

Convertidores alterna-alterna.

Reguladores de alterna monofásicos.

Regulador con control integral.

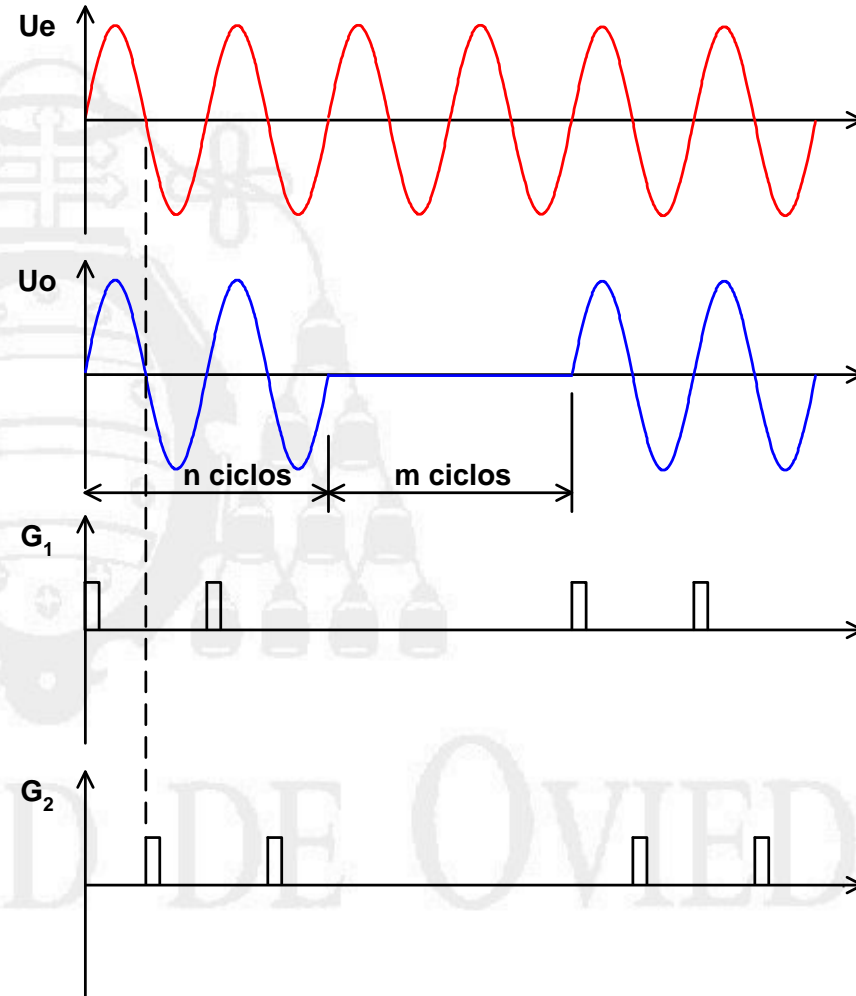
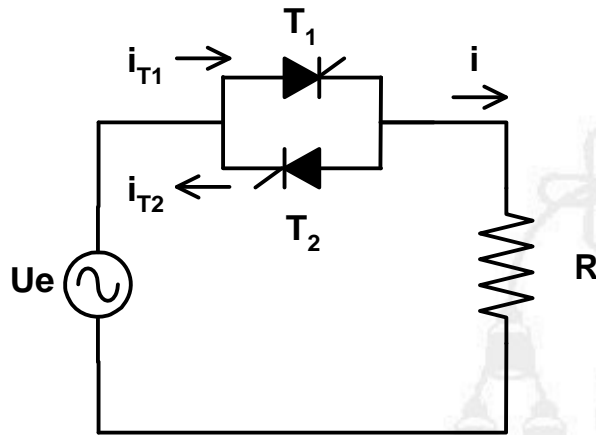
Regulador con control de fase unidireccional y bidireccional.

Regulador con tiristores con cátodo común.

Regulador con un solo tiristor y 4 diodos.

Reguladores basados en transformadores con tomas.

8.1 Regulador con control integral.



CONTROL INTEGRAL

El control se efectúa dejando pasar un número entero de semiciclos.

El contenido armónico introducido en la red es reducido debido a que las conmutaciones se hacen en el paso por cero.

Regulador con control integral.

El valor eficaz de la tensión de salida es:

$$V_{0,ef} = \sqrt{\frac{n}{2\pi(m+n)} \int_0^{2\pi} [\sqrt{2} \cdot V_{E,ef} \cdot \text{sen}(\omega t)]^2 d(\omega t)} = V_{E,ef} \cdot \sqrt{\frac{n}{m+n}}$$

donde n es el número de ciclos que la entrada está conectada a la carga y m es el número de ciclos que la entrada está desconectada.

