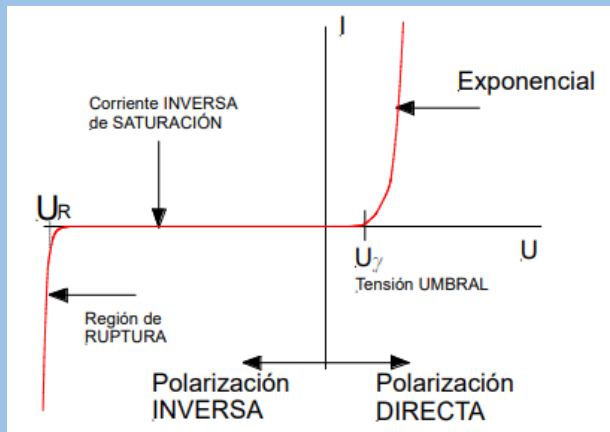
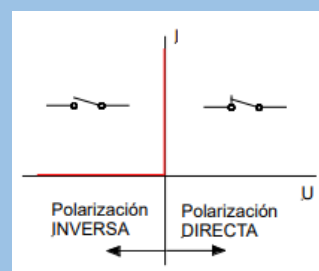
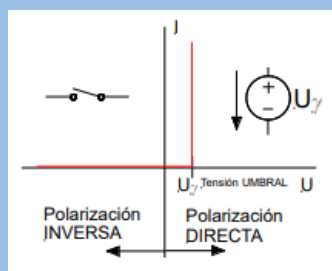
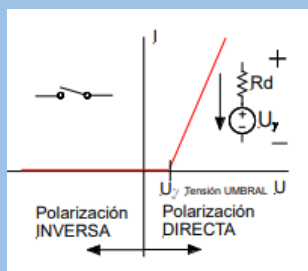


Introducción

Mostramos la curva real de un diodo. La polarización directa se da cuando se aplica una tensión positiva en el ánodo y por tanto negativa en el cátodo (+ a – en sentido de flecha). La polarización inversa se da en el caso contrario (+ a – en sentido opuesto a la flecha).



Se usan varios modelos para representar el comportamiento de diodos, de los cuales se destacan el modelo completo (izquierda), el de solo fuente (centro) y el ideal (derecha).

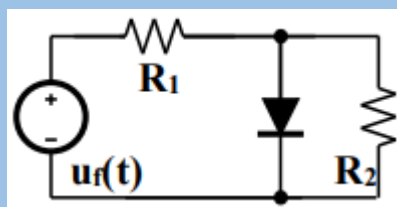


En el caso ideal, si la tensión es “positiva” en el ánodo se comporta como una llave cerrada sin presentar resistencia, pero si la tensión es “negativa” en el ánodo es como una llave abierta.

Ejercicio 02

Para el circuito de la figura: $u_f = 10 \sin(314 t) V$ $R_1 = 1 \Omega$ $R_2 = 10 \Omega$.

b) Determinar la expresión y graficar la tensión en la carga R_2 suponiendo diodo ideal.



En el semiciclo positivo de la fuente, el diodo tiene polarización directa, por lo que no circula corriente por R_2 .

En el semiciclo negativo de la fuente, el diodo tiene polarización inversa, por lo que circula $I = \frac{U_f}{R_1 + R_2}$ por R_2 .

Llamemos T a la duración de un semiciclo, partiendo desde 0.

$$T = f^{-1} = 0.02 \text{ s}$$

Para $t \in [0, T/2]$: $U_{R_2} = U_{\text{diodo}} = 0 V$

Para $t \in [T/2, T]$: $u_{R_2}(t) = u_f(t) * \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{10}{11} * 10 \sin(\omega t) = 9.09 \sin(314t) V$

