

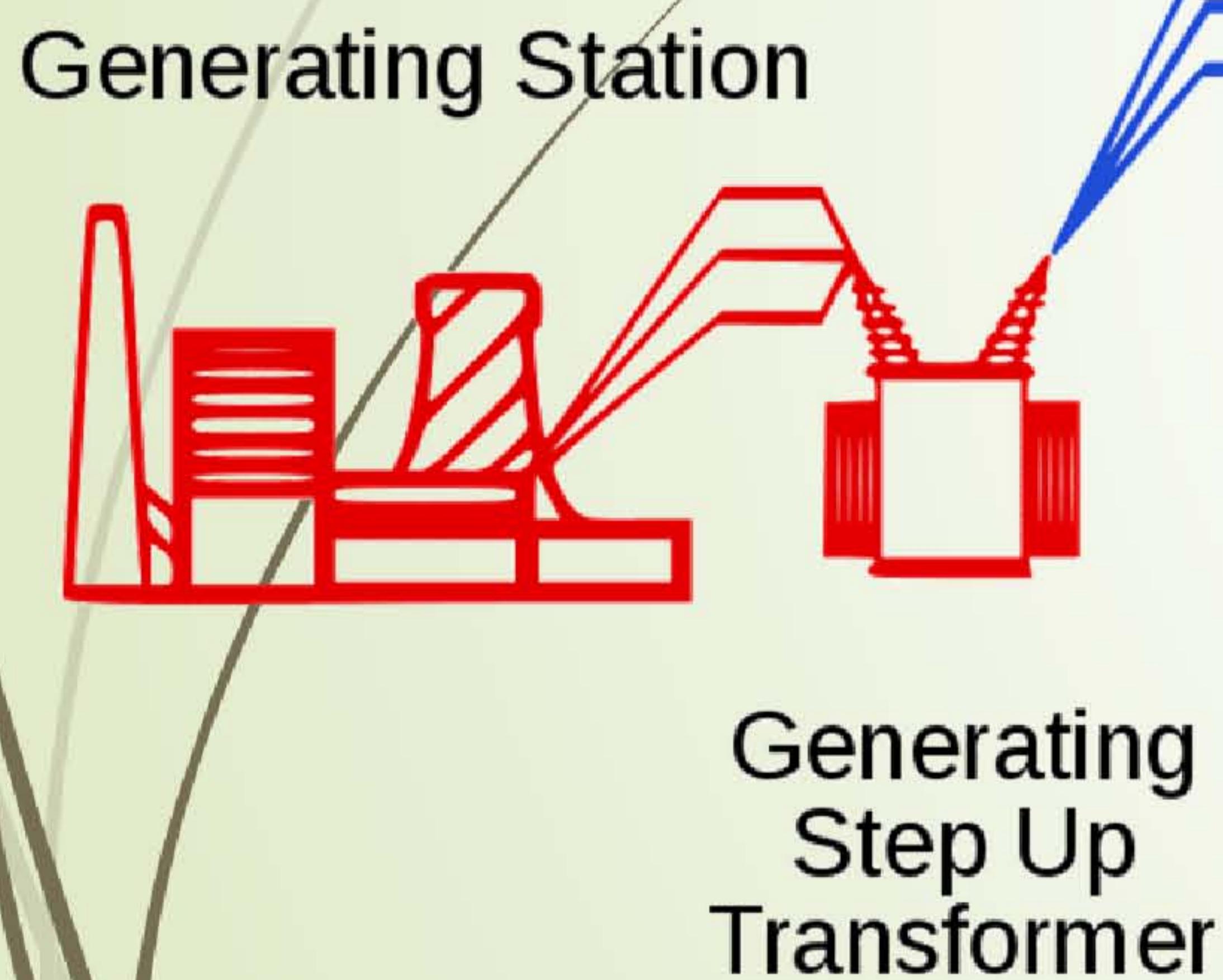
Transformadores

© Prof. Engº esp Luiz Antonio Vargas Pinto
Rev. Dez 2022

TRIFÁSICOS

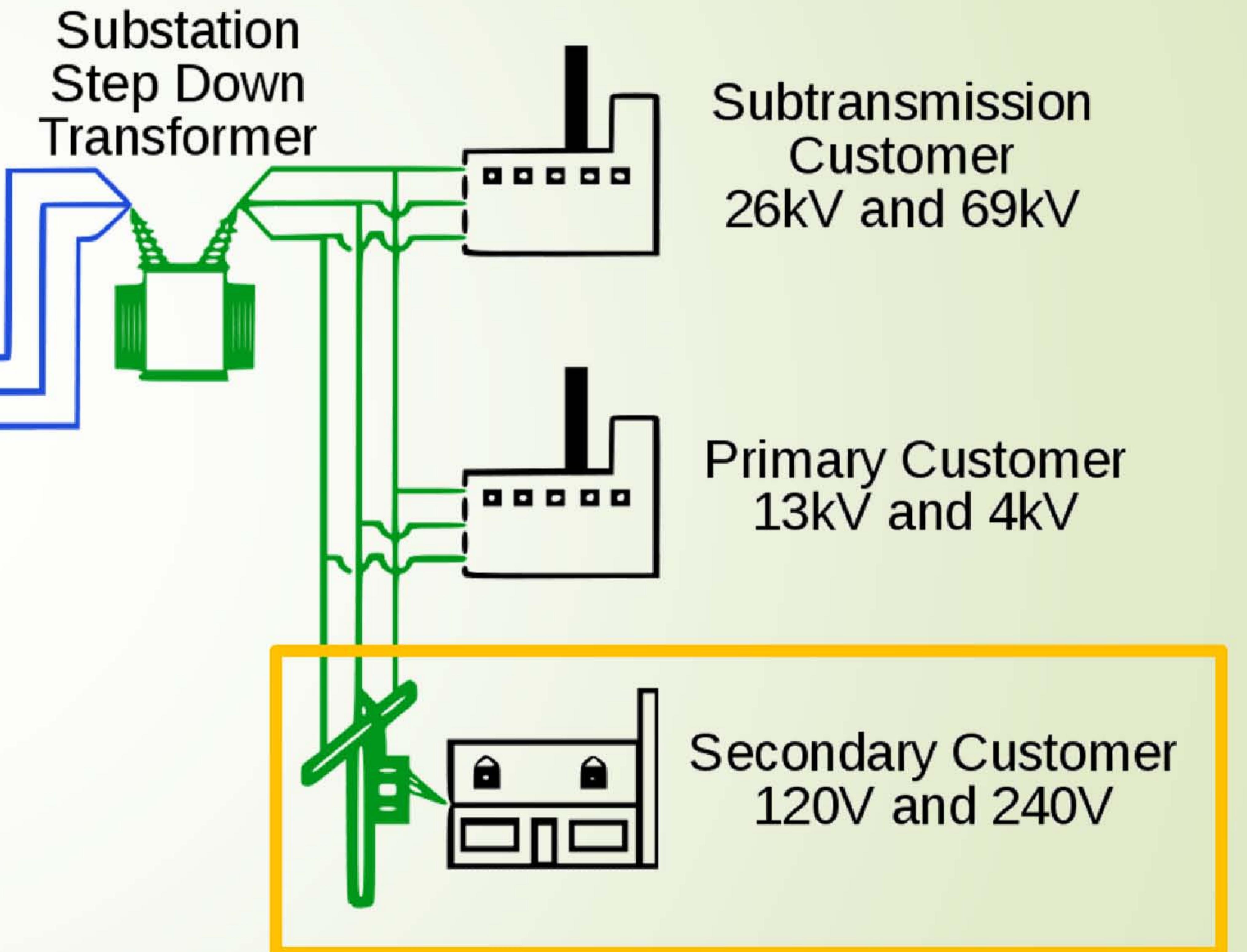
Componentes

Color Key:
Red: Generation
Blue: Transmission
Green: Distribution
Black: Customer