$n/(m+n)$ se le denomina ciclo de trabajo.

APLICACIONES:

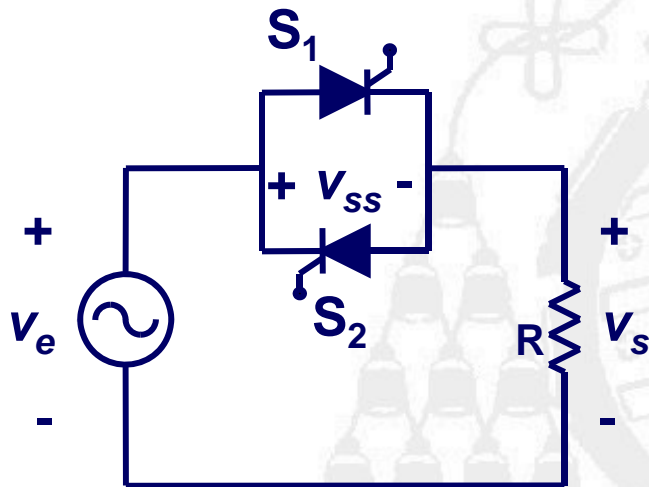
Este tipo de control se utiliza en aplicaciones donde se tiene una alta inercia mecánica y una alta constante de tiempo térmica.

Por ejemplo, en la calefacción industrial y en el control de velocidad de motores.

Regulador con control integral.

Control de fase integral

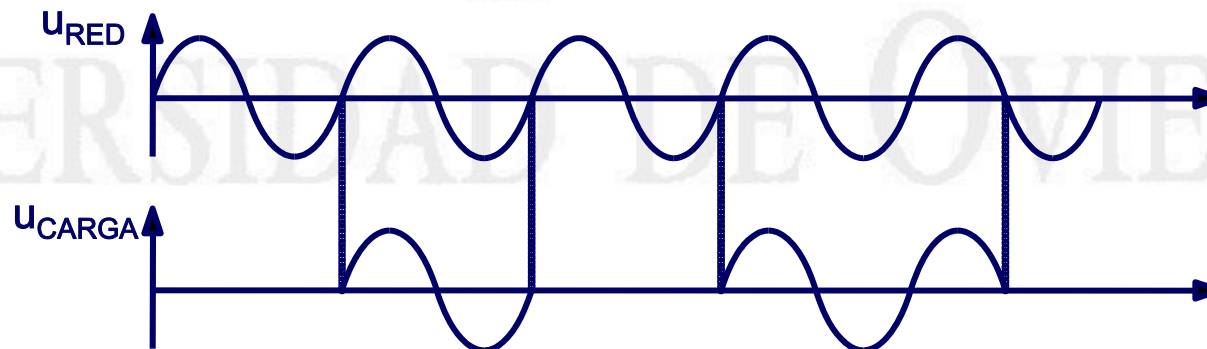
Calefacción por caldeo resistivo



En el caso de calefacción, debido a bajas constantes de tiempo, se emplea control integral.

