

RETIFICADOR MONOFÁSICO DE MEIA ONDA (R)

$$(VLmed) = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} Vo\sqrt{2} * Sen(wt) dwt = 0,225Vo * (1 + Cos\alpha)$$

$$Corrente \text{ Média na Carga } (ILmed) = \frac{VLmed}{R}$$

$$Corrente \text{ Eficaz na Carga } (ILef) = \frac{Vo}{R} \sqrt{\frac{1}{2} - \frac{\alpha}{2\pi} + \frac{Sen(2\alpha)}{4\pi}}$$

$$Tensão \text{ de Pico na Carga } (VLp) = Vo\sqrt{2}$$

$$Tensão \text{ Eficaz } (VLrms \text{ ou } VLeff) = \frac{VLp}{2}$$

$$Corrente \text{ de Pico na Carga } (ILp) = \frac{Vo\sqrt{2}}{R}$$

$$Corrente \text{ de Pico no Tiristor } (ITmáx) = \frac{Vo\sqrt{2}}{R}$$

$$Tensão \text{ de Pico Inversa no Tiristor } (VTmáx) = Vo\sqrt{2}$$

$$Potencia \text{ no Resistor } (P) = R * ILef^2 [W]$$

Como não temos a presença de indutor no circuito, tanto tensão quanto corrente se extinguem em π .
 $\alpha=\pi \rightarrow VLmed = 0$. $\alpha=0 \rightarrow VLmed = 0,45Vo$

RETIFICADOR MONOFÁSICO MISTO DE ONDA COMPLETA EM PONTE (R L)

$$(VLmed) = \frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} Vo\sqrt{2} * Sen(wt) dwt = 0,45Vo(1 + Cos(\alpha))$$

$$Corrente \text{ Média na Carga } (ILmed) = \frac{VLmed}{R}$$

$$Tensão \text{ de Pico Reversa no Diodo } (VDMáx) = \sqrt{2}Vo$$

$$Tensão \text{ de Pico Reversa no Tiristor } (VTmáx) = \sqrt{2}Vo$$

$$T.Ef \text{ na Carga } (VLeff) = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} [Vo\sqrt{2} * Sen(wt)]^2 dwt} = Vo \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{Sen(2\alpha)}{2\pi}}$$

$$Corrente \text{ Eficaz na Carga } (ILef) = \frac{Vo}{R} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{Sen(2\alpha)}{2\pi}}$$

$$Corrente \text{ Média no Tiristor } (ITmed) = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} ILmed dwt$$

$$Corrente \text{ Média no Diodo } (IDmed) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\beta} ILmed dwt$$

$$Corrente \text{ de Pico na Carga } (IRLp) = \frac{\sqrt{2}Vo}{R}$$

$$Corrente \text{ Média na Entrada} = 0$$

$$Corrente \text{ Eficaz na Entrada } (IEf) = \sqrt{\frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} ILmed^2 dwt}$$

$$Potencia \text{ Média na Carga } (PL) = VLmed * ILmed$$

$$Potencia \text{ na Carga } (Ativa) (PL) = \frac{\sqrt{2}}{\pi} Vo * ILmed(1 + Cos(\alpha))$$

$$Potencia \text{ Aparente na Carga } (SL) = VLeff * ILef$$

$$Potencia \text{ Média na Entrada } (Ativa) (P1) = \frac{\sqrt{2}}{\pi} Vo * ILmed(1 + Cos(\alpha))$$

$$Potencia \text{ Aparente na Entrada } (S1) = Vo * ILmed \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi}}$$

$$Fator \text{ de Deslocamento} = Cos(\emptyset) = Cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

$$Corrente \text{ Eficaz Total de Entrada } (IEf) = \sqrt{\frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} ILmed^2 dwt}$$

$$Fator \text{ de Potência } (PF) = \frac{P}{S} = \frac{\sqrt{2(1 + Cos(\alpha))}}{\sqrt{\pi(\pi - \alpha)}}$$

$$Fator \text{ de Potencia da Corrente na Entrada} = \frac{PL}{Vo * IEf}$$

RETIFICADOR MONOFÁSICO DE MEIA ONDA (R L) SEM D_{RL}

$$(VLmed) = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\beta} Vo\sqrt{2} * Sen(wt) dwt = 0,225Vo(Cos\alpha - Cos\beta)$$