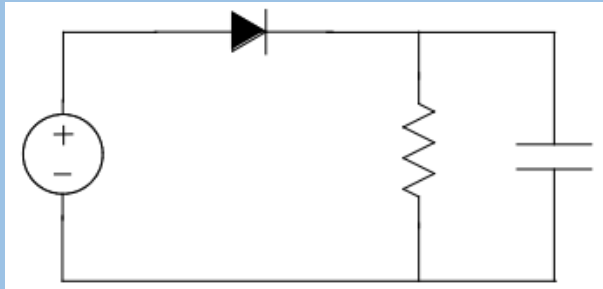
$$U_{R_2, \text{medio}} = \frac{1}{T} \int_0^T U_{R_2}(t) dt = \frac{1}{T} \int_{T/2}^T 9.09 \sin(\omega t) dt = (-2) \frac{9.09}{2\pi} = -2.89 V$$

c) Explicar por qué no pueden utilizarse fasores para resolver circuitos con diodos rectificadores que cambian de estado.

Rta supuesta: porque la amplitud cambia en $[0, T]$

Ejercicio 03 – Filtro a capacitor

Ilustrar con circuitos cómo es el funcionamiento de los rectificadores con filtro a capacitor. Dibujar las gráficas de los casos planteados y comparar sus efectos respecto de los sin filtro. ¿Qué logra el filtro en términos matemáticos y circuitales en un circuito?



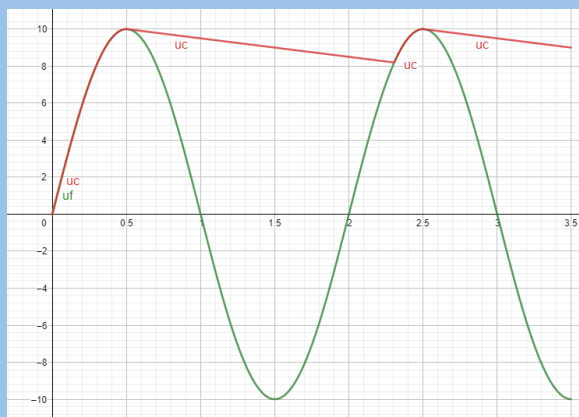
En el semiciclo positivo de la fuente, el diodo tiene polarización directa, por tanto $u_{RC} = u_f$ y se va cargando el capacitor.

Pero lo anterior es al inicio hasta que la tensión de la fuente alcanza su máximo.

Luego u_f disminuye y R es alimentado por el capacitor que tiene $u_c > u_f$

La tensión del capacitor va disminuyendo según la constante de tiempo en particular. Durante este transcurso de tiempo el diodo tiene una polarización inversa (revisar clase09_p1.mp4)

Llegará un momento en que u_f es creciente otra vez y a partir del nuevo punto $u_f = u_c$ ocurrirá que las tensiones seguirán siendo iguales hasta el siguiente máximo de u_f



El circuito sin filtro (solo diodo y R) tiene una mayor ondulación, ya que la amplitud va desde 0V hasta el máximo de la fuente.

El circuito con filtro, considerando desde el primer máximo en adelante, tiene una amplitud mucho menor, y por tanto menor ondulación, que es el objetivo al rectificar.

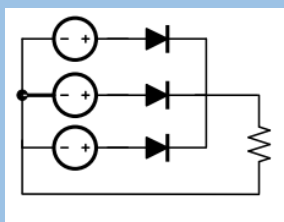
El filtro permite que las frecuencias bajas de la poliarmónica pasen en mayor proporción a comparación a las frecuencias altas.

Recordemos que la corriente continua es vista como una corriente de frecuencia 0 (baja).

Ejercicio 05 – Rectificador trifásico

El circuito de la figura es un rectificador trifásico media onda que alimenta un resistor. La tensión de fase eficaz es 220 V y los diodos pueden considerarse ideales. $R = 100 \, \Omega$ $f = 50 \, \text{Hz}$.

Plantear las expresiones de las tensiones como $f(t)$ y graficarlas con la mayor exactitud posible.



