

UNIDAD III

CONVERTIDORES
CA/CD NO
CONTROLADOS

3.0 CONVERTIDORES CA/CD NO CONTROLADOS

3.0 INTRODUCCIÓN



a) Soldador



b) Tablero Rectificador

Fig. 3.00 Procesos de voltaje CD

La corriente continua se utiliza en muchos procesos industriales tales, como:

a) Procesos electroquímicos: galvanizado, niquelado, cromado etc , en los cuales el transporte de carga eléctrica va acompañado de transporte de masa.

b) Cargas accionadas por motores de corriente continua.

c) Procesos de soldadura

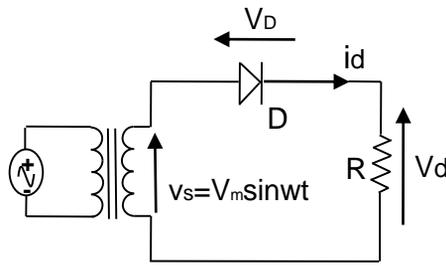
Las fuentes de corriente directa se obtienen de la fuente de corriente alterna, mediante convertidores CA/CD.

Para obtener un voltaje continuo, se debe aplicar a la salida del convertidor CA/CD un filtro pasa bajo, cuya naturaleza depende de la magnitud de la carga.

La mayoría de los procesos operan bajo condiciones de carga variable,

3.0 CONVERTIDORES CA/CD NO CONTROLADOS

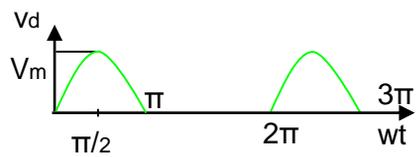
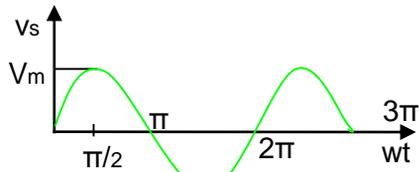
3.1 RECTIFICADOR MEDIA ONDA Y CARGA RESISTIVA



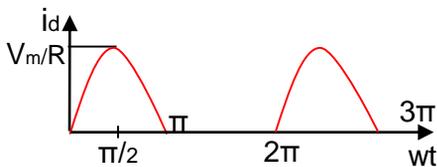
a) Circuito(1)

La conversión CA/CD más elemental se realiza utilizando un diodo. Al iniciarse el semiperíodo positivo, el diodo ideal se polariza en directo y conduce el voltaje de la fuente a la carga. Por ser la carga resistiva, la corriente está en fase con el voltaje. Al comenzar el semiperíodo negativo, el diodo se bloquea (polarización inversa), y la corriente desaparece.

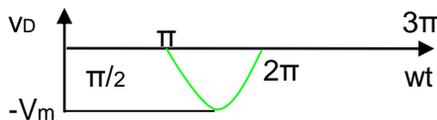
En la carga aparece únicamente el semiperíodo positivo de la fuente.



$$\langle v_d \rangle = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} V_m \sin(\omega t) d\omega t = \frac{V_m}{\pi} \quad (3.01)$$



La corriente en la fuente circula únicamente en el semiperíodo positivo, lo que genera una alta distorsión sobre la fuente, que se manifiesta en un alto THD.



El factor de rizado (FR) es alto:

$$FR = \frac{1}{2} \sqrt{\pi^2 - 4} \quad (3.02)$$

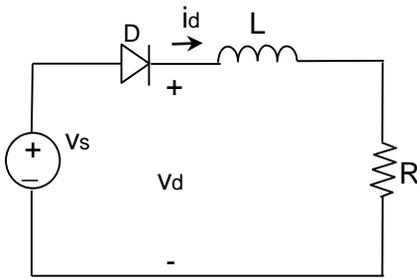
b) Formas de onda(1)

El V_{RRM} del diodo debe ser mayor que V_m y el I_{FRM} debe ser mayor a V_m/R .

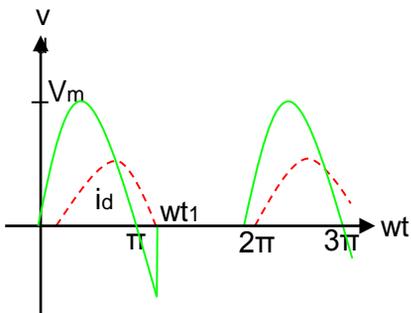
Fig. 3.01. Rectificador monofásico con carga resistiva

Este rectificador es ampliamente utilizado en las fuentes de poder de equipos portátiles, debido a su bajo costo

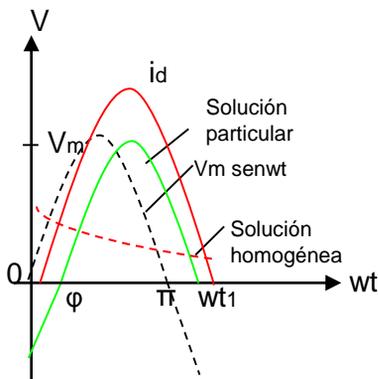
3.2 RECTIFICADOR MEDIA ONDA Y CARGA RESISTIVA-INDUCTIVA 2



a) Circuito(2)



b) Forma de onda de v_d e i_d (2)



c) Soluciones para i_d (2)