$$Corrente \text{ Média na Carga } (ILmed) = \frac{VLmed}{R} = \frac{0,225Vo}{R} (Cos\alpha - Cos\beta)$$

$$Corrente \text{ de Pico no Tiristor } (ITmáx) = \frac{Vo\sqrt{2}}{R}$$

$$Tensão \text{ de Pico no Tiristor } (VTmáx) = Vo\sqrt{2}$$

$$Corrente \text{ Eficaz na Carga } (ILef) = \frac{IEFN * \sqrt{2}Vo}{\sqrt{R^2 + (XL)^2}}$$

$$Corrente \text{ Eficaz de Entrada } (IEef) = \sqrt{1.2\pi \int_{\alpha}^{\pi} ILmed^2 dwt}$$

$$Potencia \text{ no Resistor } (P) = R * ILef^2$$

$$Cos \emptyset = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (2\pi fL)^2}} \rightarrow \text{Comparar valor no ábaco para achar } \beta \text{ (ângulo de extinção)}$$

$$XL = 2\pi * f * L$$

Devido a presença da indutância, o tiristor não se bloqueia quando $wt = \pi$. O bloqueio ocorre no ângulo β que é superior a π .

Quando não possui diodo de roda livre, deve-se utilizar o ábaco para identificar β .

Se $\beta_{calculado}$ for menor que $2\pi + \alpha$ o modo de operação é descontinuo

IEFN se acha através do Arco cosseno de \emptyset e do α na tabela em anexo

RETIFICADOR MONOFÁSICO A TIRISTOR DE ONDA COMPLETA EM PONTE (R L)

$$(VLmed) = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\beta} Vo\sqrt{2} * Sen(wt) dwt = 0,45Vo(Cos(\alpha) - Cos(\beta))$$

$$Corrente \text{ na Carga} = \frac{Vo\sqrt{2}}{\sqrt{R^2 + XL^2}} [Sen(wt - \emptyset) - Sen(\alpha - \emptyset)e^{-\frac{t}{\tau}}]$$

$$\emptyset = Arctang\left(\frac{X}{R}\right) \quad \delta = \frac{L}{R} \quad t' = t - \frac{\alpha}{w}$$

$$Fator \text{ de Deslocamento} = Cos(\emptyset) = Cos(\alpha)$$

$$\text{Como Inversor: } VLmed = 0,9Vo * Cos(\alpha)$$

$$\text{Se } VLmed > 0 \rightarrow \text{Retificador } (0 < \alpha < \pi/2)$$

$$\text{Se } VLmed < 0 \rightarrow \text{Inversor. } (\pi/2 < \alpha < \pi)$$

$$\begin{aligned} \text{Fator de Potencia:} \\ Cos(\emptyset) = Cos(\alpha) \quad FP = ST. \quad FP = 0,9Cos(\alpha) \quad ST = Vo * I \\ P = 0,9Vo * I * Cos(\alpha) \quad Q = 0,9Vo * I * Sen(\alpha) \end{aligned}$$

RETIFICADOR MONOFÁSICO DE MEIA ONDA (R L) COM D_{RL}

$$(VLmed) = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} Vo\sqrt{2} * Sen(wt) dwt = 0,225Vo(1 + Cos\alpha)$$

$$Corrente \text{ Média na Carga } (ILmed) = \frac{VLmed}{R}$$

$$Tensão \text{ de Pico na Carga } (VLp) = Vo\sqrt{2}$$

$$Corrente \text{ de Pico na Carga } (ILp) = \frac{Vo\sqrt{2}}{R}$$

$$Corrente \text{ de Pico no Tiristor } (ITmáx) = \frac{Vo\sqrt{2}}{R}$$

$$Tensão \text{ de Pico no Tiristor } (VTmáx) = Vo\sqrt{2}$$

$$Corrente \text{ Eficaz na Carga } (ILef) = \frac{Vo}{R\sqrt{2}}$$

$$Potencia \text{ no Resistor } (P) = R * ILef^2 [W]$$

$$Tensão \text{ Eficaz } (VLrms \text{ ou } VLeff) = \frac{VLp}{2}$$

$$Corrente \text{ Eficaz de Entrada } (IEef) = \sqrt{1.2\pi \int_{\alpha}^{\pi} ILmed^2 dwt}$$

