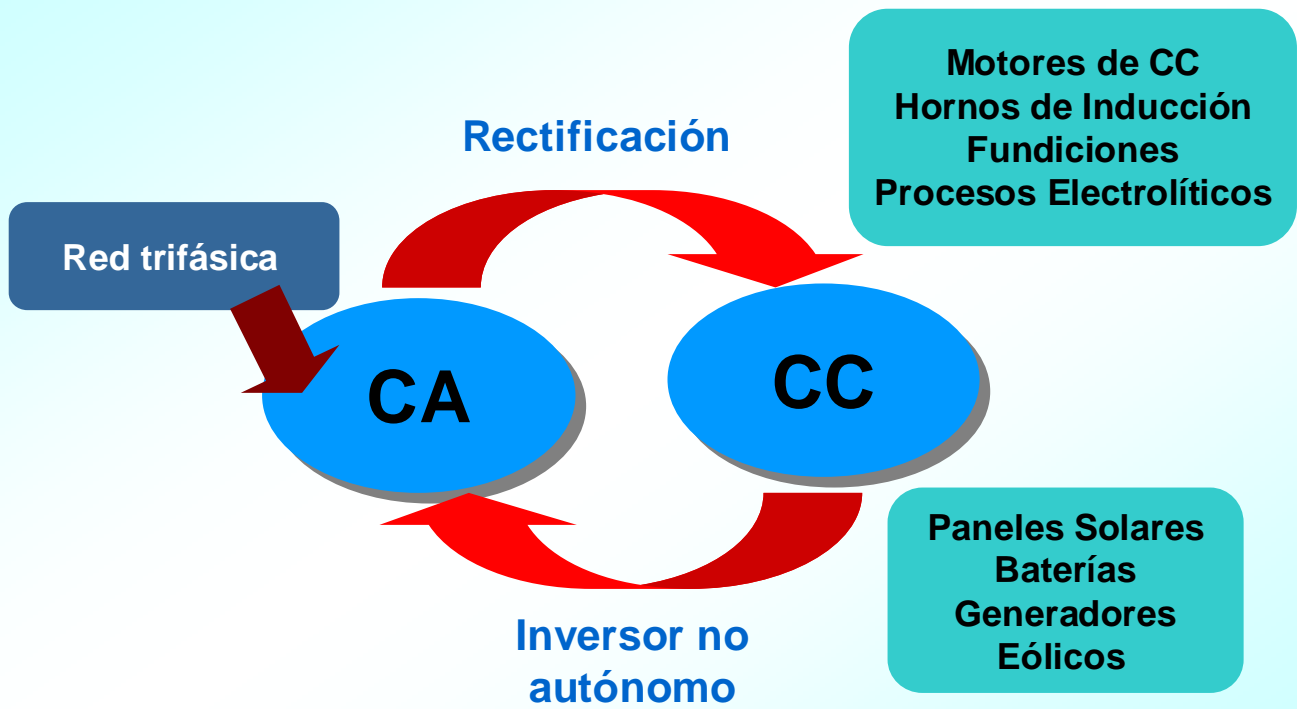


Lecciones 4 y 5 Rectificadores trifásicos

- 4.1** **Introducción**
- 4.2** **Rectificadores no controlados de media y doble onda**
- 4.3** **Asociación de rectificadores no controlados en serie**
- 4.4** **Asociación de rectificadores en paralelo**
 - 4.4.1** **Circuitos de media onda**
 - 4.4.2** **Convertidor trifásico de cuatro cuadrantes**
- 5.1** **Rectificadores controlados**
 - 5.1.1** **Circuitos de media onda**
 - 5.1.2** **Circuito de onda completa semicontrolado**
 - 5.1.3** **Circuito de onda completa totalmente controlado**



4.1 Introducción



4.1 Introducción

Ventajas del rectificador trifásico respecto al monofásico

Mayor potencia de salida

Mayor tensión de salida

Menor rizado de la tensión de salida

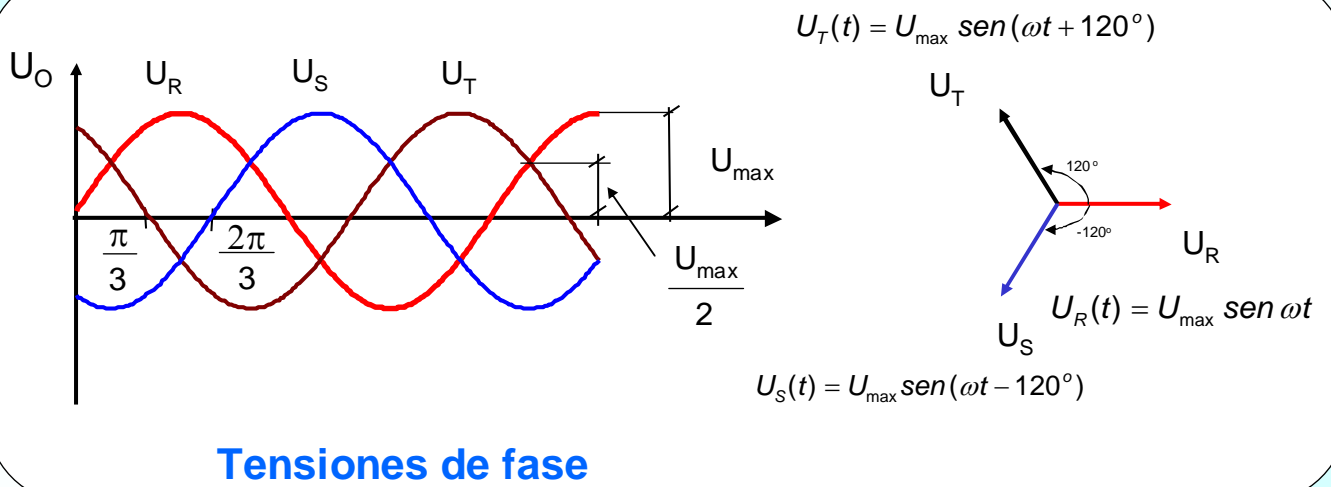
Menores exigencias para el filtro de la tensión de salida

Aplicaciones como corrector del factor de potencia



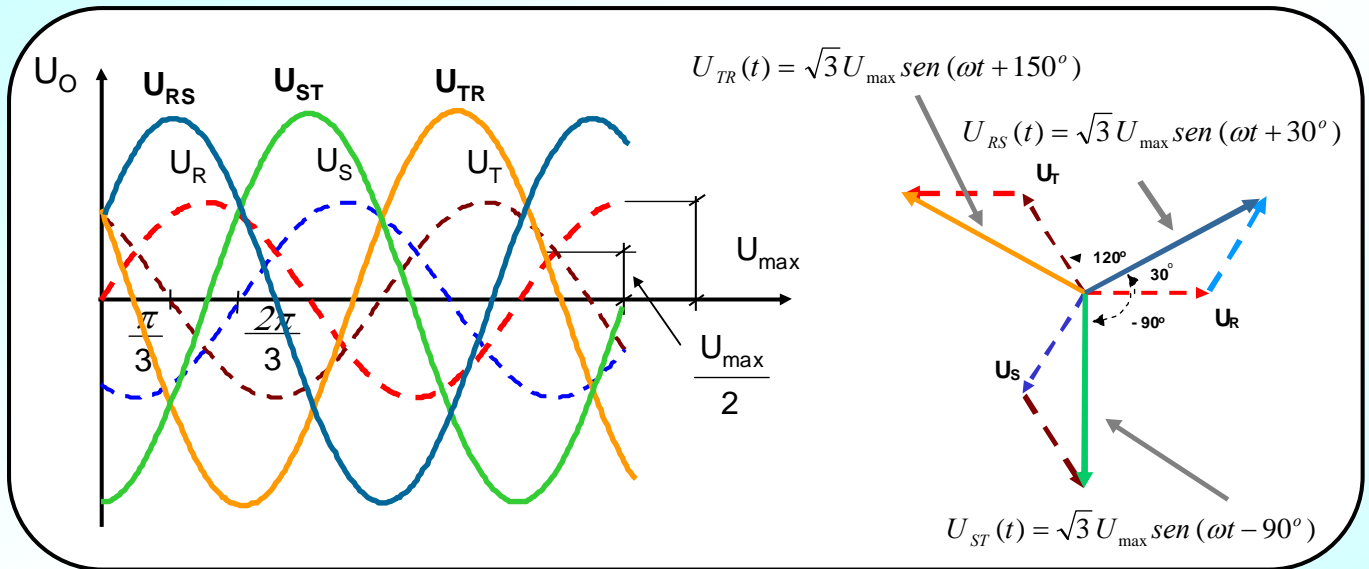
4.1 Introducción

Sistema trifásico de tensiones



4.1 Introducción

Sistema trifásico de tensiones



Tensiones de línea



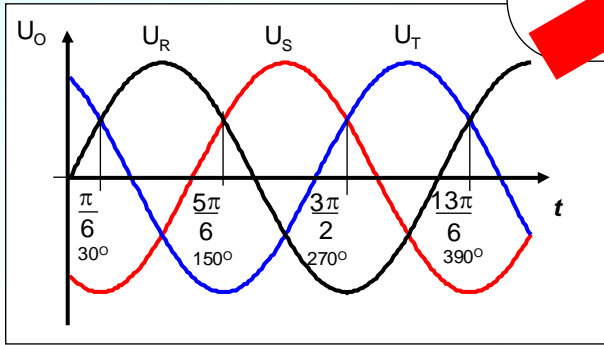
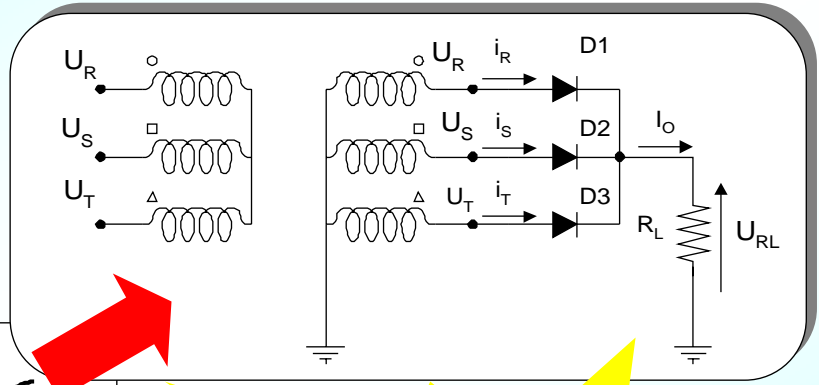
Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

4.2 Rectificador trifásico de media onda

Carga resistiva

- Tres diodos
- Necesita neutro



**Tensión de salida
Máxima en cada instante**



Universidad de Oviedo

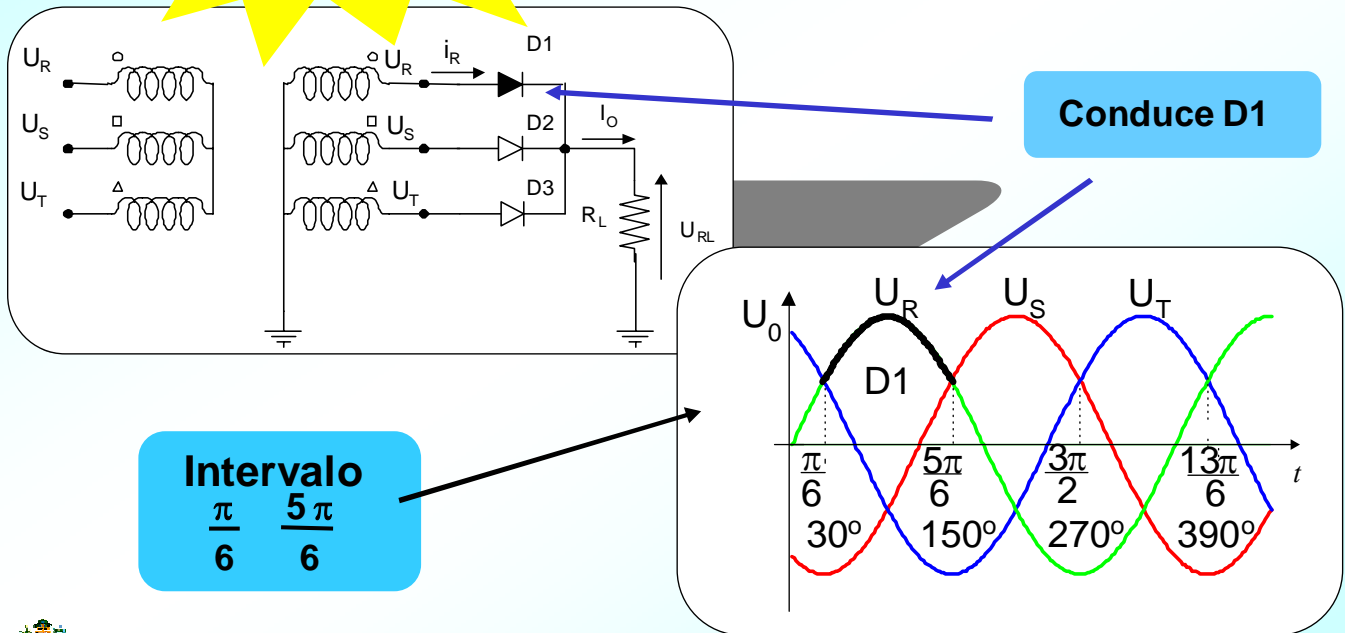
Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

4.2 Rectificador trifásico de media onda

Tensión de salida

Máxima tensión en ánodo

Diodo en conducción



Universidad de Oviedo

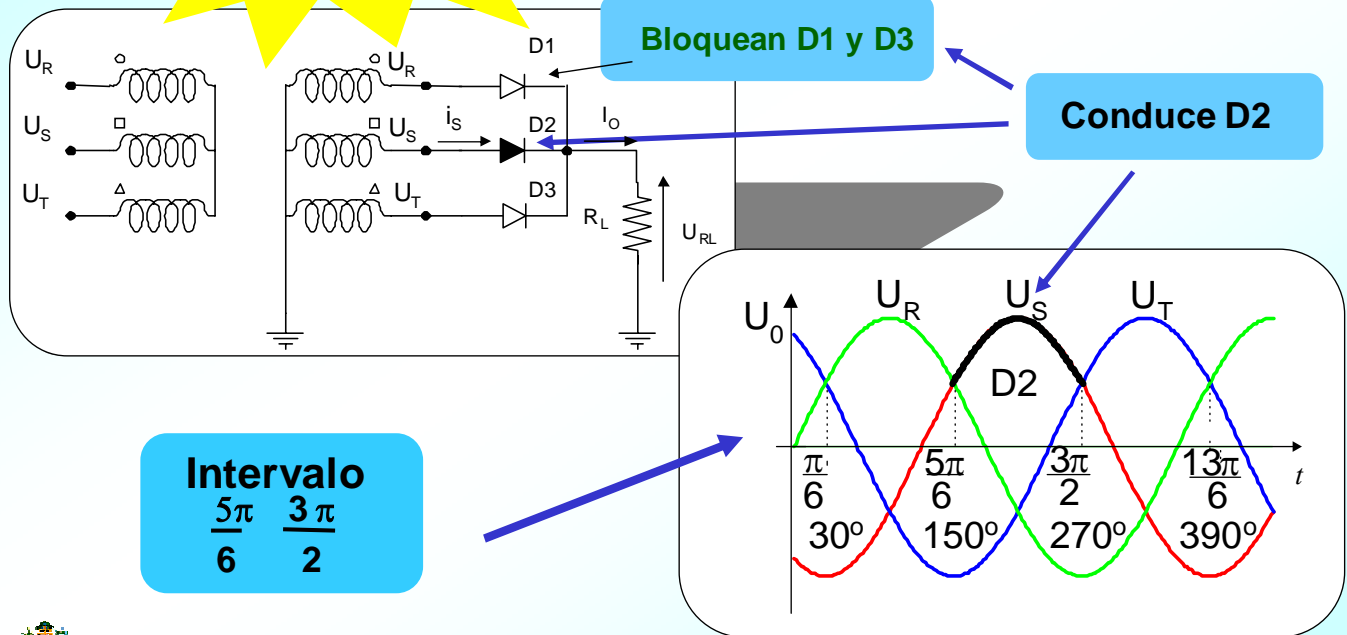
Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

4.2 Rectificador trifásico de media onda

Tensión de salida

Máxima tensión en ánodo

Diodo en conducción



Universidad de Oviedo

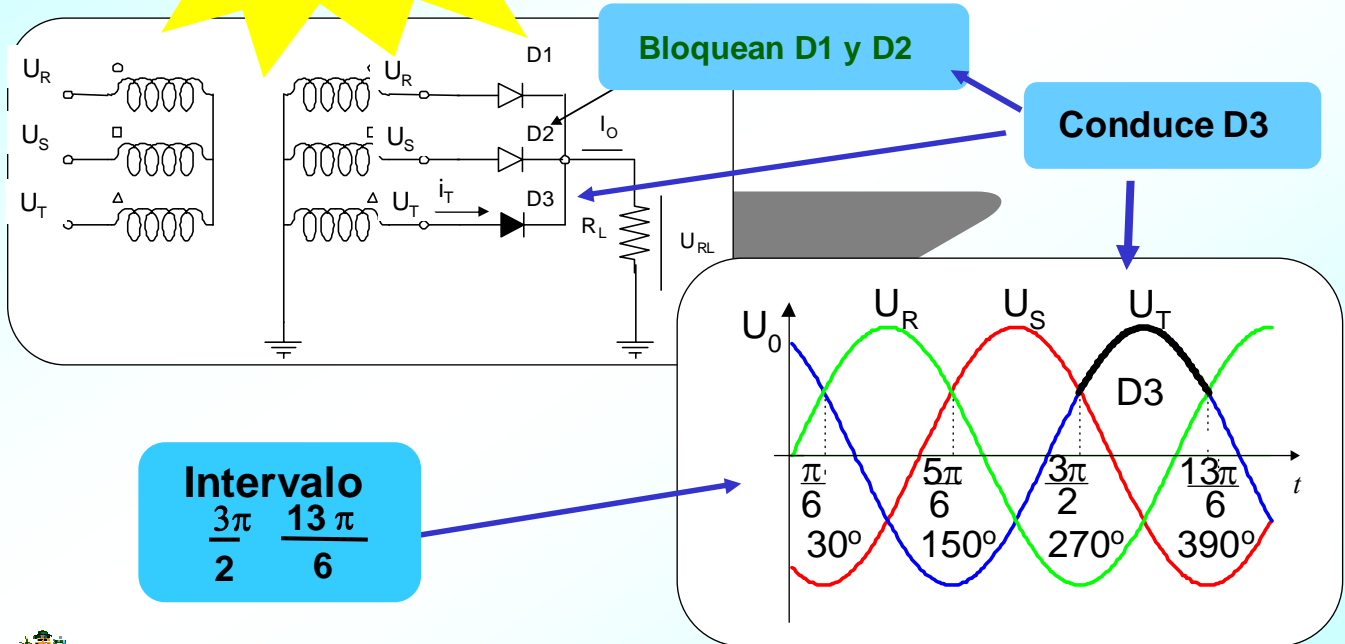
Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

4.2 Rectificador trifásico de media onda

Tensión de salida

Máxima tensión en ánodo

Diodo en conducción

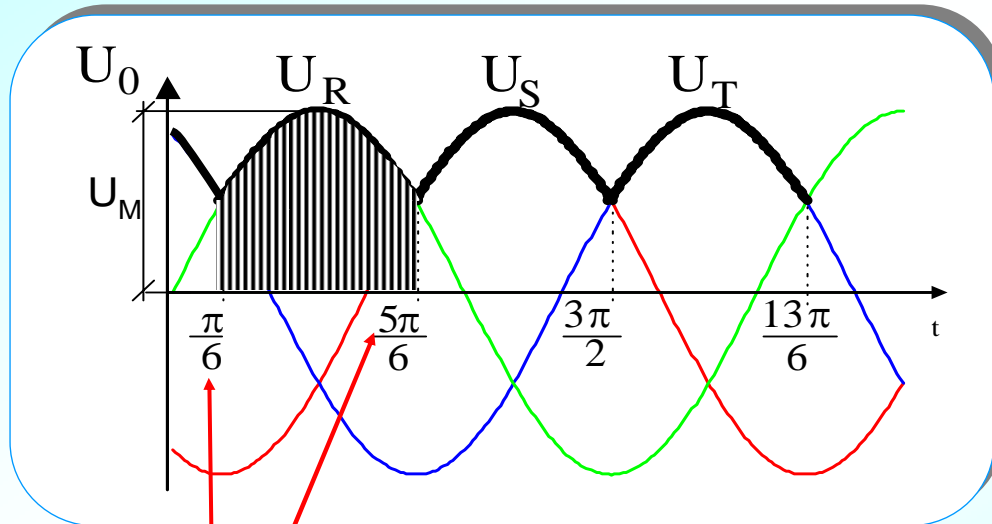


Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

4.2 Rectificador trifásico de media onda

Valores de la tensión de salida



0.827 U_M

Valor medio

$$U_{0CC} = \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} U_M \sin(\omega t) d\omega t = \frac{3}{\pi} U_M \sin \frac{\pi}{3} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} U_M$$