Transmission lines
765, 500, 345, 230, and 138 kV

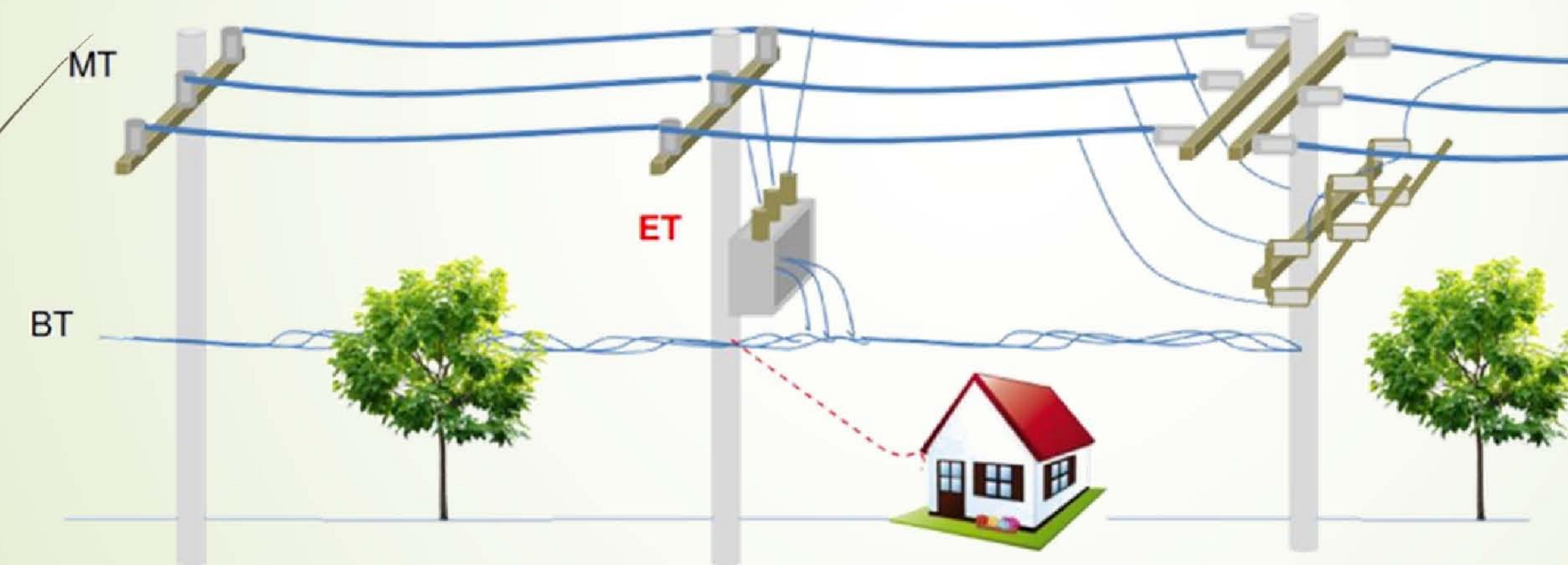
Transmission Customer
138kV or 230kV



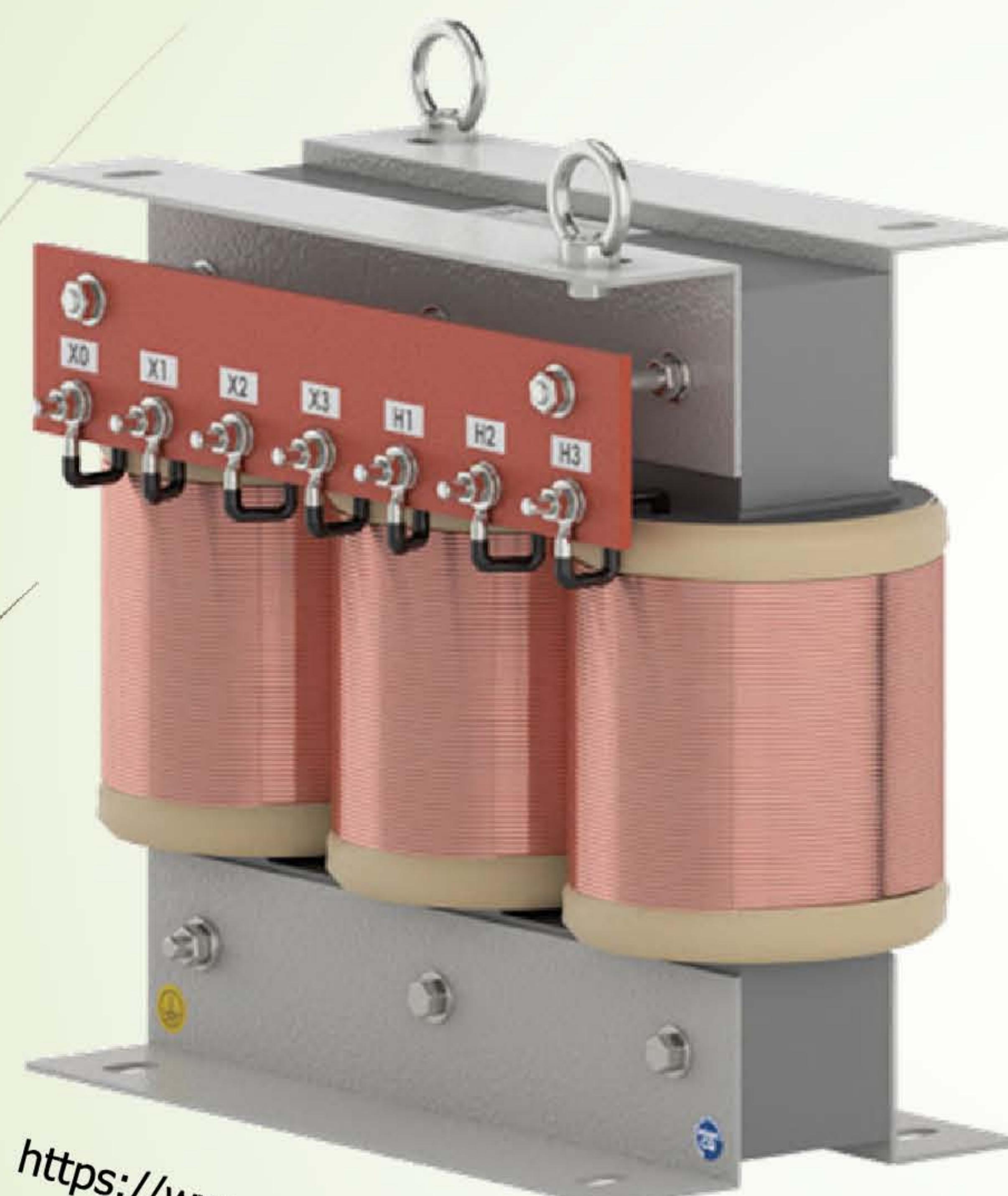
Organização

- ➡ A distribuição das tensões de 127/220V na fase de clientes residenciais/comerciais é realizada por transformadores monofásicos

