numeração da placa;
- indicação das NBR;
- potência (kVA);
- impedância equivalente (%);
- tensões nominais (AT e BT);
- tipo de óleo isolante;
- diagramas de ligações;
- diagrama fasorial;
- massa total (kg);
- volume total do líquido (l).

**WEG TRANSFORMADORES LTDA**  
BLUMENAU-SC CGCMF 82.642.521/0001-07  
TRANSFORMADOR

Nº  ANO  TIPO

FASES 3 FREQ. 60 Hz POTENCIA  kVA REFRIG. ONAN

TENSÕES SUPORTAVEL(S)(KV)	AT	BT
FREQ. INDUSTRIAL	34	10
IMPULSO ATMOSFERICO	95	—

DIAGRAMA VETORIAL  
H2  
H1 △ H3 X1 { X2  
X3

IMPEDANCIA  % A 75°C EM  kV E  kVA

TIPO OLEO ISOLANTE

VOLUME  l MANUAL N° 751

ELEVACAO MEDIA DE TEMPERATURA NOS ENROLAMENTOS/LIQUIDO ISOL. °C

NORMAS ABNT NBR 5356/1993

MASSAS APROX.  
LIQ. ISOLANTE  kg  
PARTE ATIVA  kg  
TANQUE/ACES.  kg  
TOTAL  kg

TERMINAIS H1 H2 H3			
POS	LIGA	V	A
1	a b	13800	31.4
2	b c	13200	32.8
3	c d	12600	34.4
4	d e	12000	36.1
5	e f	11400	38.0

TERMINAIS X0 X1 X2 X3			
220/127 V		1968 A	

INDUSTRIA BRASILEIRA

## Exercícios

---

1. Dispõe-se de uma rede elétrica trifásica 6,6 kV e de três transformadores monofásicos 3800/220 V. Desenhe um diagrama elétrico, indicando as ligações dos transformadores à rede elétrica e a três lâmpadas 200 W / 127 V conectadas em Y. Obtenha as magnitudes de todas as tensões e correntes, a relação de transformação e a relação de espiras. Indique estes valores no diagrama elétrico.
2. Dispõe-se de uma rede elétrica trifásica 6,6 kV e de três transformadores monofásicos 3800/220 V. Desenhe um diagrama elétrico, indicando as ligações dos transformadores à rede elétrica e a três lâmpadas 200 W/220 V conectadas em Y. Obtenha as magnitudes de todas as tensões e correntes, a relação de transformação e a relação de espiras. Indique estes valores no diagrama elétrico.

## Exercícios

---

3. Especifique a potência e as magnitudes das tensões em cada transformador monofásico que deverá compor um banco trifásico 13800/220 V, 18 kVA, com ligação Y no lado de alta tensão e ligação  $\Delta$  no lado de baixa tensão.
4. Uma carga composta de três resistores em  $\Delta$  é conectada a um banco trifásico  $\Delta - Y$  composto de três transformadores monofásicos que têm relação de espiras 5:1.
  - a) Se a corrente na impedância da carga é de 8 A, qual é o valor da corrente de linha no primário?
  - b) Se a tensão de linha no primário é de 220 V, qual é o valor da tensão na impedância da carga?
  - c) Esboce diagrama elétrico das ligações do banco trifásico a uma rede elétrica e à carga, indicando no diagrama todos os valores das tensões e correntes, da relação de espiras e da relação de transformação.

## Exercícios

---

5. Três transformadores monofásicos compõem um banco trifásico Y –  $\Delta$  com relação de transformação 10:1 que está conectado a três motores monofásicos em Y.
- a) Se a tensão de linha no secundário é de 220 V, qual é o valor da tensão de linha no primário?
  - b) Se a corrente na impedância da carga é de 15 A, qual é o valor da corrente de linha no primário?
  - c) Esboce diagrama elétrico das ligações das bobinas dos transformadores conectados à rede elétrica e à carga, indicando os valores da relação de espiras e de todas as tensões e correntes.
6. Três transformadores monofásicos 110/220 V são ligados formando um banco trifásico  $\Delta$  –  $\Delta$ .
- a) Desenhe o esquema de ligações deste banco.
  - b) Supondo que nenhuma carga está sendo alimentada por este banco e que o primário é alimentado por um sistema trifásico a 3 fios de 220 V, qual é a magnitude da tensão de linha no secundário?

## Exercícios

---

7. À rede elétrica de 13,8 kV deseja-se conectar as seguintes cargas:
- 01 motor trifásico com bobinas em D, 15 HP, 220 V, 60 Hz, eficiência de 87% e fator de potência 0,75 atrasado;
  - 03 luminárias apresentando cada uma delas: 1,5 kW, 127 V e fator de potência 1,0
- Estando disponíveis três transformadores monofásicos 13,8 kV/127 V:
- a) Esboçar um diagrama padronizado representando todas as ligações entre a rede elétrica e todas as cargas.
  - b) Obter todas as potências trifásicas e o fator de potência do conjunto das cargas.
  - c) Obter as magnitudes de todas as correntes.

## Exercícios

---

8. Em uma indústria tem-se três cargas conectadas à rede elétrica 13,8 kV através de três transformadores monofásicos 7,97 kV / 220 V. As especificações das cargas são:
- 01 motor trifásico 60 Hz, c/ bobinas em Y-4 fios, 4 HP/220 V, eficiência de 75% e fator de potência 0,8 atrasado;
  - 01 motor trifásico 60 Hz, c/ bobinas em D, 5 HP/220 V, eficiência de 80% e fator de potência 0,85 atrasado;
  - 01 equipamento trifásico de 3 kVA, 60 Hz, D-220 V com fator de potência 0,75 adiantado.
- a) Esboçar um diagrama elétrico padronizado representando todas as ligações entre a rede elétrica e todas as cargas.
  - c) Obter todas as potências trifásicas no secundário.
  - d) Obter as magnitudes das tensões e das correntes no primário e no secundário.



## Exercícios

---

9. Uma subestação de distribuição possui um transformador de potência trifásico de 5,0 MVA, 69/13,8 kV, conexão D-Y para suprir energia a três circuitos cuja carga total no horário de demanda máxima atinge 3,7 MW com fator de potência 0,75 (indutivo).
- a) Calcule as potências aparente e reativa e as magnitudes das correntes de linha no primário e no secundário.
  - b) Especifique os valores dos capacitores que devem ser instalados no secundário para atingir o fator de potência mínimo vigente no Brasil.
  - c) Calcule as potências aparente e reativa e as magnitudes das correntes de linha no primário e no secundário, após a instalação do banco de capacitores.