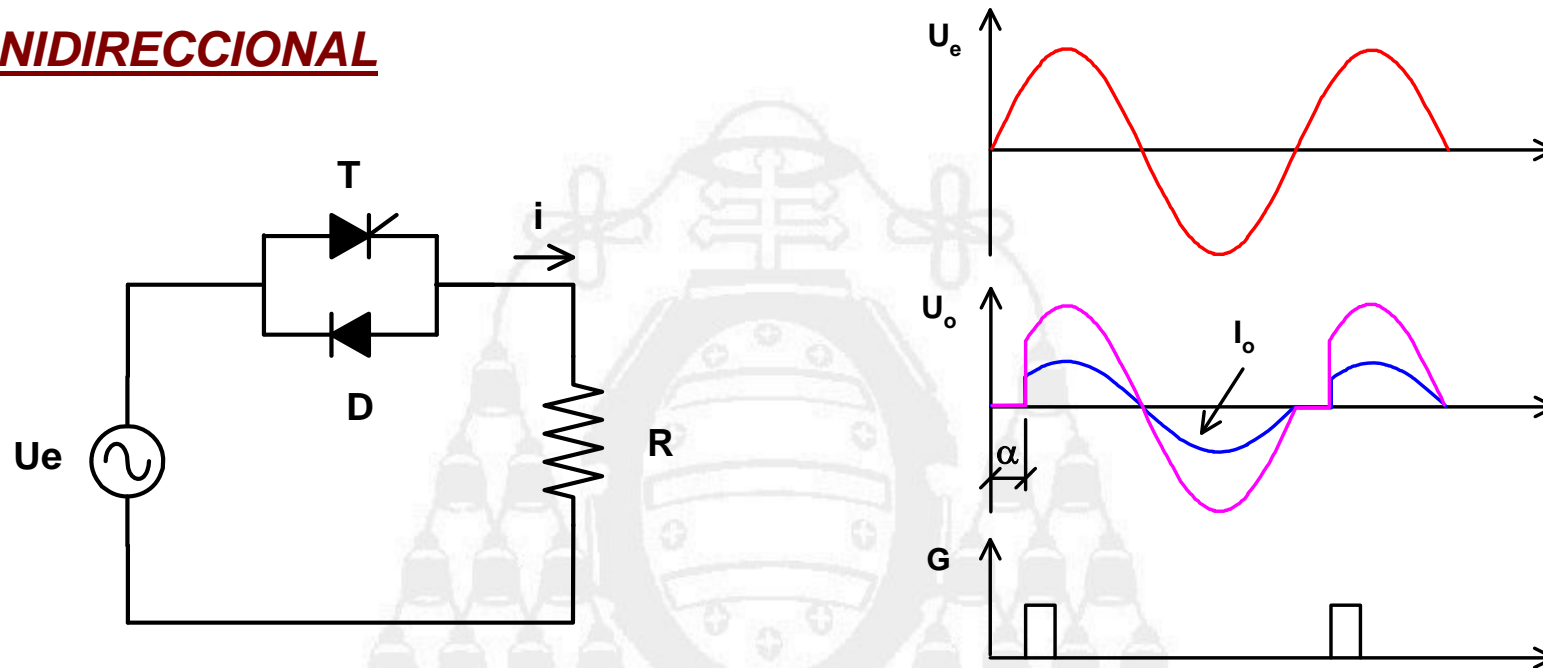
El control se implementa fácilmente mediante un termostato con histéresis

También en caldeo trifásico



Regulador con control de fase.

UNIDIRECCIONAL



-Debido al diodo, el rango de control está limitado:

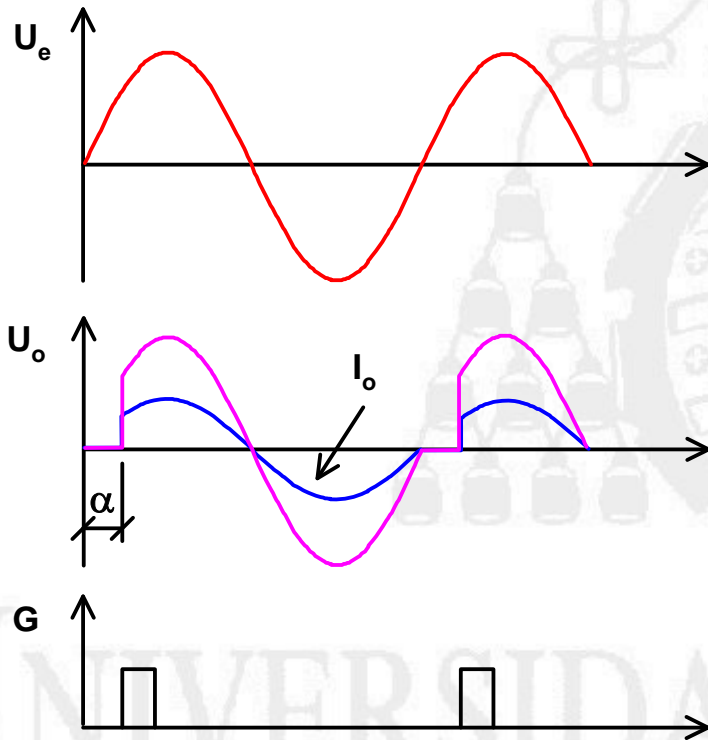
$$70,7\% < U_{O(RMS)} < 100\%$$

-La tensión de salida y la corriente de entrada son asimétricos y contienen un nivel de CC. (Podría producir un problema de saturación si se utiliza un transformador de entrada).

-Aplicaciones de poca potencia: Calefacción e iluminación.

Regulador con control de fase.

UNIDIRECCIONAL (cont.)



