Tipos de Rectificadores Controlados

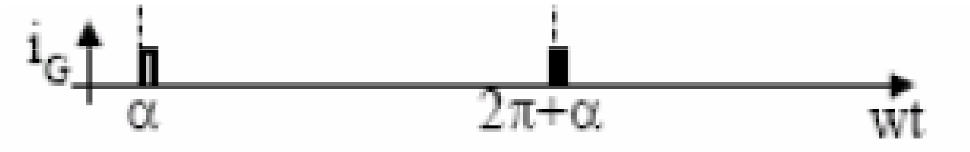
- Monofásicos de Media Onda → RECTIFICADORES
- Monofásicos de Onda Completa
- Trifásicos de Media Onda
- Trifásicos de Onda Completa

(Monofásicos de Onda Completa, Trifásicos de Media Onda, Trifásicos de Onda Completa) } CONVERTIDORES

Trujillo, F.D.; Pozo, A; Triviño, A (2011) Electrónica de Potencia.

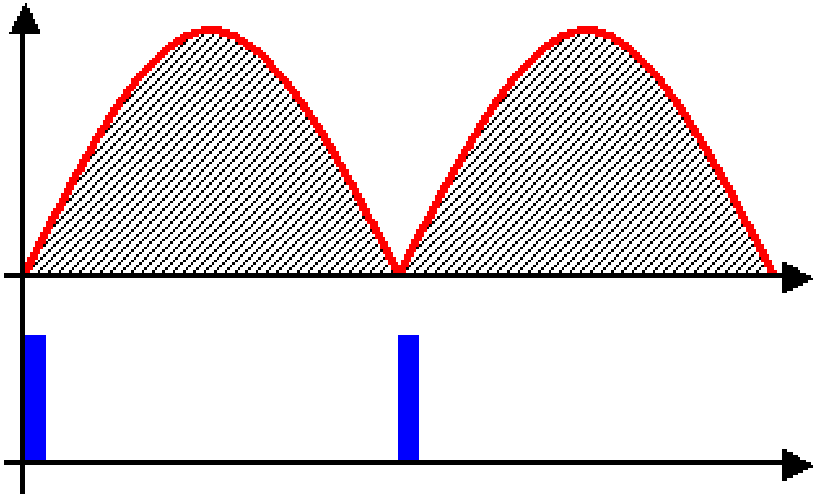
¿Por qué se llaman Controlados?

Se CONTROLA la tensión/corriente de salida a partir de la puerta de los tiristores.



Se varía CUÁNDO se aplican estos pulsos en la puerta de los tiristores.

Trujillo, F.D.; Pozo, A; Triviño, A (2011) Electrónica de Potencia.



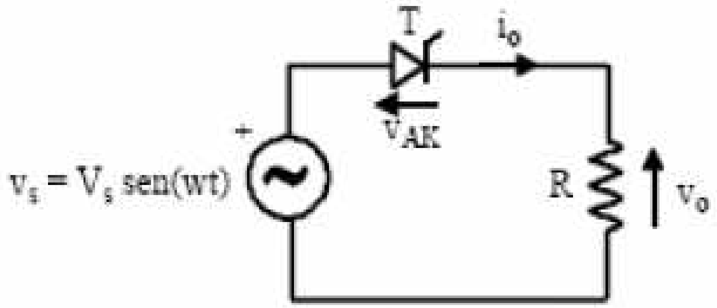
Trujillo, F.D.; Pozo, A; Triviño, A (2011) Electrónica de Potencia.

Funcionalidad

Convierten la señal alterna en una tensión en c.c. controlada en MAGNITUD y POLARIDAD.

Trujillo, F.D.; Pozo, A; Triviño, A (2011) Electrónica de Potencia.

Monofásico de Media Onda. Carga Resistiva (I)



T ON $\alpha \leq \omega t \leq \pi$

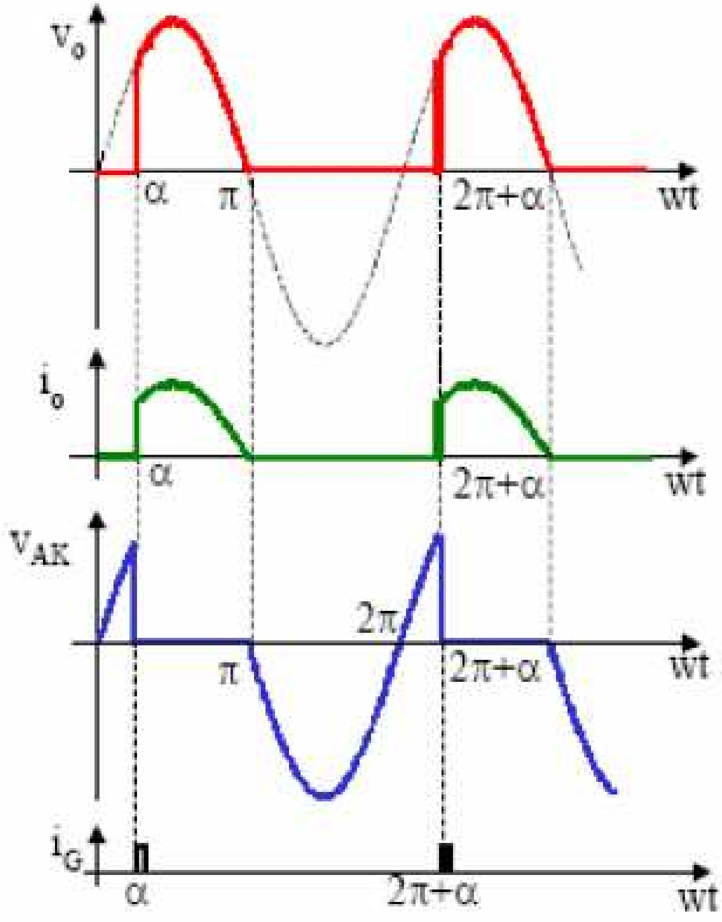
$$v_S = V_S\, sen(\omega t) = v_O = i_O R$$

$$i_O = \frac{V_S}{R} sen(\omega t)$$

$$v_{AK} = 0$$

T OFF $\pi \leq \omega t \leq 2\pi + \alpha$

$$v_O = 0; \quad i_O = 0; \quad v_{AK} = v_S;$$



Trujillo, F.D.; Pozo, A; Triviño, A (2011) Electrónica de Potencia.

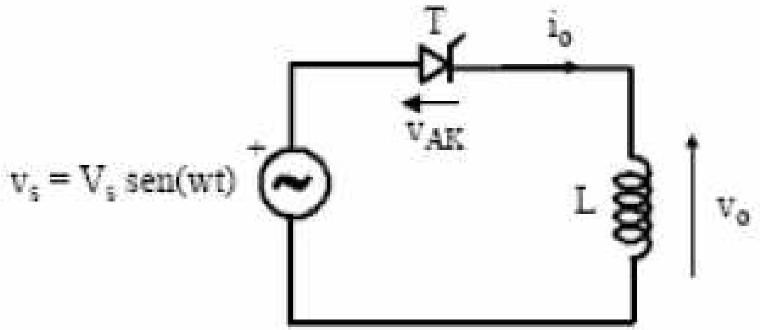
Monofásico de Media Onda. Carga Resistiva (II)

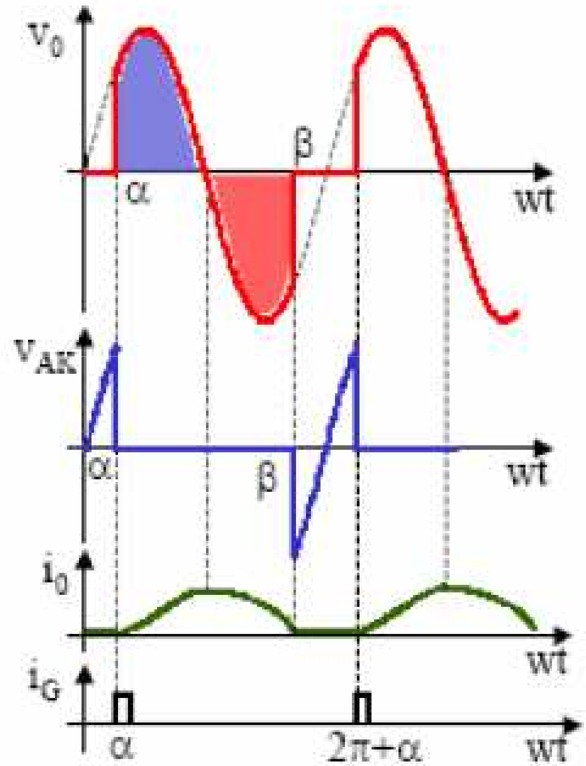
¿Valor medio de la tensión de salida?

$$V_o = \frac{1}{2\pi}\int_{\alpha}^{\pi} V_s \, sen\,(\omega t)\, d(\omega t) = \frac{V_s}{2\pi}(\cos\alpha + 1)$$

Trujillo, F.D.; Pozo, A; Triviño, A (2011) Electrónica de Potencia.

Monofásico de Media Onda. Carga Inductiva (I)





T ON $\alpha \le \omega t \le \beta$

$$v_O(\omega t) = v_S = V_S sen(\omega t)$$

$$L\frac{di_O}{dt} = v_S \Rightarrow i_O(\omega t) = \frac{V_S}{L\omega}(\cos\alpha - \cos(\omega t))$$

$$v_{AK} = 0$$

T OFF $0 \le \omega t \le \alpha,\ \beta \le \omega t \le 2\pi$

$$v_O(\omega t) = 0 \qquad v_{AK} = v_S$$

$$i_O(\omega t) = 0$$

Tenemos ÁNGULO DE EXTINCIÓN β

Trujillo, F.D.; Pozo, A; Triviño, A (2011) Electrónica de Potencia.

