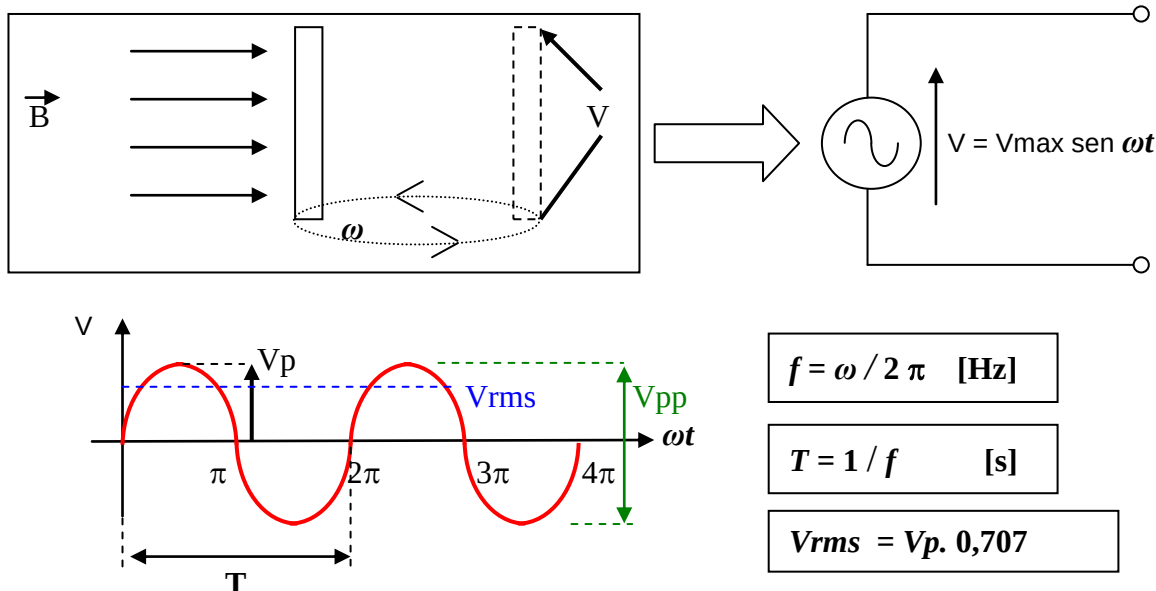


UTFPR – DAELN
CORRENTE ALTERNADA, REATÂNCIAS, IMPEDÂNCIA & FASE

1) CORRENTE ALTERNADA: é gerada pelo movimento rotacional de um condutor ou um conjunto de condutores no interior de um campo magnético (B) com velocidade angular ω dada em radianos por segundo (para saber mais acesse na internet Geração de Eletricidade).



a) Frequência (f) : é o número de ciclos da onda por segundo. Pode-se determinar pela relação entre a velocidade angular e 2π rad.

b) Período (T) : tempo necessário para completar um ciclo. É o inverso da frequência.

Exemplo 1: Para uma frequência de 60 Hz, o período é 16,67ms e a velocidade angular é 376,9911 rad/s.

c) Tensão máxima ($V_{\max}$): é a amplitude máxima da tensão senoidal. Também chamada de Tensão de Pico (V_p).

d) Tensão eficaz (V_{rms}): é o valor da tensão alternada que efetivamente gera trabalho. Para uma onda senoidal, ela é o produto do valor máximo por 0,707. Este é o valor utilizado nominalmente na eletricidade.

Exemplo 2: Quando a tensão da rede residencial (eficaz) é 127V a tensão máxima será 179,6 V.

e) Tensão média (V_{cc}): é o valor médio da tensão (valor constante que não varia no tempo). Também conhecida como tensão contínua ou CC.

Exemplo 3: Na onda senoidal da figura anterior a Tensão Média é ZERO, pois se trata de uma onda simétrica.

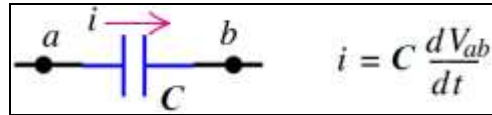
f) Tensão pico-a-pico (V_{pp}): é a diferença entre os $V_{\max}$ positivo e o negativo.

g) Fase ou Defasagem: é a diferença de tempo (Δt) entre duas ondas de mesma frequência. Este atraso ou adiantamento pode ser representado como um ângulo por: $\theta = \Delta t / T \times 360^\circ$.