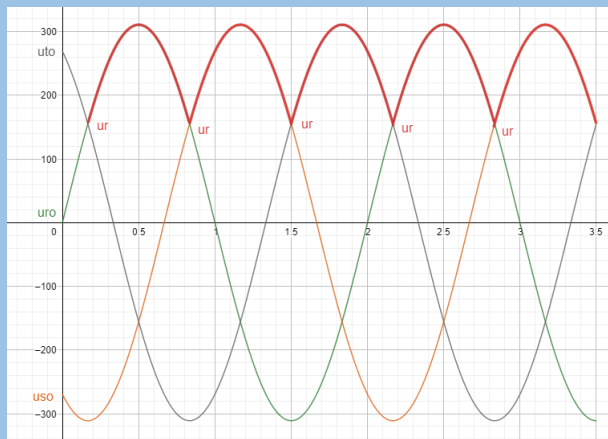
$$u_{RO}(t) = 220\sqrt{2} \sin(314t) \, \text{V}$$

$$u_{SO}(t) = 220\sqrt{2} \sin(314t - 120^\circ) \, \text{V}$$

$$u_{TO}(t) = 220\sqrt{2} \sin(314t + 120^\circ) \, \text{V}$$

Solo habrá 1 diodo en polarización directa en cada instante de tiempo.

b) Determinar los valores de la tensión correspondiente a los cruces de las ondas de las tensiones de fase y los ángulos para los cuales se producen dichos cruces en el primer ciclo.



El gráfico de la izquierda muestra las ondas de tensión de la fuente, y en rojo la tensión aplicada a la resistencia. El eje de tiempo está basado en $T/2 = 0.5 f^{-1} = 0.01 s$

$$u_{TO}(t) = u_{RO}(t)$$

$$311 \operatorname{sen}(\omega t + 120^\circ) = 311 \operatorname{sen}(\omega t)$$

$$\operatorname{sen}(\omega t + 120^\circ) = \operatorname{sen}(\omega t)$$

$$\operatorname{sen}(\omega t) * \cos(120^\circ) + \cos(\omega t) * \operatorname{sen}(120^\circ) = \operatorname{sen}(\omega t)$$

$$-\frac{\operatorname{sen}(\omega t)}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) = \operatorname{sen}(\omega t) \quad \therefore \quad \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) = \frac{3}{2} \operatorname{sen}(\omega t)$$

$$\cos(\omega t) = \sqrt{3} \operatorname{sen}(\omega t) \quad \therefore \quad \frac{1}{\sqrt{3}} = \operatorname{tg}(\omega t) \quad \therefore \quad \omega t = 30^\circ \quad \left(\frac{1}{12} T \right) \quad \wedge \quad \omega t = -150^\circ$$

$$u_{RO}(t) = u_{SO}(t) \Rightarrow 311 \operatorname{sen}(\omega t) = 311 \operatorname{sen}(\omega t - 120^\circ) \Rightarrow \operatorname{sen}(\omega t) = \operatorname{sen}(\omega t - 120^\circ)$$

$$\operatorname{sen}(\omega t) = \operatorname{sen}(\omega t) * \cos(-120^\circ) + \cos(\omega t) * \operatorname{sen}(-120^\circ) = -\frac{\operatorname{sen}(\omega t)}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t)$$

$$\frac{\sqrt{3}}{2} \cos(\omega t) = -\frac{3}{2} \operatorname{sen}(\omega t) \quad \therefore \quad -\frac{1}{\sqrt{3}} = \operatorname{tg}(\omega t) \quad \therefore \quad \omega t = -30^\circ \quad \wedge \quad \omega t = 150^\circ \quad \left(\frac{5}{12} T \right)$$

$$u_{SO}(t) = u_{TO}(t) \Rightarrow 311 \operatorname{sen}(\omega t - 120^\circ) = 311 \operatorname{sen}(\omega t + 120^\circ)$$

$$\operatorname{sen}(\omega t) * \cos(120^\circ) - \cos(\omega t) * \operatorname{sen}(120^\circ) = \operatorname{sen}(\omega t) * \cos(120^\circ) + \cos(\omega t) * \operatorname{sen}(120^\circ)$$

$$2 \cos(\omega t) \operatorname{sen}(120^\circ) = 0 \quad \therefore \quad \cos(\omega t) = 0 \quad \therefore \quad \omega t = 90^\circ \quad \wedge \quad \omega t = -90^\circ \quad (9/12 T)$$

De los ángulos obtenidos nos quedamos con los 3 que permiten tensiones positivas.