Monofásico de Media Onda. Carga Inductiva (II)

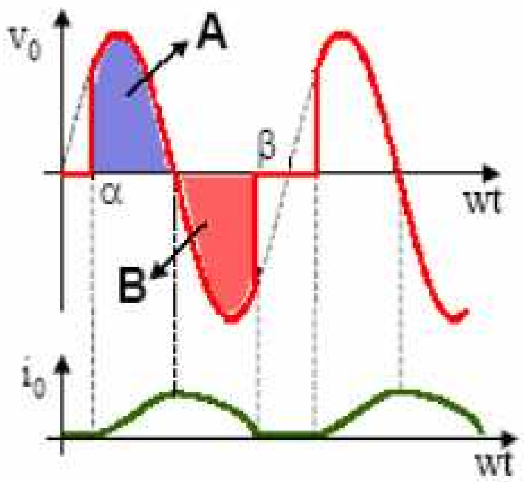
Cálculo del ángulo de extinción β

$$i_O(\omega t = \beta) = 0 \quad \Rightarrow \quad \beta$$

$$\cos\alpha = \cos\beta$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \beta = \alpha \rightarrow \text{Solución no valida} \\ \beta = 2\pi - \alpha \end{cases}$$

$V_L = 0 \Rightarrow Área_A = Área_B$



Trujillo, F.D.; Pozo, A; Triviño, A (2011) Electrónica de Potencia.

Monofásico de Media Onda. Carga Inductiva (III)

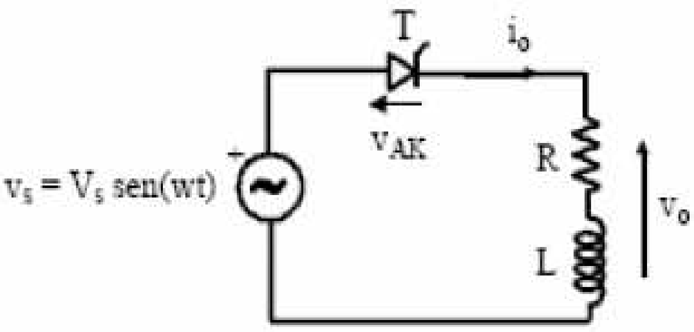
¿Valor medio de tensión y corriente a la salida?

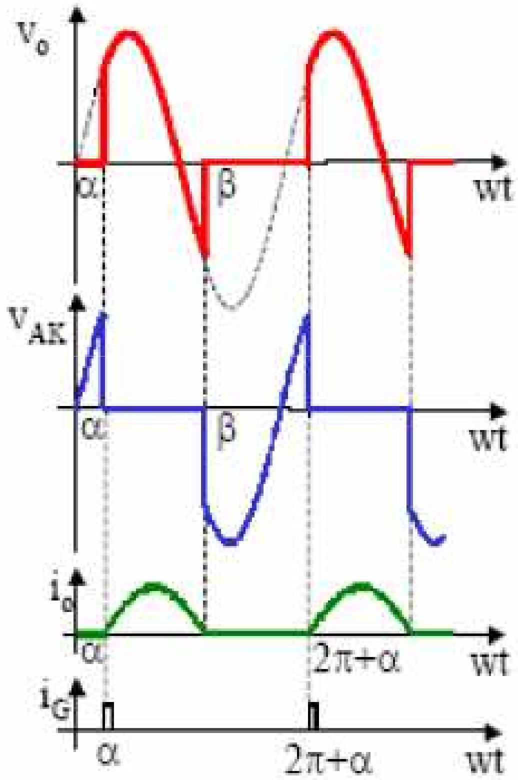
$$V_o = \frac{1}{2\pi}\int_{\alpha}^{\beta=2\pi-\alpha} V_s \operatorname{sen}(\omega t)\, d(\omega t) = \frac{V_s}{2\pi}\left[\cos\alpha - \cos(2\pi-\alpha)\right] = 0$$

$$I_o = \frac{1}{2\pi}\int_{\alpha}^{\beta=2\pi-\alpha} \frac{V_s}{L\omega}\left[\cos\alpha - \cos(\omega t)\right] d(\omega t) = \frac{1}{\pi}\frac{V_s}{L\omega}\left[(\pi-\alpha)\cos\alpha + \operatorname{sen}\alpha\right]$$

Trujillo, F.D.; Pozo, A; Triviño, A (2011) Electrónica de Potencia.

Monofásico de Media Onda. Carga Resistiva-Inductiva





T ON $\alpha \le \omega t \le \beta$

$$v_o(\omega t) = v_S = V_S sen(\omega t)$$

$$Ri_o + L\frac{di_o}{dt} = v_S \Rightarrow i_o$$

$$v_{AK} = 0$$

T OFF $0 \le \omega t \le \alpha, \beta \le \omega t \le 2\pi$

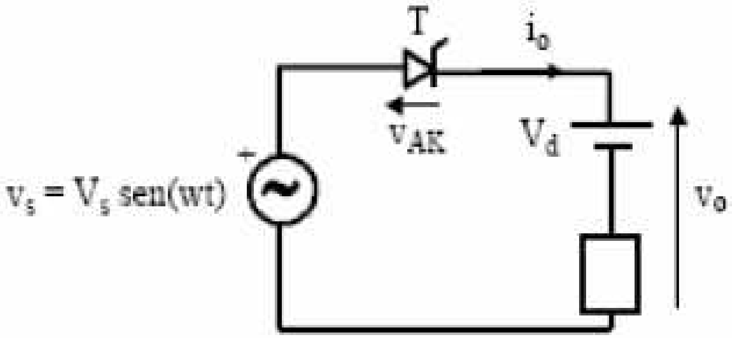
$$v_o(\omega t) = 0$$

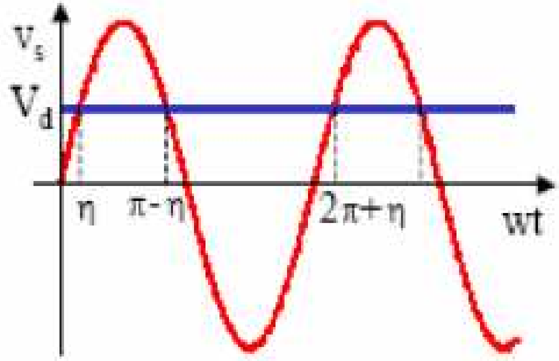
$$i_o(\omega t) = 0$$

$$v_{AK} = v_S$$

Trujillo, F.D.; Pozo, A; Triviño, A (2011) Electrónica de Potencia.

Añadiendo una fuente continua





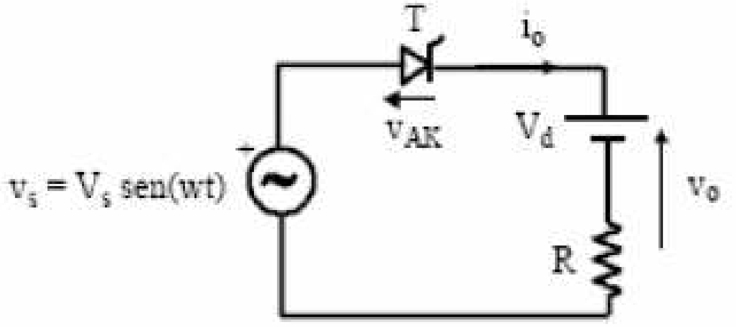
$$V_s \, sen\eta = V_d \quad \Rightarrow \quad sen\eta = \frac{V_d}{V_s}$$

$$\eta = arcsen\left(\frac{V_d}{V_s}\right) \quad rad$$

$$\eta \leq \alpha \leq \pi - \eta$$

Trujillo, F.D.; Pozo, A; Triviño, A (2011) Electrónica de Potencia.

Monofásico de Media Onda. Carga Resistiva y f.e.m.



T ON $\alpha \le \omega t \le \pi - \eta$

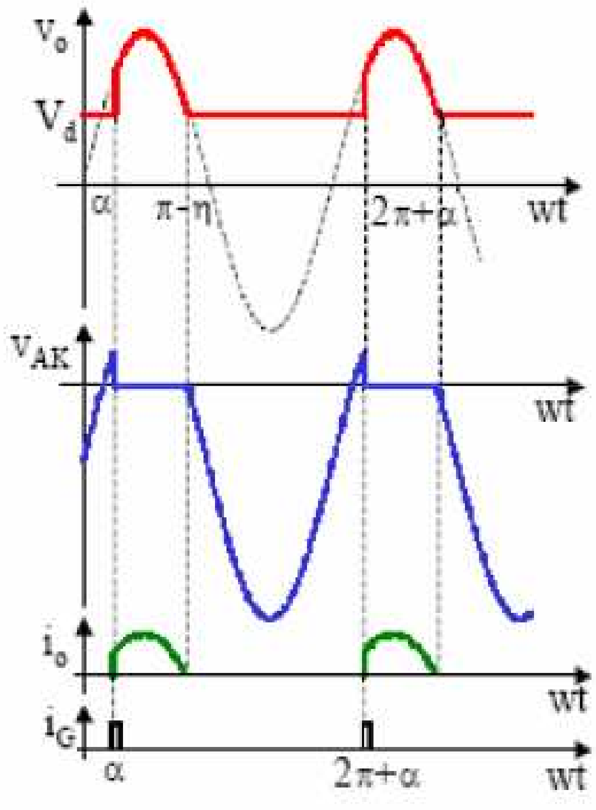
$$v_o(\omega t) = v_S = V_S sen(\omega t)$$

$$i_o(\omega t) = \frac{v_S - V_d}{R}; \qquad v_{AK} = 0$$

T OFF $0 \le \omega t \le \alpha, \pi - \eta \le \omega t \le 2\pi$

$$v_o(\omega t) = V_d \qquad v_{AK} = v_S - V_d$$

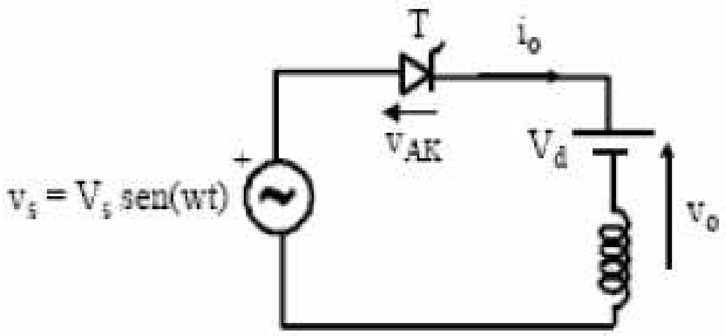
$$i_o(\omega t) = 0$$



$$\eta = arcsen\left(\frac{V_d}{V_s}\right) \quad rad$$

Trujillo, F.D.; Pozo, A; Triviño, A (2011) Electrónica de Potencia.

