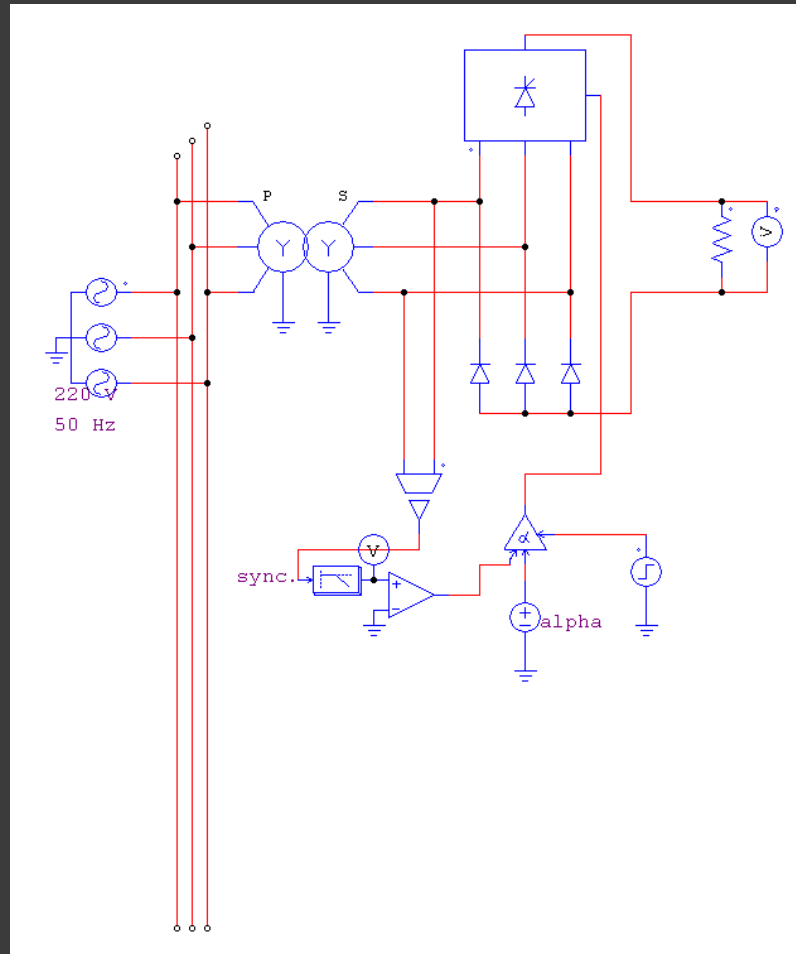


Estudio de Rectificadores Trifásicos

13.- Rectificadores semi-controlados PD3 y S3

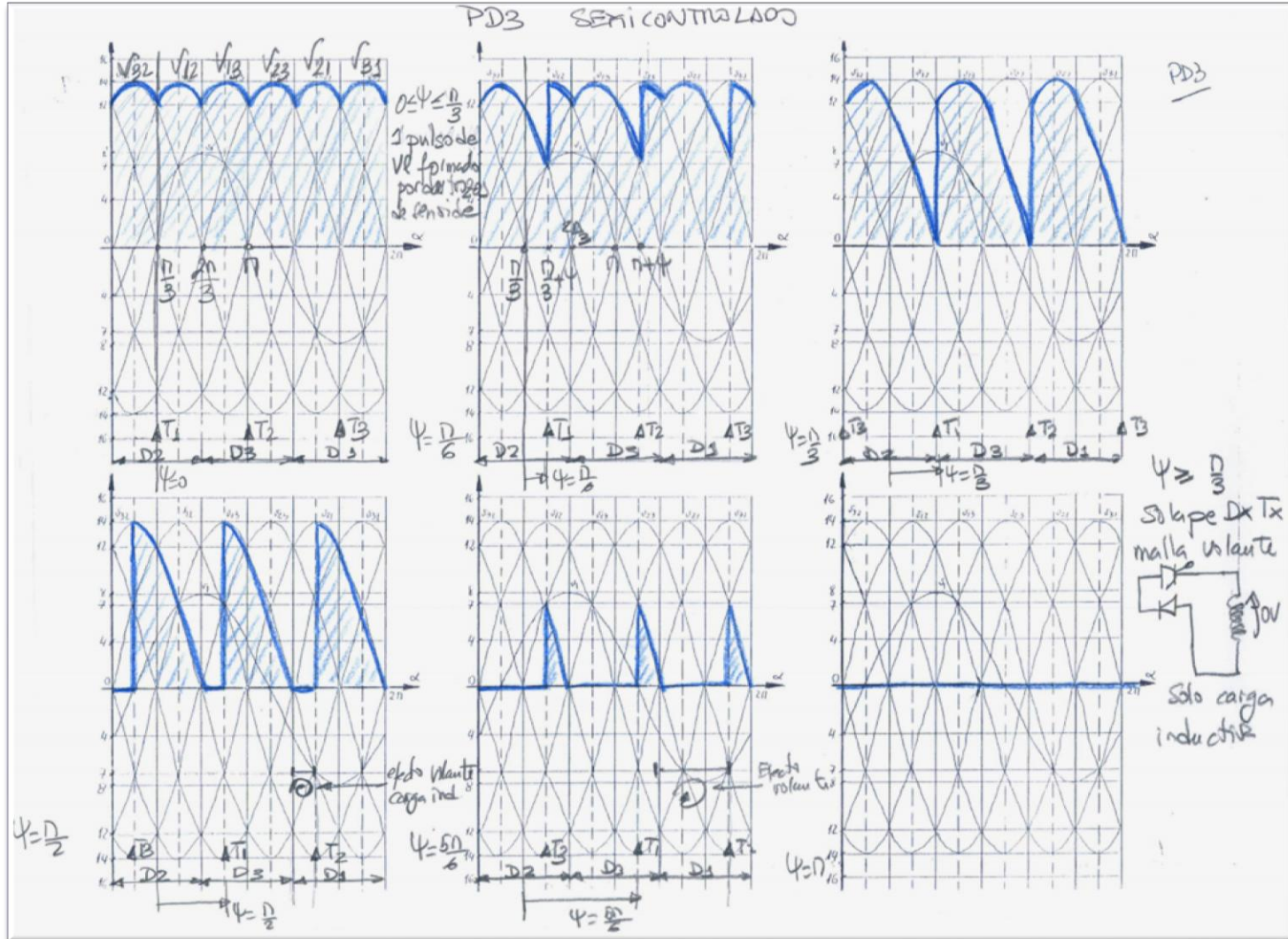
Rectificador trifásico paralelo doble semicontrolado