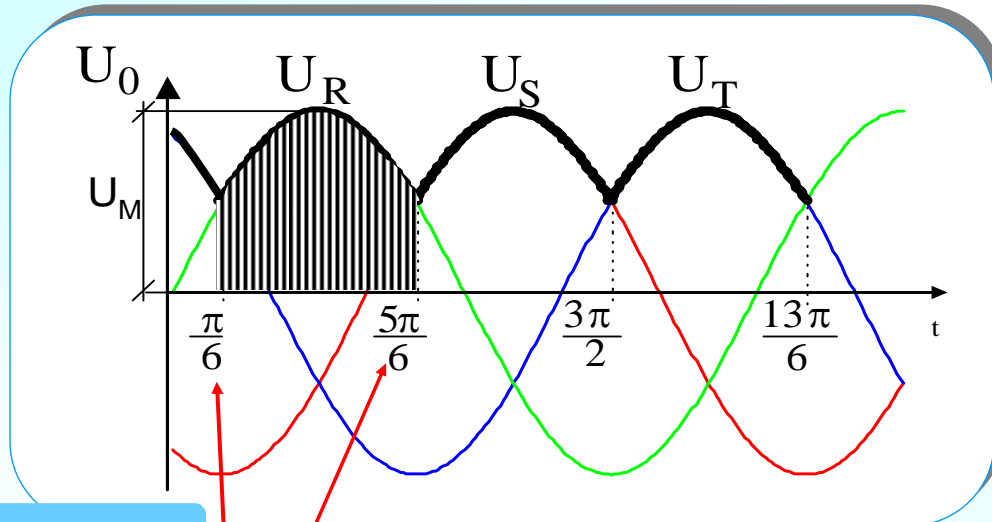


Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

4.2 Rectificador trifásico de media onda

Valores de la tensión de salida



0.8406 U_M

Valor eficaz

$$U_{0\text{eff}} = \sqrt{\frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} (U_M \text{sen}(\omega t))^2 d\omega t} = U_M \left[\frac{3}{2\pi} \left(\frac{\pi}{3} + \frac{1}{2} \text{sen} \frac{2\pi}{3} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$



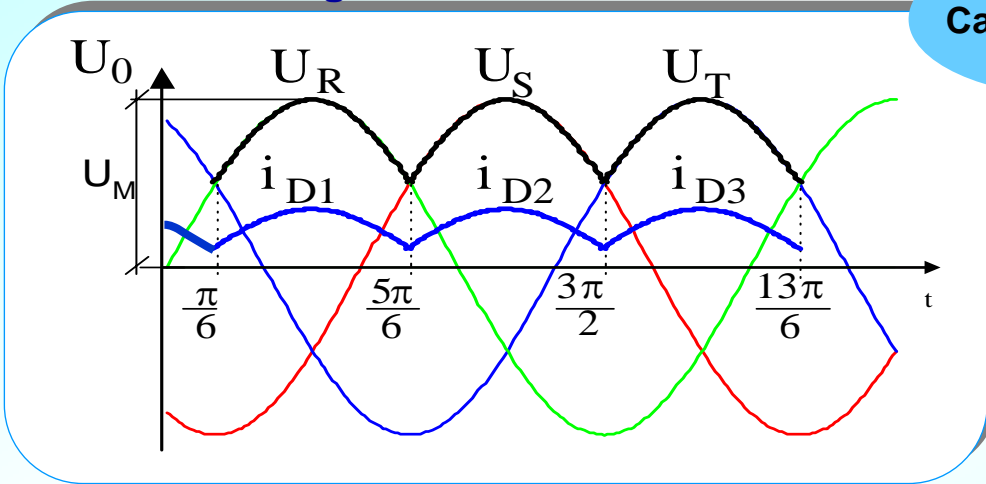
Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

4.2 Rectificador trifásico de media onda

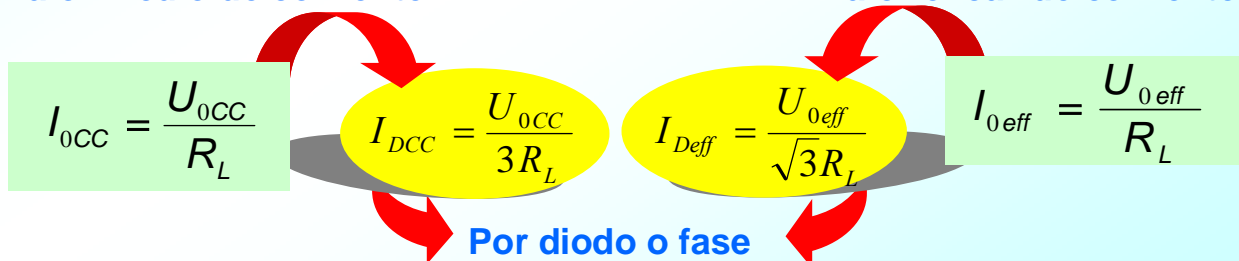
Corrientes más significativas

Carga Resistiva



Valor medio de corriente

Valor eficaz de corriente



Por diodo o fase

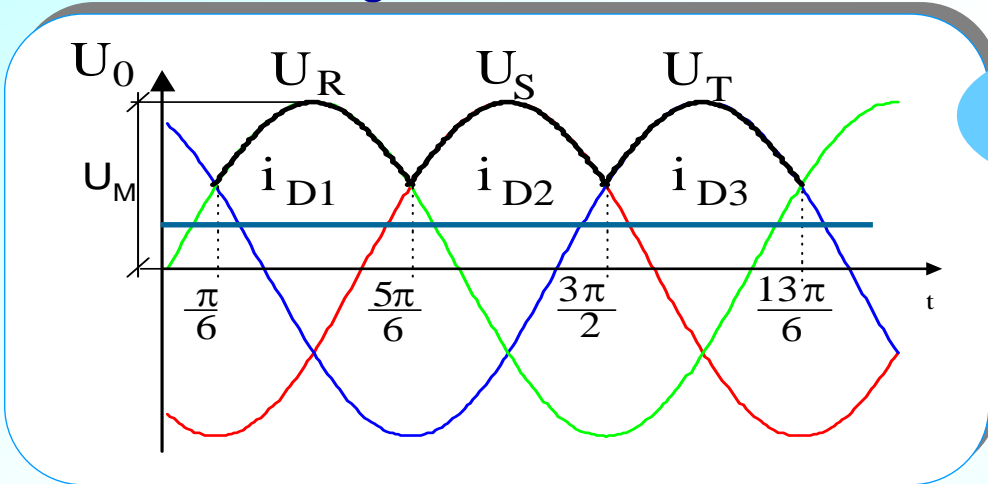


Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

4.2 Rectificador trifásico de media onda

Corrientes más significativas



Valor medio de corriente

$$I_{0CC} = \frac{U_{0CC}}{R_L}$$

$$I_{DCC} = \frac{U_{0CC}}{3R_L}$$

$$I_{Deff} = \frac{U_{0CC}}{\sqrt{3}R_L}$$

Valor eficaz de corriente

$$I_{0eff} = \frac{U_{0CC}}{R_L}$$

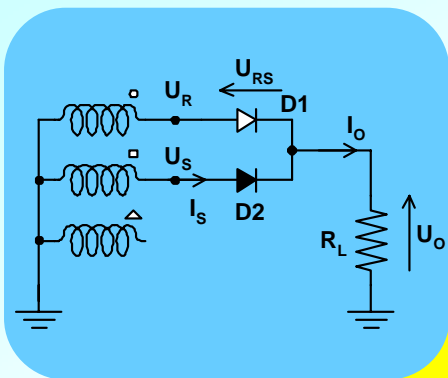
Por diodo o fase



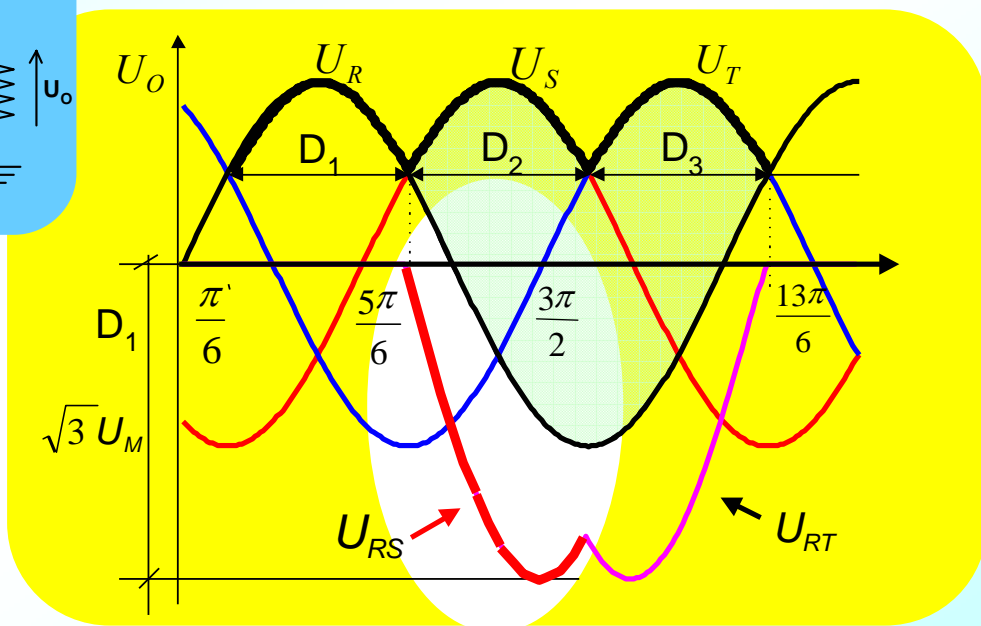
Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

4.2 Rectificador trifásico de media onda



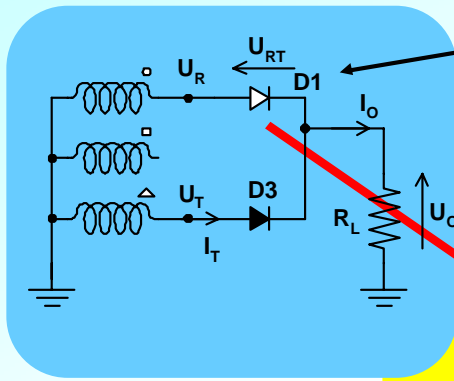
Tensión soportada por el diodo D1



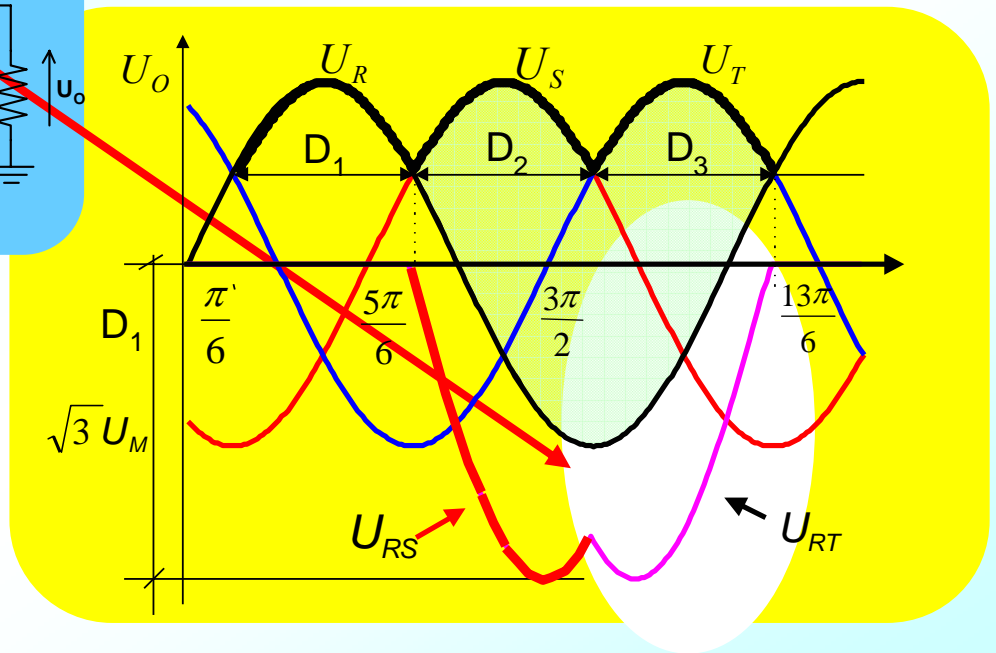
Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

4.2 Rectificador trifásico de media onda



Tensión soportada por el diodo D1

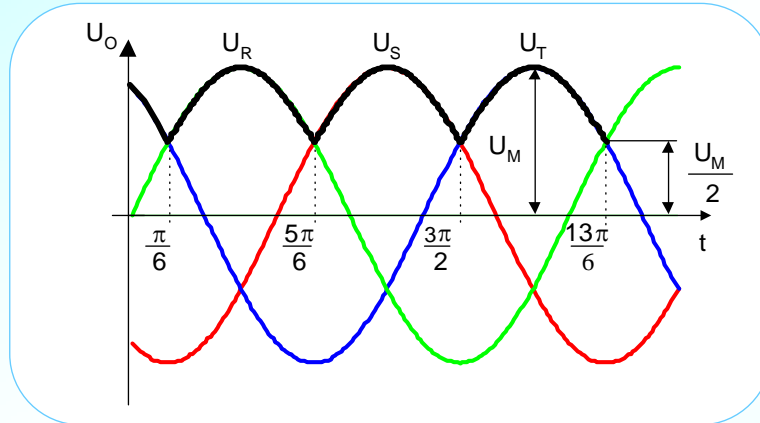


Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

4.2 Rectificador trifásico de media onda

Otros resultados interesantes



Factor de forma

$$FF = \frac{U_{0eff}}{U_{0CC}} = \frac{U_M \sqrt{\frac{3}{2\pi} \left(\frac{\pi}{3} + \frac{1}{2} \text{sen} \frac{2\pi}{3} \right)}}{U_M \frac{3\sqrt{3}}{2\pi}}$$

$$FF = 1.0165$$

Factor de rizado

$$r = \sqrt{FF^2 - 1}$$

$$r = 18.24\%$$



Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

4.2 Rectificador trifásico de media onda

Caídas de tensión

- Componentes no ideales:

- Caídas de tensión en los diodos
- Resistencia de los devanados
- Inductancia de dispersión

Tensión de codo

Transformador

La más significativa

Depende de L_D e I



Universidad de Oviedo

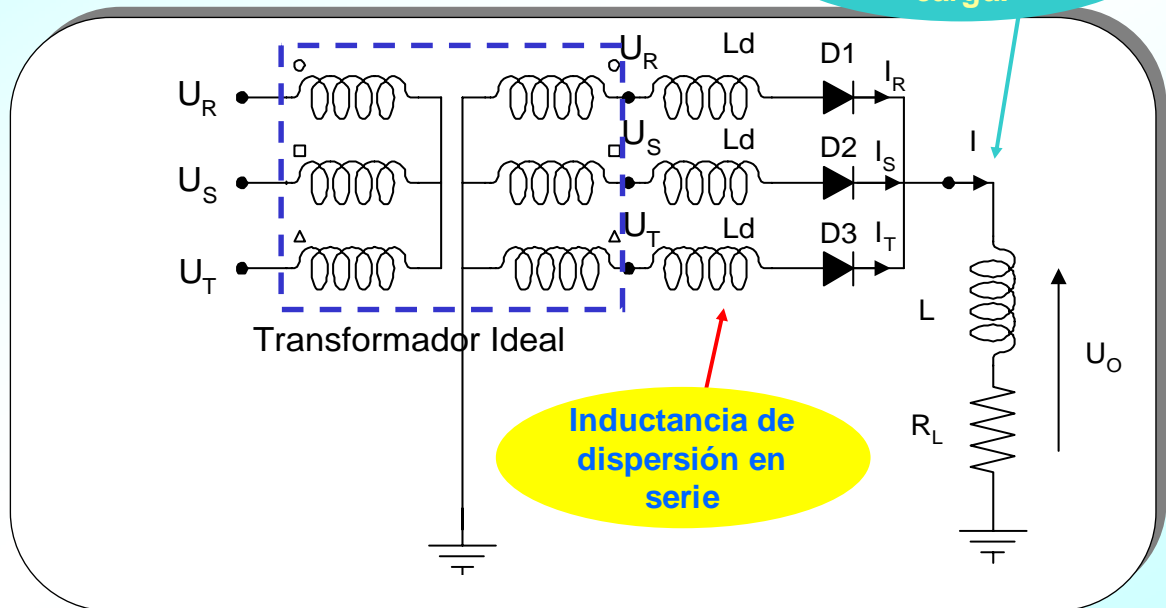
Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

4.2 Rectificador trifásico de media onda

Caída de tensión debido a la inductancia de dispersión

Proceso de conmutación no instantáneo debido a L_D .

Corriente constante por la carga.



Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

4.2 Rectificador trifásico de media onda

Caída de tensión debido a la inductancia de dispersión

En la conmutación:

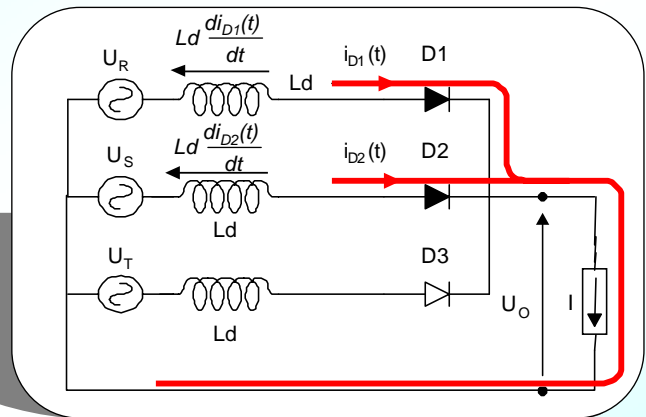
Conmutación D1 y D2 conducen simultáneamente

$$i_{D1}(t) + i_{D2}(t) = I$$

Se aplica la ley de mallas a las dos ramas. Sumando:

$$U_R(t) + U_S(t) = 2U_O + Ld \frac{d(i_{D1}(t) + i_{D2}(t))}{dt}$$

0



$$U_O(t) = \frac{1}{2}(U_R(t) + U_S(t))$$

Evolución de la tensión de salida durante la conmutación



Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

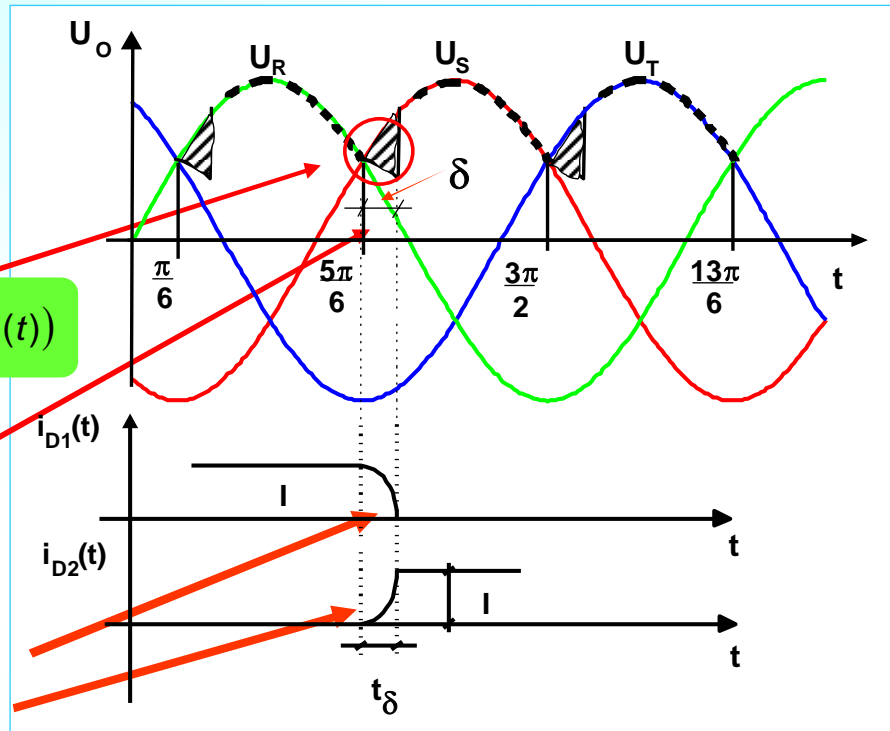
4.2 Rectificador trifásico de media onda

Caída de tensión debido a la inductancia de dispersión

$$U_o(t) = \frac{1}{2}(U_R(t) + U_S(t))$$

Intervalo de conmutación

Evolución de las corrientes



Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

4.2 Rectificador trifásico de media onda

Caída de tensión debido a la inductancia de dispersión

La evolución de la corriente $i_{D2}(t)$ se obtiene de:

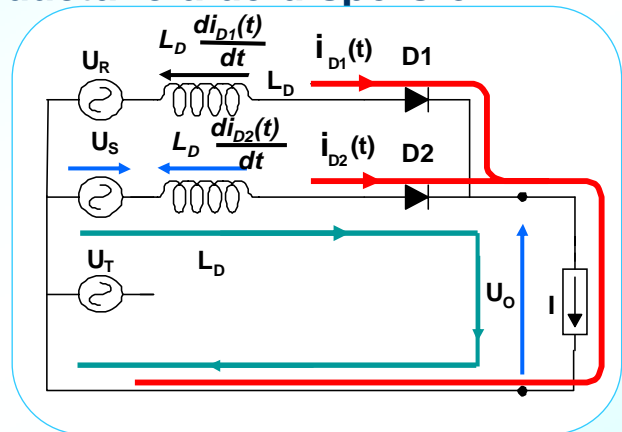
$$L_D \frac{di_{D2}(t)}{dt} = U_S(t) - U_0(t) = \frac{1}{2}(U_S(t) - U_R(t))$$

$$U_0(t) = \frac{1}{2}(U_R(t) + U_S(t))$$

$$\frac{di_{D2}(t)}{dt} = \frac{(U_S(t) - U_R(t))}{2L_D} = \frac{\sqrt{3}U_M \text{sen}(\omega t - 150^\circ)}{2L_D}$$

Integrando

$$i_{D2}(t) = \frac{\sqrt{3}U_M}{2L_D} \int_{\frac{5\pi}{6}}^{\omega t} \text{sen}(\omega t - \frac{5\pi}{6}) d\omega t$$



4.2 Rectificador trifásico de media onda

Caída de tensión debido a la inductancia de dispersión

La conmutación finaliza cuando

$$i_{D2}(t) = I$$

Llamando δ al intervalo de conmutación

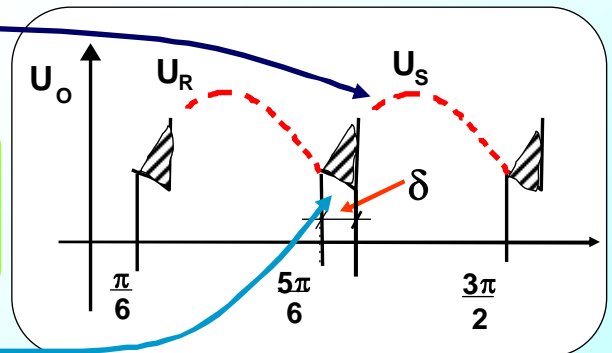
$$i_{D2}(t\delta) = I = \frac{\sqrt{3}U_{\max}}{2\omega L_d} \left(1 - \cos\left(\delta - \frac{5\pi}{6}\right) \right)$$

$$\delta = \frac{5\pi}{6} + \arccos\left(1 - \frac{2\omega L_d I}{\sqrt{3}U_M}\right)$$

Despejando δ

El valor medio de la caída de tensión es:

$$\Delta V_0 = \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{5\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6} + \delta} \left(U_S(t) - \frac{U_R(t) + U_S(t)}{2} \right) \cdot d\omega t = \frac{3}{2\pi} \omega L_D I$$



Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

4.2 Rectificador trifásico de media onda

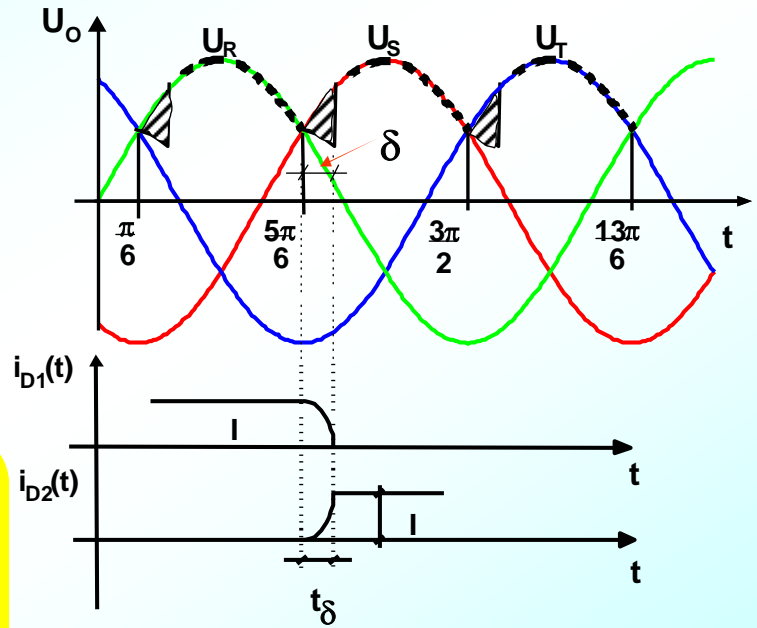
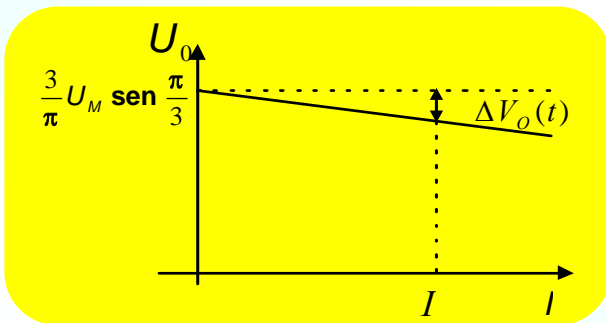
Caída de tensión debido a la inductancia de dispersión

Valor instantáneo de la tensión de salida (en δ):

$$U_0(t) = \frac{1}{2} (U_R(t) + U_S(t))$$

Valor medio de la tensión de salida:

$$U_0 = \frac{3}{\pi} U_M \operatorname{sen} \frac{\pi}{3} - \frac{3}{2\pi} \omega L_D I$$

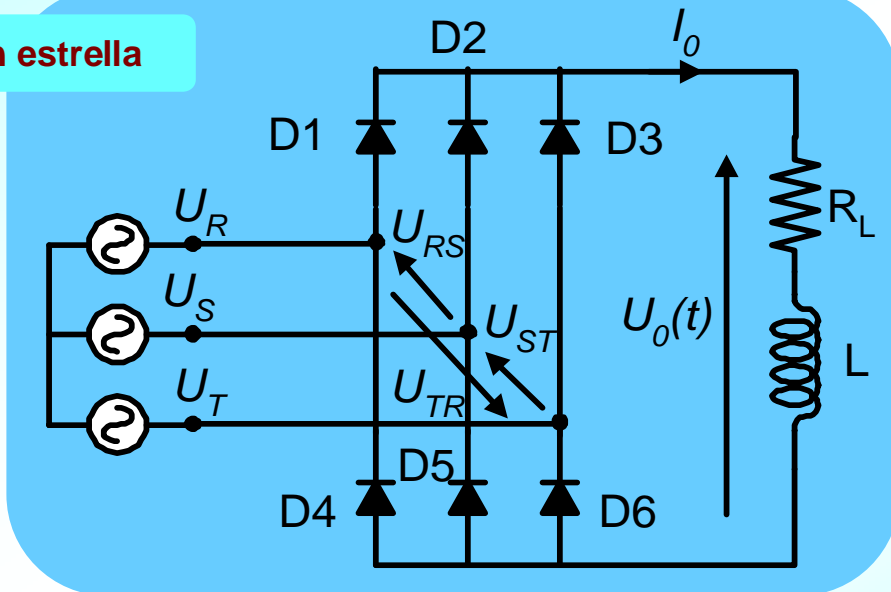


Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

4.2 Rectificador trifásico de doble onda

Conexión estrella



- Seis diodos.
- Mayor tensión media en la salida.
- Menor rizado de tensión en la salida.
- Frecuencia seis veces superior a la de red.

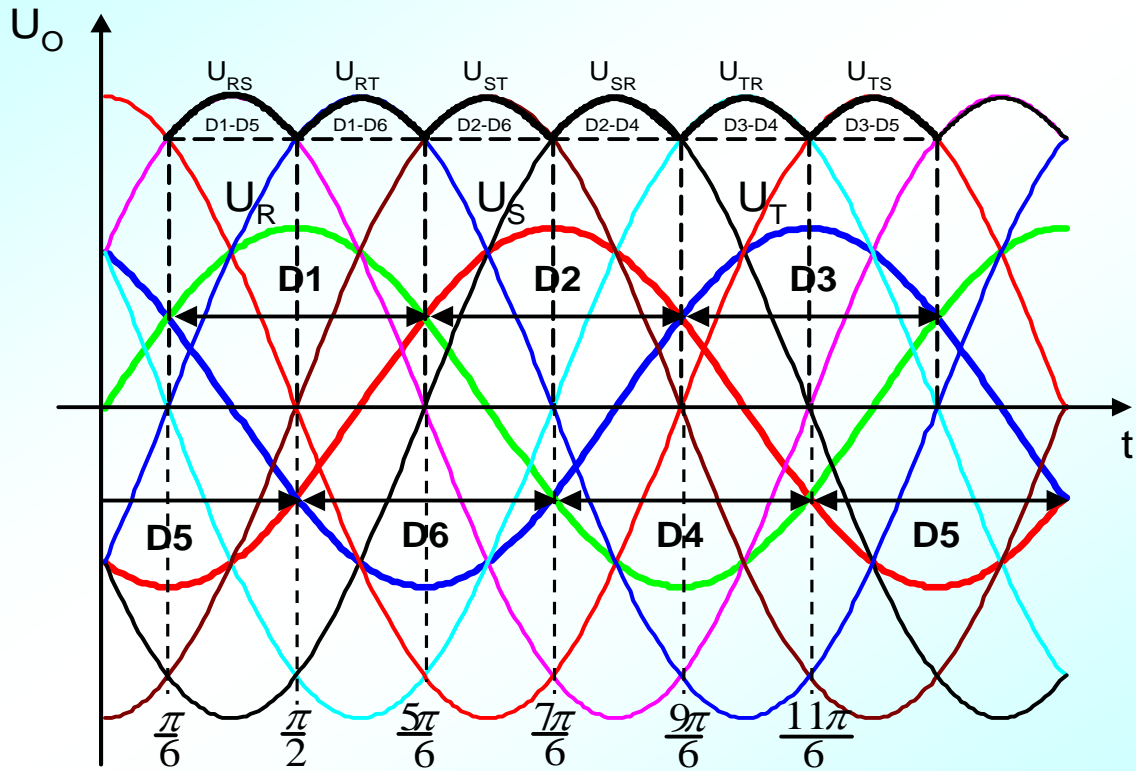


Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

4.2 Rectificador trifásico de doble onda

Intervalos de conducción de los diodos



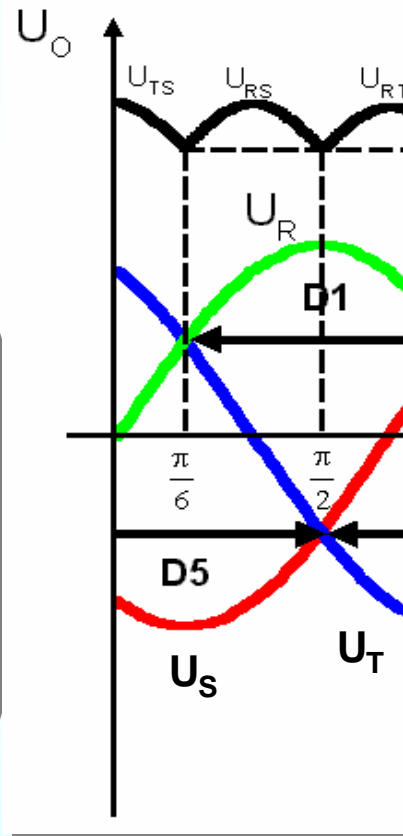
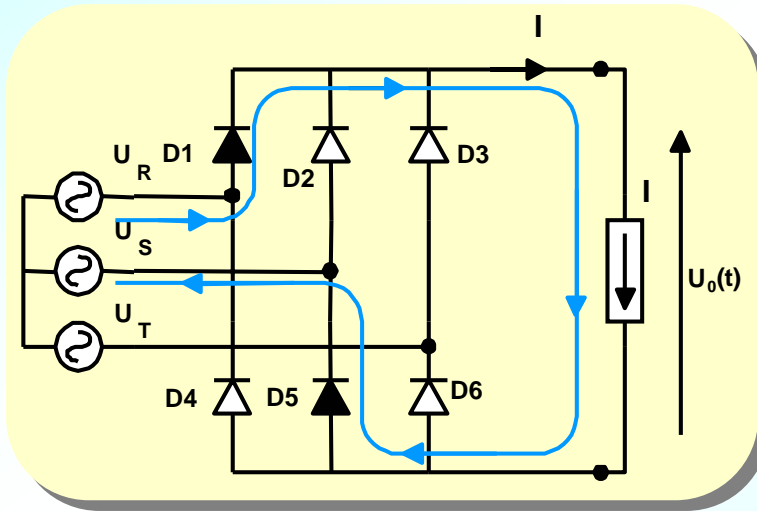
Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

4.2 Rectificador trifásico de doble onda

Conducción de los diodos entre:

$$\frac{\pi}{6} \text{ y } \frac{\pi}{2}$$



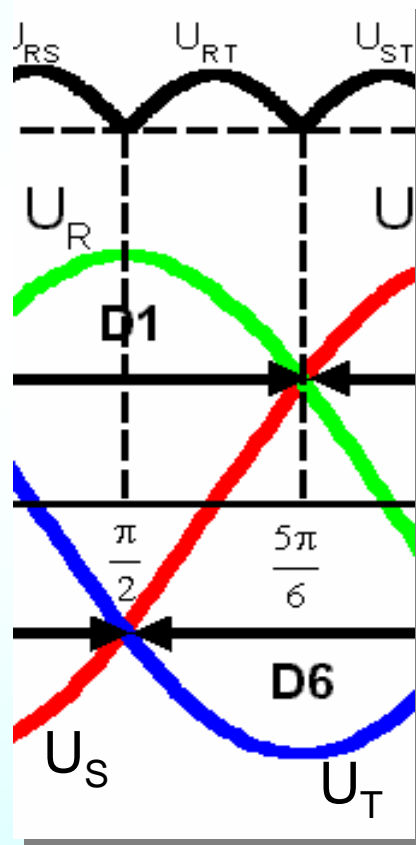
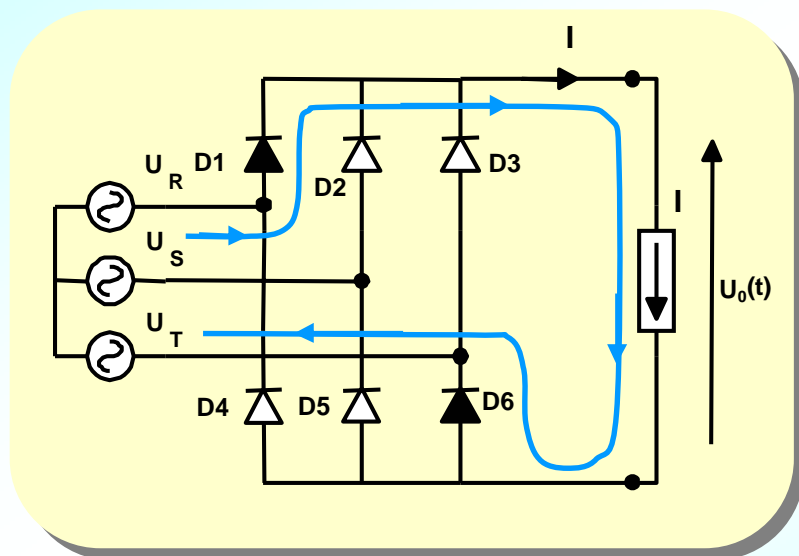
Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

4.2 Rectificador trifásico de doble onda

Conducción de los diodos entre:

$$\frac{\pi}{2} \text{ y } \frac{5\pi}{6}$$



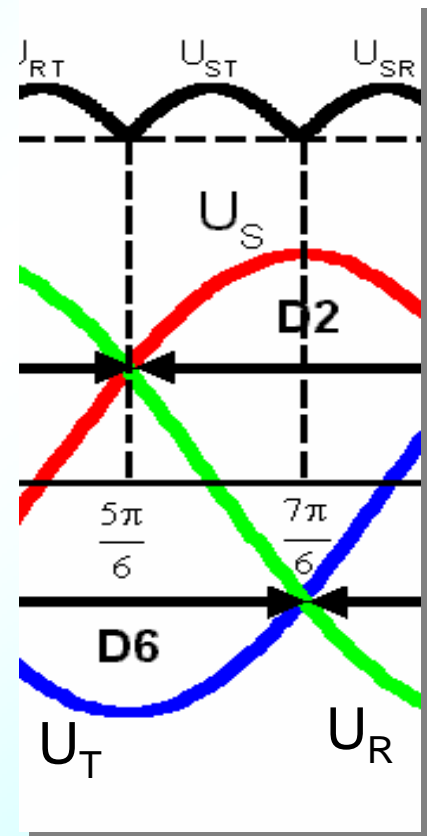
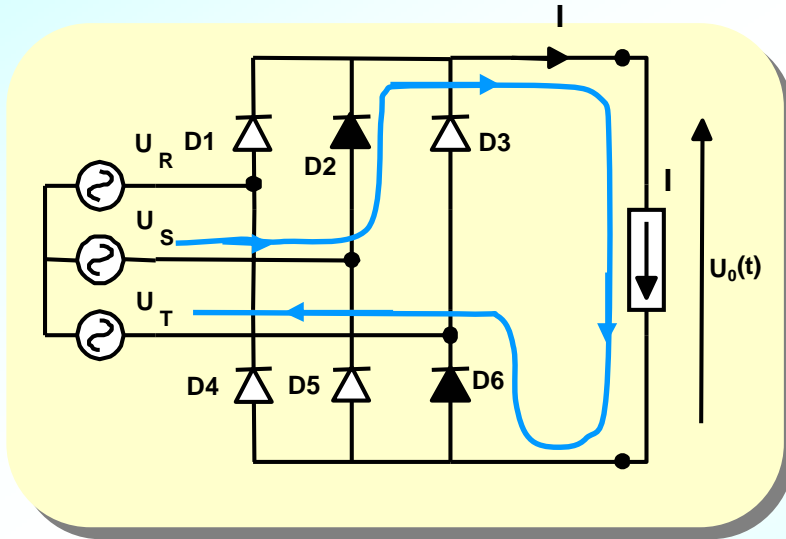
Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

4.2 Rectificador trifásico de doble onda

Conducción de los diodos entre:

$$\frac{5\pi}{6} \text{ y } \frac{7\pi}{6}$$

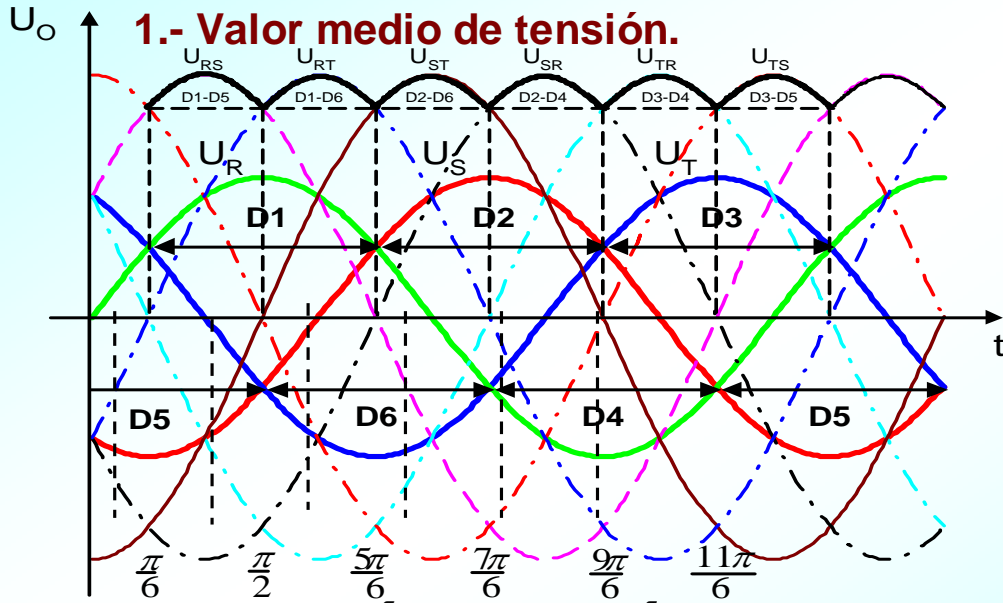


Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

4.2 Rectificador trifásico de doble onda

Valores más significativos:



$$U_{OCC} = \frac{3}{\pi} \int_{\pi/6}^{\pi/2} U_{RS}(\omega t) d\omega t = \frac{3}{\pi} \int_{\pi/6}^{\pi/2} \sqrt{3} U_M \sin(\omega t + 30^\circ) d\omega t = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} U_M$$

U_M es la amplitud de la tensión de fase.