El valor eficaz de la tensión de salida es:

$$V_{0,ef} = V_{E,ef} \cdot \sqrt{\frac{1}{2\pi} \cdot \left(2\pi - \alpha + \frac{\text{sen}(2\alpha)}{2} \right)}$$

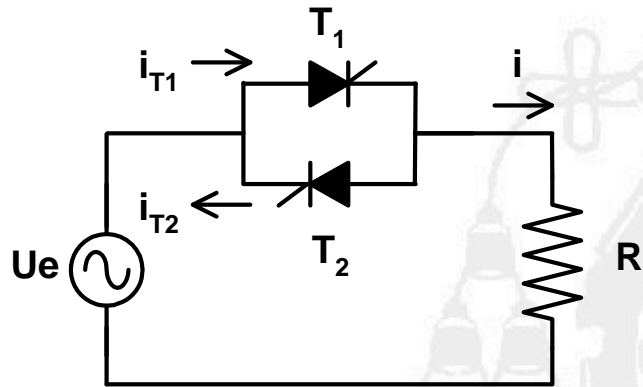
El valor medio de la tensión de salida es:

$$V_{0CC} = \frac{\sqrt{2} \cdot V_{E,ef}}{2\pi} \cdot (\cos \alpha - 1)$$

Apenas se utiliza debido al peligro de saturación del posible transformador de entrada, que produce el nivel de continua.

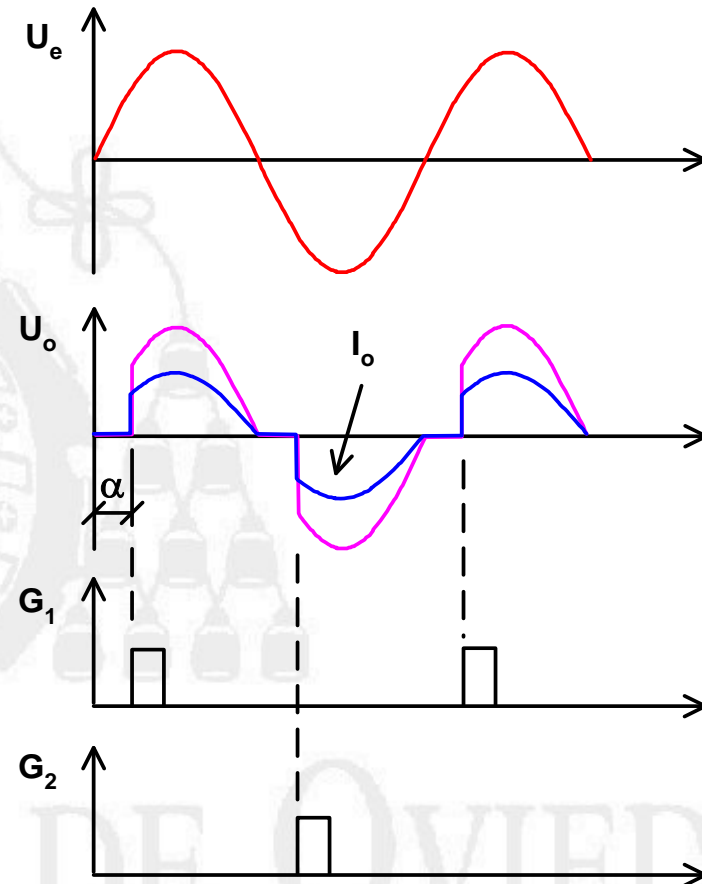
Regulador con control de fase.

BIDIRECCIONAL (carga R)



El valor eficaz de la tensión de salida es:

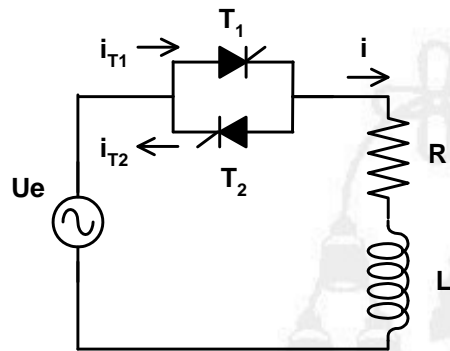
$$V_{0,ef} = V_{E,ef} \cdot \sqrt{\frac{1}{\pi} \cdot \left(\pi - \alpha + \frac{\text{sen}(2\alpha)}{2} \right)}$$



- Debido a los dos tiristores, el rango de control es total.
- La tensión de salida y la corriente de entrada son simétricos.

Regulador con control de fase.