PD3



Rectificador trifásico paralelo doble semicontrolado PD3

Estudio de las tensiones



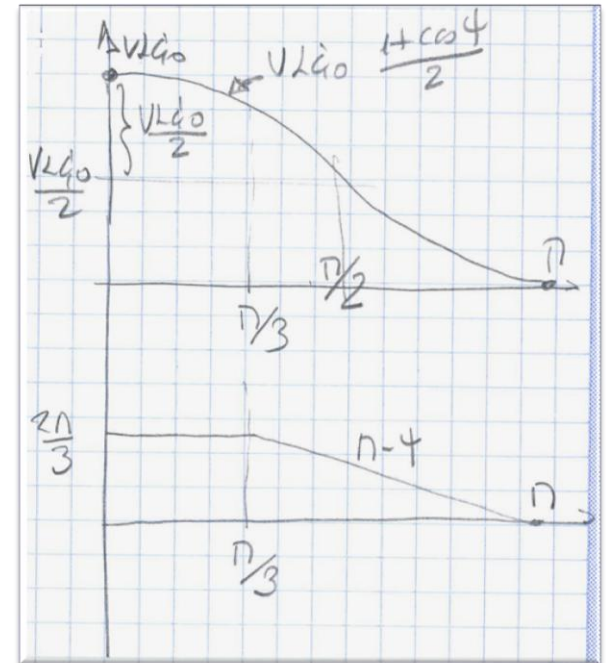
Rectificador trifásico paralelo doble semicontrolado PD3