$$XL = 2\pi * f * L$$

$$5\tau = 5 * \frac{L}{R} \quad tg \emptyset = \frac{X}{R} \quad Z = \sqrt{X^2 + R^2}$$

$$IEFN = \frac{Z * ILef}{Vo\sqrt{2}}$$

No semiciclo negativo, devido a indutância, a corrente de carga circula pelo diodo de roda livre (D_{RL})

Com a presença do diodo de roda livre a corrente se mantém até β que é sempre $180 + \alpha$ ângulo encontrado. Se β for maior que 2π a corrente é contínua, caso contrario a corrente é descontinua

RETIFICADOR TRIFASICO A PONTO MÉDIO COM TIRISTOR (RL) (3)

$$(VLmed) = \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{5\pi}{6}+\alpha} Vo\sqrt{2} * Sen(wt) dwt = 1,17Vo * Cos(\alpha)$$

$$VLmed = \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\pi} Vo\sqrt{2} * sen(wt) dwt \text{ (descontinuo)}$$

$$\beta_{critico} = \frac{2\pi}{n \text{ pulsos}} + 30 + \alpha \quad \beta > \beta_{critico} \text{ é continuo}$$

$$Corrente \text{ Média na Carga } (ILmed) = \frac{VLmed}{R}$$

$$Corrente \text{ Eficaz no Diodo } (IDef) = 0,59 * ILmed$$

$$Tensão \text{ de Pico Reversa no Tiristor } (VTmáx) = \sqrt{3}\sqrt{2}Vo = 2,45Vo$$

$$Corrente \text{ de Pico Reversa no Tiristor } (ITmáx) = \frac{ILmed}{3}$$

$$Corrente \text{ Eficaz na Carga } (ILef) = \sqrt{\frac{3}{2\pi} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} \left(\frac{VLp}{R}\right)^2 Sen^2(wt) dwt}$$

$$Potencia \text{ na Carga } (P) = R * ILef^2 [W]$$

$$Potencia \text{ Aparente por Fase } (S2f) = Vo * Isef ; Vo = \frac{VLmed}{1,17}; Isef = ILmed/\sqrt{3} = 0,493PL$$

$$Potencia \text{ Aparente TOTAL } (S2) = 3 * S2f = 1,48PL$$

$$\text{Condução continua: } 0 < \alpha < \pi/6 \quad ; \text{ descontinua: } \alpha > \pi/6$$

RETIFICADOR TRIFASICO SEMICONTROLADO (3 TIRISTORES E 3 DIODOS) (RL)

$$(VLmed \alpha < 60) = \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{3}+\alpha}^{\frac{2\pi}{3}} Vo\sqrt{2} Sen(wt)dw + \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}+\alpha} Vo\sqrt{2} Sen(wt)dw$$

$$(VLmed \alpha > 60) = \frac{3}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} Vo\sqrt{2} Sen(wt)dw$$

$$(VLef \alpha < 60) = \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{3}+\alpha}^{\frac{2\pi}{3}} (Vo\sqrt{2})^2 Sen^2(wt)dw + \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}+\alpha} (Vo\sqrt{2})^2 Sen^2(wt)dw$$

$$(VLmed \alpha > 60) = \frac{3}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} (Vo\sqrt{2})^2 Sen^2(wt)dw$$

$$(ILmed) = \frac{VLmed}{R} \quad (ILef) = \frac{VLef}{R}$$

$$\text{Corrente na Entrada (Em cada fase)} : (I1med) = 0. \quad (I1ef) = \sqrt{\frac{2}{3}} ILef$$

$$\text{Tensão direta e reversa (VTmax)} = \sqrt{3}\sqrt{2}Vo$$

$$\text{Correne média (ITmed)} = \frac{I1med}{3}$$

$$\text{Corrente eficaz (ITef)} = \frac{I1ef}{\sqrt{3}}$$

$$\text{Corrente de Pico (ITmax)} = \frac{VTmax}{R}$$

Condução continua: $\alpha < 60$, condução descontinua: $\alpha > 60$

É comum adicionar um diodo de roda livre para diminuir as correntes nos tiristores