2) CAPACITOR EM CORRENTE ALTERNADA

Os elétrons não podem passar diretamente através do dielétrico do capacitor. Quando uma tensão é aplicada a um capacitor através de um circuito externo, a corrente flui para uma das placas, carregando-a, enquanto flui da outra placa, carregando-a, inversamente. Em outras palavras, quando a Tensão sobre um capacitor muda, o capacitor será carregado ou descarregado. A fórmula corrente é dada por

$$I = C \frac{dV}{dt}$$



Onde I é a corrente fluindo e dV/dt é a derivada da tensão, em relação ao tempo. No caso de uma tensão contínua (DC ou CC) logo um equilíbrio é encontrado, e nenhuma corrente mais poderá fluir pelo circuito. Logo a corrente contínua (DC) não pode passar por um capacitor. Entretanto, correntes alternadas (CA ou AC) podem: cada mudança de tensão ocasiona carga ou descarga do capacitor, permitindo desta forma que a corrente flua. A quantidade de "resistência" de um capacitor, sob regime AC, é conhecida como **reatância capacitiva** (X_C), e a mesma varia conforme varia a frequência (f) do sinal AC. A reatância capacitiva é dada por:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

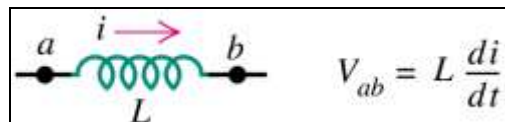
A reatância capacitiva sempre defasa 90 graus as senóides de corrente e tensão no capacitor (a corrente está ADINTADA em relação a tensão de 90°). Assim, ela é o componente negativo imaginário da impedância.

Exemplo: Um capacitor de 100 nF conectado na rede de 127 V (60 Hz) apresenta uma reatância de 26.526 Ω e uma corrente de 4,78 mA circula por ele.

3) INDUTOR EM CORRENTE ALTERNADA

Um indutor resiste somente a mudanças de corrente. Um indutor ideal não oferece resistência para corrente contínua, exceto quando a corrente é ligada e desligada, caso em que faz a mudança de modo mais gradual. No geral, a relação entre a variação da tensão de acordo com o tempo $V(t)$ através de um indutor com indutância L e a variação da corrente de acordo com o tempo $i(t)$ que passa por ele é descrita pela equação:

$$V(t) = L \frac{di(t)}{dt}$$



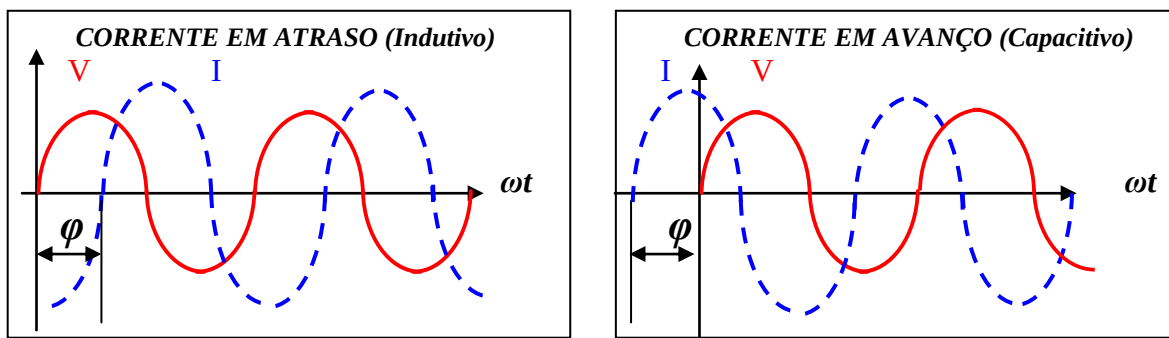
Quando uma corrente alternada (CA) senoidal flui por um indutor, uma tensão alternada senoidal (ou força eletromotriz, F_{em}) é induzida. A amplitude da tensão está relacionada com a amplitude da corrente e com a frequência da senóide pela seguinte equação:

$$V = I \times X_L$$

$$X_L = \omega L = 2\pi fL$$

onde f é a frequência da senóide e X_L é a **reatância indutiva** medida em Ohms. A reatância indutiva sempre defasa 90 graus as senóides de corrente e tensão no capacitor (a corrente está ATRASADA em relação a tensão de 90°). Assim, ela é o componente positivo imaginário da impedância.