Estudio de las tensiones

Carga resistiva o inductiva:

$$0 \leq \psi \leq \frac{\pi}{3} \rightarrow \gamma' = \frac{2\pi}{3}$$

$$\begin{aligned} VLC'_0 &= \frac{3}{2\pi} \left[\int_{\frac{\pi}{3}+\psi}^{\frac{2\pi}{3}} \sqrt{3}V_0 \operatorname{sen}\alpha \, d\alpha + \int_{\frac{2\pi}{3}}^{\pi+\psi} \sqrt{3}V_0 \operatorname{sen}\left(\alpha - \frac{\pi}{3}\right) \, d\alpha \right] = \\ &= \frac{3}{2\pi} \left[\int_{\frac{\pi}{3}+\psi}^{\frac{2\pi}{3}} \sqrt{3}V_0 \operatorname{sen}\alpha \, d\alpha + \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}+\psi} \sqrt{3}V_0 \operatorname{sen}\left(\alpha - \frac{\pi}{3}\right) \, d\alpha \right] = \\ &= \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_0 \left[-\cos\frac{2\pi}{3} + \cos\left(\frac{\pi}{3} + \psi\right) - \cos\left(\frac{2\pi}{3} + \psi\right) + \cos\frac{\pi}{3} \right] = \\ &= \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_0 \left[-\cos\frac{2\pi}{3} + \cos\frac{\pi}{3}\cos\psi - \operatorname{sen}\frac{\pi}{3}\operatorname{sen}\psi - \cos\frac{2\pi}{3}\cos\psi + \operatorname{sen}\frac{2\pi}{3}\operatorname{sen}\psi + \cos\frac{\pi}{3} \right] = \\ &= \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_0 \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\cos\psi - \frac{\sqrt{3}}{2}\operatorname{sen}\psi + \frac{1}{2}\cos\psi + \frac{\sqrt{3}}{2}\operatorname{sen}\psi + \frac{1}{2} \right] = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_0 \left(\frac{1 + \cos\psi}{2} \right) = \\ &= VLC_0 \left(\frac{1 + \cos\psi}{2} \right) \end{aligned}$$