Monofásico de Media Onda. Carga Inductiva y f.e.m.



T ON $\alpha \le \omega t \le \beta$

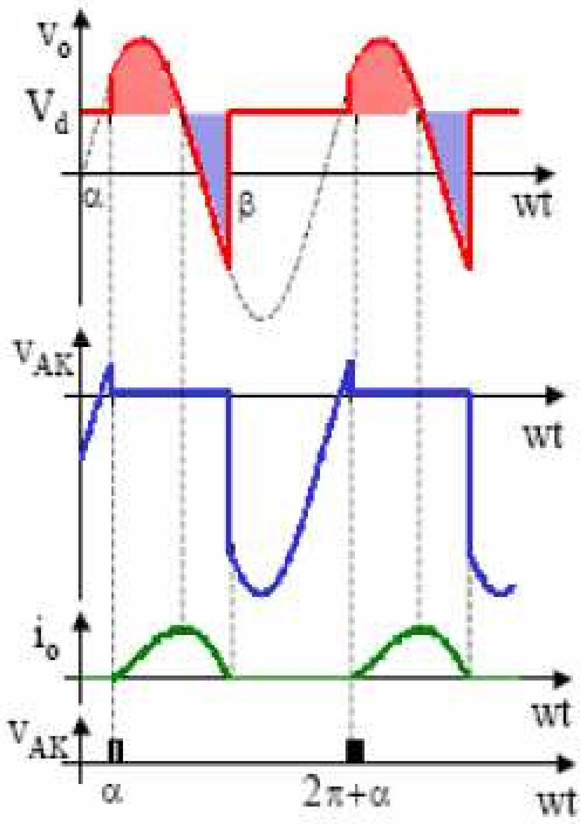
$$v_o(\omega t) = v_s = V_s sen(\omega t); v_{AK} = 0$$

$$L\frac{di_o}{dt} + V_d = v_s \Rightarrow i_o$$

T OFF $0 \le \omega t \le \alpha,\ \beta \le \omega t \le 2\pi$

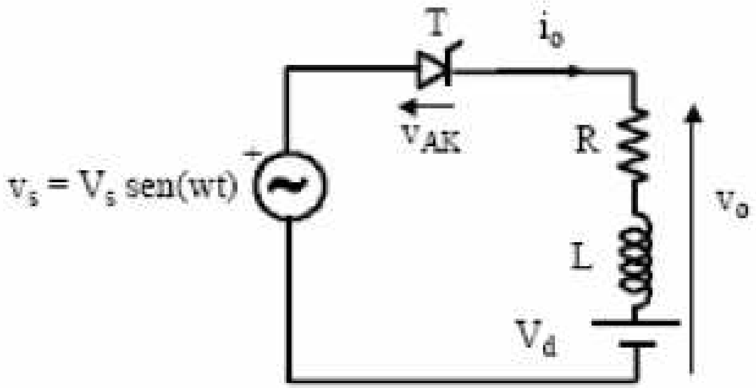
$$v_o(\omega t) = V_d \qquad v_{AK} = v_s - V_d$$

$$i_o(\omega t) = 0$$



Trujillo, F.D.; Pozo, A; Triviño, A (2011) Electrónica de Potencia.

Monofásico de Media Onda. Carga Resistivo-Inductiva y f.e.m.



T ON $\alpha \leq \omega t \leq \beta$

$$v_O(\omega t) = v_S = V_S sen(\omega t); \quad v_{AK} = 0$$

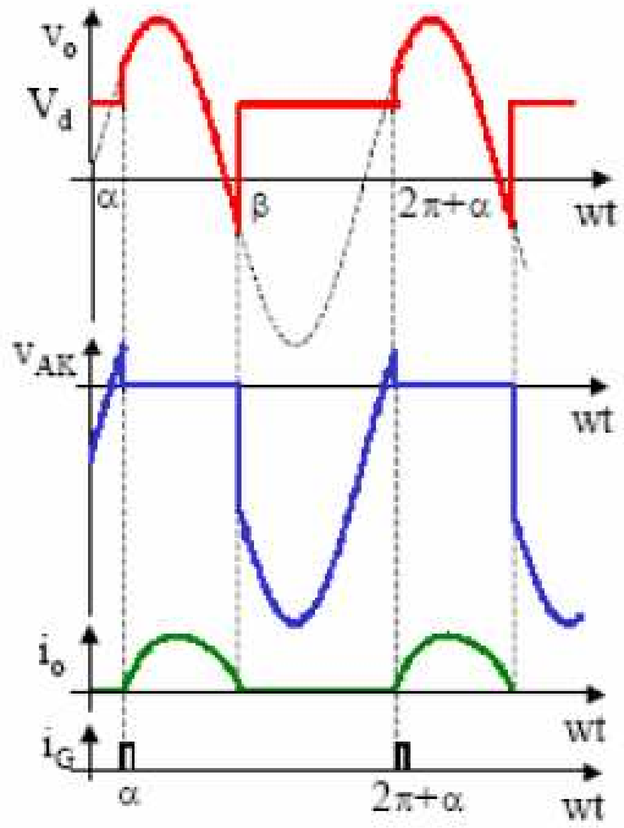
$$Ri_O + L\frac{di_O}{dt} + V_d = v_S \Rightarrow i_O$$

T OFF $0 \leq \omega t \leq \alpha, \beta \leq \omega t \leq 2\pi$

$$v_O(\omega t) = V_d$$

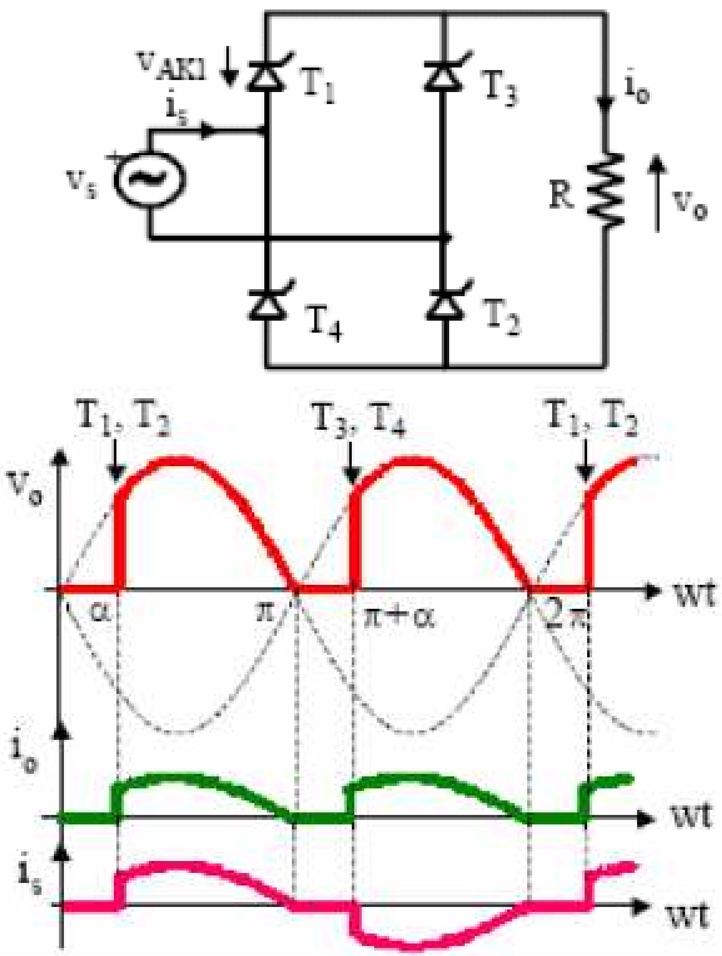
$$i_O(\omega t) = 0$$

$$v_{AK} = v_S - V_d$$



Trujillo, F.D.; Pozo, A; Triviño, A (2011) Electrónica de Potencia.

Monofásico de Onda Completa. Carga Resistiva (I).



<u>$0 \leq \omega t \leq \alpha$</u> Todos OFF

$v_o(\omega t)=0 \quad i_o(\omega t)=0$

<u>$\alpha \leq \omega t \leq \pi$</u> T1,T2 ON

$v_o(\omega t)=v_s \quad i_o(\omega t)= v_s/R$

<u>$\pi \leq \omega t \leq \pi+\alpha$</u> Todos OFF

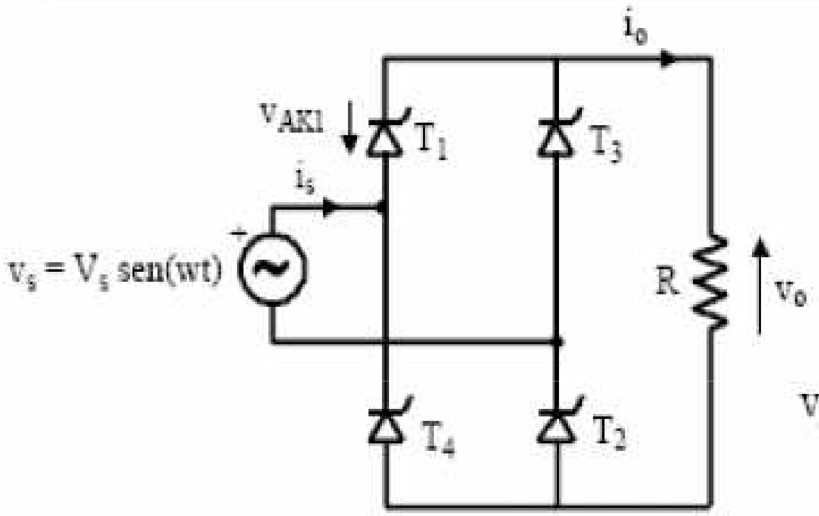
$v_o(\omega t)=0 \quad i_o(\omega t)=0$

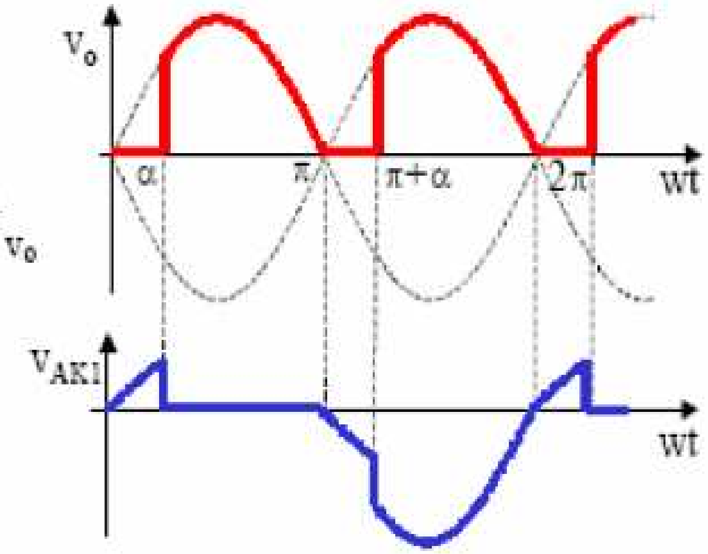
<u>$\pi+\alpha \leq \omega t \leq 2\pi$</u> T3,T4 ON

$v_o(\omega t)=-v_s \quad i_o(\omega t)= -v_s/R$

Trujillo, F.D.; Pozo, A; Triviño, A (2011) Electrónica de Potencia.