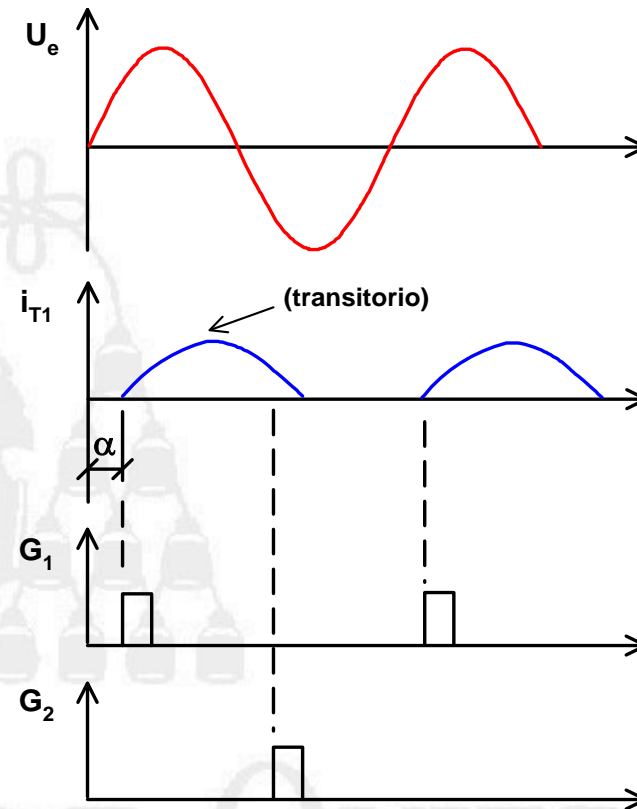
BIDIRECCIONAL (carga R-L)



Es el caso más habitual.

La impedancia de la carga es:

$$Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} \quad \varphi = \arctg\left(\frac{\omega L}{R}\right)$$



En t_1 se dispara T_1 , aplicándose la tensión de entrada a la carga.

Para hallar la expresión de la corriente se resuelve la ecuación integral:

$$V_{EM} \cdot \text{sen}(\omega t) = R \cdot i + L \cdot \frac{di}{dt}$$

Regulador con control de fase.

Para hallar la expresión de la corriente se resuelve la ecuación integral:

$$V_{EM} \cdot \text{sen}(\omega t) = R \cdot i + L \cdot \frac{di}{dt}$$

La solución es:

$$i = \frac{V_{EM}}{Z} \text{sen}(\omega t - \varphi) - \frac{V_{EM}}{Z} \text{sen}(\alpha - \varphi) \cdot e^{-\frac{R}{L} \left(t - \frac{\alpha}{\omega} \right)}$$

La intensidad se anula en el instante t_2 y se bloquea T1, cumpliéndose:

$$\text{sen}(\omega t_2 - \varphi) = \text{sen}(\alpha - \varphi) \cdot e^{-\frac{R}{L} \left(t_2 - \frac{\alpha}{\omega} \right)} \Rightarrow t_2$$

En t_3 , se dispara T2 y por la carga pasa una semionda como la anterior pero de sentido opuesto. ¿Bajo qué condición $t_2=t_3$? Sustituyendo:

$$\omega t_2 = \omega t_3 = \pi + \alpha \quad \text{operando:} \quad \alpha = \varphi$$

Para ese ángulo, la intensidad carece de transitorio y es senoidal.

Además, la tensión de salida es máxima.

Así, el control se realiza variando α desde φ hasta π

Regulador con control de fase.

El valor eficaz de la tensión de salida es:

$$V_{0ef} = \sqrt{\frac{2}{T} \int_{\alpha/\omega}^{t_2} V_{EM}^2 \text{sen}^2(\omega t) \cdot dt} \quad \longrightarrow \quad V_{0ef} = V_{E,ef} \cdot \sqrt{\frac{\omega t_2 - \alpha}{\pi} + \frac{\text{sen}(2\alpha) - \text{sen}(2\omega t_2)}{2\pi}}$$

El valor eficaz del armónico fundamental es (desarrollo de Fourier):

$$V_{1,ef} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{A_{1M}^2 + B_{1M}^2}$$

Donde:

$$A_1 = \frac{4}{T} \int_{\alpha/\omega}^{t_2} V_{EM} \text{sen}(\omega t) \cos(\omega t) \cdot dt = \frac{\sqrt{2} \cdot V_{E,ef}}{\pi} \cdot (\text{sen}^2(\omega t_2) - \text{sen}^2(\alpha))$$