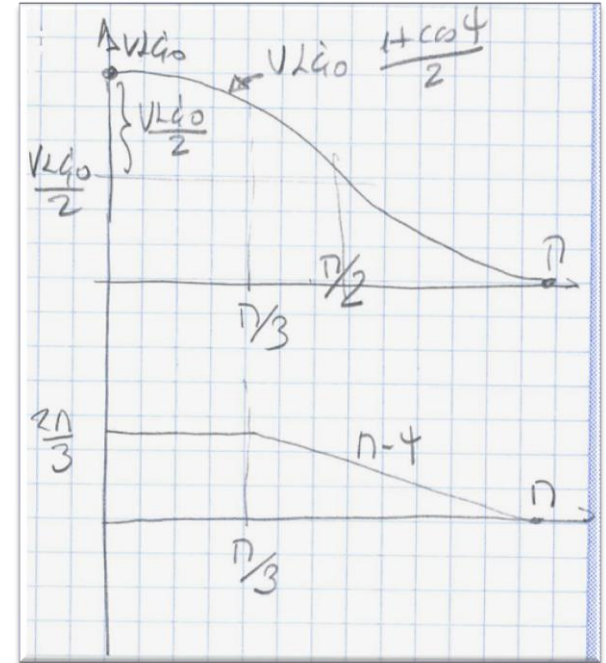


Rectificador trifásico paralelo doble semicontrolado PD3

Estudio de las tensiones

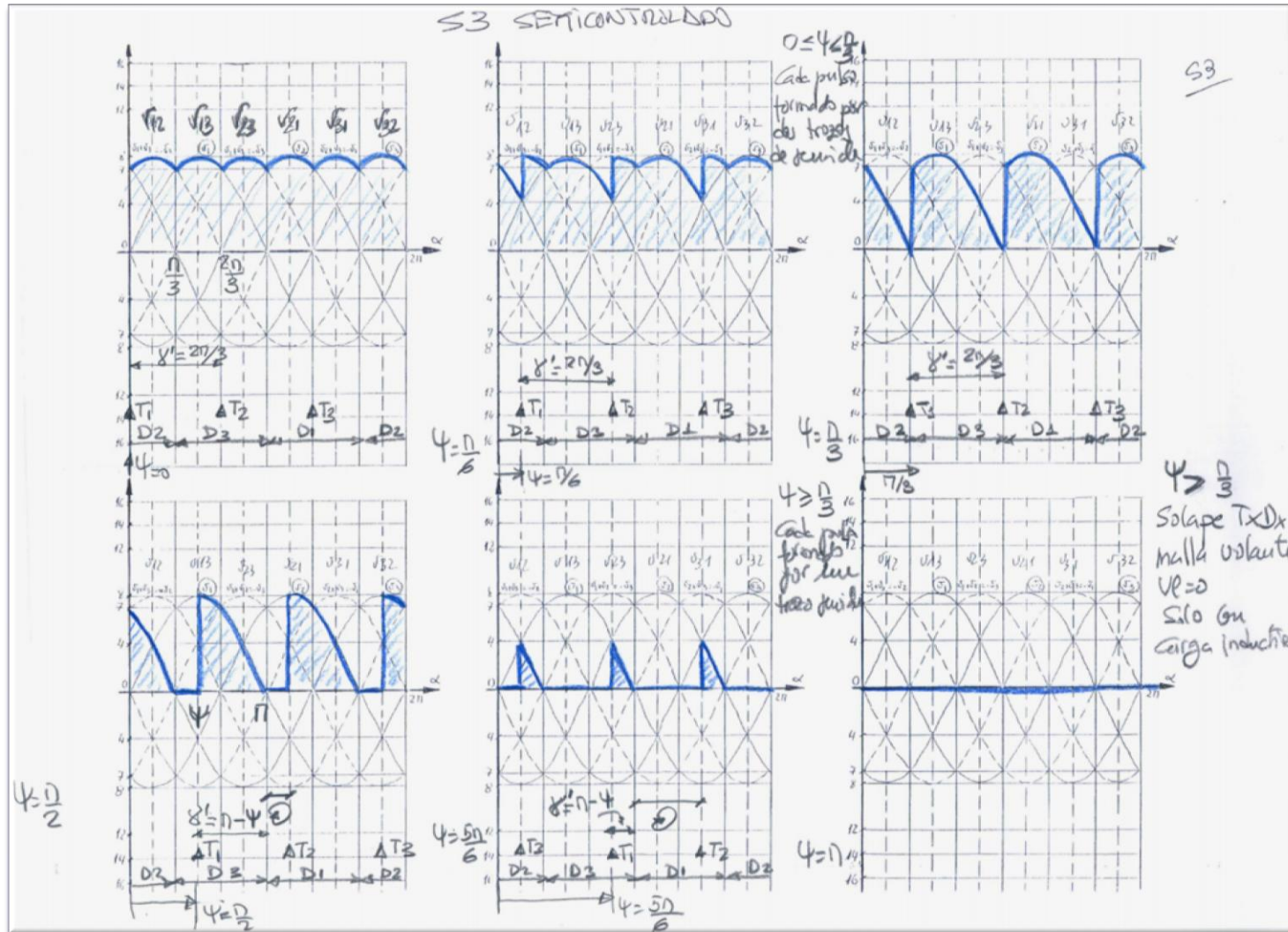
$$\frac{\pi}{3} < \psi \leq \pi \rightarrow \gamma' = \pi - \psi$$