Exemplo: Um indutor de 10 H conectado na rede de 127 V (60 Hz) apresenta uma reatância de 3770 Ω e uma corrente de 33,7 mA circula por ele.



4) IMPEDÂNCIA

É a oposição a corrente alternada gerada pelo conjunto formado por resistências e reatâncias indutiva e/ou capacitiva. Ela é obtida de forma vetorial (módulo e ângulo de fase).

Módulo da Impedância: $|Z|$, é a raiz quadrada da soma dos quadrados da resistência e das reatâncias.

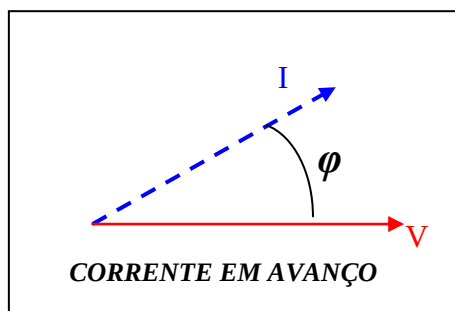
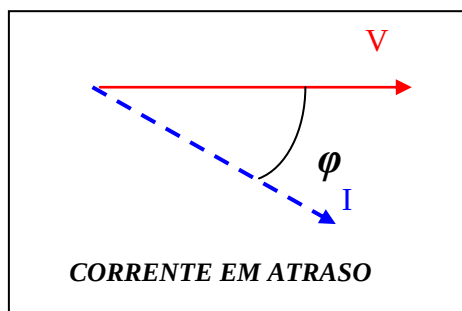
$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (\Omega)$$

Ângulo de fase: φ , é o arco tangente da relação entre a reatância e a resistência.

$$\varphi = \arctan (X/R) \quad (\text{graus ou radianos})$$

Toda impedância em que a reatância indutiva supera a reatância capacitiva, a corrente fica atrasada em relação à tensão. Se a reatância capacitiva supera a indutiva, a corrente fica adiantada em relação à tensão.

Diagrama Fasorial, é um diagrama vetorial para representar a intensidade de tensões e correntes e seus ângulos de defasagem (ou fases).



Representação da impedância $\dot{Z}$ com números complexos na forma polar e retangular:

POLAR: $\dot{Z} = |Z| \angle \pm \varphi$

RETANGULAR: $\dot{Z} = R \pm jX$

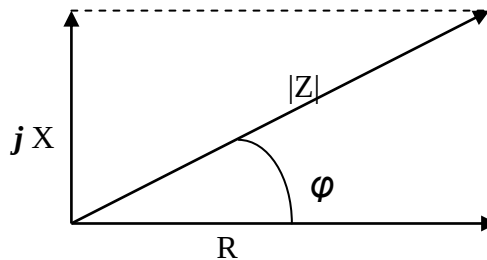
$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$\varphi = \arctan (X / R)$$

$$R = |Z| \cdot \cos \varphi$$

$$X = |Z| \cdot \sin \varphi$$

$$j = (-1)^{0,5} \text{ e } j^2 = -1 ;$$



Exemplo: Representar a impedância de um circuito RL série na forma polar e na forma retangular sendo $R = 10 \Omega$, $L = 1,59 \text{ mH}$ e $f = 1 \text{ kHz}$.

$$XL = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 10 \Omega$$

$$|Z| = [10^2 + 10^2]^{1/2} = 14,14 \Omega$$

$$\varphi = \arctan (10 / 10) = 45^\circ$$

$$\begin{aligned} Z &= 14,14 \angle 45^\circ \Omega \\ Z &= 10 + j 10 (\Omega) \end{aligned}$$

Exemplo 1: Um circuito RL, alimentado por uma fonte CA com frequência de 60Hz, é formado por uma resistência de 10Ω e por um indutor de 20 mH . A reatância indutiva será de $7,54 \Omega$. A impedância terá um módulo de $12,52 \Omega$ e o ângulo de fase será $36,94^\circ$ ou $0,645 \text{ rad}$.

Exemplo 2: Um circuito RC, alimentado por uma fonte CA com frequência de 60Hz, é formado por uma resistência de 10Ω e por um capacitor de $200 \mu\text{F}$. A reatância capacitiva será de $13,26 \Omega$. A impedância terá um módulo de $16,61 \Omega$ e o ângulo de fase será $-52,98^\circ$ ou $-0,925 \text{ rad}$.