Rede Aérea



Modelos



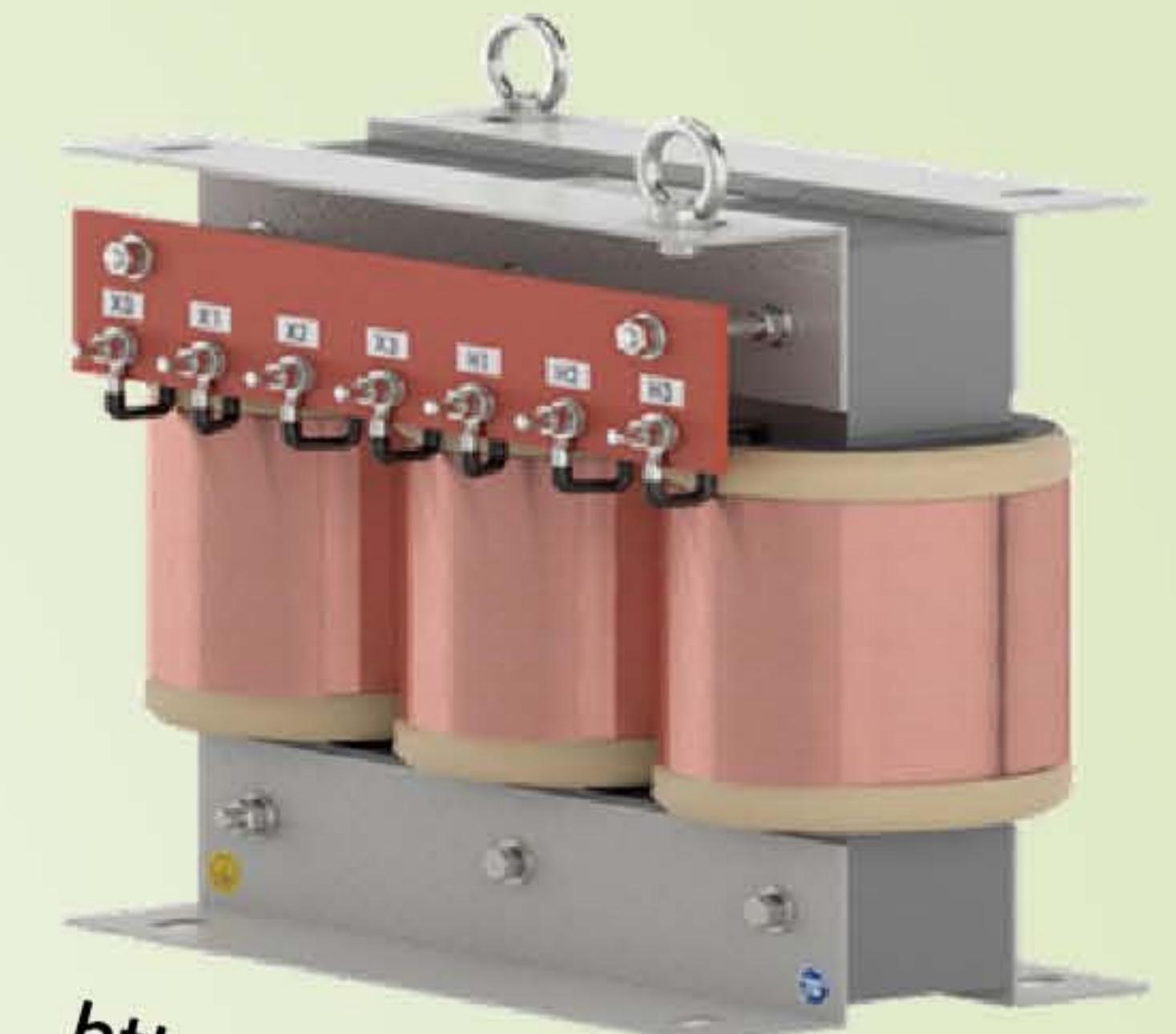
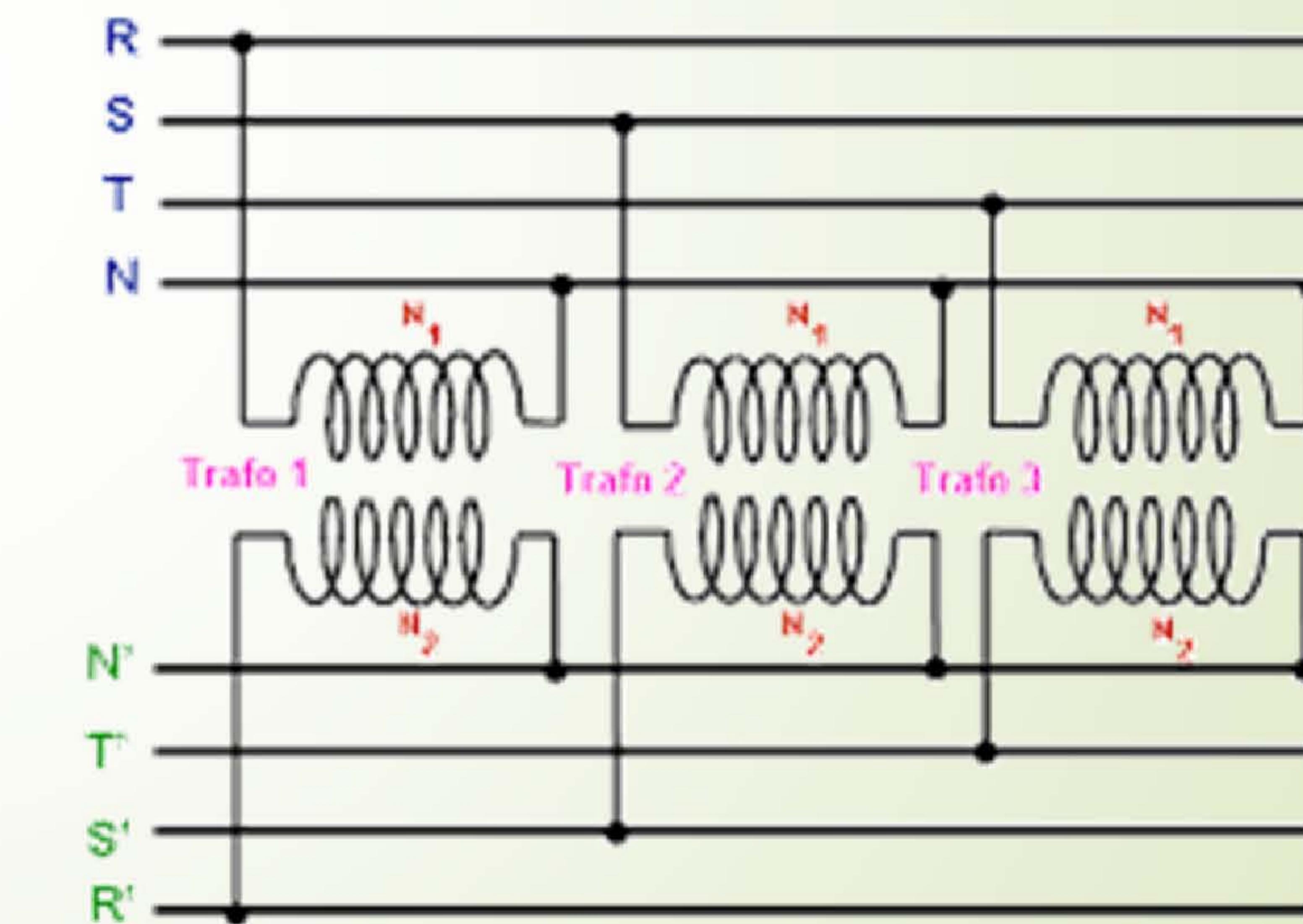
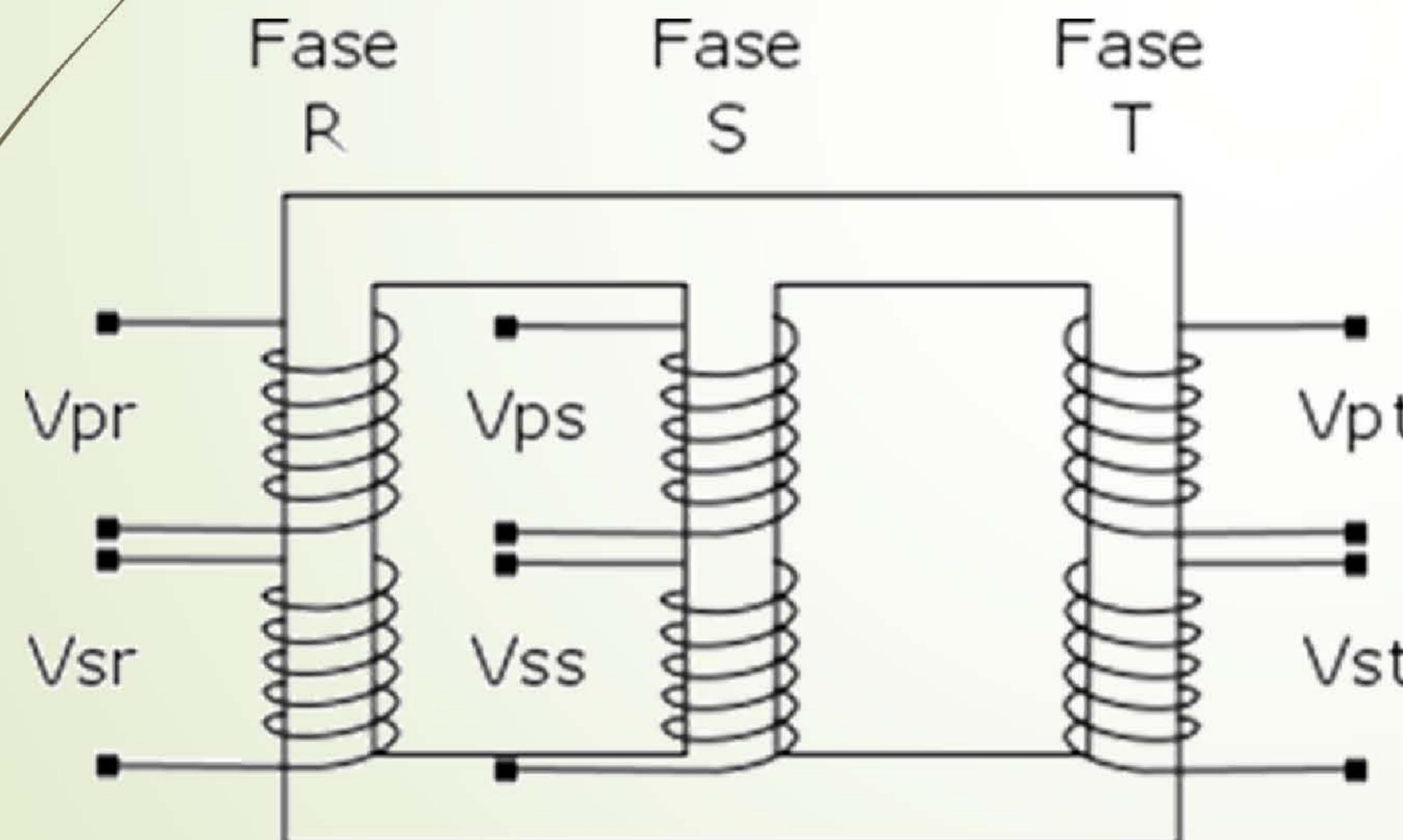
<https://www.kimarki.com.br>