$$\begin{aligned} VLC_0' &= \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{3} + \psi}^{\frac{4\pi}{3}} \sqrt{3} V_0 \operatorname{sen} \left(\alpha - \frac{\pi}{3} \right) d\alpha = \int_{\psi}^{\pi} \sqrt{3} V_0 \operatorname{sen} \alpha d\alpha = \\ &= \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_0 \frac{1}{2} [-\cos \pi + \cos \psi] = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_0 \left(\frac{1 + \cos \psi}{2} \right) = VLC_0 \left(\frac{1 + \cos \psi}{2} \right) \end{aligned}$$



Rectificador trifásico serie semicontrolado S3

Estudio de las tensiones



Rectificador trifásico serie semicontrolado S3

Estudio de las tensiones

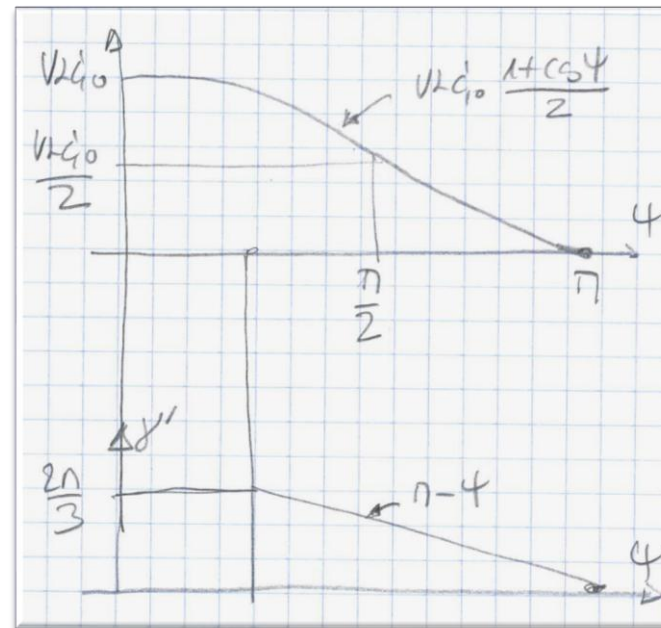
Carga resistiva o inductiva:

$$0 \leq \psi \leq \frac{\pi}{3} \rightarrow \gamma' = \frac{2\pi}{3}$$

$$\begin{aligned} VLC'_0 &= \frac{3}{2\pi} \left[\int_{\psi}^{\frac{\pi}{3}} V_0 \sin\left(\alpha + \frac{\pi}{3}\right) d\alpha + \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3} + \psi} V_0 \sin\alpha d\alpha \right] = \\ &= \frac{3}{2\pi} \left[\int_{\frac{\pi}{3} + \psi}^{\frac{2\pi}{3}} V_0 \sin\alpha d\alpha + \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3} + \psi} V_0 \sin\left(\alpha - \frac{\pi}{3}\right) d\alpha \right] = \\ &= \frac{3}{\pi} V_0 \left(\frac{1 + \cos\psi}{2} \right) = VLC_0 \left(\frac{1 + \cos\psi}{2} \right) \end{aligned}$$