5) LEI DE OHM: $Z = V / I$ ou $|I| = |V| / |Z|$

Exemplo 3: O circuito do exemplo 1, agora é alimentado por uma fonte CA de 10 Vrms com frequência de 60Hz. A corrente eficaz será de $0,798 \text{ A}$ e o ângulo de fase de $-36,9^\circ$. O negativo indica que I está em atraso.

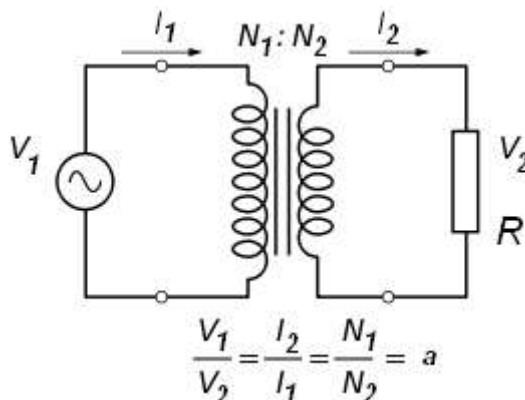
$$I = \frac{10}{12,52} = 0,798 \text{ A}$$

Exemplo 4: O circuito do exemplo 2, agora é alimentado por uma fonte CA de 20 Vrms com frequência de 60Hz. A corrente eficaz será de $1,204 \text{ A}$ e o ângulo de fase de $+36,94^\circ$. O positivo indica que I está em avanço.

$$I = \frac{20}{16,61} = 1,204 \text{ A}$$

6) TRANSFORMADOR IDEAL

Um transformador ideal é aquele em que o acoplamento entre suas bobinas é perfeito, ou seja, não há dispersão de fluxo magnético, e os enrolamentos não apresentam resistência elétrica. Isso implica assumir que o transformador não possui perdas de qualquer natureza, seja nos enrolamentos, seja no núcleo.



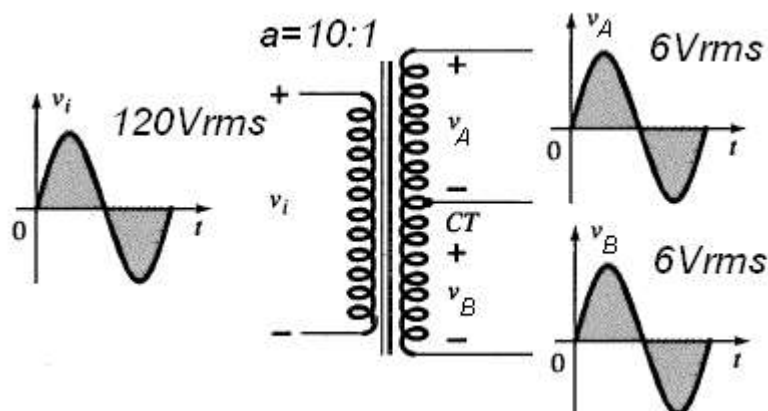
Considerando, um transformador ideal, as tensões V_1 e V_2 , induzidas nessas bobinas, são:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{N_1}{N_2} = a = \frac{i_2}{i_1}$$

onde N_1 é o número de espiras do primário e N_2 do secundário. Dividindo-se N_1 por N_2 chega-se à relação de espiras ou relação de transformação, denominada ***a***. Como o transformador ideal não tem perdas (eficiência 100%) a potência no secundário é igual ao do primário, assim $a = i_2/i_1$. Esta é a propriedade do transformador, elevar ou diminuir as tensões de um lado para outro, e de forma inversa diminuir ou elevar as correntes na mesma proporção.

Exemplo: Um transformador ideal tem 200 espiras no primário e 40 espiras no secundário. Se ele for alimentado com 120 V e tiver uma carga de 500 Ω conectada no secundário teremos: $a = 200/40 = 5$, $V_2 = 120/5 = 24$ V, $I_2 = 24/500 = 48$ mA, $I_1 = 9,6$ mA e $P_1 = P_2 = 1,152$ W, ou seja, este transformador reduz 5 vezes a tensão e eleva 5 vezes a corrente.