V1-V2, V2-V3, V3-V1, V2-V1, V3-V2, V1-V3

RETIFICADOR TRIFASICO A PONTO MÉDIO COM TIRISTOR (R) (3)

$$(VLmed) = \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{5\pi}{6}+\alpha} \sqrt{2} Vo * Sen(wt) dw \quad (\text{Contínua})$$

$$(VLmed) = \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\pi} \sqrt{2} Vo * Sen(wt) dw \quad (\text{Descontinua})$$

$$\text{Corrente Média na Carga (ILmed)} = \frac{VLmed}{R}$$

$$\text{Corrente Média nos Diodos (IDmed)} =$$

$$\text{Tensão de Pico na Carga (VLp)} = Vo\sqrt{2}$$

$$\text{Corrente de Pico na Carga (ILp)} = \frac{VLp}{R}$$

$$\text{Corrente de Pico nos Diodos (IDp)} = \frac{VLp}{R}$$

$$\text{Corrente Eficaz no Diodo (IDef)} = 0,59 * ILmed$$

$$\text{Tensão de Pico Reversa no Tiristor (VTmáx)} = \sqrt{3}\sqrt{2}Vf = 2,45Vf$$

$$\text{Corrente de Pico Reversa no Tiristor (ITmáx)} = \frac{ILmed}{3}$$

$$\text{Corrente Eficaz na Carga (ILef)} = \sqrt{\frac{3}{2\pi} \int_{\pi/6}^{5\pi/6} \left(\frac{VLp}{R}\right)^2 Sen^2(wt)dw}$$

$$\text{Potencia na Carga (P)} = R * ILef^2 [W]$$

$$\text{Potencia Aparente por Fase (S2f)} = Vo * ISeff ; Vo = \frac{VLmed}{1,17}; ISeff = ILmed/\sqrt{3} = 0,493PL$$

$$\text{Potencia Aparente TOTAL (S2)} = 3 * S2f = 1,48PL$$

Condução continua: $0 < \alpha < \pi/6$; descontinua: $\pi/6 < \alpha < 5\pi/6$

RETIFICADOR TRIFÁSICO PONTE DE GRAEZ COM TIRISTOR (R) (6)

$$(VLmed) = \frac{6}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{3}+\alpha}^{\frac{2\pi}{3}+\alpha} VoL\sqrt{2} * Sen(wt)dw = 2,34VoL * Cos(\alpha) \quad (\text{contínua})$$

$$(VLef) = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{3}+\alpha}^{\frac{2\pi}{3}+\alpha} [\sqrt{3}\sqrt{2}Vo * Sen(wt)]^2 dw} = Vo \sqrt{\frac{18}{3} + \frac{9}{2\pi} Sen(\frac{2\pi}{3} + 2\alpha)} \quad (\text{Continuo})$$

$$(VLmed) = \frac{6}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{3}+\alpha}^{\pi} VoL\sqrt{2} * Sen(wt)dw = 2,34VoL * [1 + Cos(\frac{\pi}{3} + \alpha)] \quad (\text{descontinuo})$$

$$(VLef) = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{3}+\alpha}^{\pi} [\sqrt{3}\sqrt{2}Vo * Sen(wt)]^2 dw} \quad (\text{descontinuo})$$

$$(ILmed) = \frac{VLmed}{R} \quad (ILef) = \frac{VLef}{R}$$

$$\text{Corrente na Entrada (Em cada fase)} : (I1med) = 0. \quad (I1ef) = \sqrt{\frac{2}{3}} ILef$$

$$\text{Tensão direta e reversa (VTmax)} = \sqrt{3}\sqrt{2}Vo$$

$$\text{Correne média (ITmed)} = \frac{I1med}{3}$$

$$\text{Corrente eficaz (ITef)} = \frac{I1ef}{\sqrt{3}}$$

$$\text{Corrente de Pico (ITmax)} = \frac{VTmax}{R}$$

Condução continua: $0 < \alpha < \pi/3$. Condução descontinua: $\pi/3 < \alpha < 2\pi/3$