Estrutura básica

Na sua forma mais simples temos:

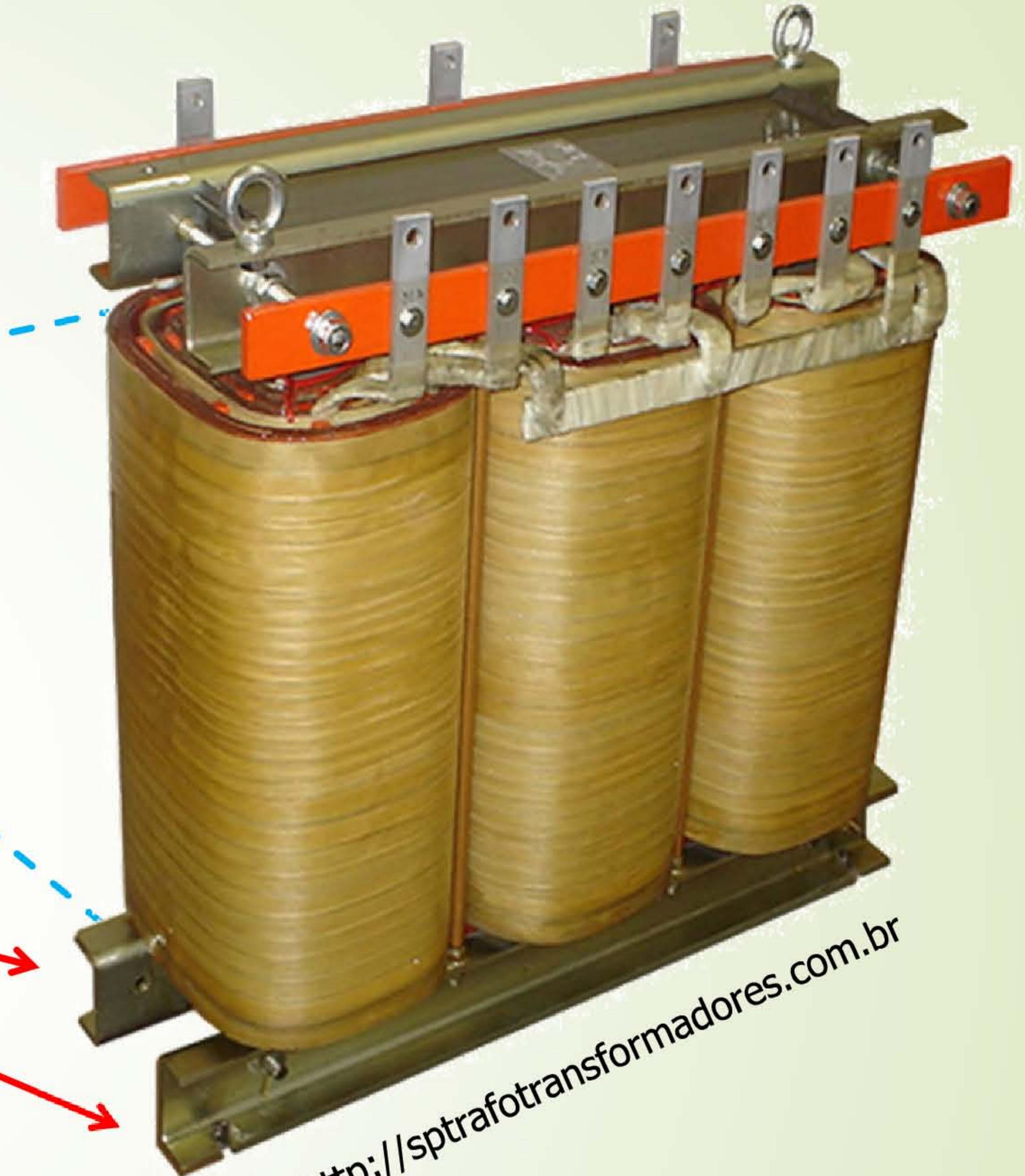
- Três colunas de ferro laminado
- Em cada um deles temos dois enrolamentos: o primário (entrada) e o secundário(saída)



<https://www.kimarki.com.br>

Características

- Por essa razão, esses transformadores têm no mínimo seis bobinas, três primárias e três secundárias, isoladas entre si.
- As colunas são unidas por meio de duas armaduras
- Para evitar problemas de ajuste, as bobinas das três fases devem ser iguais
- Como cada fase trabalha de forma independente, este é um comportamento interessante pois é como se fossem três transformadores monofásicos.
- Assim, **três** transformadores monofásicos iguais podem substituir um transformador trifásico.



Controlando o aquecimento

- A geração de calor é proporcional à potência consumida.
- Temperatura elevada causa danos ao transformador e por essa razão devemos mantê-la em limites seguros.
- Há até uma norma da ABNT (EB91) para resfriamento dividida em dois tipos:
 - ▶ A seco
 - ▶ Com líquido isolante.

Transformador a seco

 Diz a norma: “*transformador a seco é o transformador cujos núcleo e enrolamento estão envoltos e refrigerados pelo ar do ambiente*”

 Nos casos dos transformadores que pertençam a esta classe, recomenda-se o uso de ventiladores.

Transformador com líquido isolante

► Nestes casos, a norma diz: “*núcleo e enrolamento são imersos em líquido isolante*”.