Monofásico de Onda Completa. Carga Resistiva (II).





Tensiones en tiristores

$T1\,ON \Rightarrow v_{AK1} = 0$

$T3\,ON \Rightarrow v_{AK1} = v_S$

$\text{Todos OFF} \Rightarrow v_{AK1} = \dfrac{v_S}{2}$

Valores medios

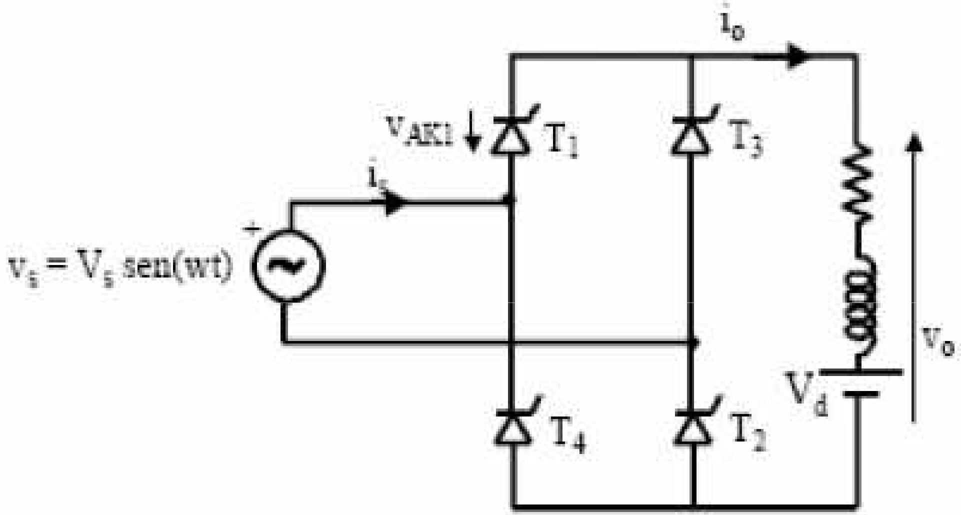
$$V_o = \frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi} V_S \, sen(\omega t)\, d(\omega t) = \frac{V_S}{\pi}(\cos\alpha + 1)$$

$$I_o = \frac{V_0}{R} = \frac{V_S}{\pi R}(\cos\alpha + 1)$$

Trujillo, F.D.; Pozo, A; Triviño, A (2011) Electrónica de Potencia.

Monofásico de Onda Completa. Carga RL y f.e.m. (I)

¿Corriente continua o discontinua en la carga?



T1, T2 ON $\alpha \le \omega t \le \beta$

$$v_O(\omega t) = v_S = V_S sen(\omega t);$$

$$Ri_O + L\frac{di_O}{dt} + V_d = v_S \Rightarrow i_O$$

$$i_O(\omega t = \beta) = 0 \Rightarrow \beta$$

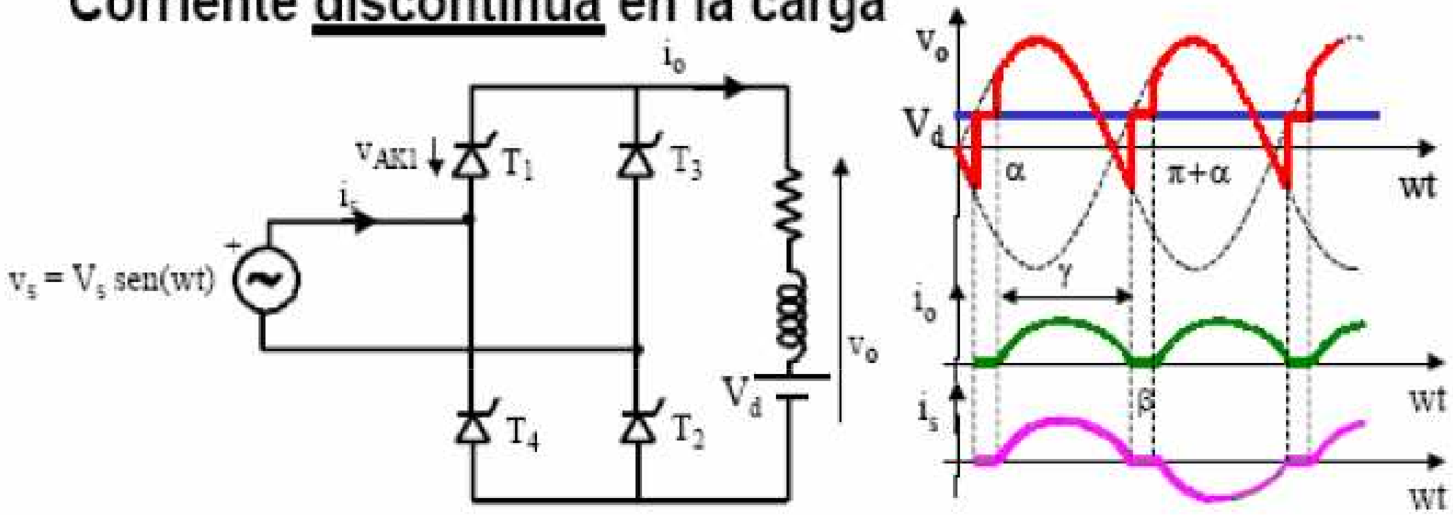
Si $\beta < \pi + \alpha$ (ó $\gamma < \pi$) $\Rightarrow$ Corriente discontinua

Si $\beta \ge \pi + \alpha$ (ó $\gamma \ge \pi$) $\Rightarrow$ Corriente continua

Trujillo, F.D.; Pozo, A; Triviño, A (2011) Electrónica de Potencia.

Monofásico de Onda Completa. Carga RL y f.e.m. (II)

Corriente discontinua en la carga



$\underline{0 \le \omega t \le \alpha}$ Todos OFF

$v_o(\omega t) = V_d$

$\underline{\alpha \le \omega t \le \alpha + \gamma}$ T1,T2 ON

$v_o(\omega t) = v_s$

$\underline{\alpha + \gamma \le \omega t \le \pi + \alpha}$ Todos OFF

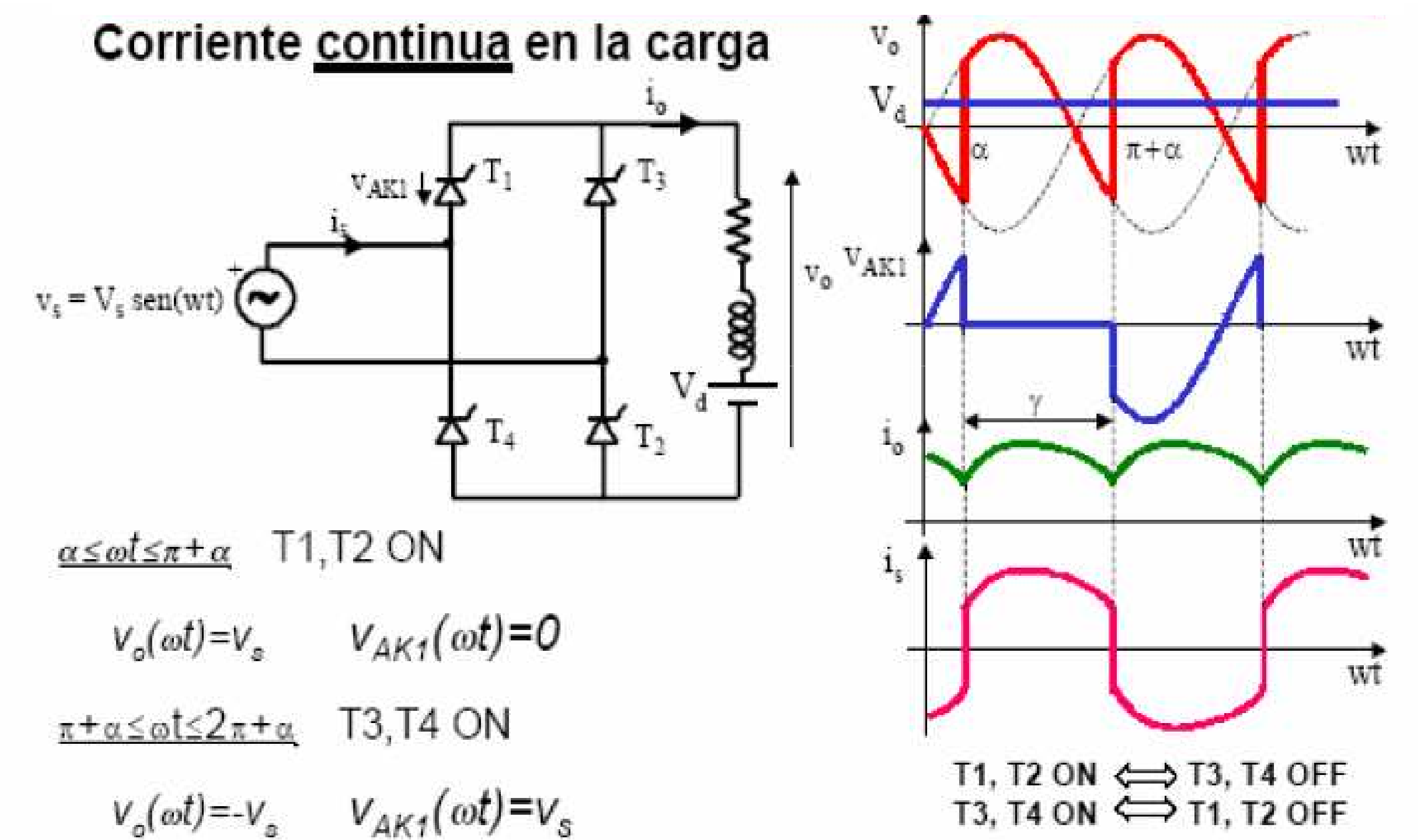
$v_o(\omega t) = V_d$

$\underline{\pi + \alpha \le \omega t \le 2\pi}$ T3,T4 ON

$v_o(\omega t) = -v_s$

Trujillo, F.D.; Pozo, A; Triviño, A (2011) Electrónica de Potencia.