Derivação Central (CT Center Tap): é um ponto de conexão colocado no centro do secundário de forma a se obter duas saídas simétricas com metade do valor total da tensão do secundário. Veja o exemplo da figura abaixo:



7) SISTEMA TRIFÁSICO

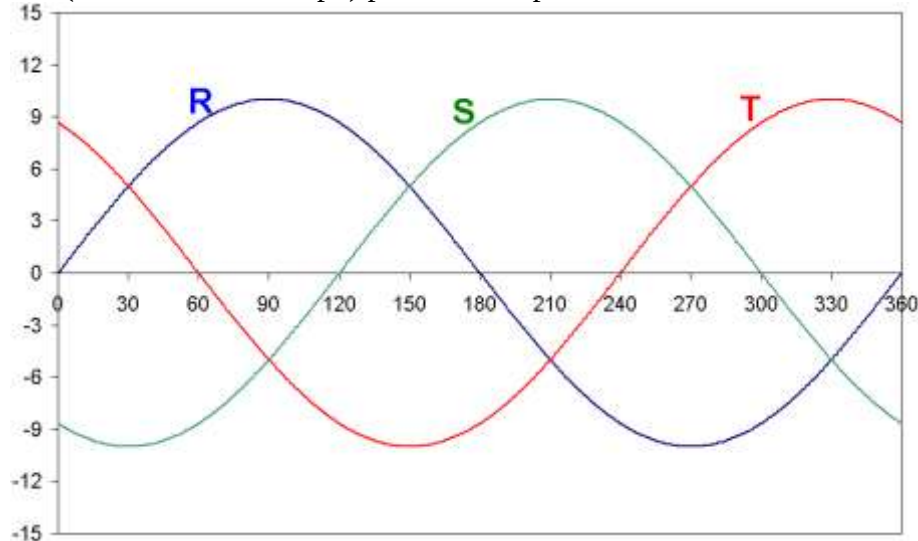
No sistema trifásico a energia elétrica é transmitida através de três ondas senoidais de mesma amplitude (V_p) e frequência (f), mas defasadas de 120° ($1/3$ do período) entre si. Assim tem-se os três sinais:

$$V_R = V_p \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t + 0^\circ)$$

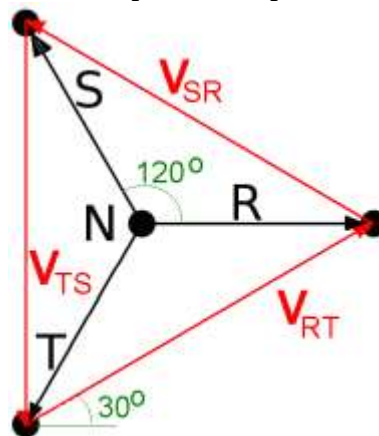
$$V_S = V_p \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t + 120^\circ)$$

$$V_T = V_p \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t + 240^\circ)$$

As ondas (no domínio do tempo) podem ser representadas desta forma:



A representação das três ondas pode também ser feita de forma vetorial (ou fasores), onde R, S e T são os valores das três fases e N representa o ponto Neutro (zero volts).



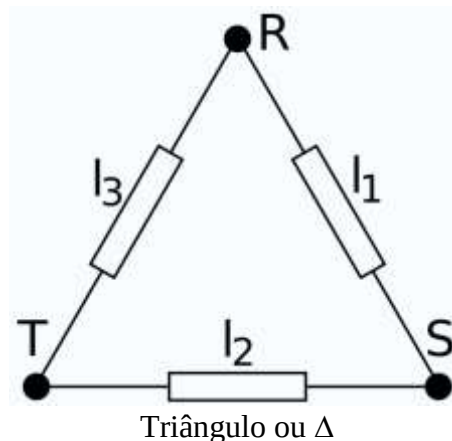
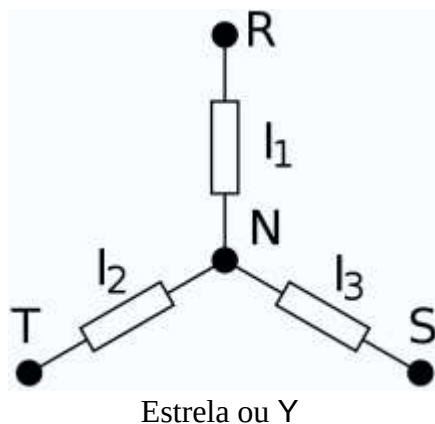
Pela representação acima, podemos determinar a tensão existente entre duas fases consecutivas através da lei dos co-senos:

$$|V_{SR}| = \vec{V}_S - \vec{V}_R = \sqrt{V_S^2 + V_R^2 - 2 \cdot V_S \cdot V_R \cdot \cos 120^\circ}$$

Como as amplitudes de V_S e V_R são iguais tem-se $V_{SR} = \sqrt{3} \cdot V_r$. Na prática, por exemplo, isto significa que para uma fase com tensão de 127 V (no sistema de distribuição elétrica no Paraná), existe uma tensão de 220 V ($= 127 \cdot \sqrt{3}$) entre duas fases.