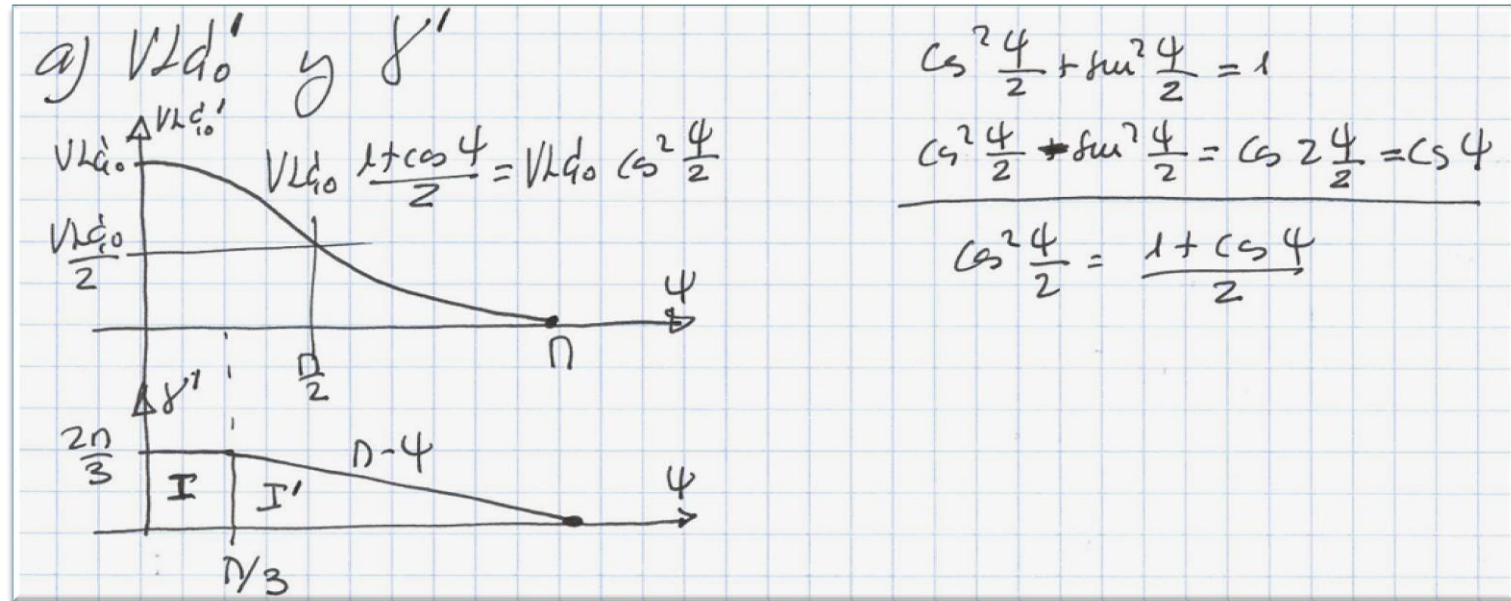
$$\frac{\pi}{3} < \psi \leq \pi \rightarrow \gamma' = \pi - \psi$$

$$\begin{aligned} VLC'_0 &= \frac{3}{2\pi} \left[\int_{\psi}^{\pi} \sqrt{3} V_0 \sin\alpha d\alpha \right] = \frac{3}{\pi} V_0 \frac{1}{2} [-\cos\pi + \cos\psi] = \\ &= \frac{3}{\pi} V_0 \left(\frac{1 + \cos\psi}{2} \right) = VLC_0 \left(\frac{1 + \cos\psi}{2} \right) \end{aligned}$$



Rectificadores semicontrolados

Tensiones rectificadas y ángulos de control: resumen



Rectificadores semicontrolados

Tensiones rectificadas y ángulos de control: resumen

b) Corrientes

PD3

$0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{3}$
 $\psi = \frac{\pi}{3}$

$$I_S' = \sqrt{\frac{1}{2n} \left[2 \frac{2n}{3} I_C^2 \right]} = \sqrt{\frac{2}{3}} I_C \rightarrow I_S' = I_S$$

$\frac{\pi}{3} \leq \alpha \leq \pi$
 $\psi = \frac{\pi}{2}$

$$I_S'' = \sqrt{\frac{1}{2n} \left[2(n-4) I_C^2 \right]} = \sqrt{\frac{n-4}{\frac{2n}{3}}} I_C \rightarrow I_S'' = I_S \sqrt{\frac{n-4}{\frac{2n}{3}}}$$

S3

$0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{3}$
 $\psi = \frac{\pi}{3}$

$$I_S' = \sqrt{\frac{1}{2n} \left[\frac{2n}{3} \left(\frac{2}{3} I_C \right)^2 + 2 \frac{2n}{3} \left(\frac{1}{3} I_C \right)^2 \right]} = \frac{\sqrt{2}}{3} I_C \rightarrow I_S' = I_S$$