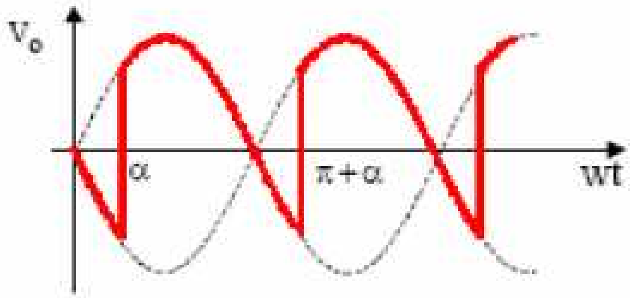
Monofásico de Onda Completa. Carga RL y f.e.m. (III)



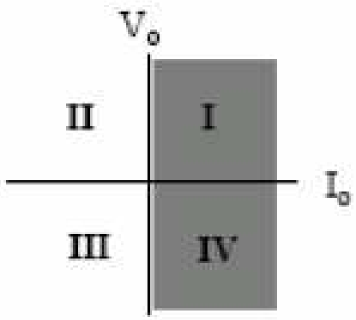
Trujillo, F.D.; Pozo, A; Triviño, A (2011) Electrónica de Potencia.

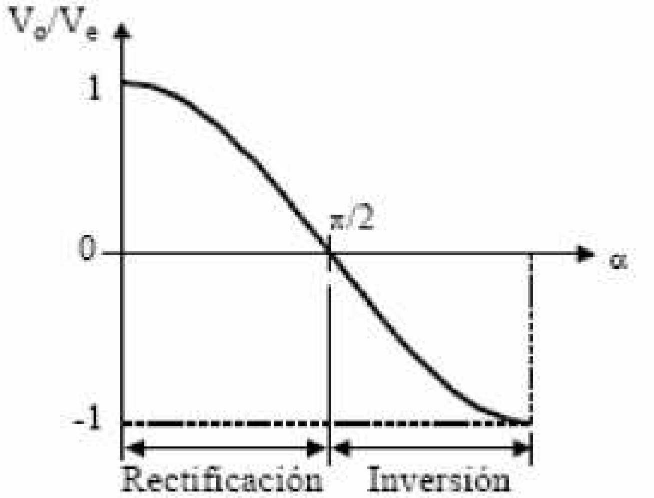
Monofásico de Onda Completa. Carga RL y f.e.m. (IV)

Corriente <u>continua</u> en la carga. Tensión media



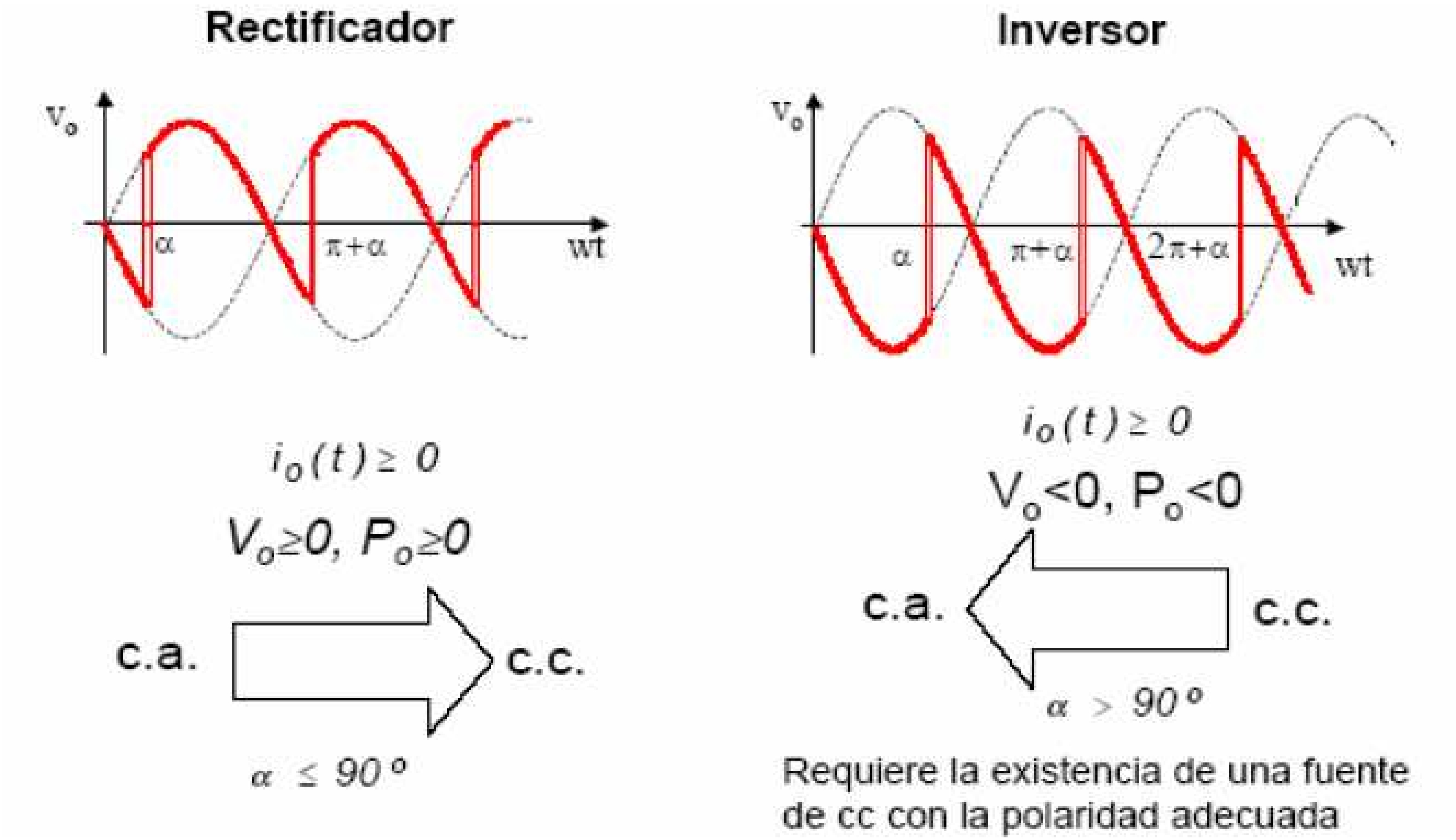
$$V_o = \frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V_s \,sen(\omega t)\, d(\omega t) = \frac{2V_s}{\pi}\cos\alpha = V_e \cos\alpha$$





Trujillo, F.D.; Pozo, A; Triviño, A (2011) Electrónica de Potencia.

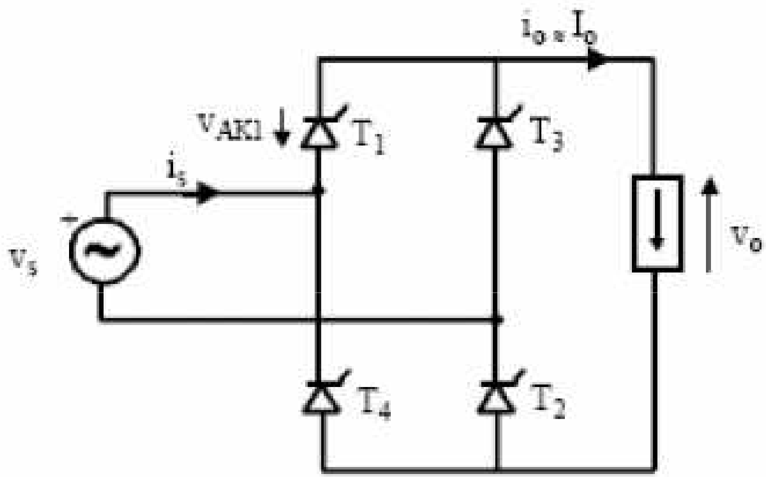
Monofásico de Onda Completa. Carga RL y f.e.m. (V)

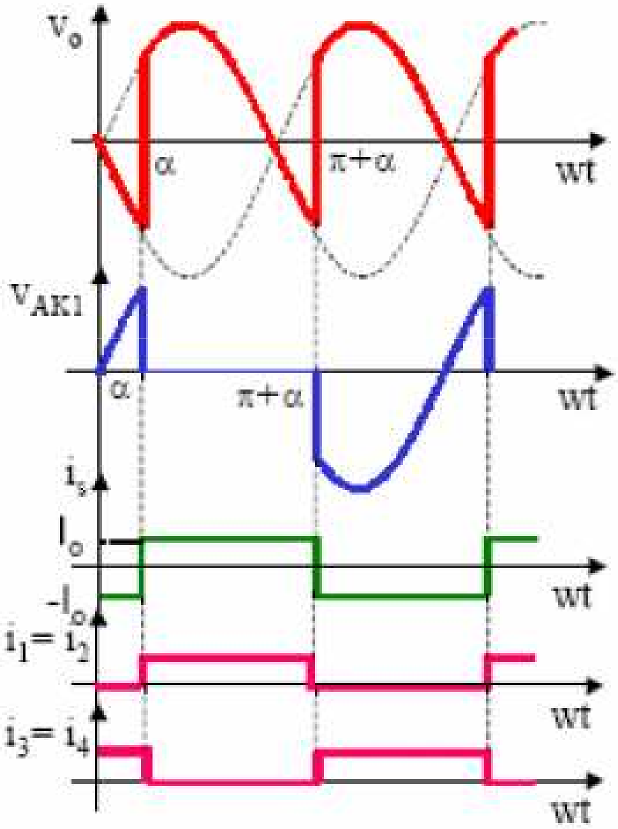


Trujillo, F.D.; Pozo, A; Triviño, A (2011) Electrónica de Potencia.