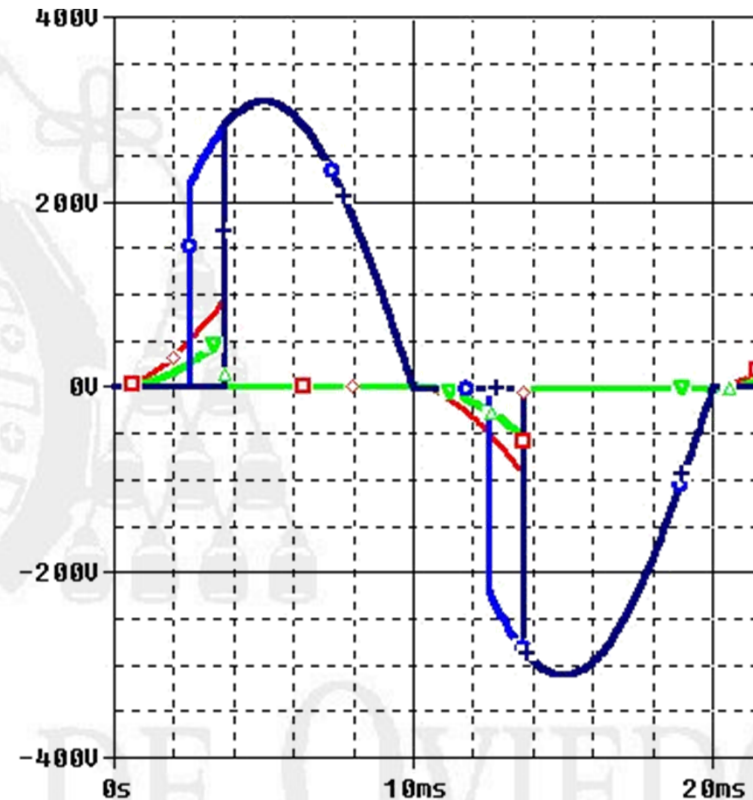
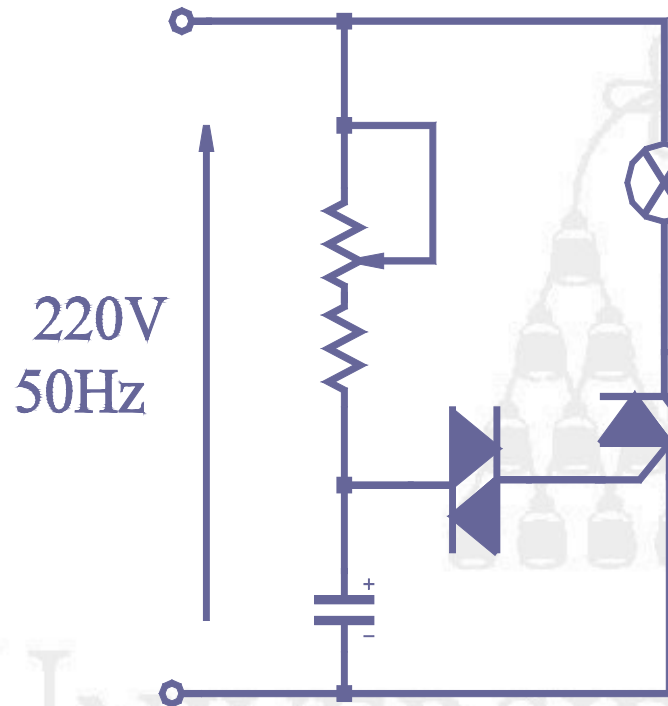
$$B_1 = \frac{4}{T} \int_{\alpha/\omega}^{t_2} V_{EM} \text{sen}^2(\omega t) dt = \frac{\sqrt{2} \cdot V_{E,ef}}{\pi} \cdot \left(\omega t_2 - \alpha - \frac{\text{sen}(2\omega t_2) - \text{sen}(2\alpha)}{2} \right)$$

La distorsión total de la tensión de salida es:

$$D_T = \sqrt{\left(\frac{V_{0,ef}}{V_{01,ef}} \right)^2 - 1}$$

Regulador con control de fase.