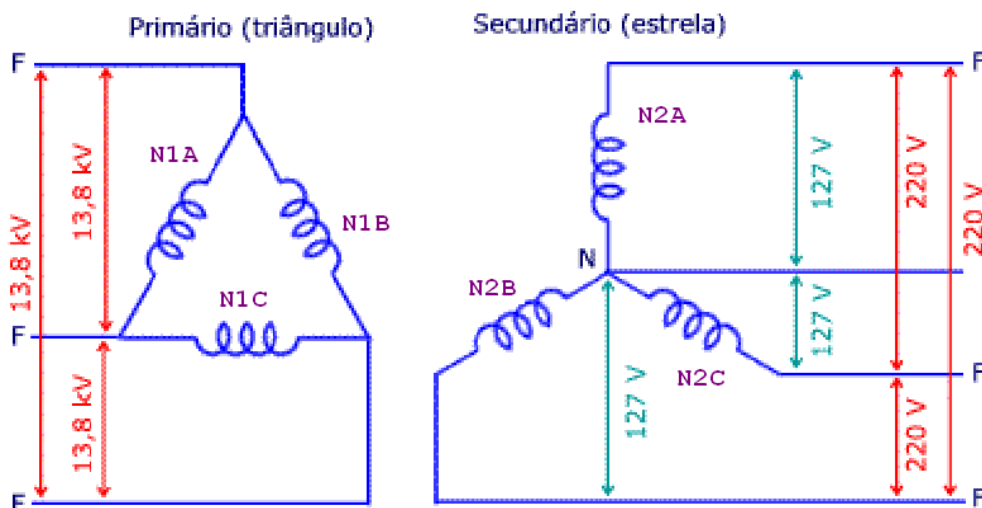
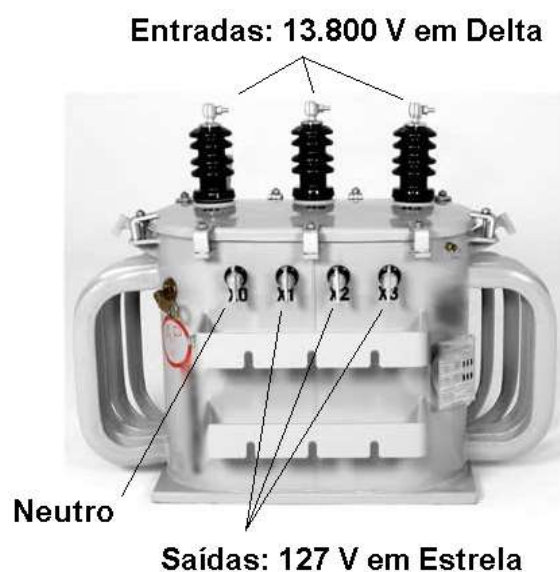
Pode-se observar, no sistema fasorial acima, que a tensão entre fases V_{RT} tem uma nova defasagem de 30° . A tensão V_{TS} fica com 270° de fase e V_{SR} com 150° .

Num sistema trifásico as cargas (motores, transformadores, etc) podem ser ligadas em dois modos diferentes: em estrela, também chamado de Y, onde as cargas são conectadas entre cada fase e o ponto comum (neutro N); em triângulo, também chamado de delta, onde as cargas são conectadas entre as fases.



Exemplo : Transformador trifásico de distribuição (figura ao lado). Aplicado em redes de distribuição rurais e urbanas de concessionárias, instalações comerciais, hospitalares e pequenas indústrias (potência de 15 a 300 kVA). Seu circuito elétrico está mostrado abaixo. A relação de transformação (espiras) para cada fase é:

$$a = N1/N2 = V1 / V2 = 13800/127 = 108,7$$



Além da variação da amplitude das tensões entre primário e secundário, devida a conversão triângulo-estrela, existe uma defasagem de 30° entre as ondas do primário e secundário, conforme foi mostrado no diagrama fasorial anterior.