Monofásico de Onda Completa

Corriente continua en la carga



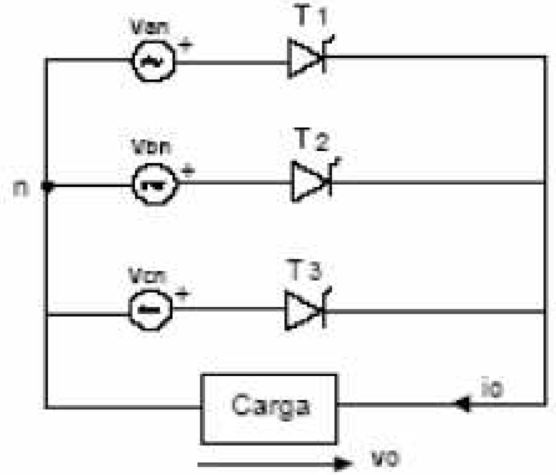


La conmutación de corriente es instantánea

Trujillo, F.D.; Pozo, A; Triviño, A (2011) Electrónica de Potencia.

Trifásico de Media Onda

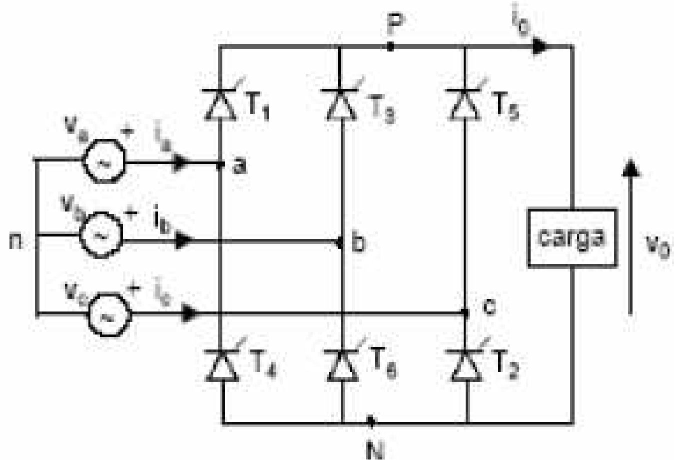
- Señal de salida de frecuencia triple de la señal de entrada (convertidor de 3 pulsos)
- La tensión en la carga está formada por trozos de tensiones de fase
- Corriente continua o discontinua en la carga
- Funcionamiento como rectificador o como inversor



Trujillo, F.D.; Pozo, A; Triviño, A (2011) Electrónica de Potencia.

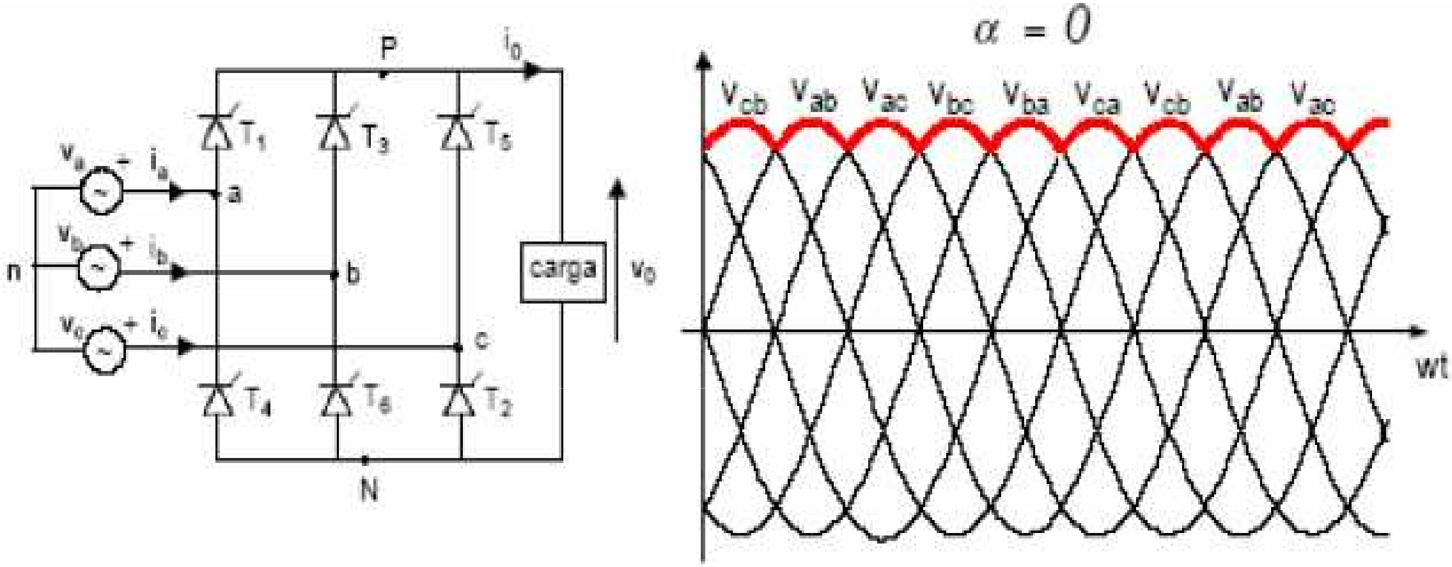
Trifásico de Onda Completa (I)

- Señal de salida de frecuencia 6 veces la frecuencia de la señal de entrada (convertidor de 6 pulsos)
- La tensión en la carga está formada por trozos de tensiones compuestas
- Corriente continua o discontinua en la carga
- Funcionamiento como rectificador o como inversor



Trujillo, F.D.; Pozo, A; Triviño, A (2011) Electrónica de Potencia.

Trifásico de Onda Completa (II)

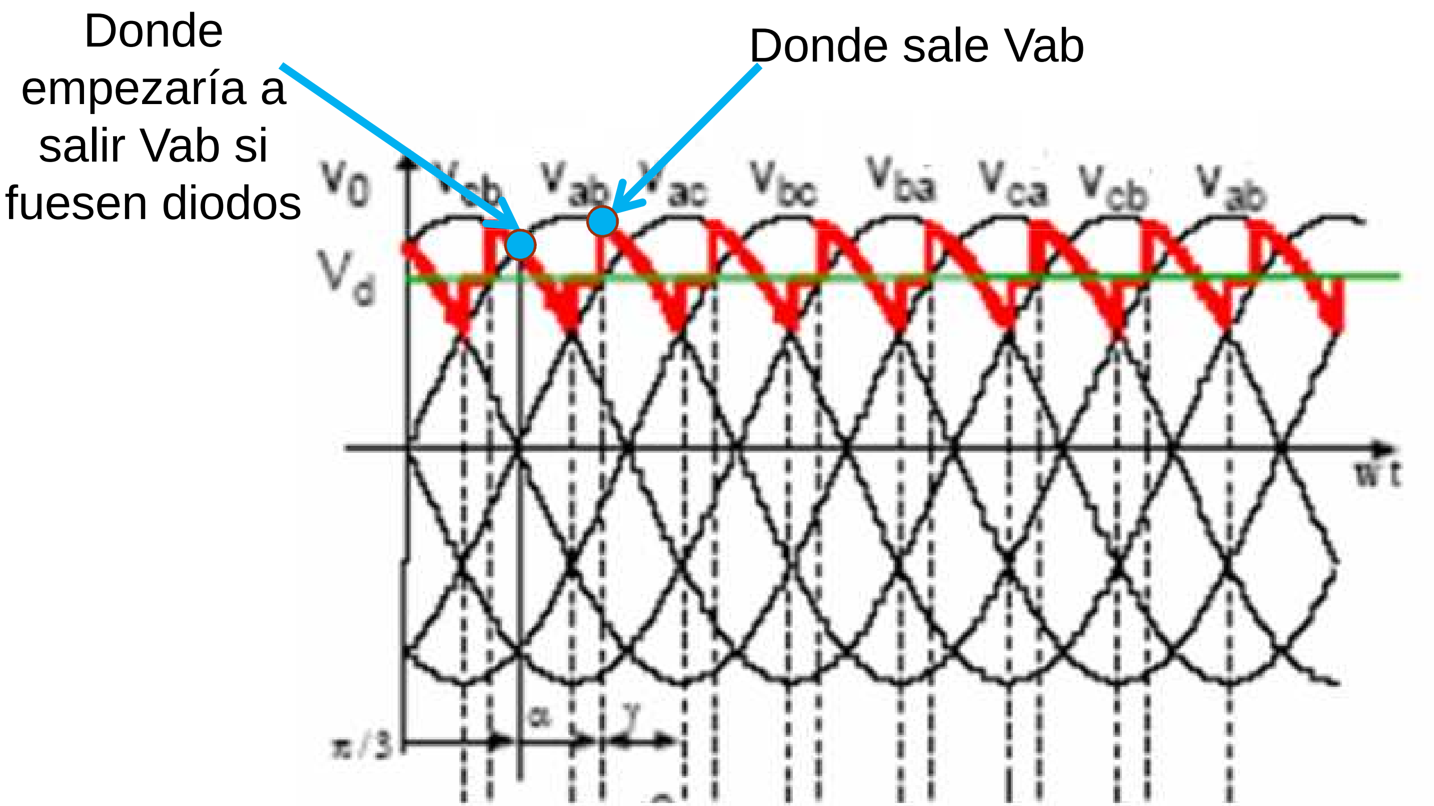


- α se mide a partir del momento en que comenzaría la conducción si se tratara de diodos
- Cada 60º se dispara uno/dos tiristores
- Si la corriente es continua en la carga, cada tiristor conduce durante 120º
- Cada 60º entra en conducción una nueva pareja de tiristores

Trujillo, F.D.; Pozo, A; Triviño, A (2011) Electrónica de Potencia.