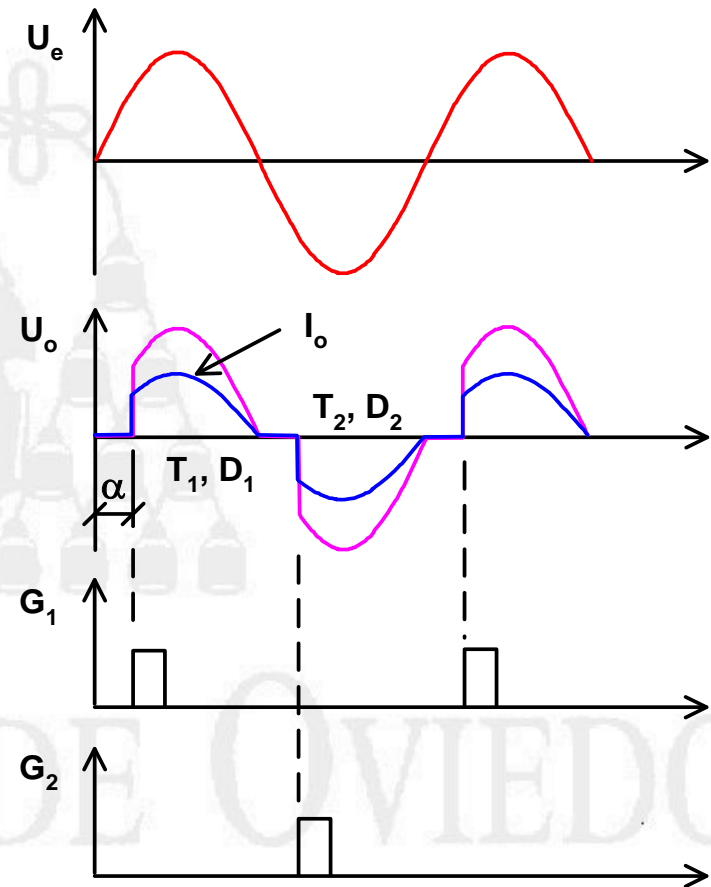
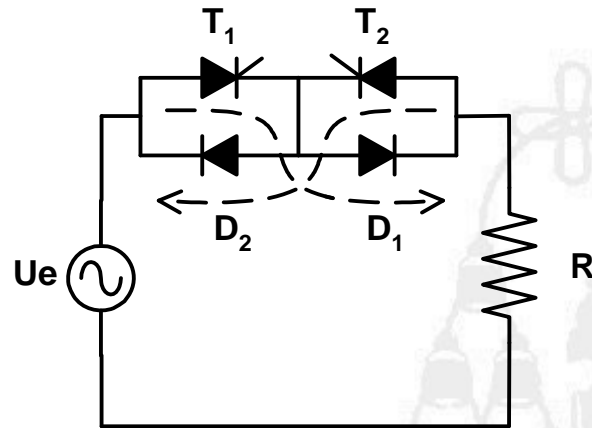
Ejemplo práctico: Control de luminosidad de una lámpara.



Los tiristores en antiparalelo se substituyen por un TRIAC.

- La carga del condensador se regula manipulando el potenciómetro.
- El disparo por sobretensión del DIAC proporciona el pulso de puerta.

Regulador con tiristores con cátodo común.

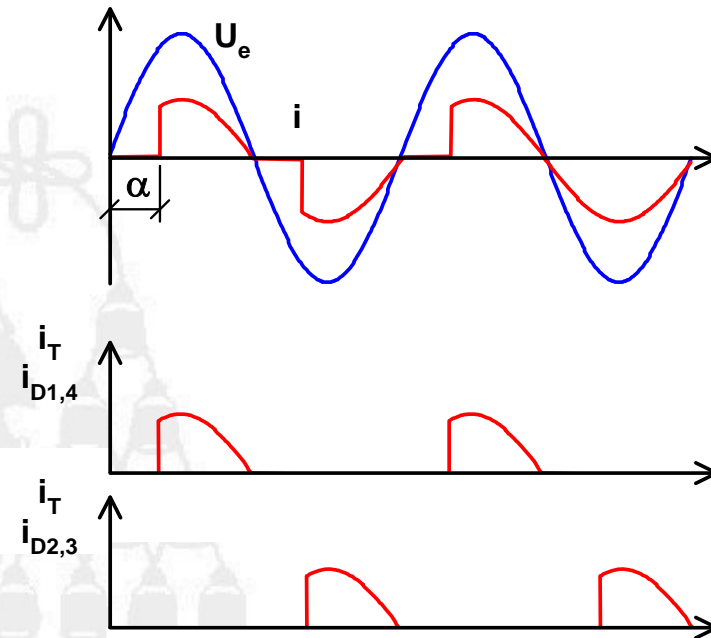
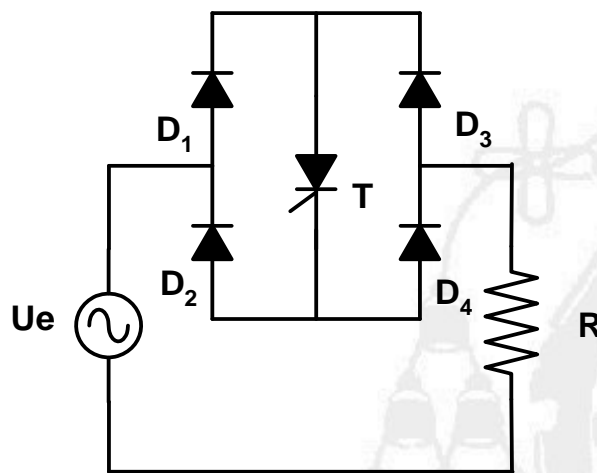


- El circuito de disparo es mucho más sencillo.

- **INCONVENIENTE:**

La caída de tensión en el interruptor equivale a dos semiconductores puestos en serie.