Universidad de Oviedo

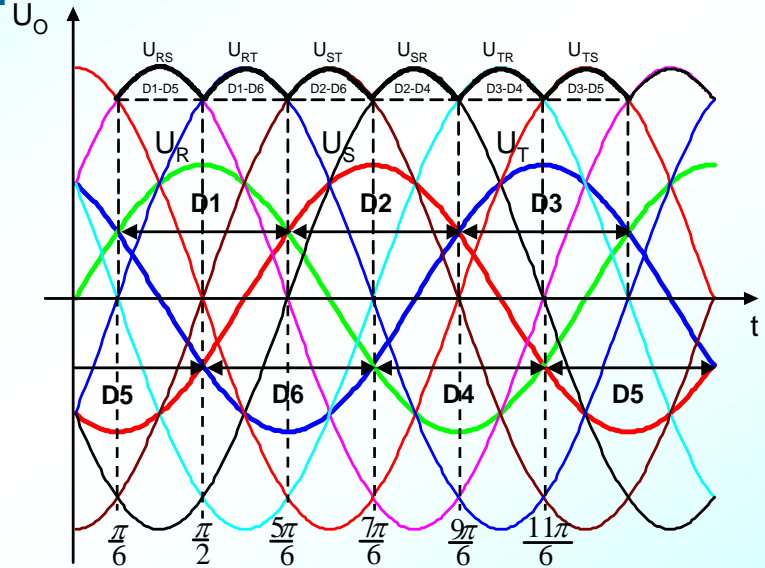
Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos



4.2 Rectificador trifásico de doble onda

Valores más significativos:

2.- Valor eficaz de tensión



$$U_{\text{oeff}} = \sqrt{\frac{3}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{2}} U_{RS}^2(\omega t) d\omega t} = U_M \sqrt{\frac{3}{2} + \frac{9\sqrt{3}}{4\pi}} \rightarrow 1.655 U_M$$



Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

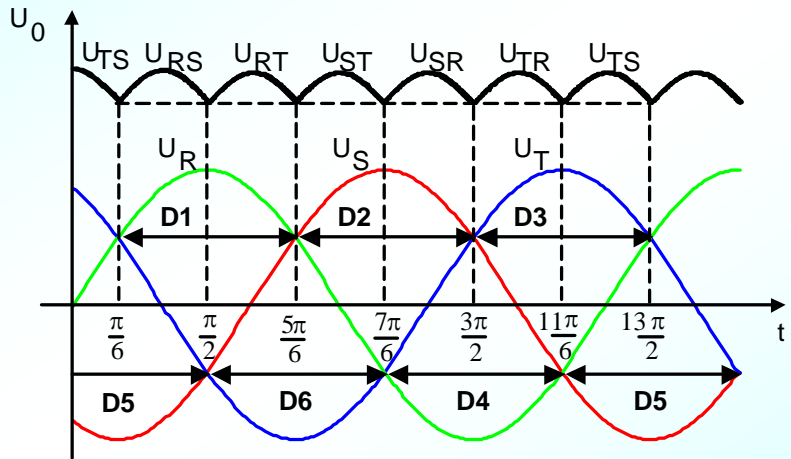
4.2 Rectificador trifásico de doble onda

Valores más significativos:

Factor de forma

$$FF = \frac{U_{0eff}}{U_{0CC}} = \frac{U_M \left[\frac{3}{2} + \frac{9\sqrt{3}}{4\pi} \right]^{\frac{1}{2}}}{U_M \frac{3\sqrt{3}}{\pi}}$$

FF=1.0008



Factor de rizado

$$r = \sqrt{FF^2 - 1}$$

r = 0,04

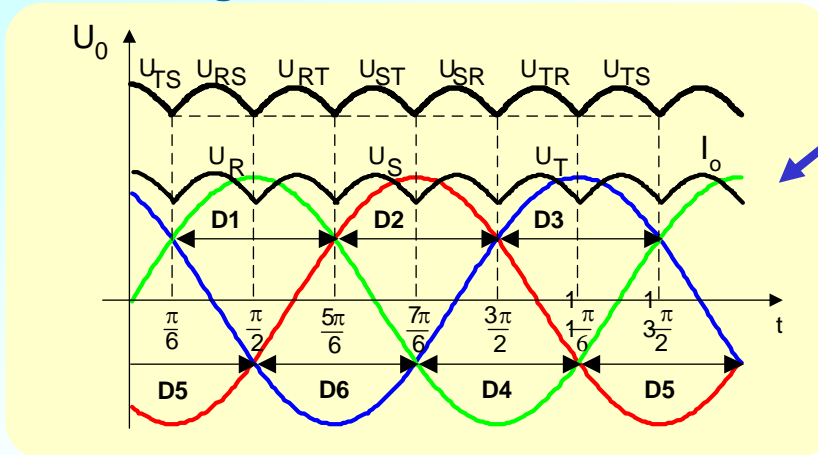


Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

4.2 Rectificador trifásico de doble onda

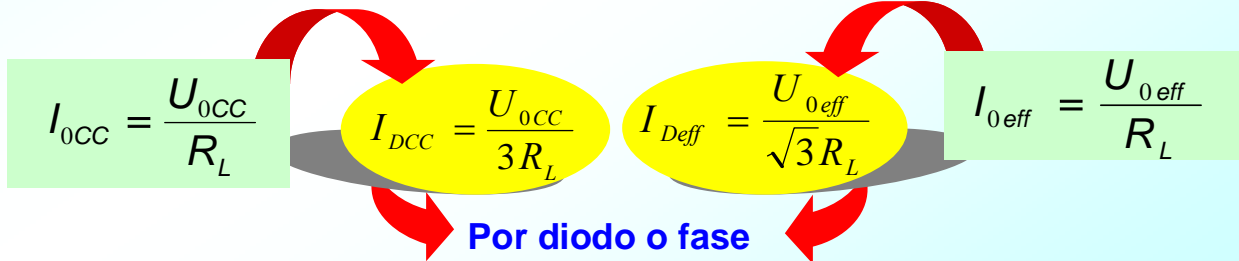
Valores más significativos de corriente:



Carga resistiva

Valor medio de corriente

Valor eficaz de corriente

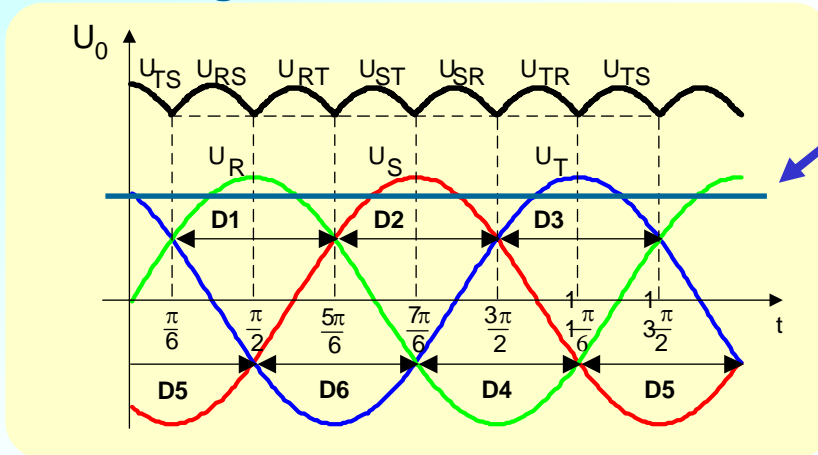


Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

4.2 Rectificador trifásico de doble onda

Valores más significativos de corriente:



Carga inductiva

Valor medio de corriente

$$I_{0CC} = \frac{U_{0CC}}{R_L}$$

$$I_{DCC} = \frac{U_{0CC}}{3R_L}$$

$$I_{Deff} = \frac{U_{0CC}}{\sqrt{3}R_L}$$

$$I_{0eff} = \frac{U_{0CC}}{R_L}$$

Por diodo o fase

Valor eficaz de corriente



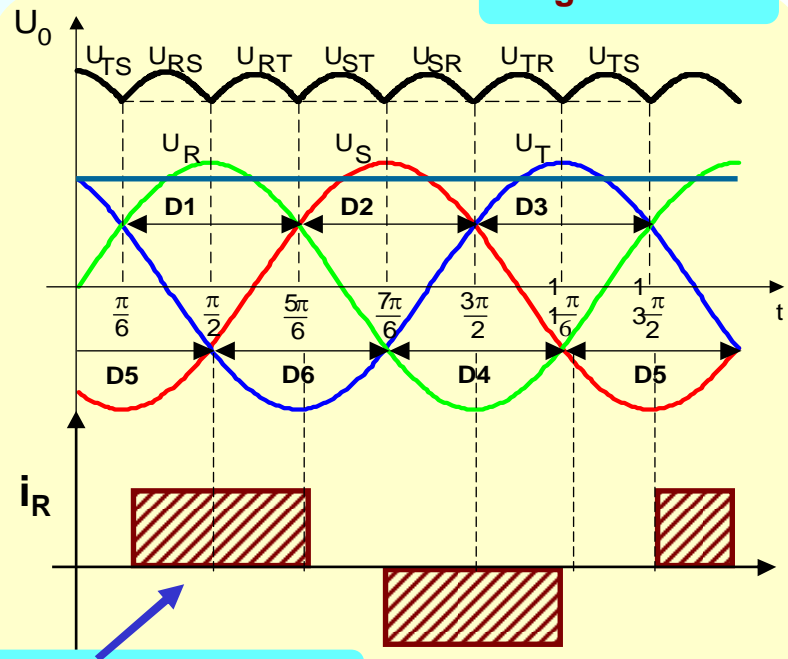
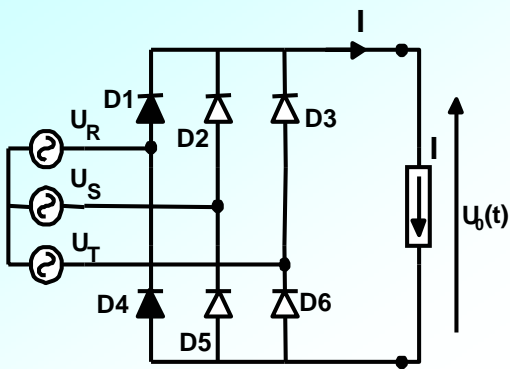
Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

4.2 Rectificador trifásico de doble onda

Valores más significativos de corriente:

Carga inductiva



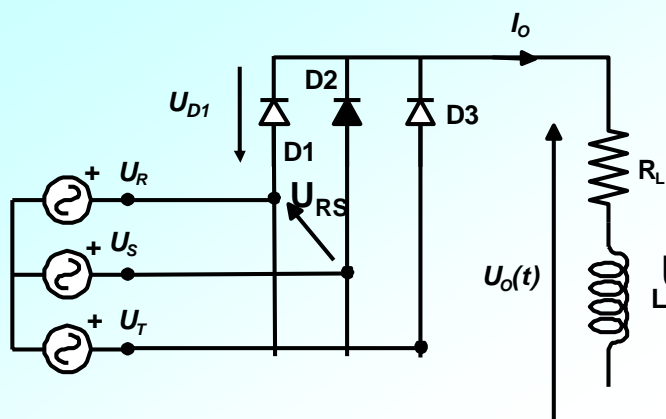
Corriente en la fase R



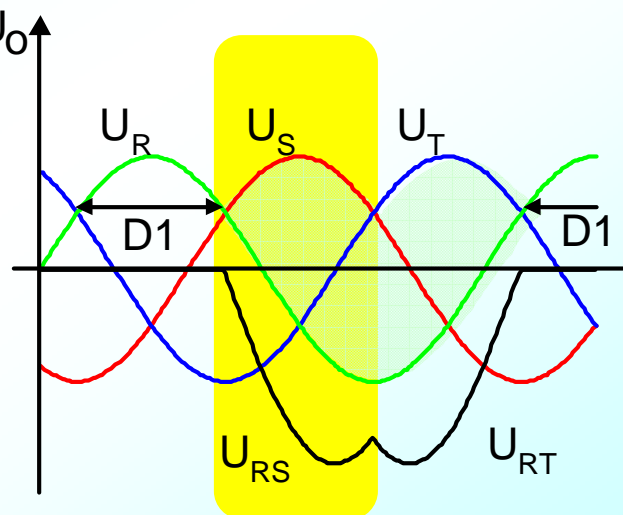
Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

4.2 Rectificador trifásico de doble onda



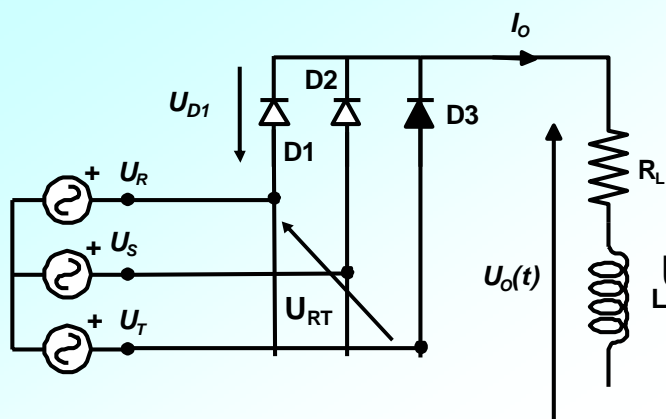
Tensión en uno de los diodos del puente: D1



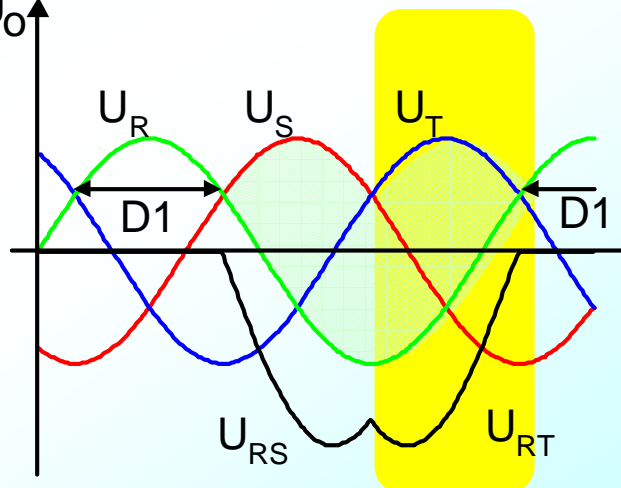
Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

4.2 Rectificador trifásico de doble onda



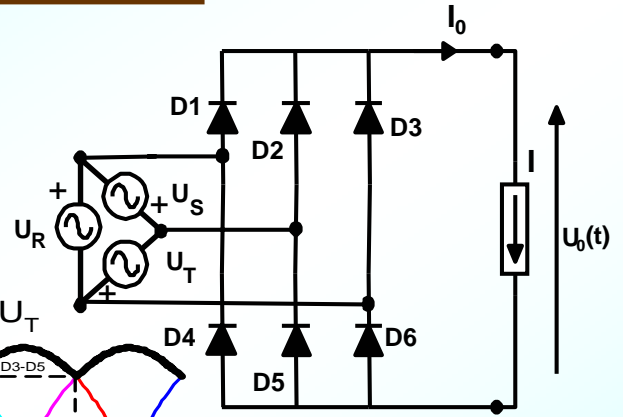
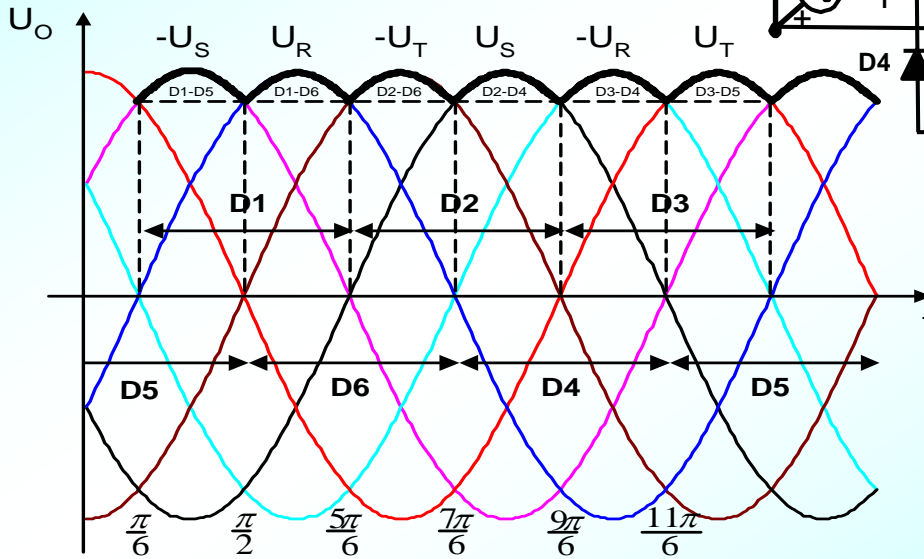
Tensión en uno de los diodos del puente: D1



4.2 Rectificador trifásico de doble onda

Conexión triángulo

Siempre conducen los dos diodos con mayor tensión en valor absoluto



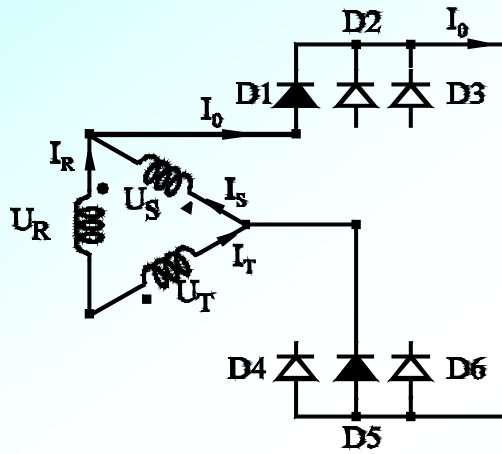
Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

4.2 Rectificador trifásico de doble onda

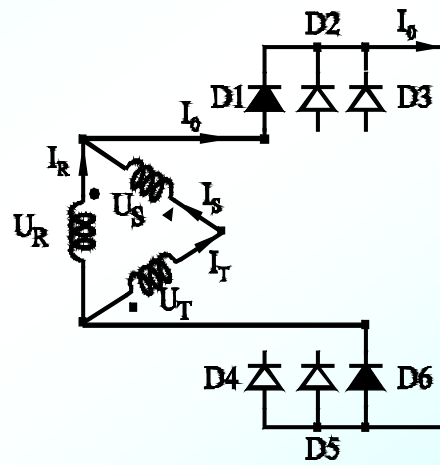
Corrientes por los devanados. Carga inductiva

Cuando conducen D1 y D5:



$$\left. \begin{array}{l} I_S + I_R = I_0 \\ I_S = 2 \cdot I_R \end{array} \right\} I_R = \frac{I_0}{3}$$

Cuando conducen D1 y D6:



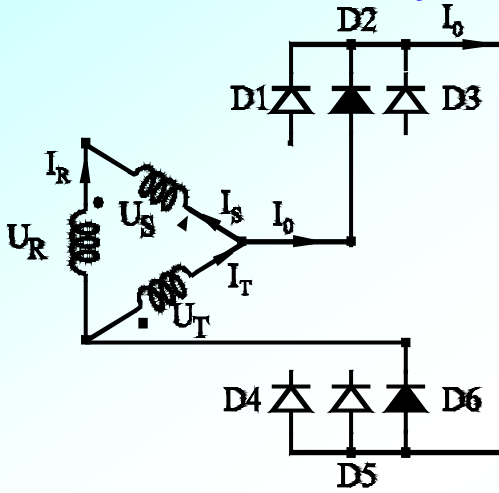
$$\left. \begin{array}{l} I_S + I_R = I_0 \\ I_R = 2 \cdot I_S \end{array} \right\} I_R = \frac{2 \cdot I_0}{3}$$



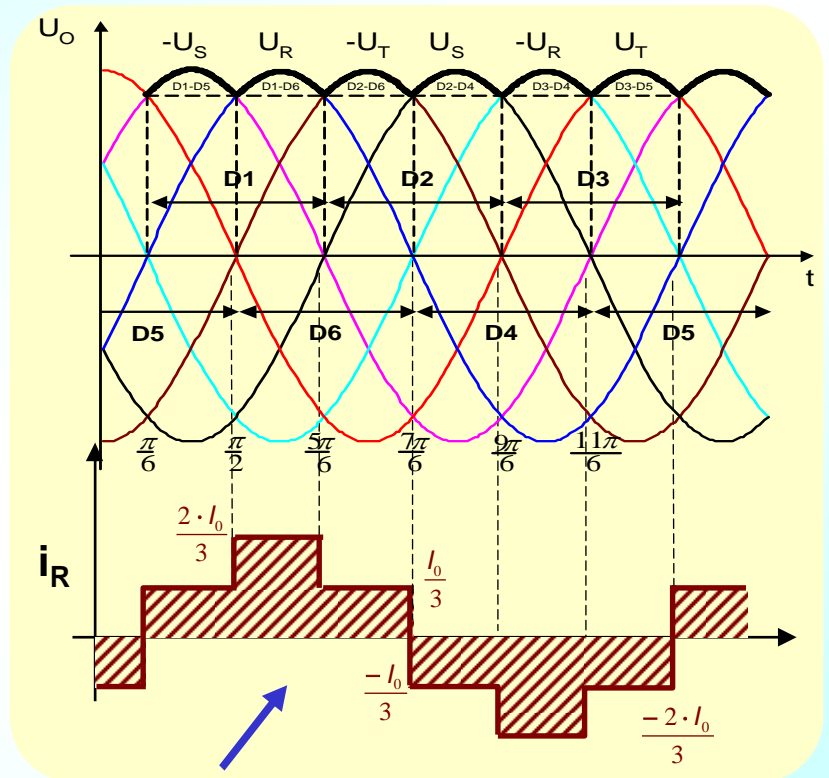
4.2 Rectificador trifásico de doble onda

Carga inductiva

Quando conducen D2 y D6:



$$\left. \begin{aligned} I_T + I_R &= I_0 \\ I_T &= 2 \cdot I_R \end{aligned} \right\} I_R = \frac{I_0}{3}$$