Ángulos de Disparo

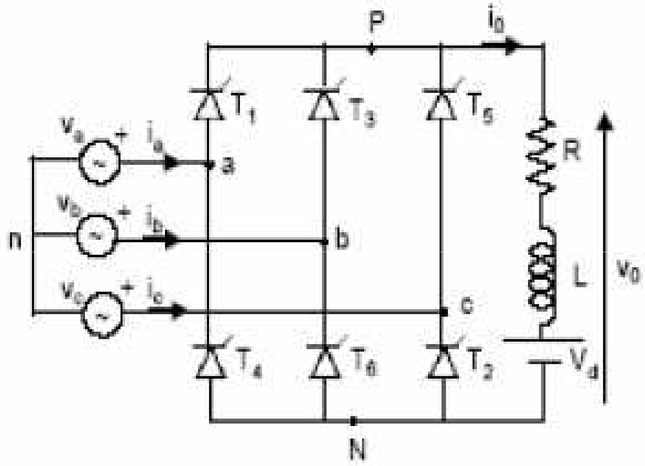
Se miden desde el punto de conducción si todos los SCR fuesen diodos.



Trujillo, F.D.; Pozo, A; Triviño, A (2011) Electrónica de Potencia.

Trifásico de Onda Completa (III)

¿Corriente continua o discontinua en la carga?



T1, T6 ON $\alpha + 60^o \leq \omega t \leq (\alpha + 60^o) + \gamma$

$$v_o(\omega t) = v_{ab} = V_s sen(\omega t);$$

$$Ri_o + L\frac{di_o}{dt} + V_d = v_{ab} \Rightarrow i_o$$

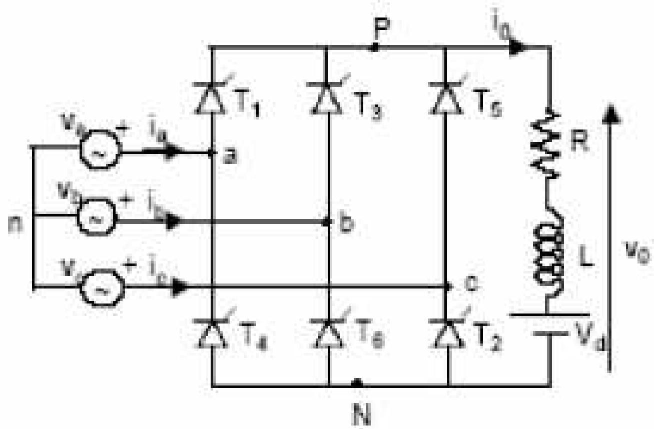
$$i_o(\omega t = \alpha + 60^o + \gamma) = 0 \Rightarrow \gamma$$

Si $\gamma < 60^o \Rightarrow$ Corriente discontinua → Cada 60º se disparan 2 tiristores

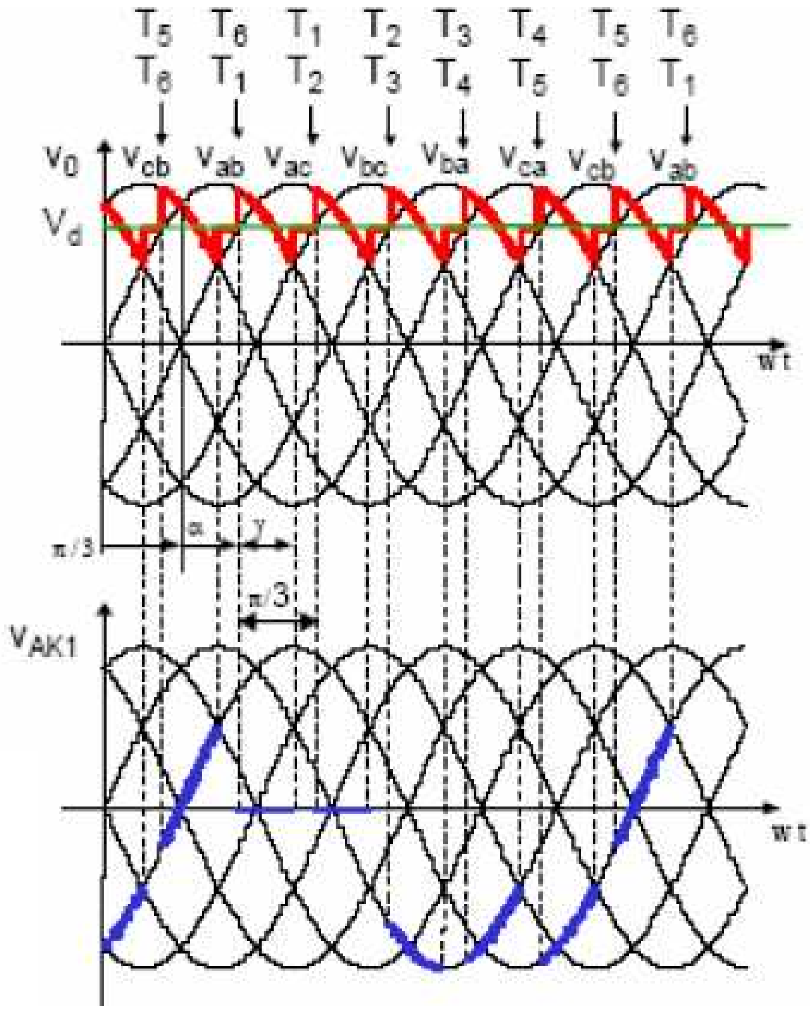
Si $\gamma \geq 60^o \Rightarrow$ Corriente continua → Cada 60º se dispara 1 tiristor

Trujillo, F.D.; Pozo, A; Triviño, A (2011) Electrónica de Potencia.

Trifásico de Onda Completa (IV)

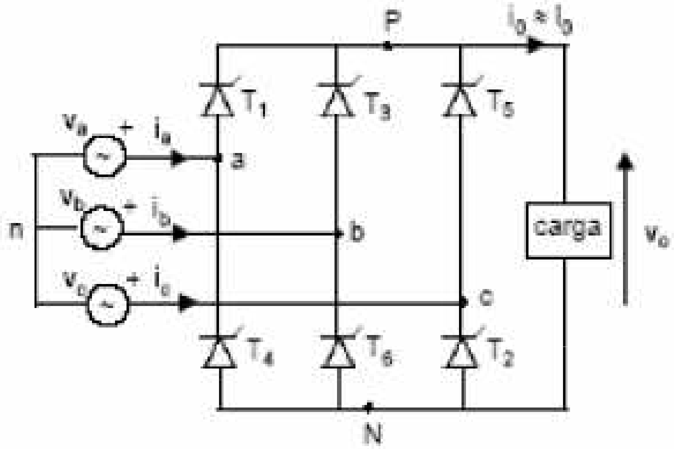


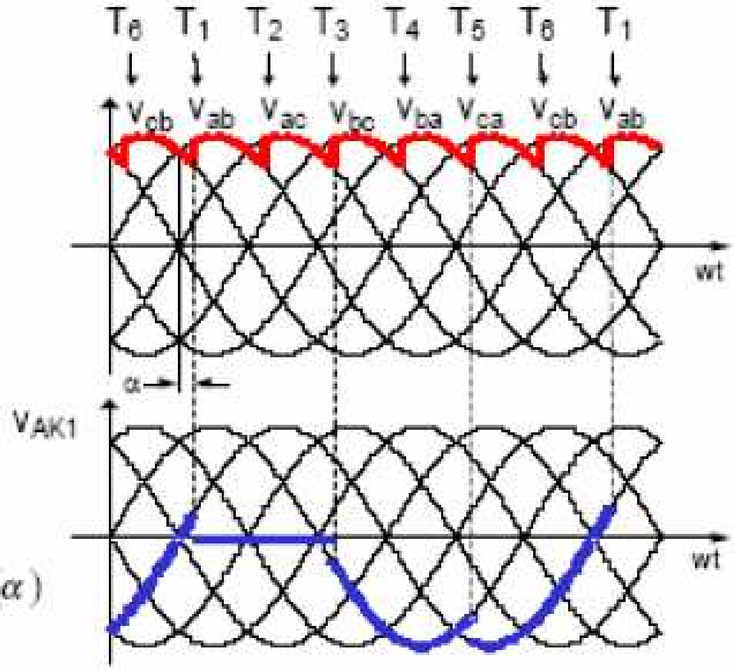
$$V_0 = \frac{1}{\pi/3}\left[\int_{(\alpha+\pi/3)}^{(\alpha+\pi/3+\gamma)} v_{ab}(wt)\,d(wt) + \int_{(\alpha+\pi/3+\gamma)}^{(\alpha+2\pi/3)} V_d\,d(wt)\right]$$



Trujillo, F.D.; Pozo, A; Triviño, A (2011) Electrónica de Potencia.