$\frac{\pi}{3} \leq \alpha \leq \frac{2\pi}{3}$
 $\psi = \frac{\pi}{2}$

$$I_S'' = \sqrt{\frac{1}{2n} \left[(n-4) \left(\frac{2}{3} I_C \right)^2 + 2(n-4) \left(\frac{1}{3} I_C \right)^2 \right]} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{\frac{n-4}{\frac{2n}{3}}} I_C \rightarrow I_S'' = I_S \sqrt{\frac{n-4}{\frac{2n}{3}}}$$

De igual forma $I_p'' = I_p \sqrt{\frac{n-4}{\frac{2n}{3}}}$

$I_{red}'' = I_{red} \sqrt{\frac{n-4}{\frac{2n}{3}}}$

Rectificadores semicontrolados

Corrientes en el rectificador

- ▶ Las corrientes I_s , I_p , I_{red} si dependen de ψ , tanto en su forma como en su valor eficaz.
- ▶ Para $0 \leq \psi < \frac{\pi}{3}$ cada pulso de tensión rectificada esta formada por dos trozos de senoide y la corriente en el secundario sigue los mismos patrones que en un rectificador controlado.
- ▶ Para $\frac{\pi}{3} \leq \psi < \pi$ cada pulso de tensión rectificada esta formada por un trozo de senoide y un segmento nulo. Durante este último existe superposición en la conducción de tiristores y diodos unidos a la misma fase secundaria. Esto va a hacer que la corriente en el secundario disminuya cuando se incremente el ángulo de disparo ψ .

PD3



$$0 \leq \psi \leq \frac{\pi}{3} \rightarrow \gamma' = \frac{2\pi}{3}$$

$$I_s = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left[2 \frac{2\pi}{3} ILC^2 \right]} = \sqrt{\frac{2}{3}} ILC$$

$$\psi > \frac{\pi}{3} \rightarrow \gamma' = \pi - \psi$$

$$I_s' = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left[2(\pi - \psi) ILC^2 \right]}$$

$$\frac{I_s'}{I_s} = \sqrt{\frac{\pi - \psi}{\frac{2\pi}{3}}}$$

S3



$$0 \leq \psi \leq \frac{\pi}{3} \rightarrow \gamma' = \frac{2\pi}{3}$$

$$I_s = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left[\frac{2\pi}{3} \left(\frac{2}{3} ILC^2 \right) + 2 \frac{2\pi}{3} \left(\frac{1}{3} ILC^2 \right) \right]}$$

$$\psi > \frac{\pi}{3} \rightarrow \gamma' = \pi - \psi$$

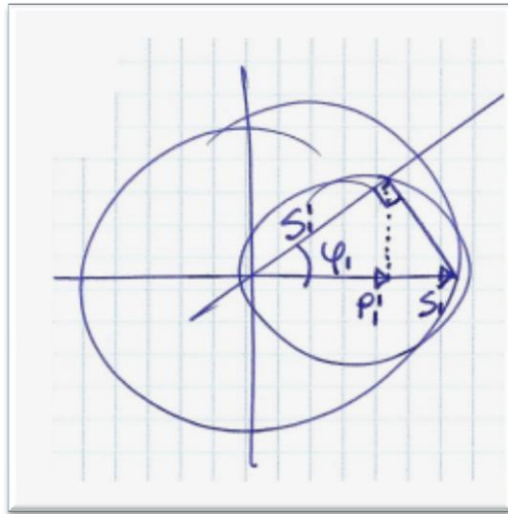
$$I_s' = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \left[(\pi - \psi) \left(\frac{2}{3} ILC^2 \right) + 2(\pi - \psi) \left(\frac{1}{3} ILC^2 \right) \right]}$$