Corriente en la fase R es más senoidal



Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

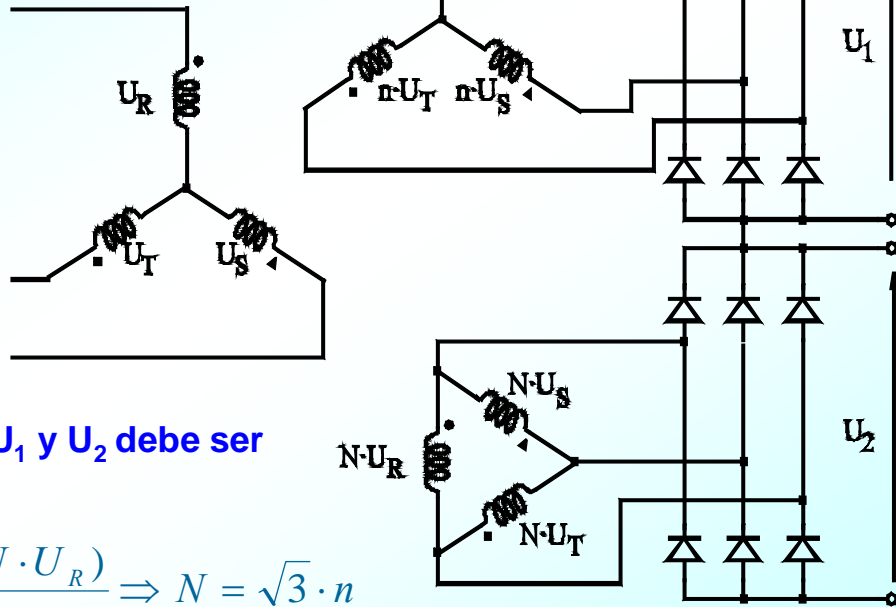
4.3 Asociación serie

Objetivo:

Aumentar la tensión de salida

Disminuir el rizado

Ejemplo



El nivel medio de U_1 y U_2 debe ser el mismo

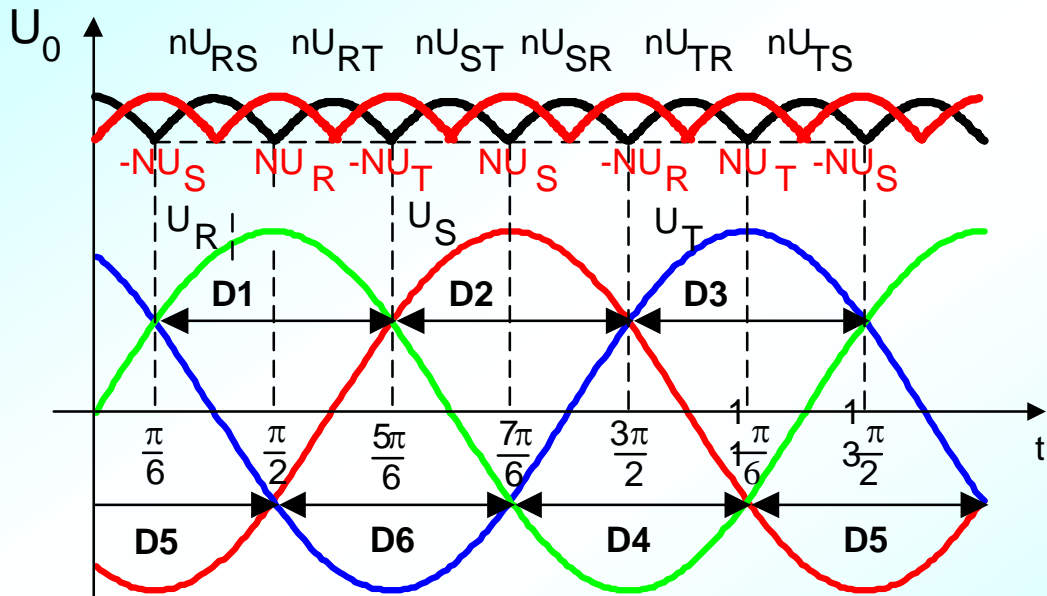
$$\frac{3\sqrt{3}(n \cdot U_R)}{\pi} = \frac{3(N \cdot U_R)}{\pi} \Rightarrow N = \sqrt{3} \cdot n$$



Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

4.3 Asociación serie



La tensión de salida es la suma de U_1 (color negro) y U_2 (color rojo).
El nivel de rizado en la salida es realmente muy pequeño.



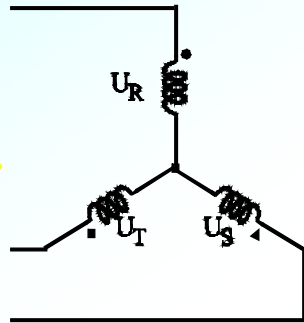
4.4 Asociación paralelo

Objetivo:

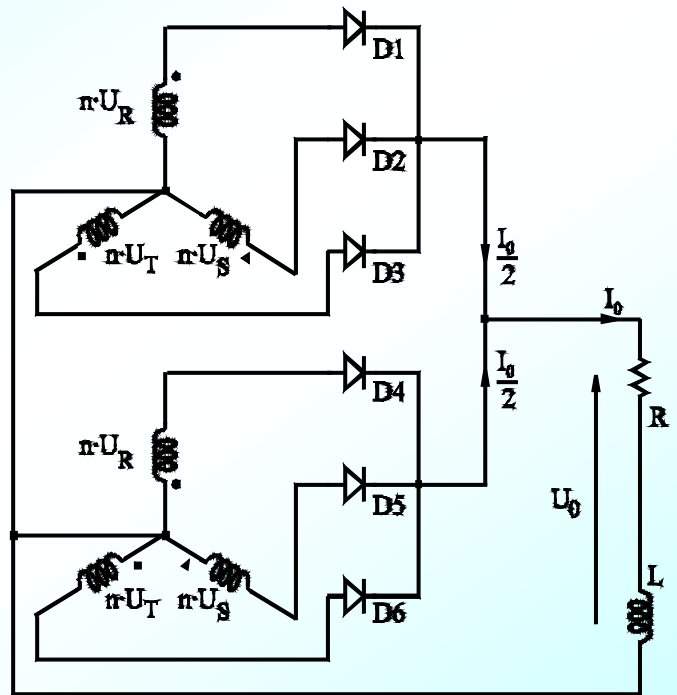
Repartir la corriente de salida.

Disminuir el rizado.

Ejemplo



Se pretende que no haya desequilibrios en la conducción de los diodos, por lo que ambos secundarios están conectados en oposición de fase.

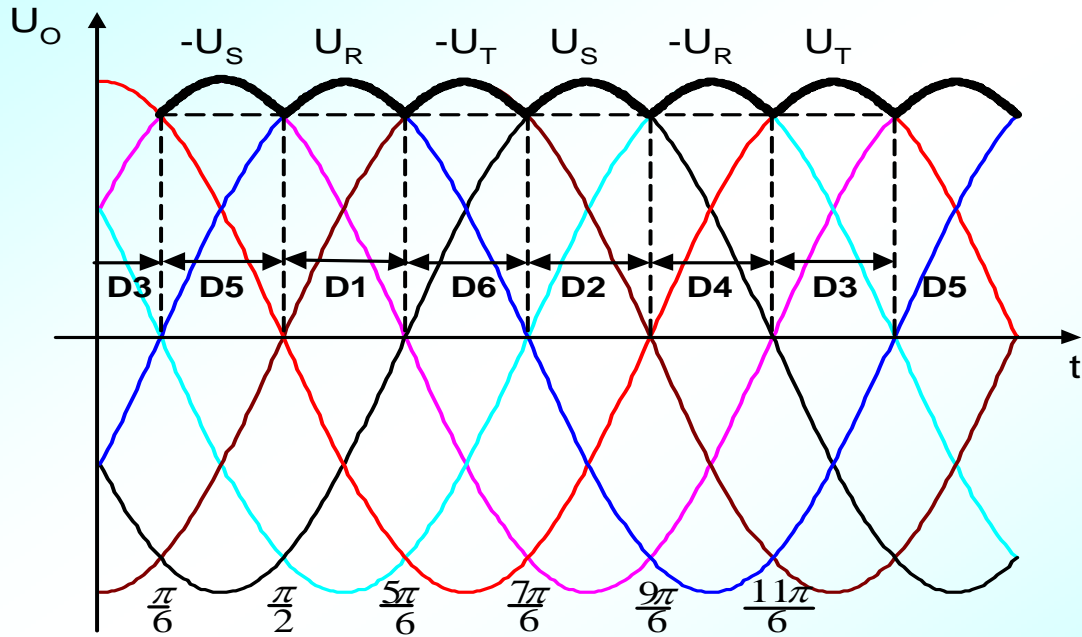


Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

4.4 Asociación paralelo

Equivalencia con un sistema hexafásico



Cada diodo conduce toda la corriente de salida durante un sexto del periodo:

$$I_{DPICO} = I_0 \quad I_{DCC} = \frac{I_0}{6}$$

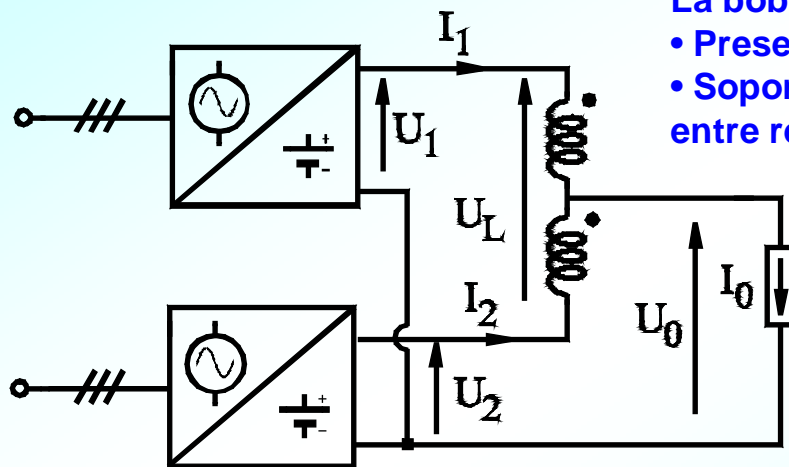


Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

4.4 Asociación paralelo

Para igualar la corriente instantánea de los dos rectificadores se emplea una bobina ecualizadora.



La bobina:

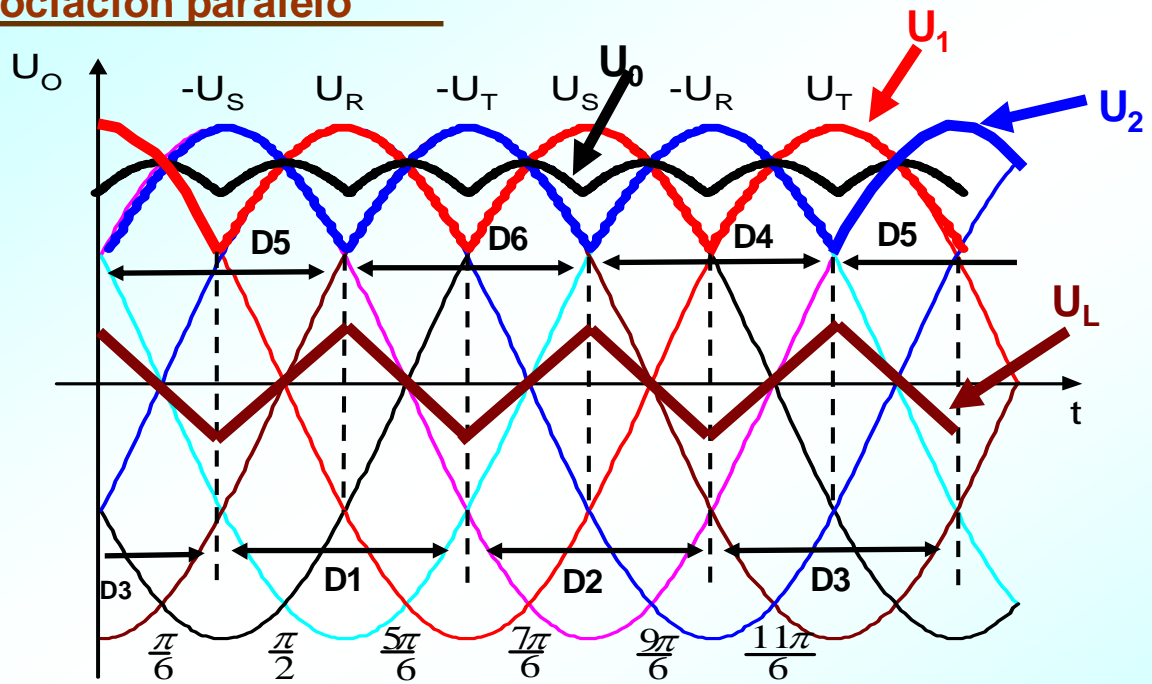
- Presenta alta inductancia.
- Soporta la tensión diferencia entre rectificadores. $U_L = U_1 - U_2$

Efecto de la bobina sobre la tensión:

$$U_0 = U_1 - \frac{U_L}{2} = U_1 - \frac{U_1 - U_2}{2} = \frac{U_1 + U_2}{2}$$



4.4 Asociación paralelo



La tensión de salida de los rectificadores es la suya característica.

La tensión de salida es la media de ambas.

La tensión de la bobina es la diferencia entre U_1 y U_2 , y se puede considerar lineal.

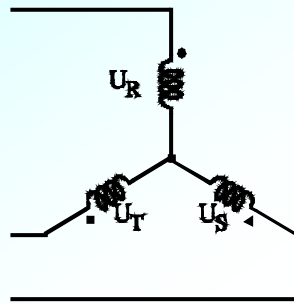


Universidad de Oviedo

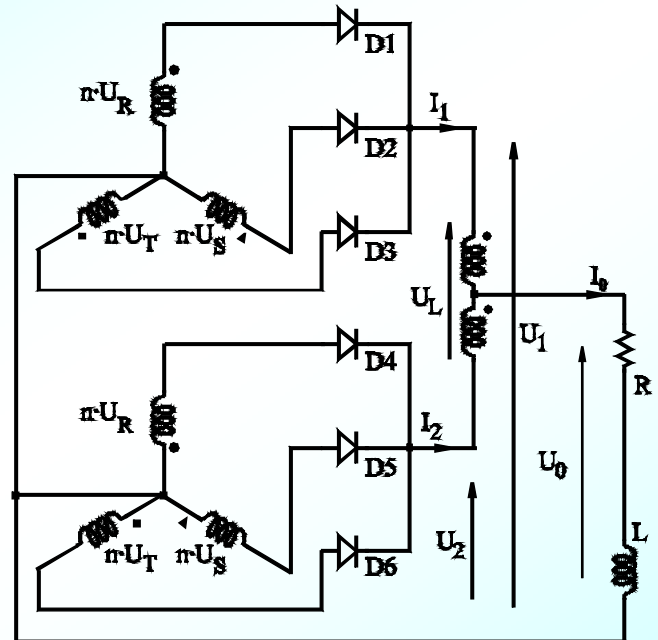
Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

4.4 Asociación paralelo

Ejemplo



Habrá conducción simultánea de ambos rectificadores.



Aplicando el desarrollo de Fourier:

- En continua la inductancia ecualizadora no tiene efecto.
- Para las componentes alternas, la inductancia ecualizadora es mucho menor que la inductancia de la carga.

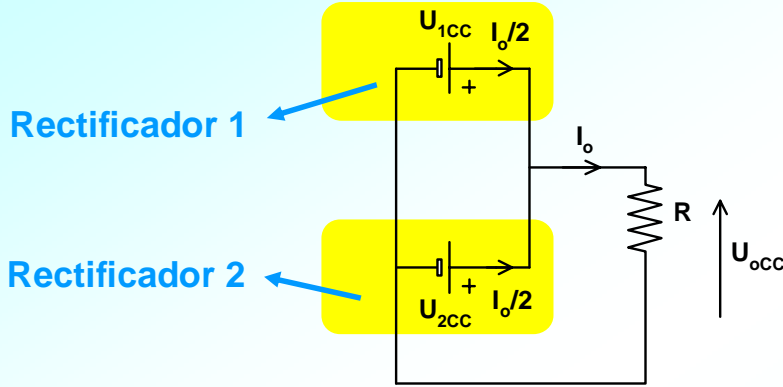


Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

4.4 Asociación paralelo

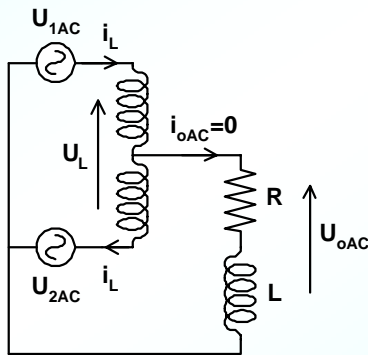
Circuito equivalente en continua:



$$U_{0CC} = U_{1CC} = U_{2CC}$$

$$I_0 = \frac{U_{0CC}}{R}$$

Circuito equivalente en alterna:



$$i_L(t) = \frac{1}{L} \int_0^t U_L dt = \frac{1}{L} \int_0^t (U_{1AC} - U_{2AC}) dt$$

Y para que los diodos conduzcan siempre:

$$\frac{I_0}{2} > i_{L\text{ pico}}$$

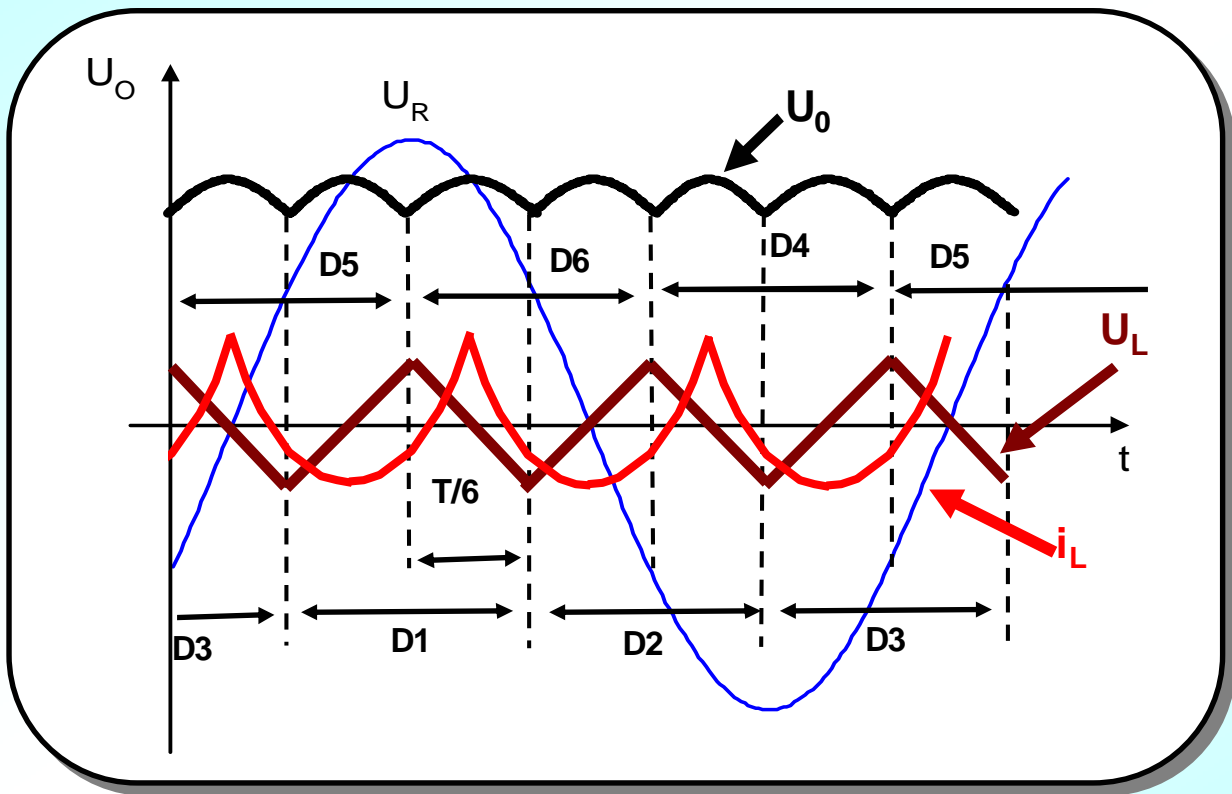
condición para dimensionado de la bobina ecualizadora.



Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

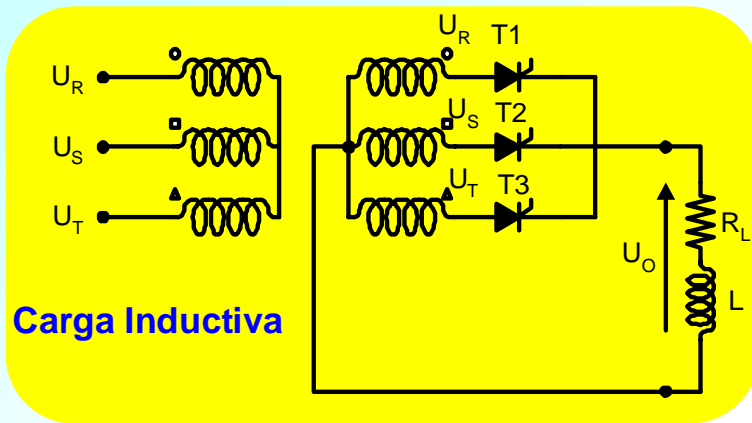
4.4 Asociación paralelo



Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

5.1.1 Rectificador trifásico de media onda controlado



Entrada en conducción

- Tensión positiva entre ánodo – cátodo
- Impulso de corriente en puerta

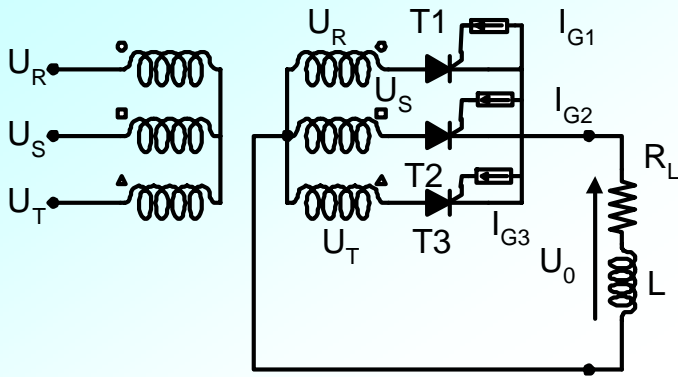
- Tres tiristores
- Tensión de salida variable. Depende de α (ángulo de disparo)
- Tensión positiva y negativa
- Potencia variable
- Funcionamiento en dos cuadrantes



Universidad de Oviedo

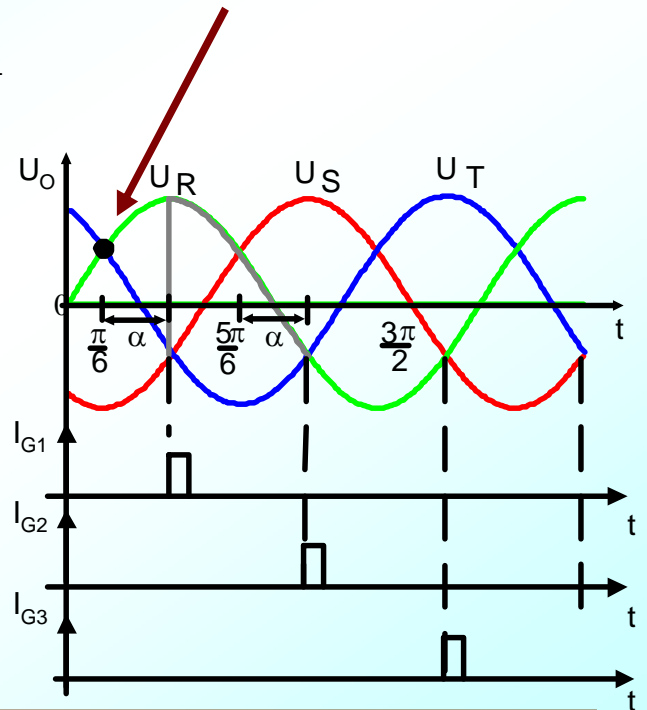
Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

5.5.1 Rectificador trifásico de media onda controlado



α → ángulo de disparo

Referencia de disparos



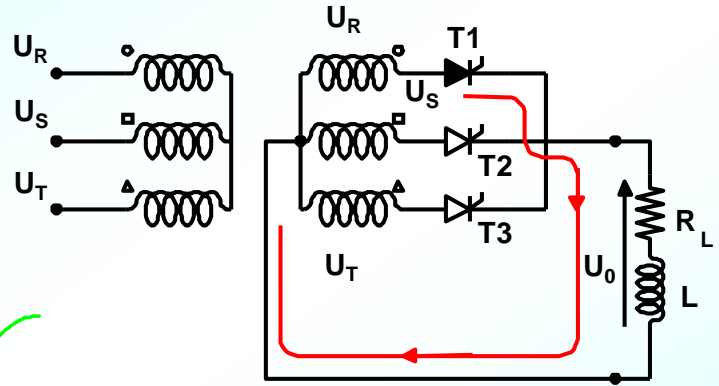
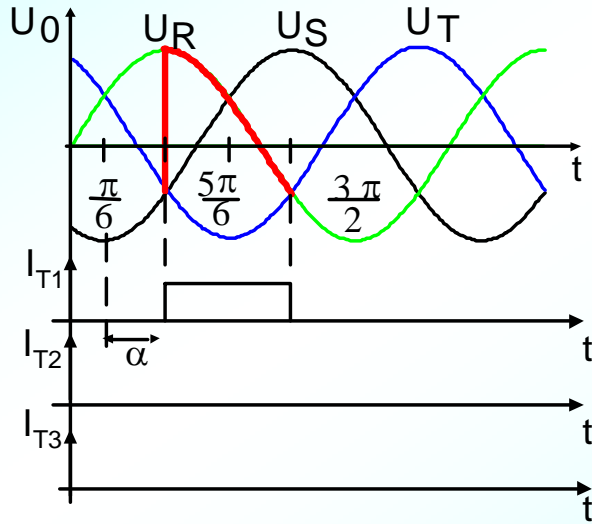
Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

5.5.1 Rectificador trifásico de media onda controlado

Angulo de disparo de T1:

$$\frac{\pi}{3}$$



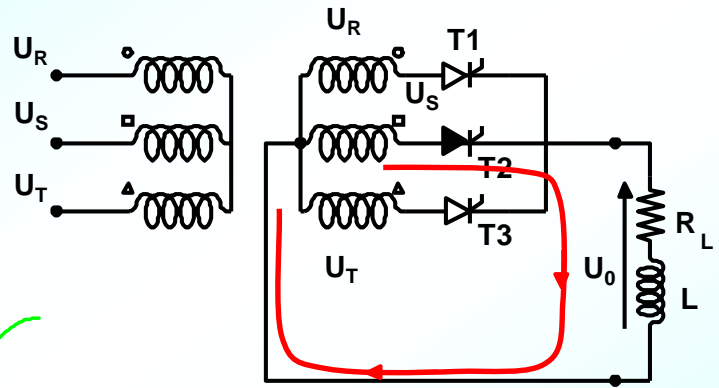
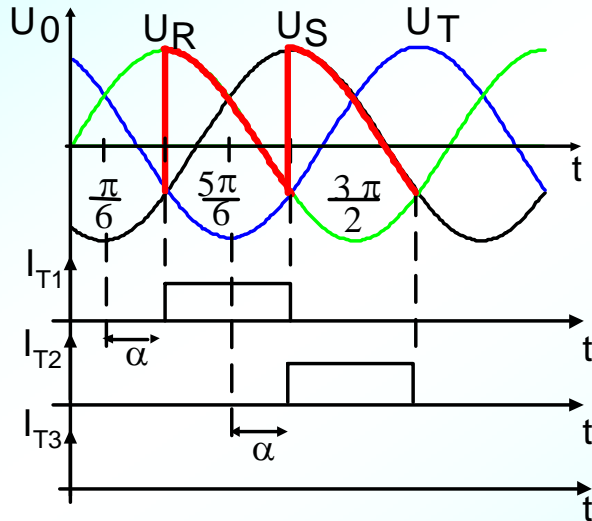
Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

5.5.1 Rectificador trifásico de media onda controlado

Angulo de disparo de T2:

$$\frac{\pi}{3}$$



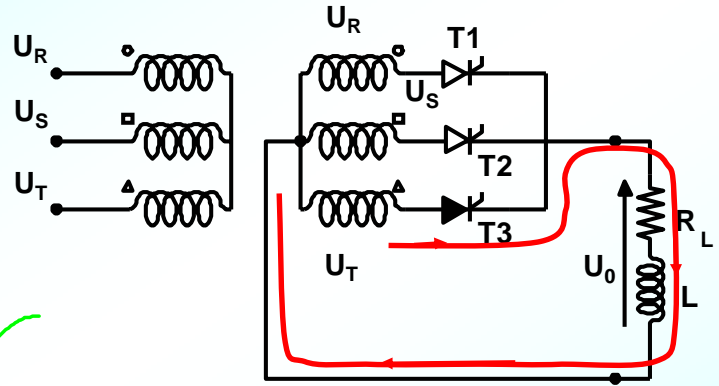
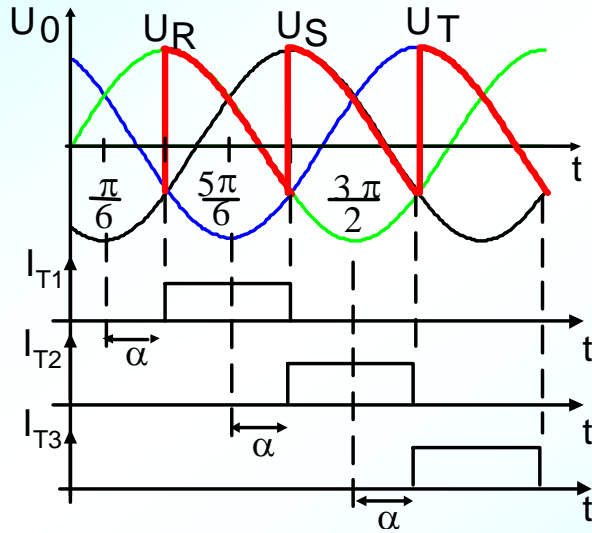
Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

5.5.1 Rectificador trifásico de media onda controlado

Angulo de disparo de T3:

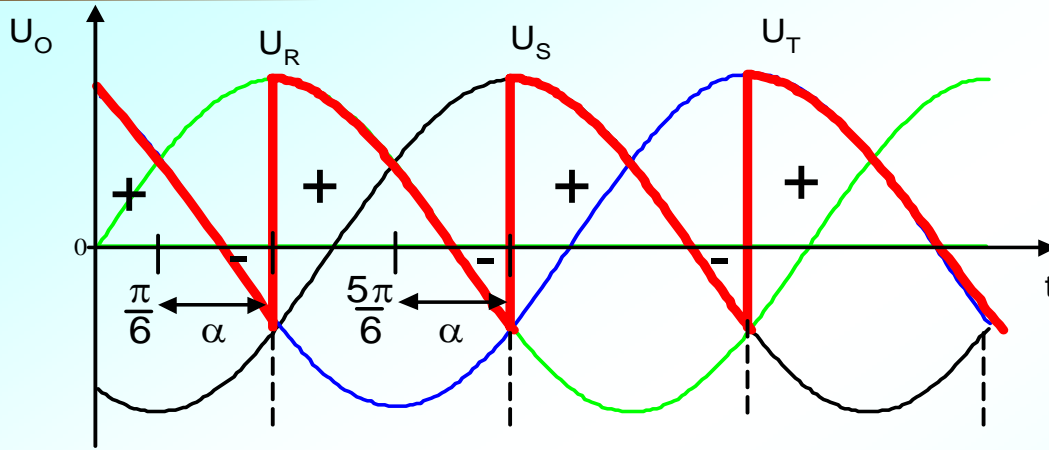
$$\frac{\pi}{3}$$



Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

5.5.1 Rectificador trifásico de media onda controlado



Valor medio y eficaz

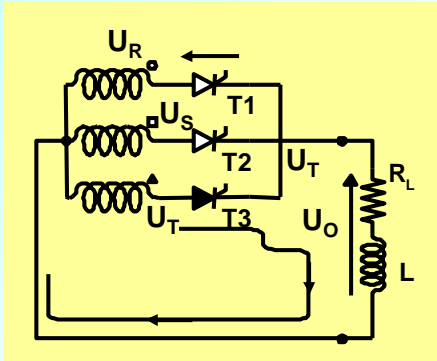
$$U_{0CC} = \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\frac{5\pi}{6} + \alpha} U_M \sin \omega t d\omega t = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} U_M \cos \alpha$$

$$U_{0eff} = \sqrt{\frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\frac{5\pi}{6} + \alpha} U_M^2 \sin^2 \omega t d\omega t} = \sqrt{3} U_M \left(\frac{1}{6} + \frac{\sqrt{3}}{8\pi} \cos 2\alpha \right)$$



5.5.1 Rectificador trifásico de media onda controlado

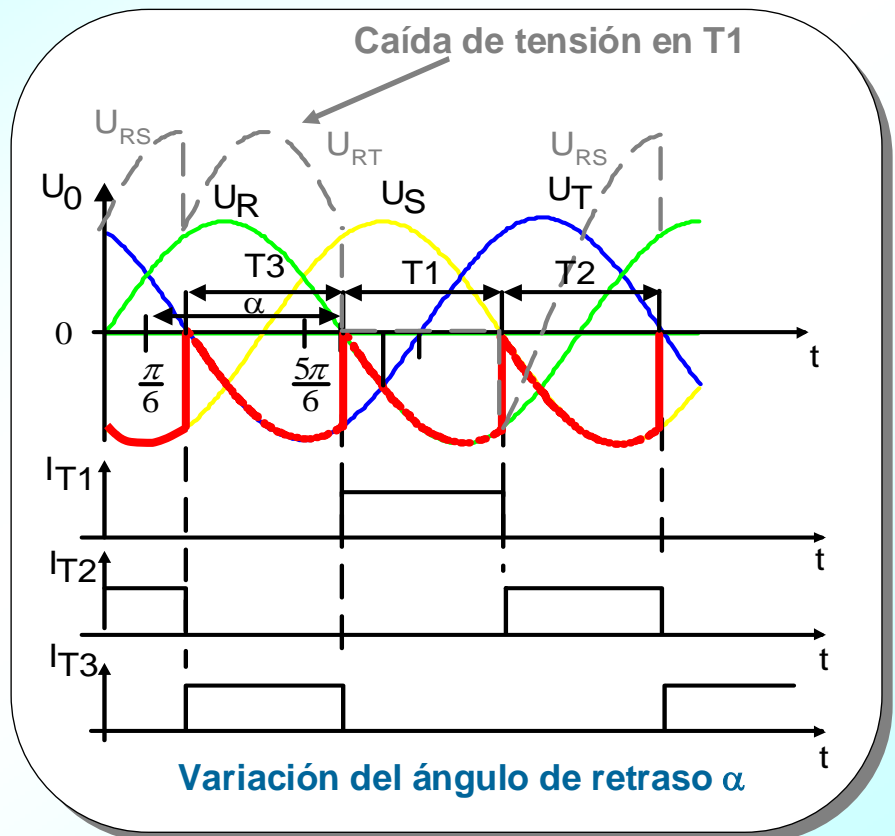
Caso en que $\alpha=150^\circ$



Tensión de salida siempre negativa.



Energía devuelta a la entrada.

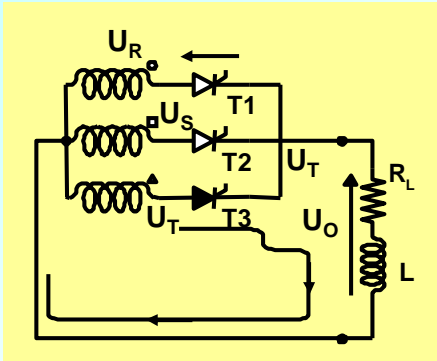


Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

5.5.1 Rectificador trifásico de media onda controlado

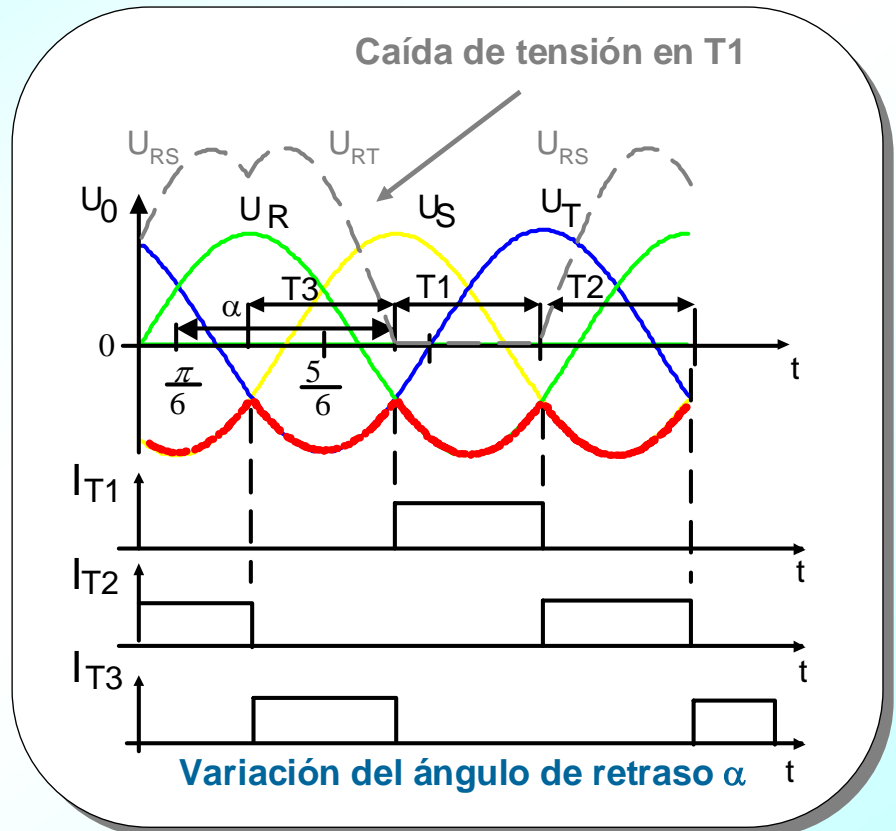
Caso en que $\alpha=180^\circ$



Tensión de salida mínima (más negativa).



Energía devuelta a la entrada máxima.

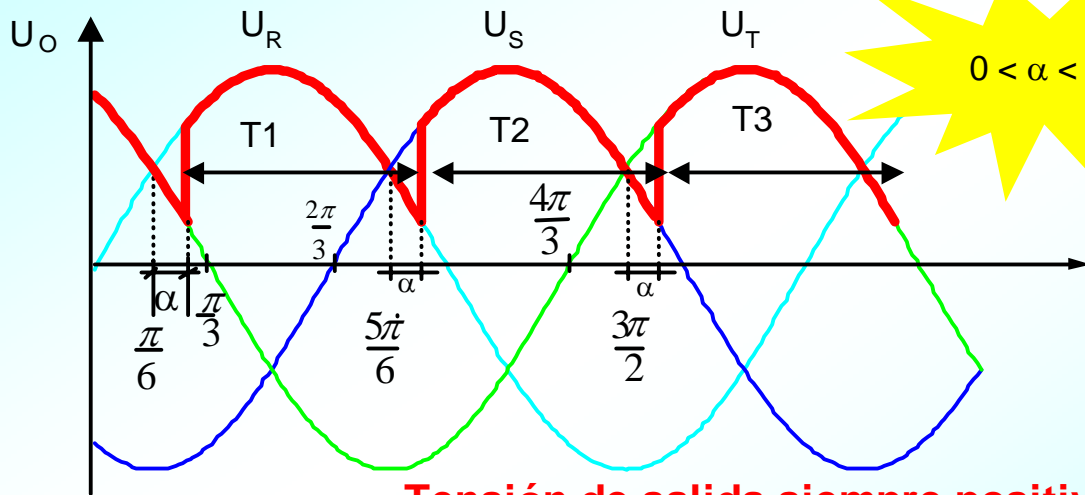


Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

5.5.1 Rectificador trifásico de media onda controlado

Comportamiento con carga resistiva



Tensión de salida siempre positiva

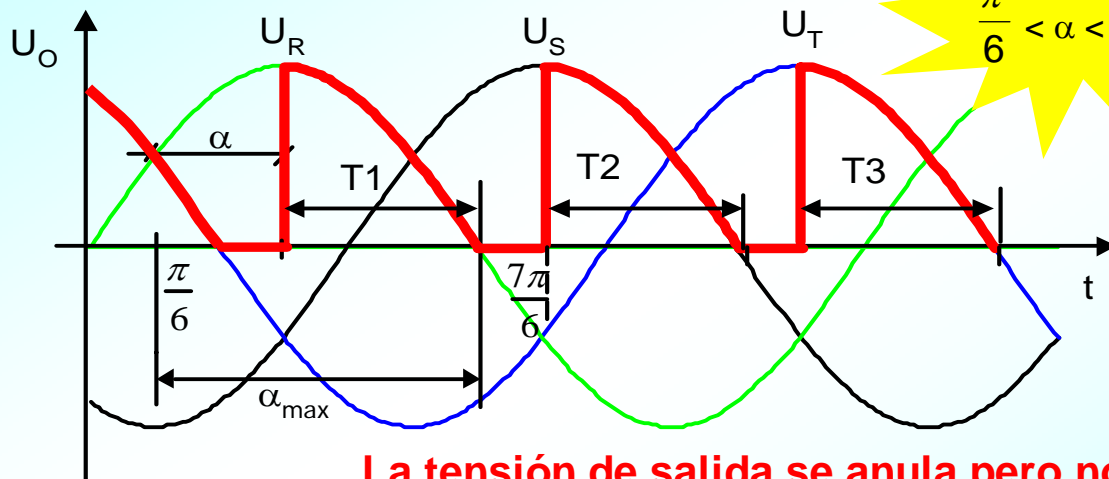
Valor medio

$$U_{0CC} = \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\frac{5\pi}{6} + \alpha} U_M \sin \omega t d\omega t = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} U_M \cos \alpha$$