O Angulo α é contado a partir do ponto de interceptação de duas tensões da fonte e não do cruzamento por zero

RETIFICADOR TRIFÁSICO PONTE DE GRAEZ COM TIRISTOR (RL) (6)

$$(VLmed) = \frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{3}+\alpha}^{\frac{2\pi}{3}+\alpha} Vo\sqrt{2}\sqrt{3} * Sen(wt)dw = 2,34Vo * Cos(\alpha) \quad (\text{contínua})$$

$$(VLef) = Vo \sqrt{3 + \frac{9}{2\pi} \left[sen\left(\frac{2\pi}{3} + 2\alpha\right) - sen\left(\frac{4\pi}{3} + 2\alpha\right) \right]} \quad (\text{Continuo})$$

$$(ILmed) = \frac{VLmed}{R} \quad (ILef) = \frac{VLef}{R}$$

$$\text{Corrente na Entrada (Em cada fase)} : (I1med) = 0. \quad (I1ef) = \sqrt{\frac{2}{3}} ILef$$

$$\text{Tensão direta e reversa (VTmax)} = \sqrt{3}\sqrt{2}Vo$$

$$\text{Correne média (ITmed)} = \frac{I1med}{3}$$

$$\text{Corrente eficaz (ITef)} = \frac{I1ef}{\sqrt{3}}$$

$$\text{Corrente de Pico (ITmax)} = \frac{VTmax}{R}$$

Condução continua: $0 < \alpha < \pi/3$. Condução descontinua: $\pi/3 < \alpha < 2\pi/3$

O Angulo α é contado a partir do ponto de interceptação de duas tensões da fonte e não do cruzamento por zero

V1-V2, V2-V3, V3-V1, V2-V1, V3-V2, V1-V3

GERENCIAMENTO TÉRMICO

$$ITmed = \frac{1}{2\pi} \int_{30+\alpha}^{\pi} IP(\text{corrente de pico}) * Sen(wt)dw$$

$$Ief = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} IP(\text{corrente de pico})^2 * Sen^2(wt)dw}$$

$$Perda = ITmed * VTo + Ief^2 * Rt$$

$$IP(\text{corrente de pico}) = \frac{Vef * \sqrt{2}}{R} \quad (\text{tabela de transformador})$$

Rt = Resistência térmica

Tj, Tc, Td, Ta = Temperatura de junção, capsula, dissipador, ambiente

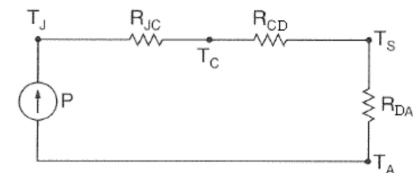
Rjc = Resistencia térmica junção-capsula (°C/W)

Rcd = Resistencia térmica capsula-dissipador (°C/W)

Rda = Resistencia térmica dissipador-ambiente (°C/W)

Rja = Resistencia térmica junção-ambiente (°C/W)

P = Potencia térmica, circula no componente e é transferida ao ambiente (W)



$$Rja = Rjc + Rcd + Rda$$

$$Tj - Ta = Rja * P$$

$$\Delta(T) = P(Rjc + Rcd + Rda)$$

$$V(wt)(\text{Tensão de pico}) = Vo\sqrt{2} * Sen(wt) ; Vo = \text{Tensão eficaz}$$