► Esse líquido isolante faz duas coisas: isola e resfria

► Características do óleo:

- ▶ Elevada rigidez dielétrica;
- ▶ Boa fluidez;
- ▶ Capacidade de funcionamento com temperaturas elevadas.

► Uma boa escolha é o óleo mineral desmineralizado.

Observação:

Como opção existe um óleo chamado ascarel, cujo uso atualmente é proibido porque é tóxico e prejudicial à saúde.

Os transformadores que necessitam desse tipo de resfriamento são os trifásicos de grande potência usados na rede de distribuição de energia elétrica.



Rendimento

Para transformadores trifásicos, a expressão é a seguinte:

$$\eta = \frac{V_{F2} \times I_{F2}}{V_{F2} \times I_{F2} + P_{Cu} + P_{Fe}}$$

ou:

$$\eta_{75^\circ C} = \frac{V_{F2} \times I_{F2}}{V_{F2} \times I_{F2} + P_{Cu\ 75^\circ C} + P_{Fe}}$$

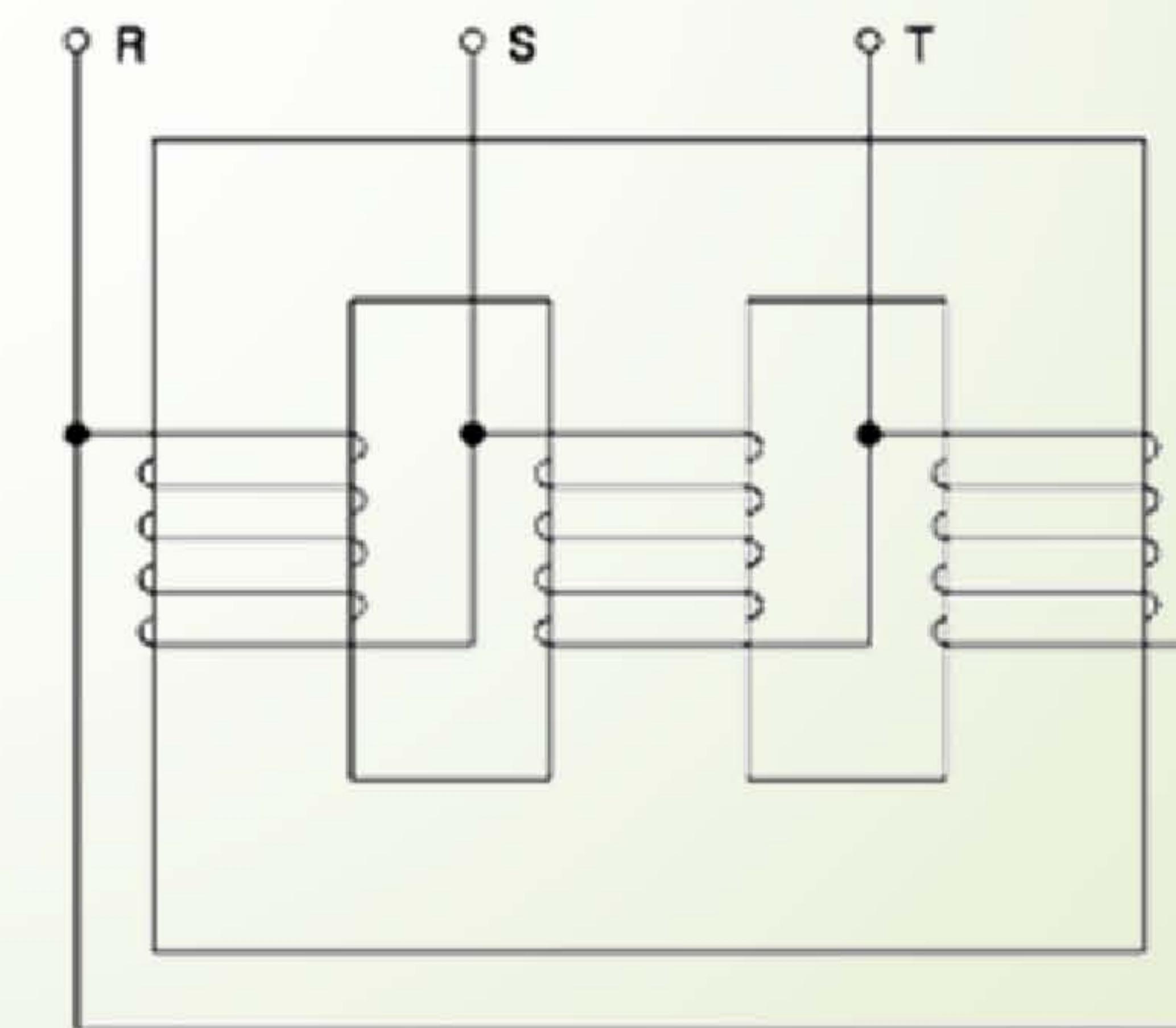
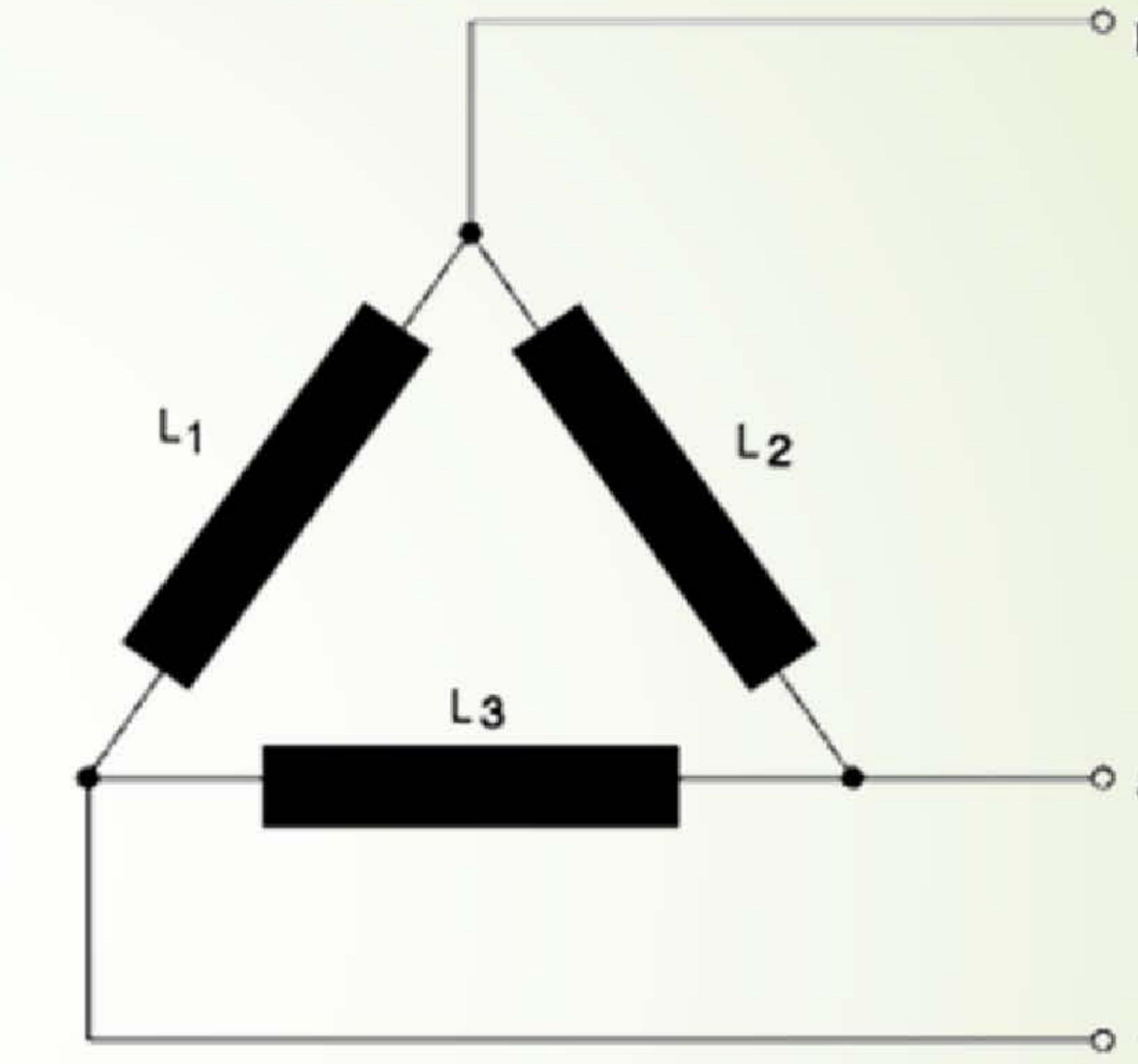
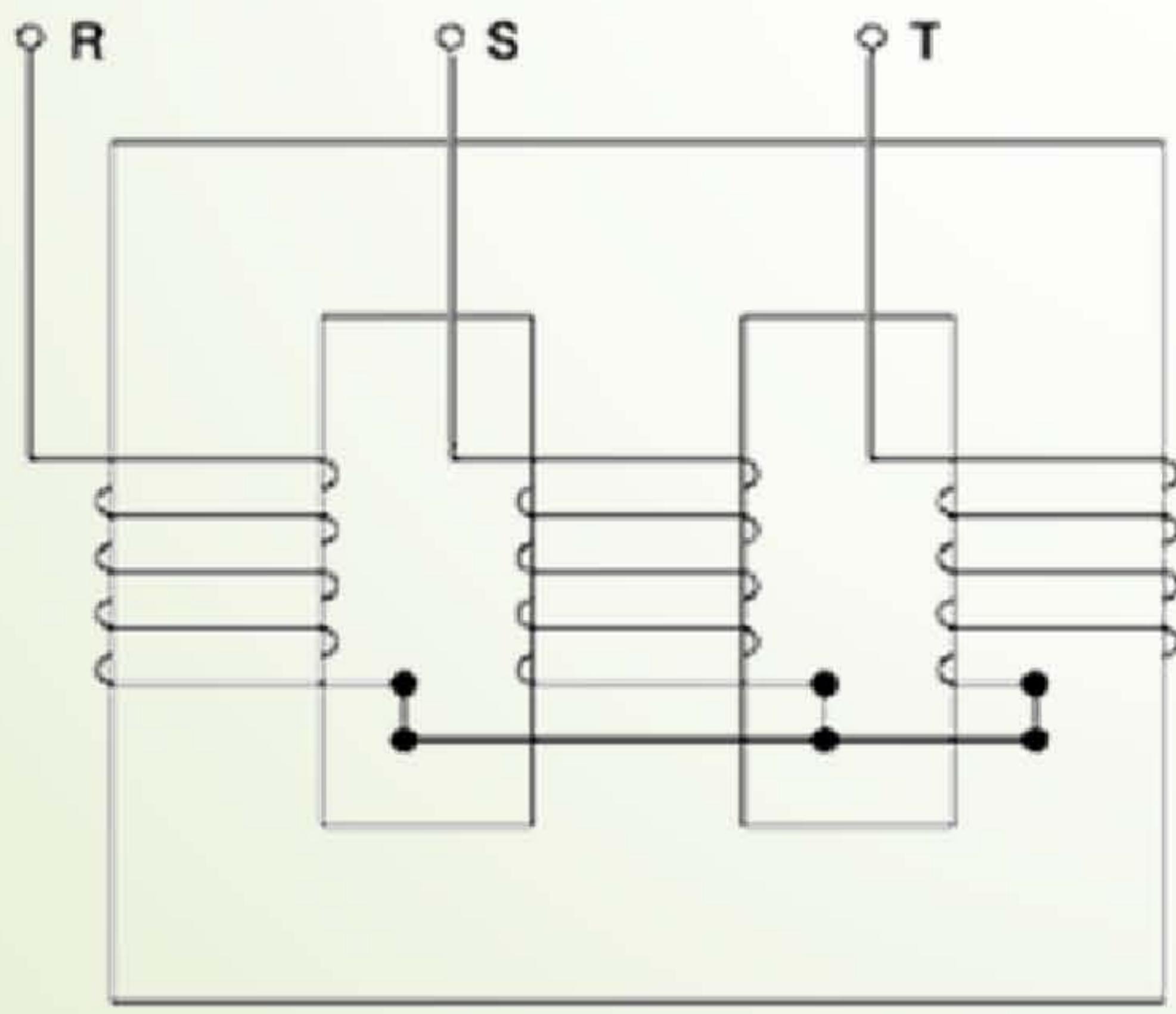
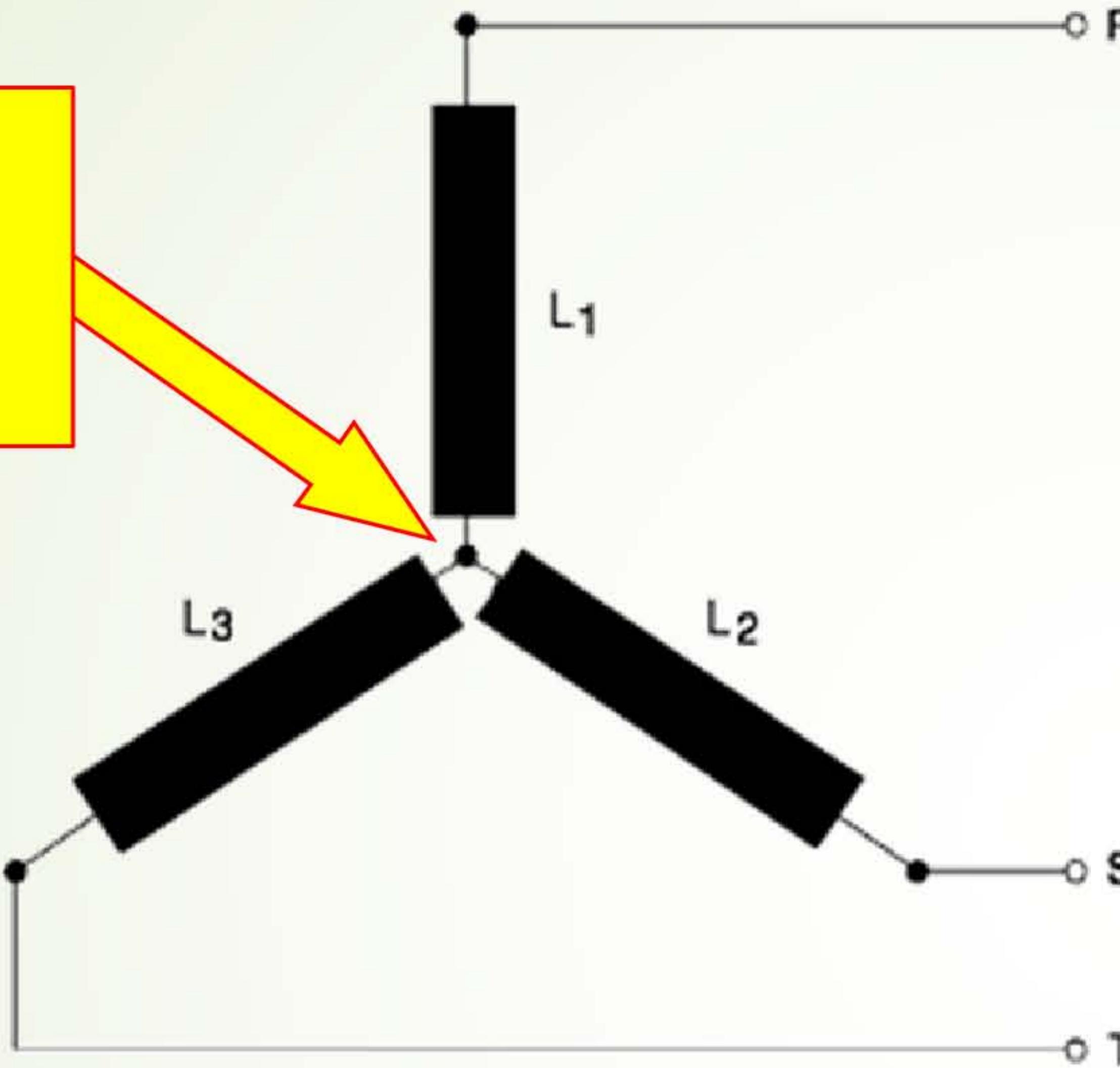
Onde:

V_{F2} é a tensão secundária de fase

I_{F2} é a corrente secundária de fase

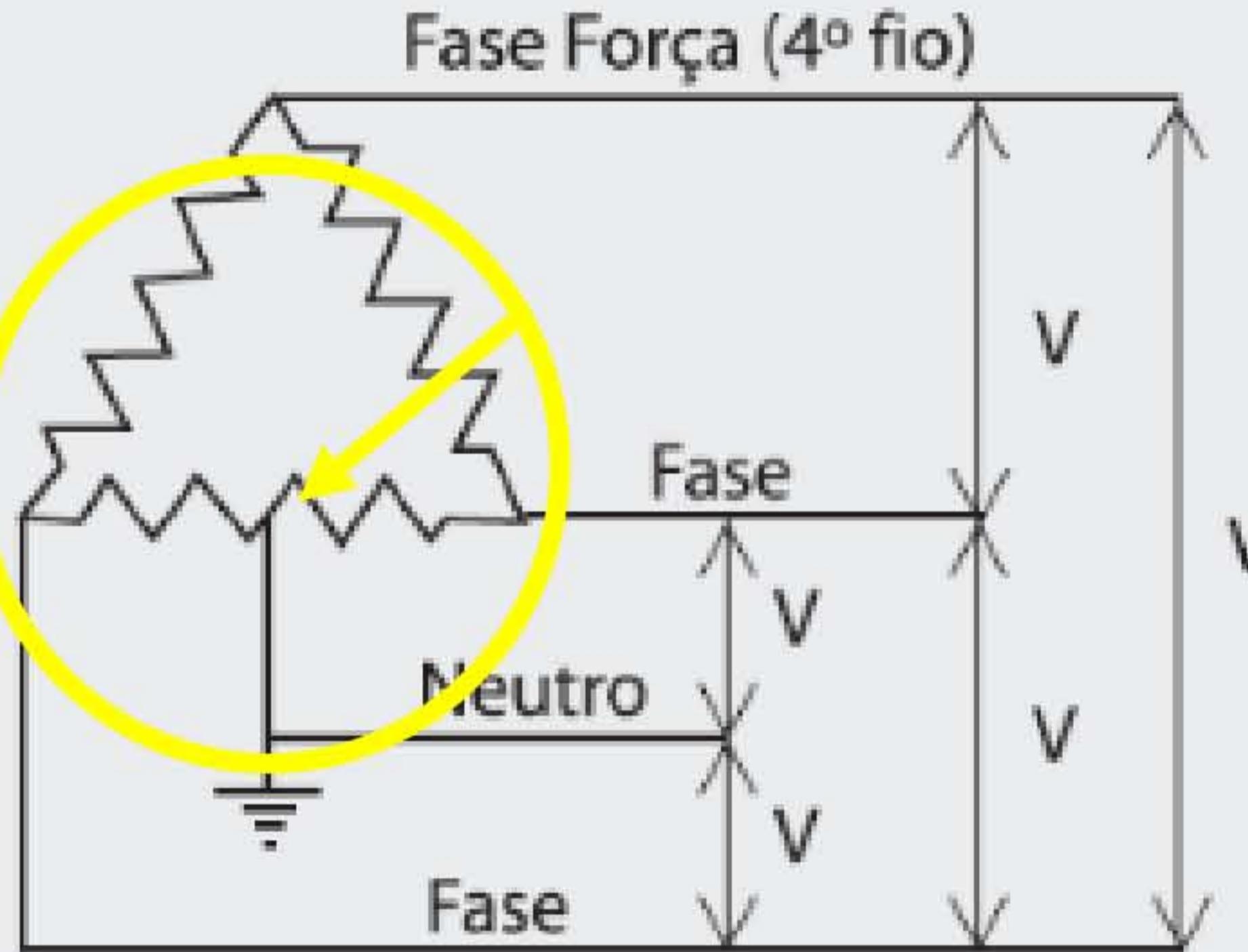
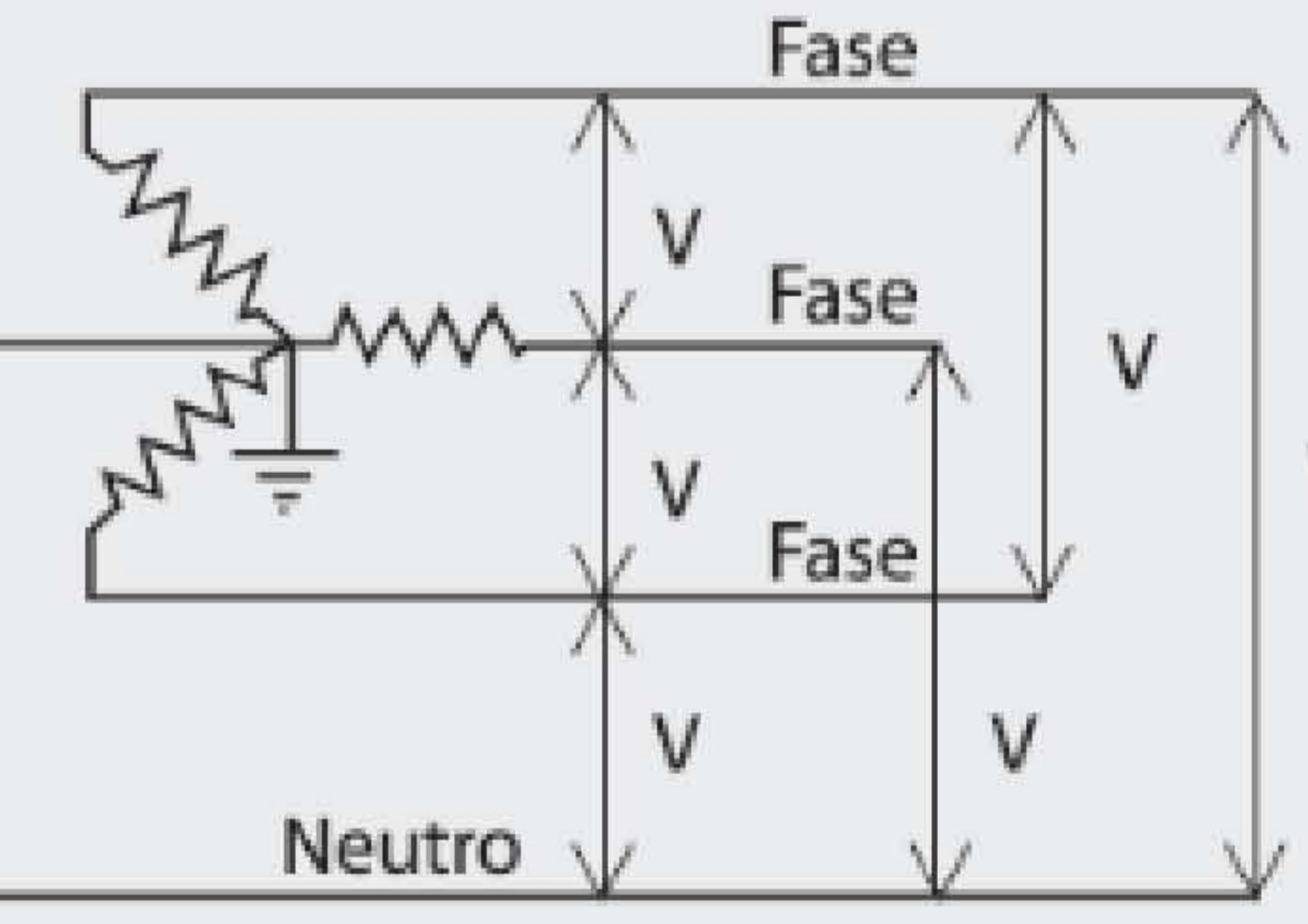
Fechamento