5.5.1 Rectificador trifásico de media onda controlado

Comportamiento con carga resistiva



La tensión de salida se anula pero no se hace negativa

Valor medio

$$U_{0CC} = \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\pi} U_M \sin \omega t d\omega t = \frac{3}{2\pi} U_M \left(1 + \cos \left(\frac{\pi}{6} + \alpha \right) \right)$$

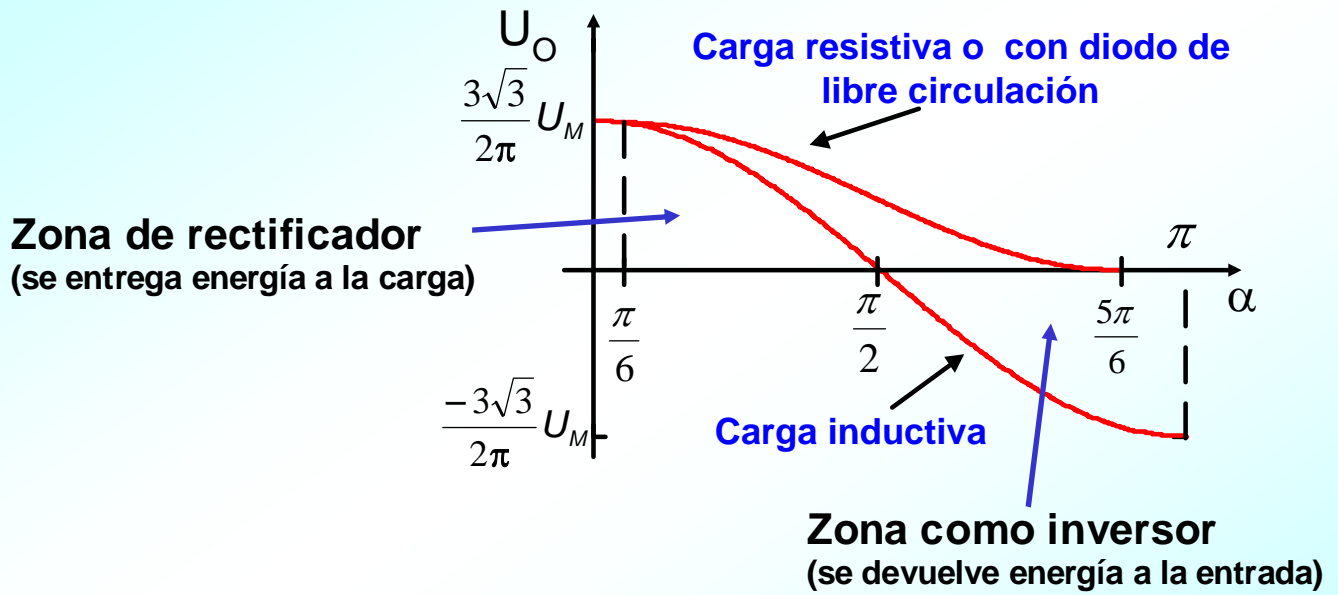


Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

5.5.1 Rectificador trifásico de media onda controlado

Variación de la tensión de salida



$$\alpha = 0 \rightarrow U_0 = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} U_M$$

$$\alpha = 180^\circ \rightarrow U_0 = -\frac{3\sqrt{3}}{2\pi} U_M$$

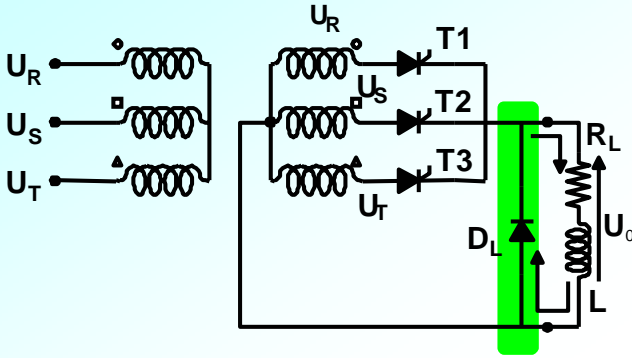


Universidad de Oviedo

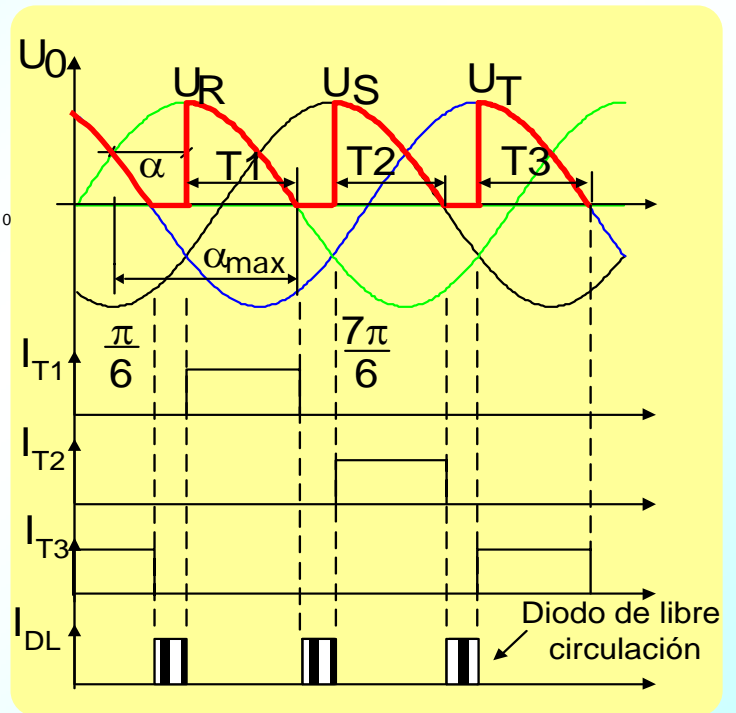
Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

5.5.1 Rectificador trifásico de media onda controlado

Comportamiento con carga inductiva y diodo de libre circulación



Cuando la tensión de salida se tiende a ser negativa, el diodo de libre circulación se polariza directamente y entra en conducción.



5.5.2 Rectificador trifásico de doble onda semicontrolado

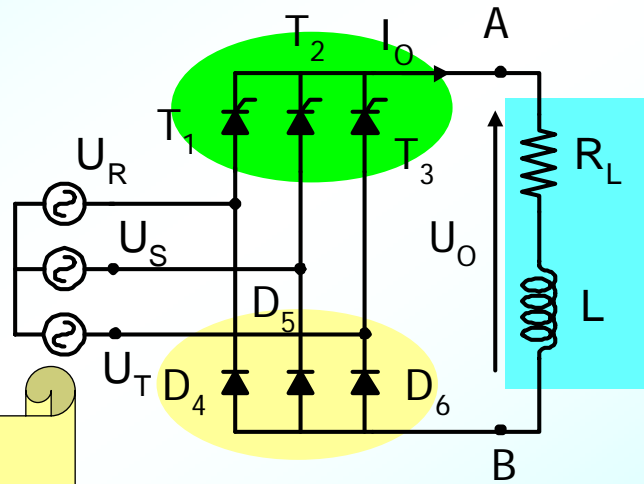
Tres diodos y tres tiristores
Funcionamiento en un cuadrante
Aplicaciones de alta potencia

Tensión de salida viene expresada como diferencia de:



Rectificador trifásico
media onda controlado (U_{AN})
-
Rectificador trifásico
no controlado (U_{BN})

$$U_0 = U_{AN} - U_{BN}$$



Carga Inductiva

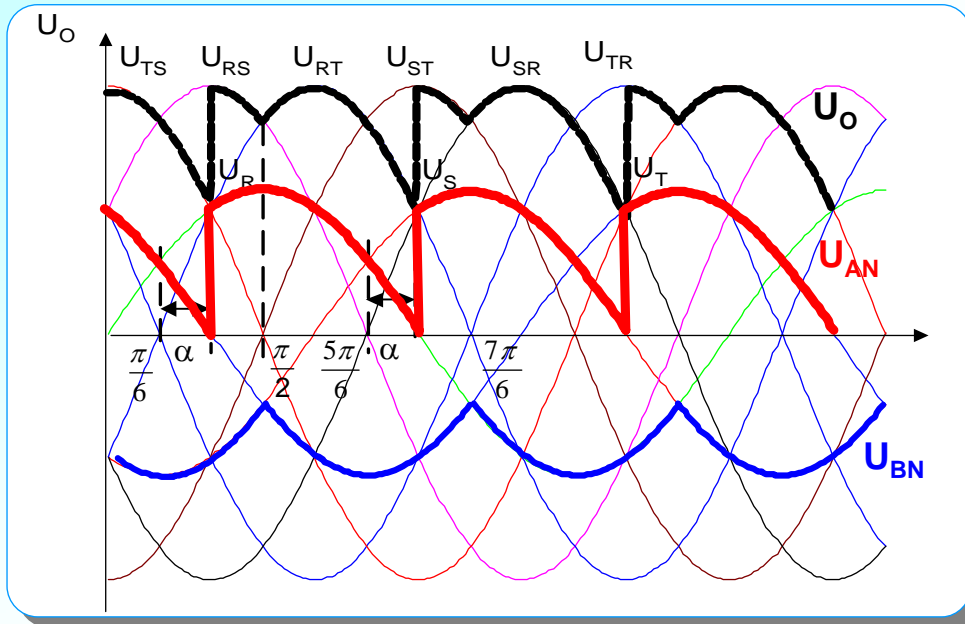
$$U_0 = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} (1 + \cos \alpha)$$



Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

5.5.2 Rectificador trifásico de doble onda semicontrolado



$$0 < \alpha < \frac{\pi}{3}$$

La tensión de salida es siempre positiva y continua.

$$U_{0CC} = \frac{3}{2\pi} \left(\int_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\frac{\pi}{2}} U_{RS} d\omega t + \int_{\frac{5\pi}{6} + \alpha}^{\frac{5\pi}{2}} U_{RT} d\omega t \right) = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} U_M (1 + \cos \alpha)$$

$$U_{0eff} = \sqrt{\frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\frac{\pi}{2}} U_{RS}^2 d\omega t + \int_{\frac{5\pi}{6} + \alpha}^{\frac{5\pi}{2}} U_{RT}^2 d\omega t} = \sqrt{3} U_M \sqrt{\frac{3}{4\pi} \left(\frac{2\pi}{3} + \sqrt{3} \cos^2 \alpha \right)}$$

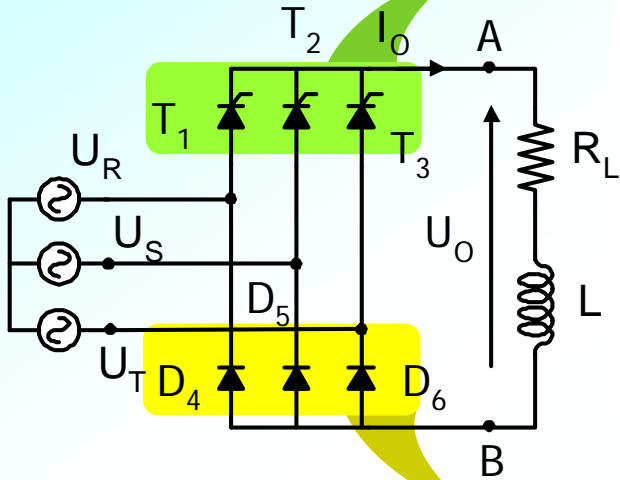


Universidad de Oviedo

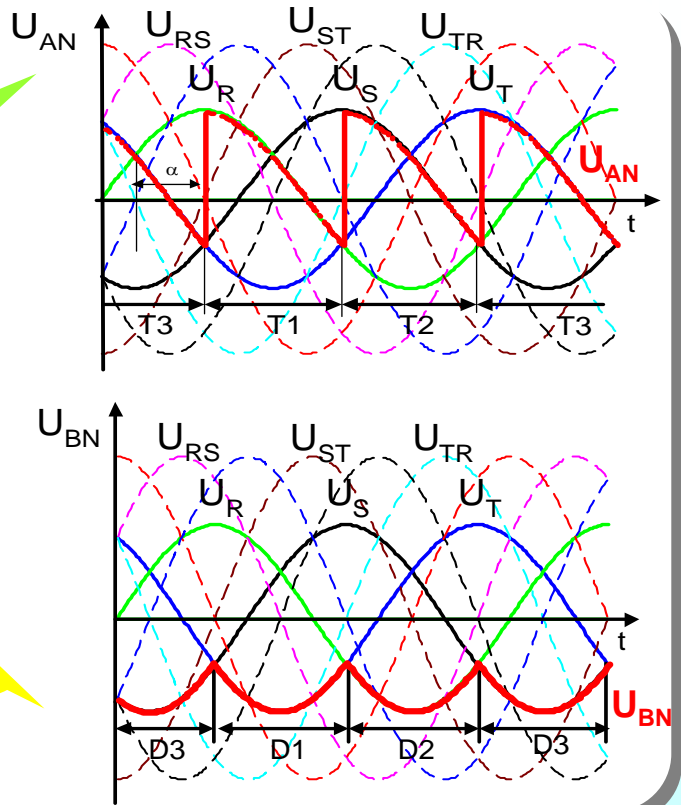
Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

5.5.2 Rectificador trifásico de doble onda semicontrolado

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



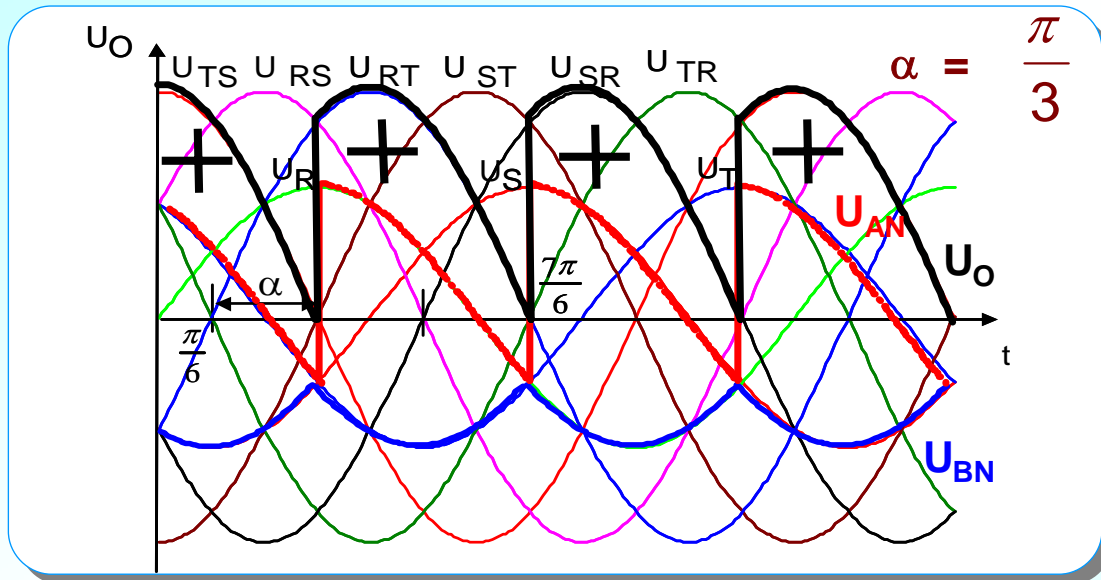
Éste es el ángulo de disparo límite para que no existan tramos de tensión cero.



Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

5.5.2 Rectificador trifásico de doble onda semicontrolado



$$U_{0CC} = \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\frac{7\pi}{6}} U_{RT} d\omega t = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} U_M (1 + \cos\alpha)$$

$$U_{0eff} = \sqrt{\frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\frac{7\pi}{6}} U_{RS}^2 d\omega t} = \sqrt{3} U_M \sqrt{\frac{3}{4\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right)}$$

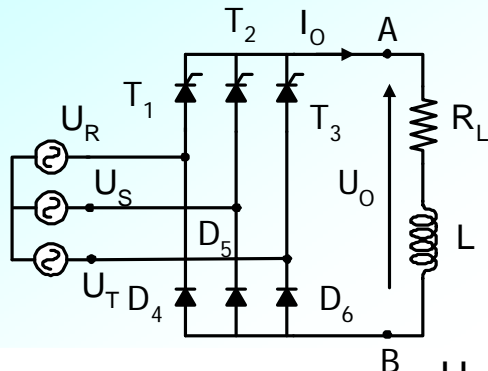


Universidad de Oviedo

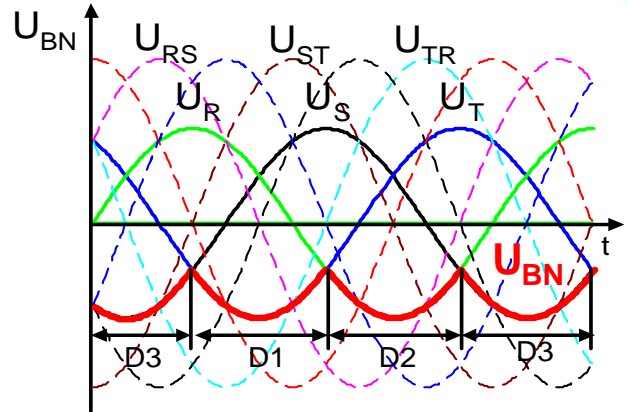
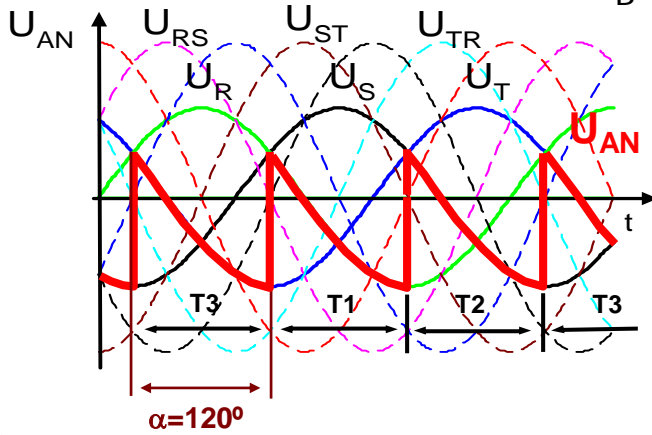
Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

5.5.2 Rectificador trifásico de doble onda semicontrolado

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



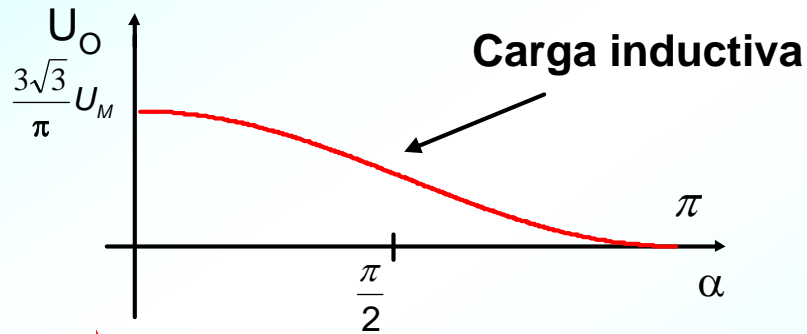
Ahora aparecerán tramos con tensión cero, porque U_{AN} y U_{BN} coinciden en ellos.



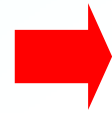
5.5.2 Rectificador trifásico de doble onda semicontrolado

La tensión de salida depende del ángulo de disparo α

Margen de variación del ángulo de disparo α



$$0 < \alpha < \frac{\pi}{3}$$



Tensión de salida siempre positiva o continua

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



Tensión de salida discontinua.
Tramos de tensión cero

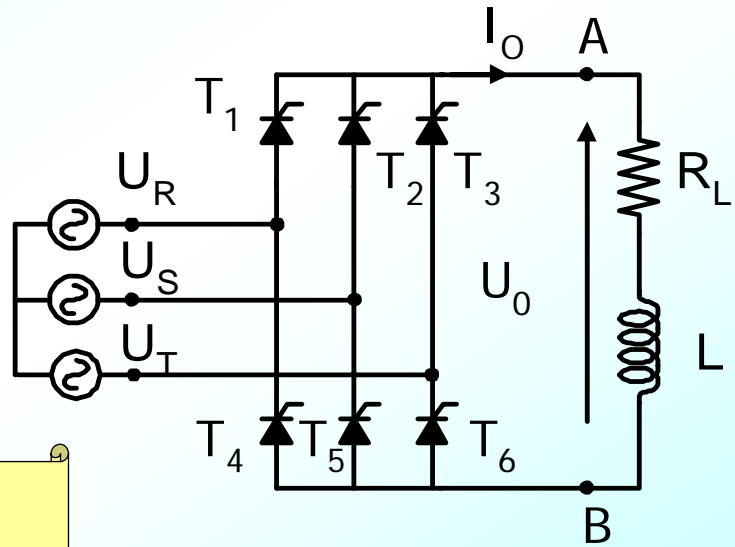


Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

5.5.3 Rectificador trifásico de doble onda controlado

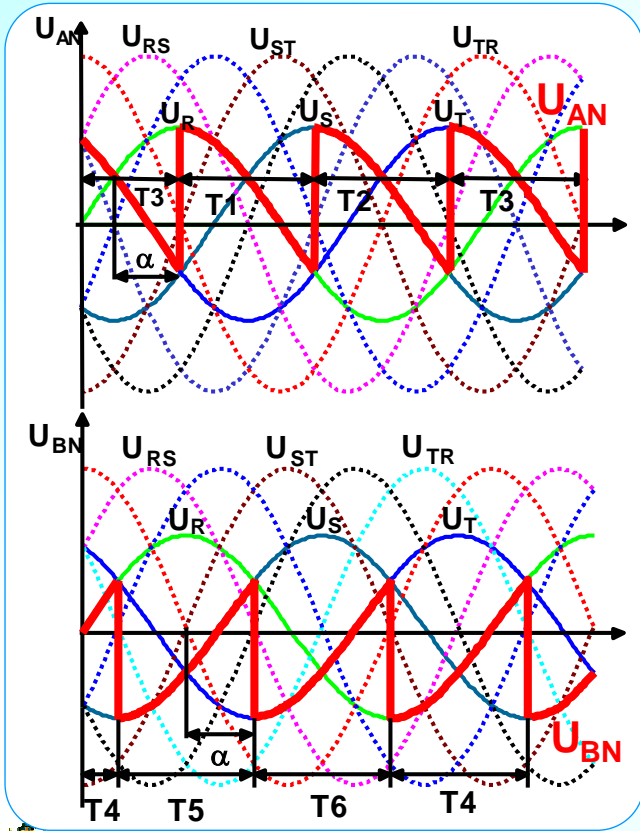
- ❑ Seis tiristores.
- ❑ Funcionamiento en dos cuadrantes.
- ❑ Tensión de salida positiva y negativa.
- ❑ Combinación de dos rectificadores de media onda controlados.
- ❑ Potencias elevadas.