El valor de la tensión en los 3 casos es: $U_{cruce} = 311 \operatorname{sen}(30^\circ) V = 155.5 V$

d) Explicar qué es la ondulación y mostrar la expresión que permite determinarla. ¿Por qué es conveniente que un circuito rectificador tenga una baja ondulación? Justificar. Calcular el valor medio de la tensión en la carga y el factor de ondulación de la misma.

$$r = \frac{U_{R,max} - U_{R,min}}{2 U_{CC}} = \frac{311 - 155.5}{2 * \frac{1}{T} \int_0^T U_R(t) dt} = \frac{155.5}{2 * 3 * \sqrt{3} * \frac{311}{2\pi}} = \frac{77.75}{257.2} = 0.3023$$

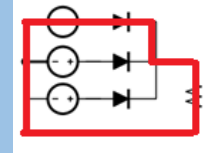
e) Determinar los intervalos de conducción de cada diodo y el valor de tensión pico inversa en los mismos. ¿Qué ventajas y desventajas tienen los rectificadores trifásicos vs los monofásicos?

En este caso, cada diodo tiene polarización directa cuando la fuente de su rama está aportando la mayor tensión de las 3 al circuito en dicho instante. Con ayuda del gráfico tenemos:

Diodo R: entre 30° y 150°

Diodo S: entre 150° y 270°

Diodo T: entre 270° y 390° (o 30° del siguiente ciclo)



Para el valor de pico, analicemos un máximo de u_R , por ejemplo 90° . Encontramos que las tensiones de las fuentes S y T son negativas, y ambas valen -155.5 V

Para dicho instante ocurre para los diodos S y T: $u_{\text{diodo}} = -155.5 - 311 = -466.5\text{ V}$

De manera análoga se puede comprobar en 210° para R y T; como también en 330° para R y S.

Ejercicio 06 – Factor de ondulación

a) Para los circuitos vistos calcular el valor U_{medio} en la carga y el factor de ondulación.

Ej 2: $U_{R2,\text{medio}} = (-2) \frac{9.09}{2\pi} = -2.89\text{ V}$ $U_{R2,\text{max}} = 0$ $U_{R2,\text{min}} = -9.09\text{ V}$

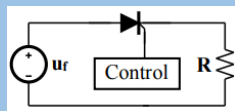
$$r\% = \frac{0+9.09}{2 \cdot |-2.89|} * 100 = \frac{4.5450}{2.89} * 100 = 157.3\%$$

Ej 5: $U_{R,\text{medio}} = 3 * \sqrt{3} * \frac{311}{2\pi} = 257.2\text{ V}$ $U_{R,\text{max}} = 311\text{ V}$ $U_{R,\text{min}} = 155.5\text{ V}$

$$r\% = \frac{311-155.5}{2 \cdot 257.2} * 100 = \frac{77.75}{257.2} * 100 = 30.23\% \quad \text{¿por qué en la guía da 8?}$$

Ejercicio 07 – Tiristor

El circuito de la figura es un rectificador de media onda controlado a tiristor. Se dispone de una fuente de tensión senoidal $u_f(t)$ y la carga es resistiva. $u_f(t) = 311 \cdot \sin(314t)\text{ V}$, $R = 14,65\ \Omega$



Explicar qué condiciones se deben cumplir en el circuito para que el tiristor se dispare y permita que la tensión de la fuente quede aplicada a la carga.

Basicamente que el semiconductor tenga polarización directa, es decir, la tensión de la fuente esté en su semiciclo positivo para este caso, y además, que el circuito de control de comienzo de la conducción en algún instante de dicho lapso de tiempo.

b) Calcular el valor medio y eficaz de la tensión en función del ángulo de disparo. Determinar el ángulo para lograr una tensión media de 48 V en la carga. ¿Depende de la frecuencia de la u_f ?