$$\text{Relação de Espiras} \rightarrow N1 * V2 = N2 * V1$$

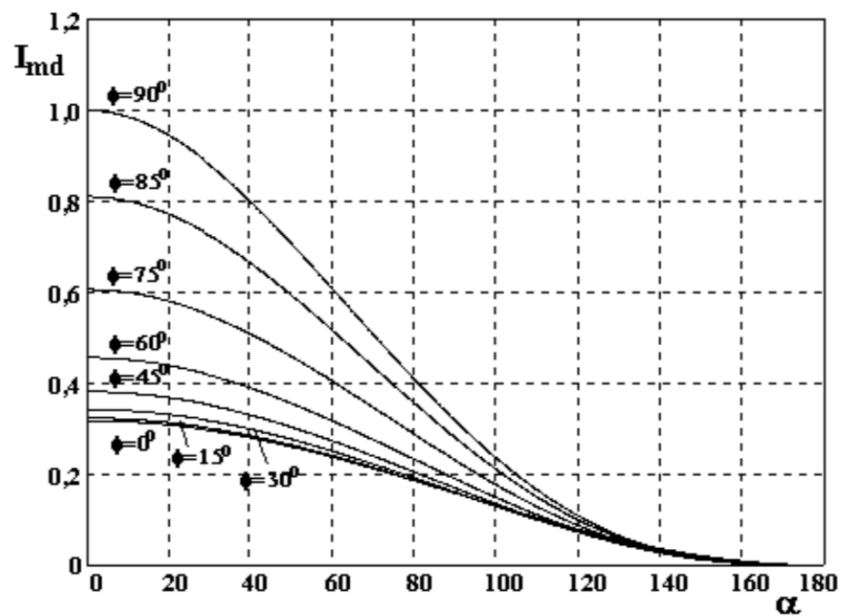
A ponte mista não funciona como inversor, a tensão média é sempre positiva

$$\text{Pot. Aparente no Trafo (Lado do Primario)} = V1ef * I1ef [V.A]$$

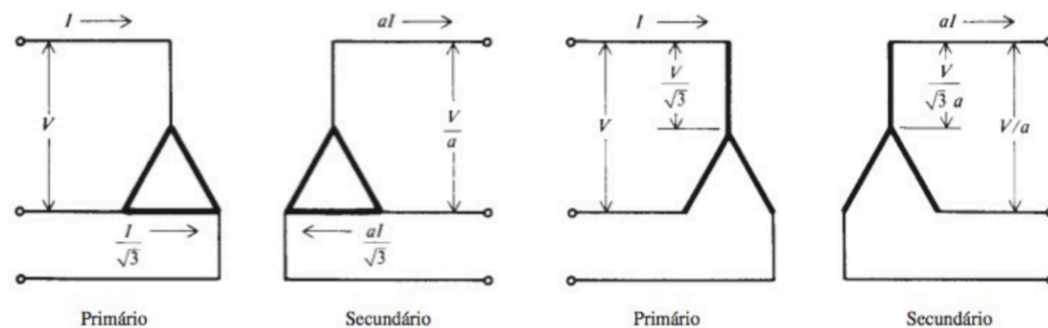
$$ITef = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} ILmed^2 dw} \quad (\text{Quando usar trafo}) \quad I1ef = I2ef * \frac{N2}{N1}$$

$$ITmed = \frac{1}{2\pi} \int_{30+\alpha}^{\pi} ILmed dw$$

No trifásico o ângulo de disparo é nulo quando duas ondas de tensão se interceptam e não quando a tensão passa por zero.



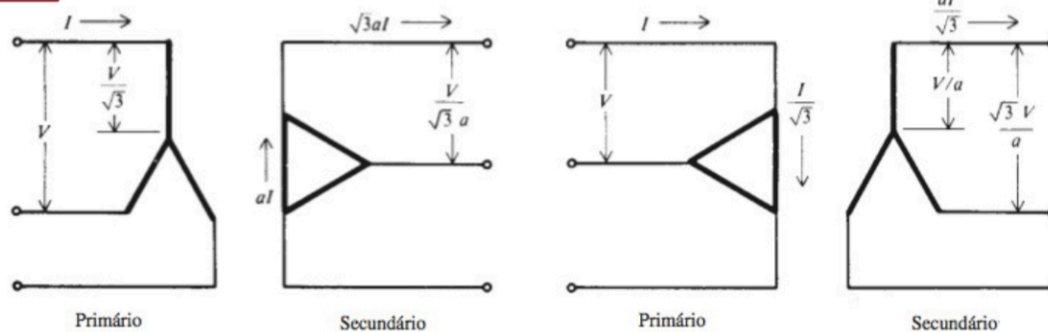
7.4 Conexão Entre Transformadores Trifásico



(a) Triângulo com triângulo (Δ - Δ)

(b) Estrela com estrela (Y-Y)

$$a = N_1/N_2$$



(c) Estrela com triângulo (Y- Δ)

(d) Triângulo com estrela (Δ -Y)