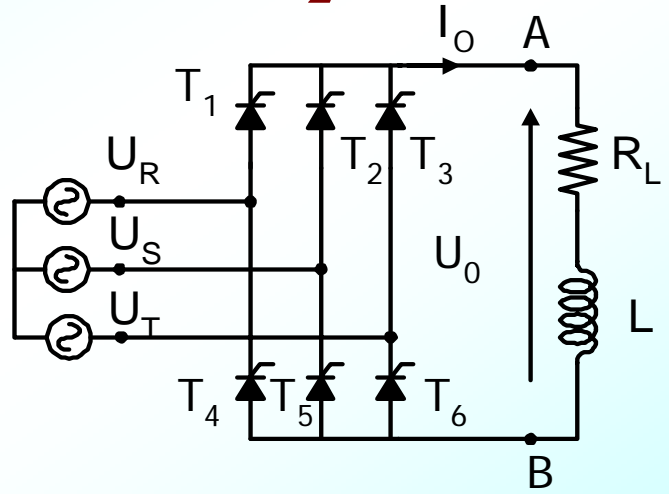
$$U_0 = U_{AN} - U_{BN}$$



5.5.3 Rectificador trifásico de doble onda controlado



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

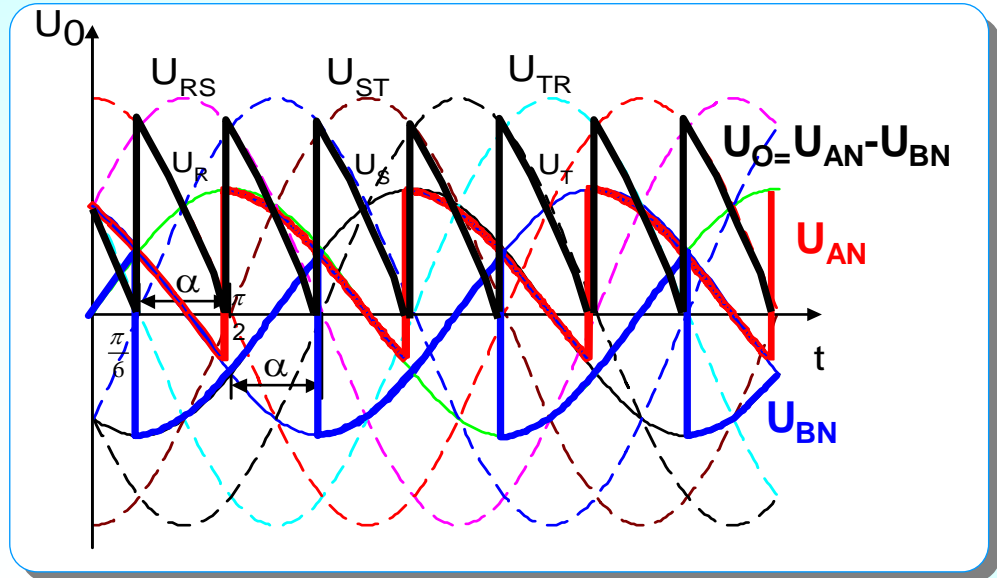


Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

5.5.3 Rectificador trifásico de doble onda controlado

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



$$U_{0CC} = \frac{3}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\frac{\pi}{2} + \alpha} U_{RS} d\omega t = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} U_M \cos \alpha$$

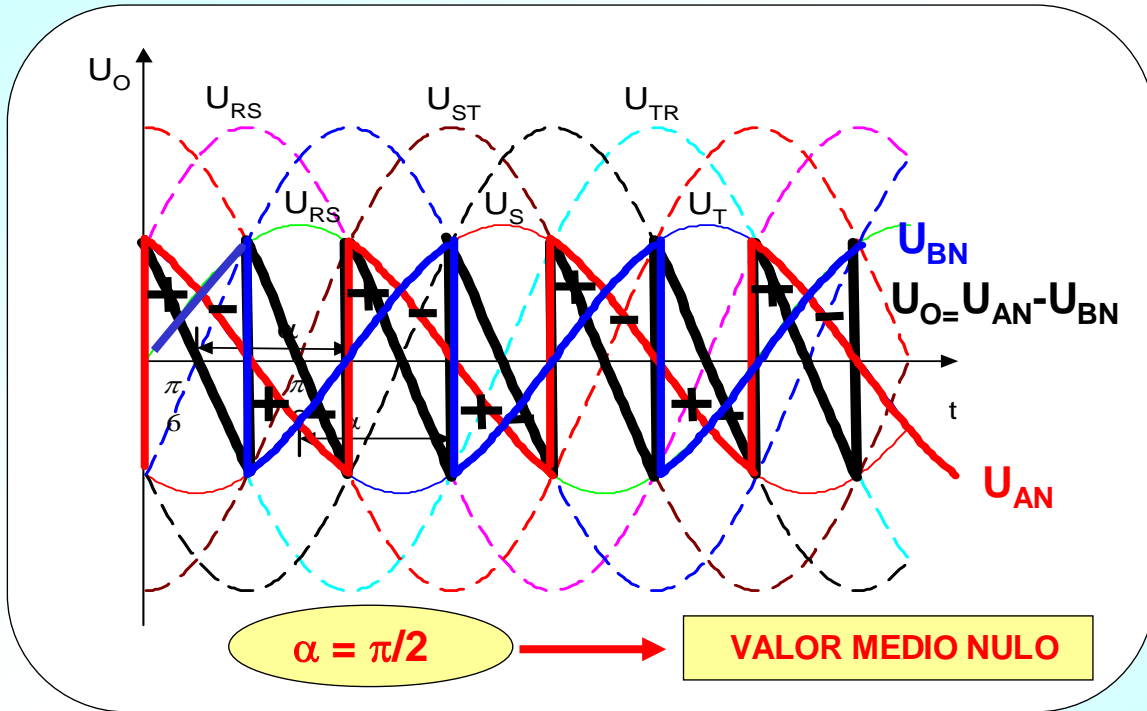
$$U_{0eff} = \sqrt{\frac{3}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\frac{\pi}{2} + \alpha} U_{RS}^2 d\omega t} = \sqrt{3} U_M \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi} \cos 2\alpha}$$



Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

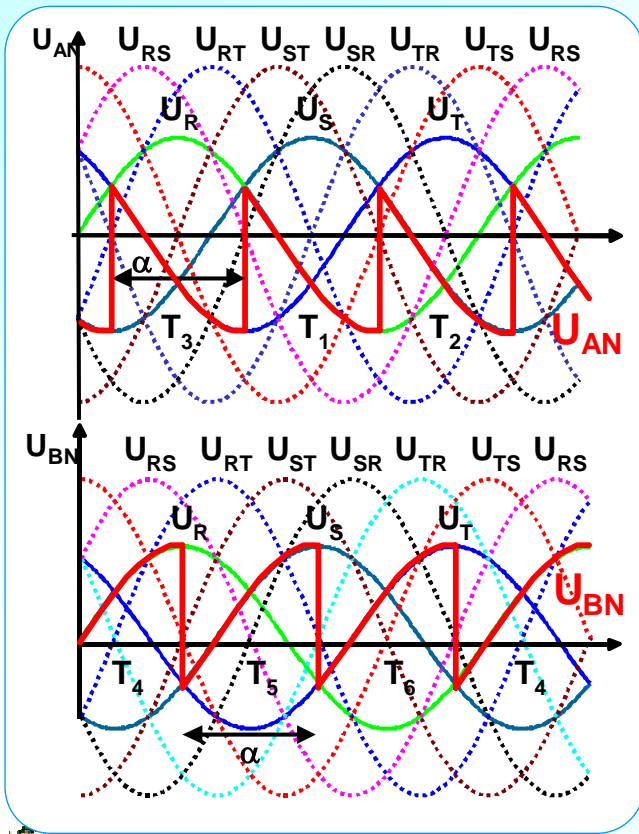
5.5.3 Rectificador trifásico de doble onda controlado



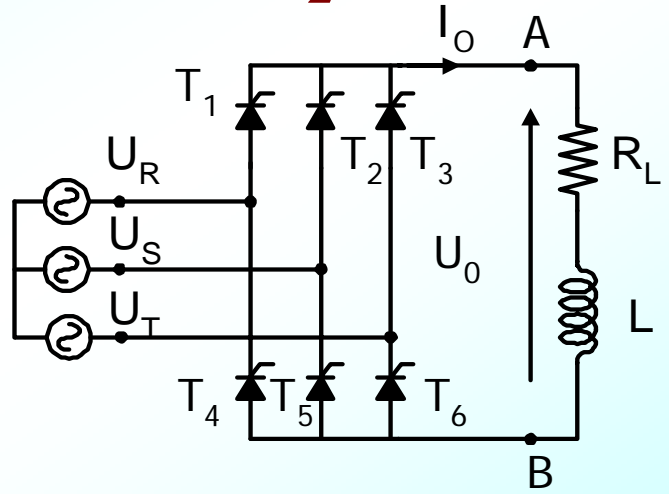
Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

5.5.3 Rectificador trifásico de doble onda controlado



$$\alpha > \frac{\pi}{2}$$

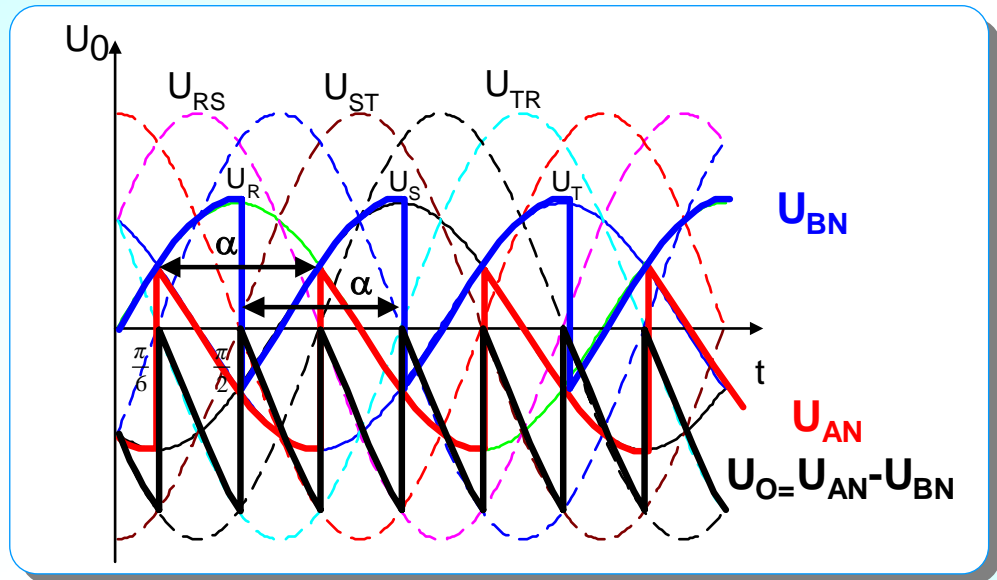


Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

5.5.3 Rectificador trifásico de doble onda controlado

$$\alpha > \frac{\pi}{2}$$



$$U_{0CC} = \frac{3}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\frac{\pi}{2} + \alpha} U_{RS} d\omega t = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} U_M \cos \alpha$$

VALOR MEDIO NEGATIVO

$$U_{0eff} = \sqrt{\frac{3}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6} + \alpha}^{\frac{\pi}{2} + \alpha} U_{RS}^2 d\omega t} = \sqrt{3} U_M \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi} \cos 2\alpha}$$

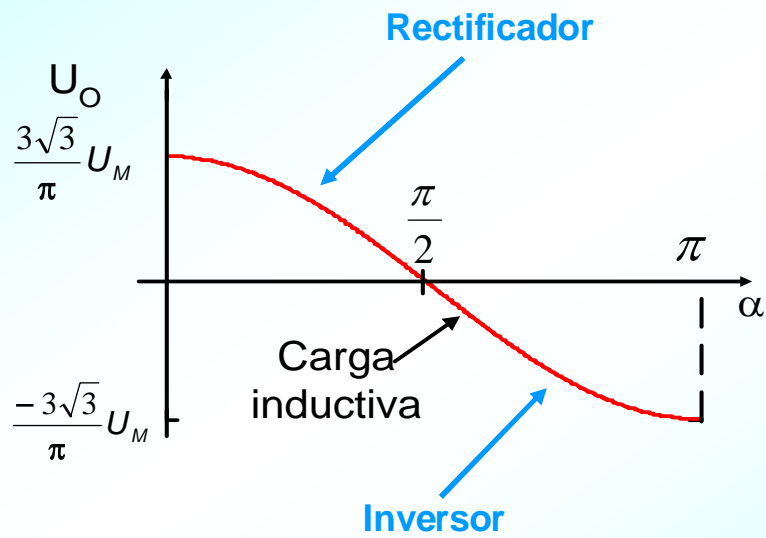


Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

5.5.3 Rectificador trifásico de doble onda controlado

Variación de la tensión de salida



$$\alpha = 0^\circ \rightarrow U_o = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} U_M$$

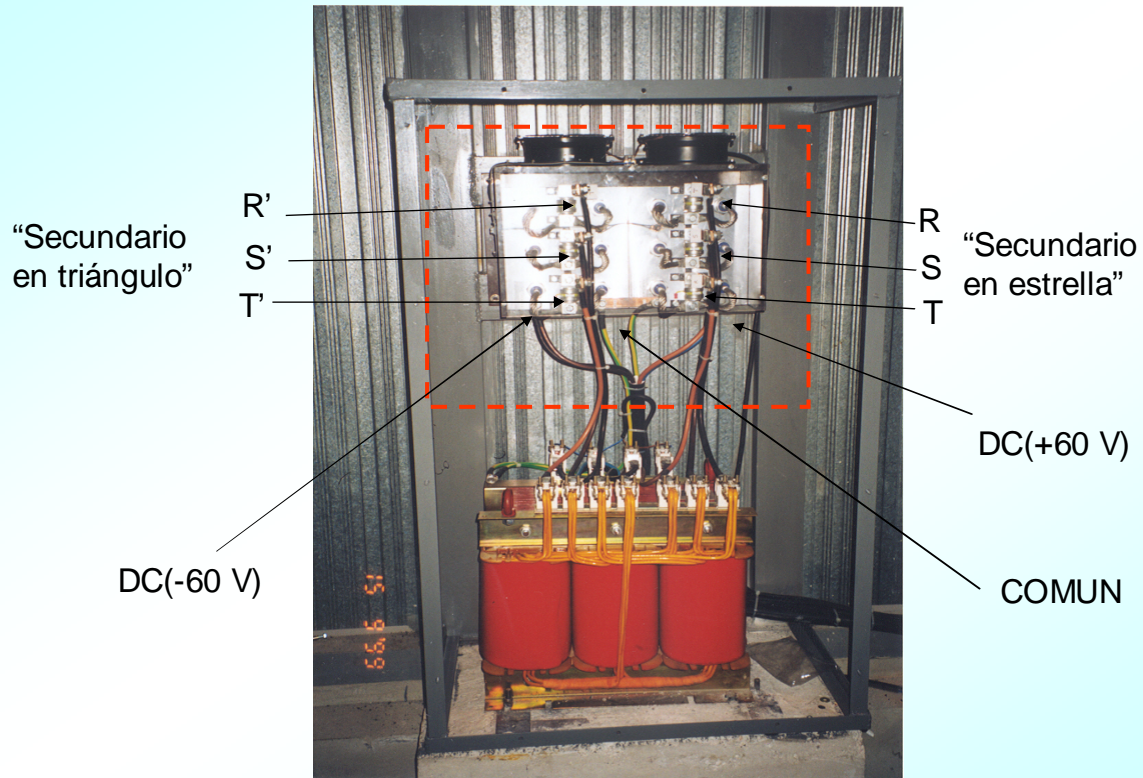
$$\alpha = 180^\circ \rightarrow U_o = -\frac{3\sqrt{3}}{\pi} U_M$$



Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

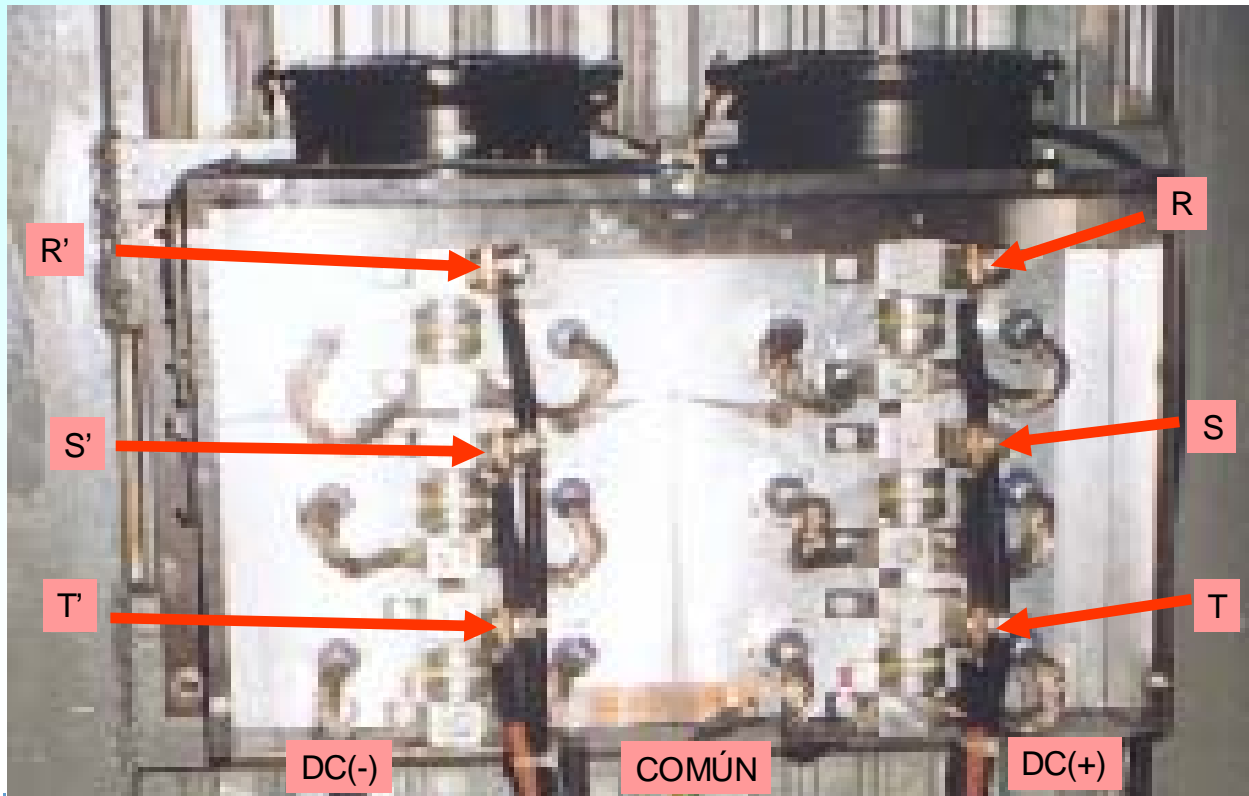
CONEXIÓN EN SERIE DE DOS RECTIFICADORES TRIFÁSICOS DE ONDA COMPLETA NO CONTROLADOS



Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos

CONEXIÓN EN SERIE DE DOS RECTIFICADORES TRIFÁSICOS DE ONDA COMPLETA NO CONTROLADOS



Universidad de Oviedo

Lecciones 4 y 5. - Rectificadores trifásicos