Semiciclo negativo de la fuente: $u_R = 0\text{ V}$

Semiciclo positivo, antes del disparo: $u_R = 0\text{ V}$

Semiciclo positivo, luego del disparo: $u_R(t) = u_f(t) = 311 \sin(314t)\text{ V}$

$$u_{R,\text{medio}} = \frac{1}{T} \int_0^T u_R(t) dt = \frac{311}{2\pi} \int_\phi^\pi \sin(\theta) d\theta = \frac{311}{2\pi} [1 + \cos(\phi)]\text{ V}$$

$$u_{R,ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (u_R(t))^2 dt} = \sqrt{\frac{311^2}{2\pi} \int_{\phi}^{\pi} \text{sen}^2(\theta) d\theta} = \sqrt{\frac{311^2}{2\pi} \int_{\phi}^{\pi} \left[\frac{1 - \cos(2\theta)}{2} \right] d\theta}$$

$$u_{R,ef} = \frac{311}{2} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left[\int_{\phi}^{\pi} d\theta - \int_{\phi}^{\pi} \cos(2\theta) d\theta \right]} = \frac{311}{2} \sqrt{\frac{1}{\pi} \left[\pi - \phi - \frac{[\text{sen}(2\pi) - \text{sen}(2\phi)]}{2} \right]}$$

$$u_{R,ef} = \frac{311}{2} \sqrt{\frac{\pi - \phi + \frac{\text{sen}(2\phi)}{2}}{\pi}} [V]$$

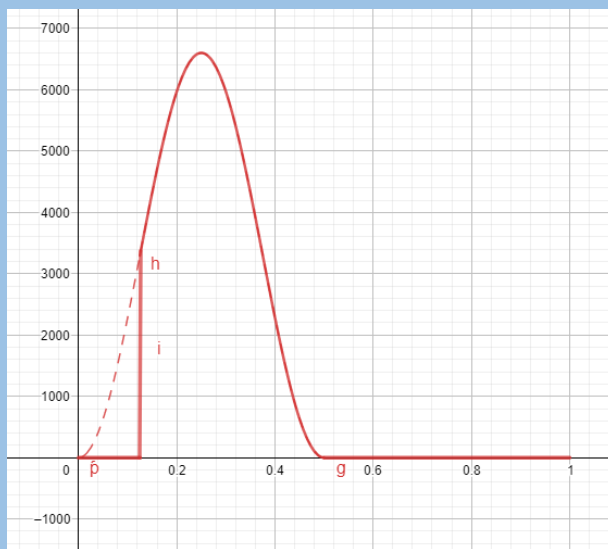
Ángulo pedido: $u_{R,medio}(\phi) = \frac{311}{2\pi} [1 + \cos(\phi)] V = 48 V$ (No depende de f)

$$1 + \cos(\phi) = \frac{48 * 2\pi}{311} \therefore \cos(\phi) = -0.03025 \therefore \phi = 91.73^\circ$$

c) Determinar y graficar la potencia instantánea en la carga. Determinar el valor de potencia media para un ángulo de disparo de 45° .

Si en el ciclo $\phi < \omega t < \pi$, entonces el valor es el siguiente mostrado abajo, sino vale 0 W.

$$p_R(t) = \frac{[u_R(t)]^2}{R} = \frac{311^2 \text{sen}^2(314t)}{14.65} = 6602 \text{sen}^2(314t) W$$



A la izquierda se muestra el valor de la potencia en R para un ciclo. Se dispara el tiristor a los 45° (por eso la línea vertical)

$$p_{R,media}(t) = \frac{1}{T} \int_0^T p_R(t) dt$$

$$p_{R,media}(\theta) = \frac{6602}{2\pi} \int_{\phi}^{\pi} \text{sen}^2(\theta) d\theta$$

$$= \frac{6602}{4\pi} \left[\int_{\phi}^{\pi} dt - \int_{\phi}^{\pi} \cos(2\phi) dt \right]$$

$$= \frac{3301}{2\pi} \left[\pi - \phi + \frac{\text{sen}(2\phi)}{2} \right]$$

$$p_{R,media}\left(\frac{\pi}{4}\right) = 525.4 * \left(\frac{3}{4}\pi + \frac{1}{2}\right) W = 1500 W$$

Adicionales 08 y 10

Se resolverán para el examen integrador.