$$\frac{I_s'}{I_s} = \sqrt{\frac{\pi - \psi}{\frac{2\pi}{3}}}$$

Rectificadores semicontrolados

Triángulos de potencia, factor de potencia y nivel de armónicos

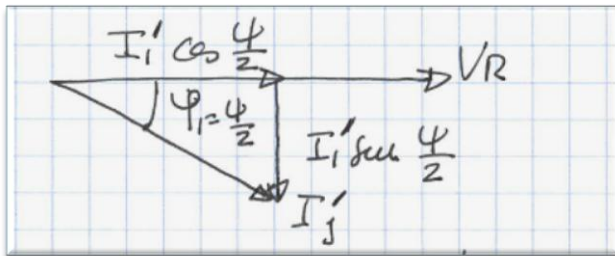
- ▶ En los rectificadores controlados no ideales ($\Delta V_x \neq 0$), se pueden dibujar los triángulos de potencia S_1 , S'_1 y P'_1 de la siguiente manera:



$$\begin{cases} S_1 = \sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 \\ S_1 = V_{LC0} \cdot I_C \end{cases}$$

$$S'_1 = S_1 \cdot \cos \varphi_1$$

$$\begin{cases} P'_1 = S'_1 \cdot \cos \varphi_1 = (S_1 \cdot \cos \varphi_1) \cdot \cos \varphi_1 = S_1 \cdot \cos^2 \varphi_1 \\ P'_1 = V_{LC}' \cdot I_C \end{cases}$$



$$I'_1 = I_1 \cos \varphi_1$$

Rectificadores semicontrolados

Triángulos de potencia, factor de potencia y nivel de armónicos

Es importante la siguiente relación: $\cos^2 \varphi_1 = \frac{1 + \cos \psi}{2} - \frac{\Delta V_X}{V_{LC0}}$

Partiendo de la tensión en carga:

$$V_{LC}' = V_{LC0}' - \Delta V_X \qquad V_{LC0}' = V_{LC0} \frac{1 + \cos \psi}{2}$$

Igualando las dos expresiones de la potencia útil en la carga

$$S_1 \cdot \cos^2 \varphi_1 = V_{LC}' I_C$$

$$(V_{LC0} \cdot I_C) \cdot \cos^2 \varphi_1 = [V_{LC0}' - \Delta V_X] I_C$$

$$(V_{LC0} \cdot I_C) \cdot \cos^2 \varphi_1 = \left[\left(V_{LC0} \cdot \frac{1 + \cos \psi}{2} \right) - \Delta V_X \right] I_C$$

Se obtiene la expresión buscada:

$$\cos^2 \varphi_1 = \frac{1 + \cos \psi}{2} - \frac{\Delta V_X}{V_{LC0}}$$

Rectificadores semicontrolados

Triángulos de potencia, factor de potencia y nivel de armónicos

- ▶ El factor de potencia tanto en un PD3 como en un S3 cualquiera que sea el tipo de carga (R, L)

$$0 \leq \psi \leq \frac{\pi}{3}$$

$$\frac{F'}{F} = \frac{1 + \cos \psi}{2}$$

$$\psi > \frac{\pi}{3}$$

$$\frac{F'}{F} = \frac{1 + \cos \psi}{2} \frac{1}{\sqrt{\frac{\pi - \psi}{\frac{2\pi}{3}}}}$$

Con $\Delta V_x = 0$

$$F = \frac{3}{\pi}$$

Rectificadores semicontrolados

Armónicos

$$h' = k_n 3 \pm 1$$

$$I_h' = \frac{I_1}{h} \left| \cos h \frac{\psi}{2} \right| \quad \text{Impares: } 5, 7, \dots$$

$$I_h' = \frac{I_1}{h} \left| \operatorname{sen} h \frac{\psi}{2} \right| \quad \text{Pares: } 2, 4, \dots$$

$$I_{\approx}' = \sqrt{\sum I_h'^2}$$

$$I_{RED}^2 = I_1^2 + I_{\approx}'^2$$