Trifásico de Onda Completa (V)





$$V_0 = \frac{1}{\pi/3}\int_{(\alpha+\pi/3)}^{(\alpha+2\pi/3)} v_{ab}(wt)\,d(wt) = \frac{3\sqrt{2}V}{\pi}\cos(\alpha)$$

$$0 \le \alpha \le \frac{\pi}{2} \Rightarrow V_0 \ge 0$$

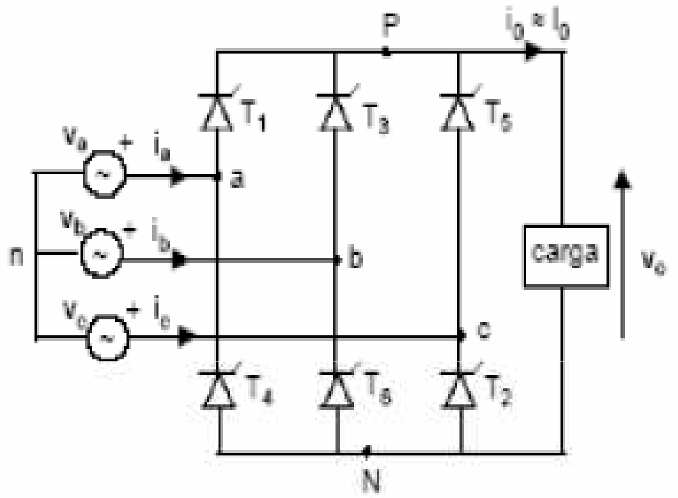
Rectificador

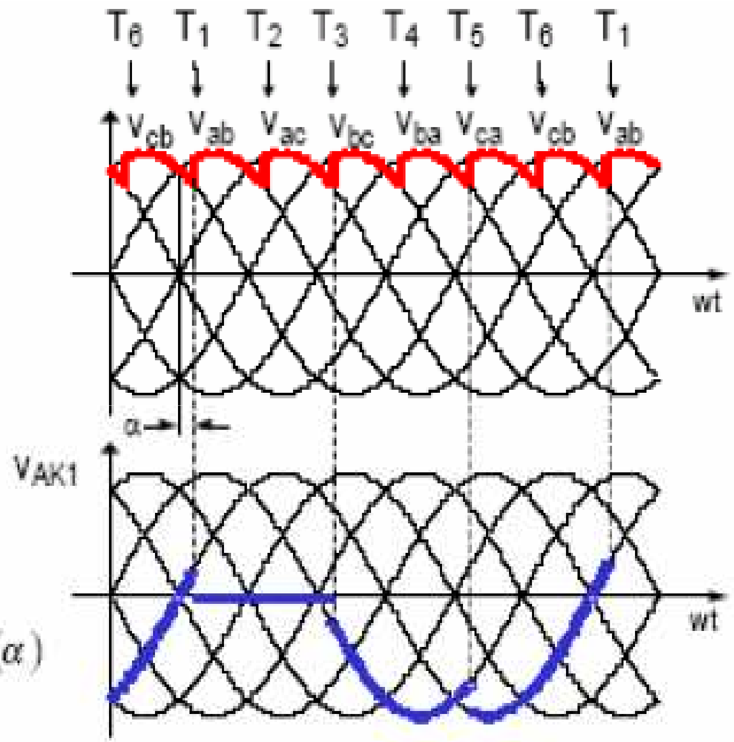
$$\left.\begin{array}{ll} \frac{\pi}{2} < \alpha \le \pi & \text{Ideal} \\ \frac{\pi}{2} < \alpha \le \pi - u - \omega t_q & \text{Real} \end{array}\right\} \Rightarrow V_0 < 0$$

Inversor

Trujillo, F.D.; Pozo, A; Triviño, A (2011) Electrónica de Potencia.

Trifásico de Onda Completa (VI)



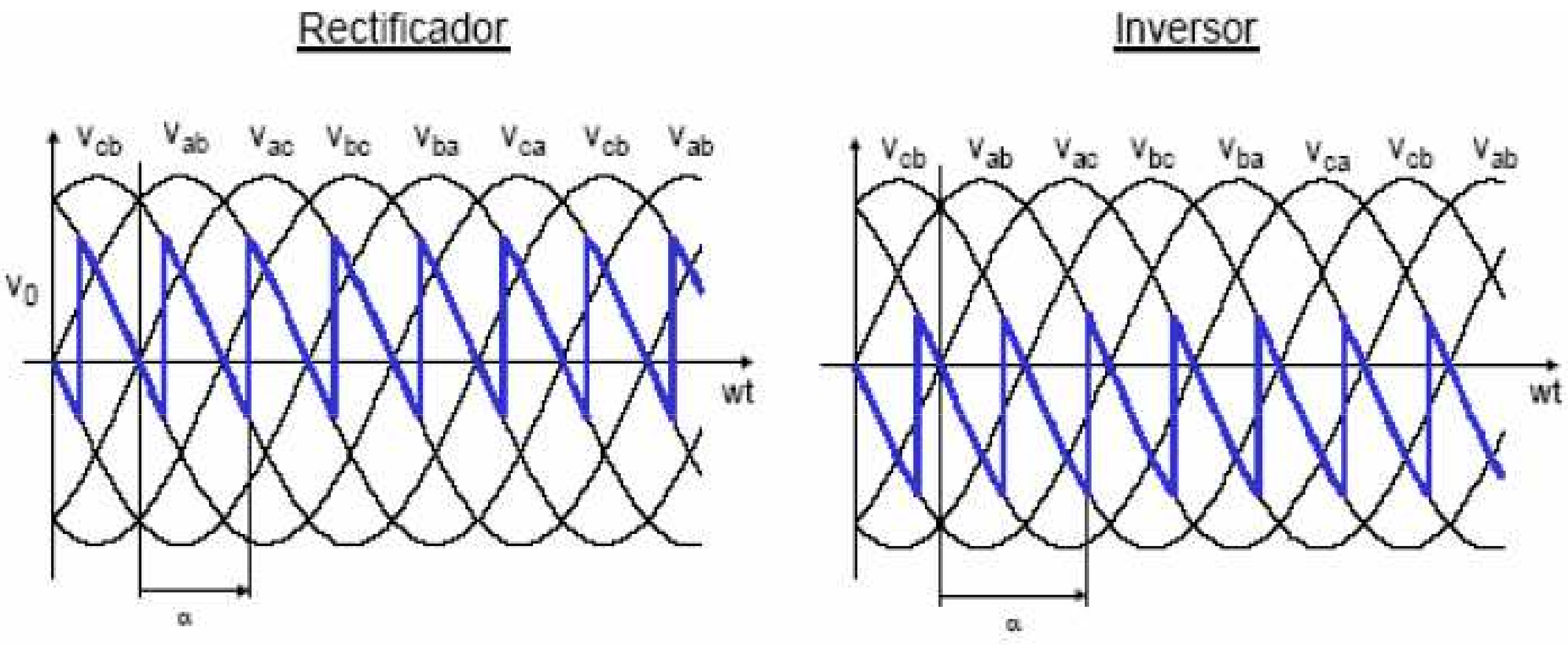


$$V_0 = \frac{1}{\pi/3}\int_{(\alpha+\pi/3)}^{(\alpha+2\pi/3)} v_{ab}(wt)\,d(wt) = \frac{3\sqrt{2}V}{\pi}\cos(\alpha)$$

$$v_{AK1} = \begin{cases} 0 \rightarrow \text{T1 ON} \\ v_{ab} \rightarrow \text{T3 ON} \\ v_{ac} \rightarrow \text{T5 ON} \end{cases}$$

Trujillo, F.D.; Pozo, A; Triviño, A (2011) Electrónica de Potencia.

Trifásico de Onda Completa (VII)



$$0 \le \alpha \le \frac{\pi}{2}$$

$$V_o \ge 0$$

$$\frac{\pi}{2} \le \alpha \le \pi \quad \text{Ideal}$$

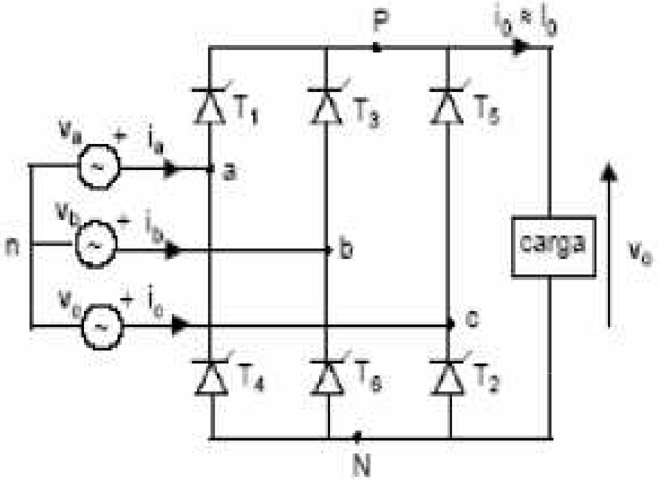
$$\frac{\pi}{2} \le \alpha \le \pi - \omega t_q - u \quad \text{Real}$$

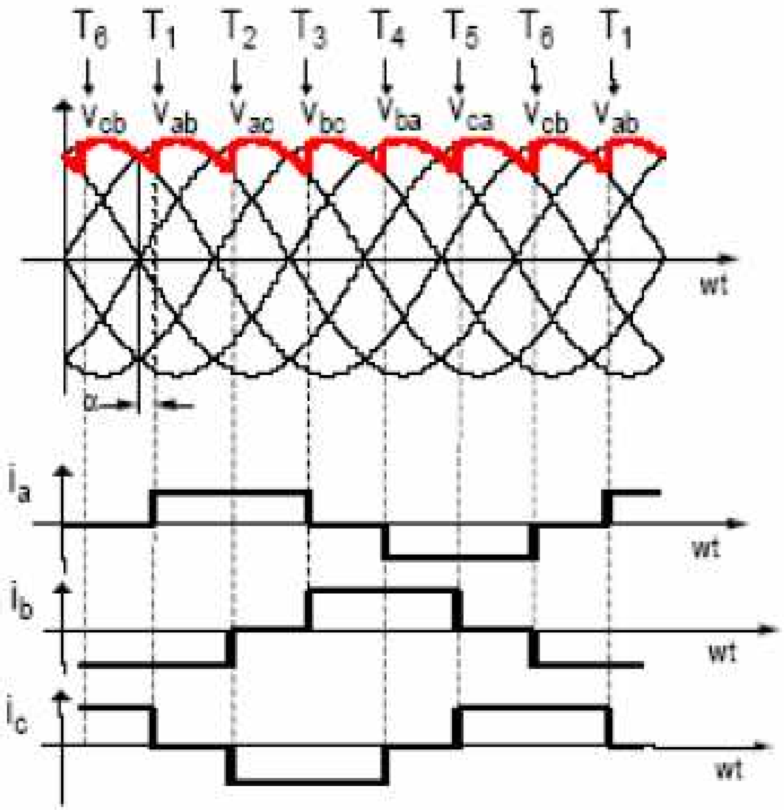
$$V_o < 0$$

Requiere la existencia de una fuente de cc con la polaridad adecuada

Trujillo, F.D.; Pozo, A; Triviño, A (2011) Electrónica de Potencia.

Trifásico de Onda Completa (VIII)





La conmutación de corriente es instantánea

Trujillo, F.D.; Pozo, A; Triviño, A (2011) Electrónica de Potencia.