Regulador con un solo tiristor y 4 diodos.

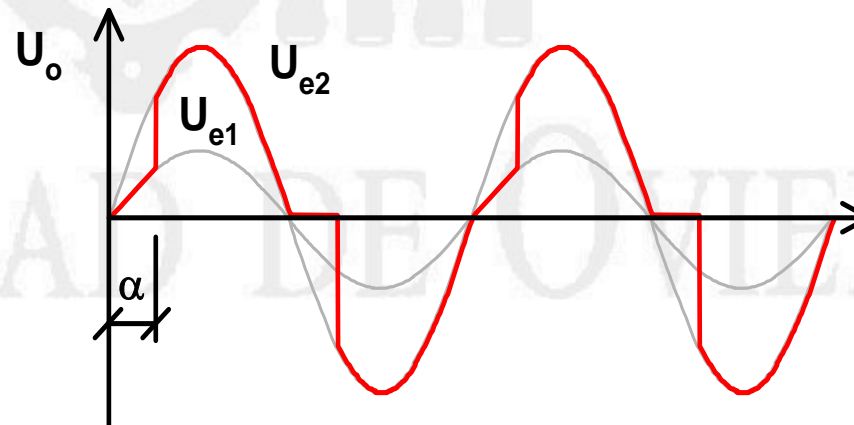
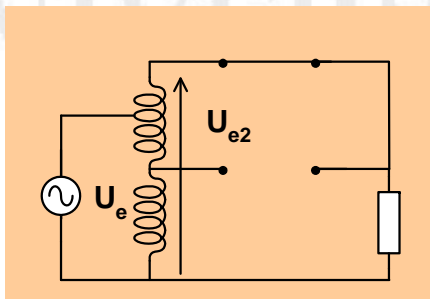
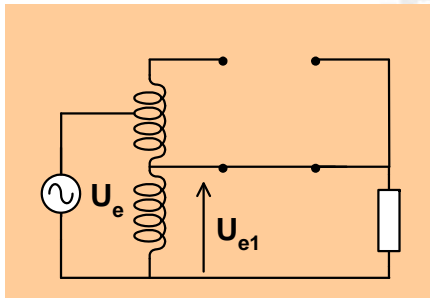
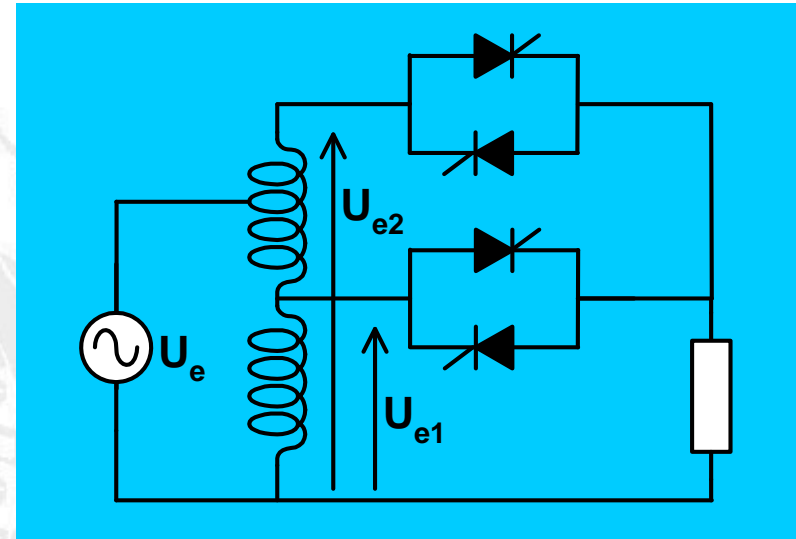


- La caída de tensión es aún mayor, equivalente a tres semiconductores en serie.
- El tiristor conduce la corriente de la carga rectificadora, es decir, prácticamente continua. Por eso, el apagado es muy difícil.
- Solo válido para cargas prácticamente resistivas.

Reguladores basados en trafo. con tomas.

REGULADORES DIFERENCIALES

La tensión de salida tiene un margen más estrecho de variación y se necesita un autotransformador. El valor instantáneo de la tensión de salida es el del valor máximo o del mínimo.



8 Problemas

Ejercicio El esquema adjunto muestra un regulador de fase trifásico con control integral que alimenta una carga resistiva y equilibrada conectada con cable de neutro. La red trifásica es de 50Hz y 400V, mientras que las resistencias son de 50Ω . Si se disparan los tiristores con un ángulo de 90° .

- Especifique los tiempos de conducción de cada uno de los tiristores.
- Dibuje la tensión de una de las resistencias.
- Calcule la potencia entregada por la alimentación trifásica.