Característica de Estrela: temos o Neutro no centro



Neutro em Delta e Estrela

- ▶ Considerando:
- ▶ Números = extremidades dos enrolamentos

| Sistema e Tensões Nominais de Fornecimento | | |
|--|---|--|
| | V/V | |
| Delta com Neutro |  | 115/230Volts (1) |
| Estrela com Neutro |  | 120/208Volts (2) 127/220Volts 220/380Volts (3) |

Fechamento de Trafo

Grupo A: Tensão do secundário está em fase com a Tensão do primário

Números = extremidades dos enrolamentos

Tipos de ligação de transformadores do grupo A

| Símbolo e denominação | Diagrama | | Relação de transformação (tensão entre fases) |
|--|---------------------------------|----------------------------------|--|
| | Enrolamento de mais alta tensão | Enrolamento de mais baixa tensão | |
| Δ / Δ triângulo-triângulo | | | $V_2 = \frac{N_2}{N_1} \times V_1$ |
| Y / Y estrela-estrela | | | $V_2 = \frac{N_2}{N_1} \times V_1$ |
| Δ / Zg triângulo-ziguezague | | | $V_2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \times \frac{N_2}{N_1} \times V_1$ |



| Ligações | Bobina Primária | Bobina Secundária | Equações |
|--------------|-----------------------------|---------------------------------------|---|
| Ligação Y/Δ | Primário Estrela | Secundário Triângulo | $V_2 = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \frac{N_2}{N_1} \times V_1$ |
| Ligação Y/YY | Primário Estrela | Secundário Dupla Estrela | $V_2 = \frac{1}{2} \times \frac{N_2}{N_1} \times V_1$ |
| Ligação Y/ΔΔ | Primário Estrela | Secundário Duplo Triângulo | $V_2 = \frac{1}{2\sqrt{3}} \times \frac{N_2}{N_1} \times V_1$ |

| | | | |
|-------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--|
| <p>Ligaçāo Y/ZZ</p> | <p>Primário Estrela</p> | <p>Secundário Zig-Zag</p> | $V_2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \times \frac{N_2}{N_1} \times V_1$ |
| <p>Ligaçāo Y/Y</p> | <p>Primário Estrela</p> | <p>Secundário Estrela</p> | $V_2 = \frac{N_2}{N_1} \times V_1$ |

Fechamento de Trafo

Grupo B: Tensão do secundário está defasado em 30°

Tipos de ligação de transformadores trifásicos do grupo B

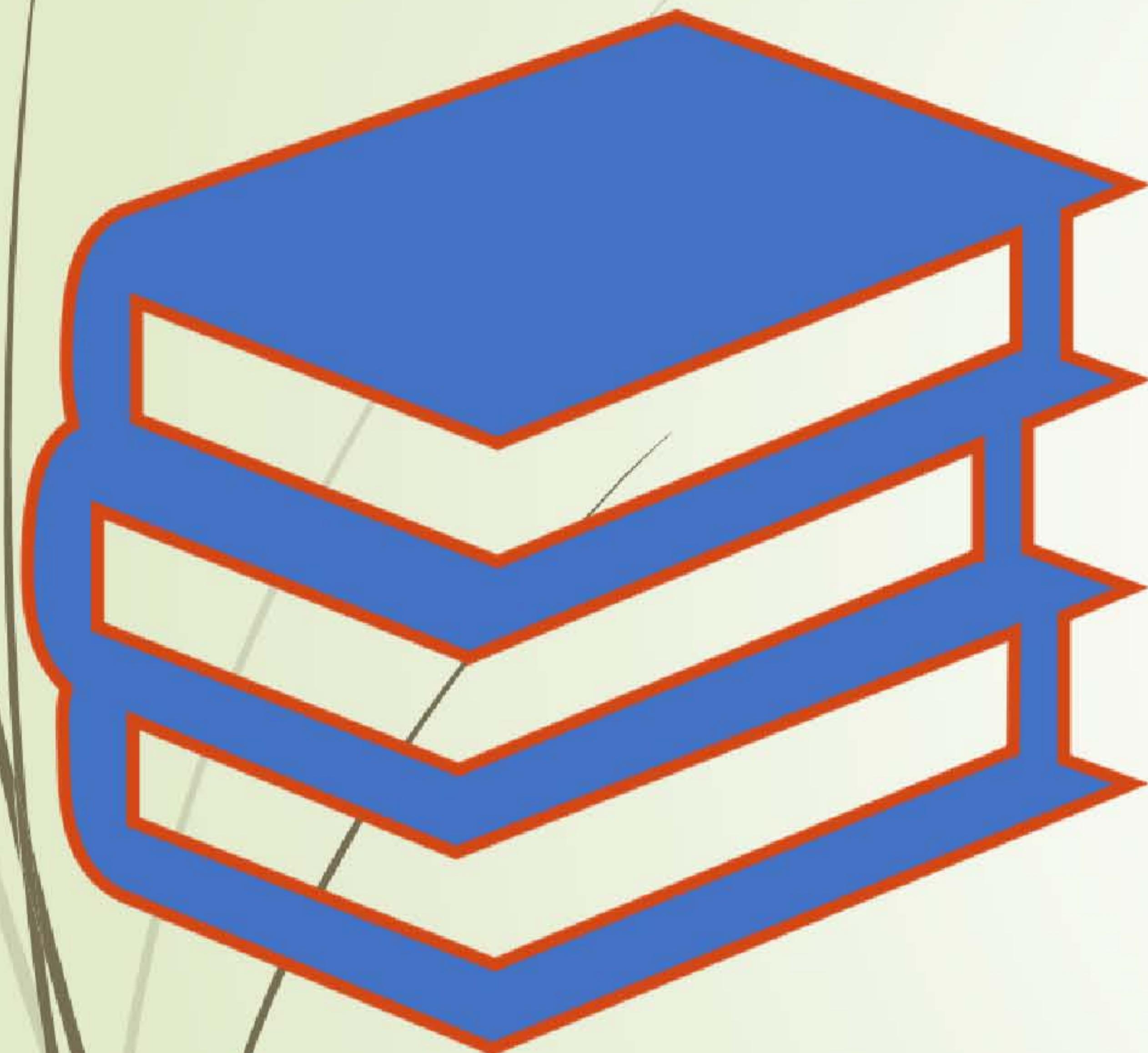
| Símbolo e denominação | Diagrama | | Relação de transformação (tensão entre fases) |
|---|------------------------------------|-------------------------------------|--|
| | Enrolamento de mais alta tensão | Enrolamento de mais baixa tensão | |
| Δ / Y triângulo-estrela | | | $V_2 = \sqrt{3} \times \frac{N_2}{N_1} \times V_1$ |
| Y / Δ estrela-triângulo | | | $V_2 = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \frac{N_2}{N_1} \times V_1$ |
| Y / Zigzag estrela-ziguezague | | | $V_2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \times \frac{N_2}{N_1} \times V_1$ |

Considerações importantes

-  Dois transformadores de um pequeno grupo podem ser ligados em paralelo, desde que exista entre eles correspondência de tensão e impedância.
-  Transformadores de grupos diferentes não podem ser ligados em paralelo.
-  Quando é necessário equilibrar as cargas entre as fases do secundário, emprega-se a ligação em ziguezague.

Referências

☞ Apostila SENAI-SP Máquinas Elétricas
e Acionamentos - Teoria - Capítulo de
Transformador Trifásico





Até mais, a gente se vê