El diodo para conducir “mira” si la fuente lo polariza en directo. Si conduce, no le interesa la fuente, hasta que desaparezca la corriente. Al iniciar el semiperíodo positivo conduce D, e i_d crece con retardo respecto al voltaje. En $wt = \pi$, $i_d > 0$, D conduce y aparece en v_d una excursión negativa del voltaje (fig. 3.02b). La corriente se obtiene de la solución de la siguiente ecuación diferencial

$$V_m \sin(\omega t) = R i_d + L \frac{d i_d}{d t} \quad (3.03)$$

La solución particular (régimen permanente) es:

$$i_d = \frac{V_m}{Z} \sin(\omega t - \varphi) \quad (3.04)$$

La solución de régimen transitorio es:

$$i_d = \frac{V_m \sin \varphi e^{-Rt/L}}{Z} \quad (3.05)$$

La corriente se extingue en wt_1 . Este valor depende de L y R. El voltaje promedio depende de wt_1 , y por lo tanto de la carga

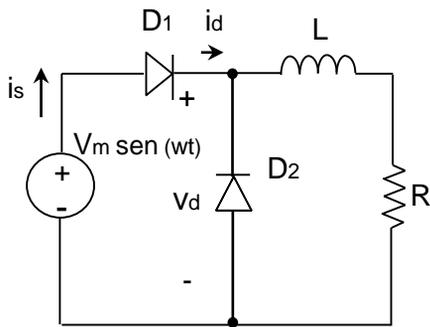
$$\langle v_d \rangle = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\omega t_1} V_m \sin \omega t d(\omega t)$$

$$\langle v_d \rangle = f(L, R) \quad (3.06)$$

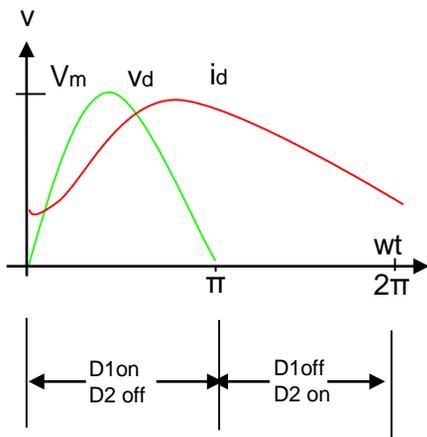
La dependencia del voltaje con la carga es una situación indeseable.

Fig. 3.02. Rectificador monofásico con carga resistiva-inductiva

3.3 RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA CON CARGA RESISTIVA -INDUCTIVA Y DIODO EN ANTIPARALELO 2



a) Circuito(2)



b) Formas de onda(2)

Fig. 3.03 Rectificador media onda con carga resistiva-inductiva y diodo de rueda libre

Para hacer $\langle v_d \rangle$ independiente de la carga, se ubica en antiparalelo con la carga un diodo D_2 , (diodo de rueda libre) que impida la excursión de v_d en la parte negativa.

Con diodos ideales, D_1 y D_2 trabajan alternadamente. Si los diodos fuesen reales, el fenómeno de recuperación inversa permite la conducción simultánea, y se requiere proteger a los diodos, contra cortocircuito.

Al iniciar el semiperíodo positivo conduce D_1 (D_2 se polariza en inverso), y la fuente alimenta la carga (i_d crece).

$$V_m \sin(\omega t) = R i_d + L \frac{d i_d}{d t} \quad (0 < \omega t < \pi)$$

$$i_d = \frac{V_m \sin(\omega t - \varphi)}{Z} + A e^{-R t / L} \quad (3.07)$$

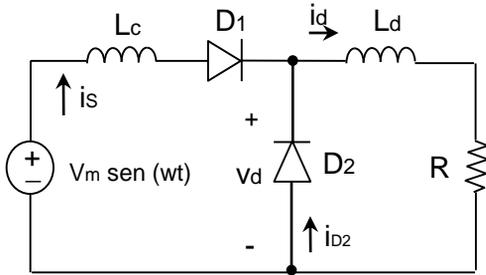
En $\omega t = \pi$, la fuente polariza en directo a D_2 , este bloquea a D_1 , y la carga (R) se alimenta de la energía magnética del inductor (i_d decrece)

$$R i_d + L \frac{d i_d}{d t} = 0; \quad (\pi < \omega t < 2\pi)$$

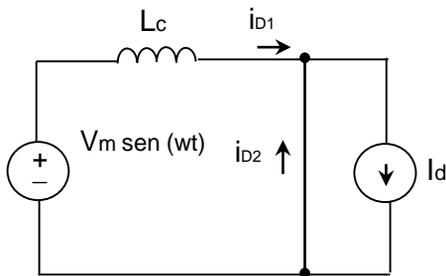
$$i_d = i_d (\omega t = \pi^-) e^{-(t - \pi w) / \tau} \quad (3.08)$$

El voltaje promedio de v_d (V_m / π) no depende de la carga

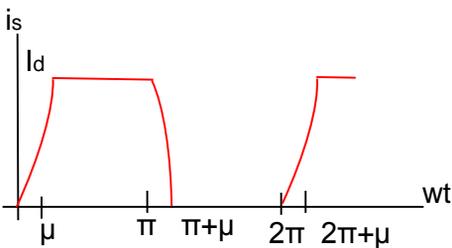
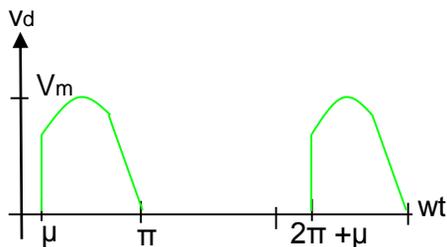
3.4 RECTIFICADOR MEDIA ONDA CARGA RESISTIVA –INDUCTIVA DIODO EN ANTIPARALELO E INDUCTANCIA EN LA FUENTE 2



a)Circuito(2)



b)Circuito equivalente(2)



c)Formas de onda de vd ,id1(2)

Fig.3.04 Rectificador media onda con diodo de rueda libre e inductancia en la fuente

Se considera un inductor en el lado de la fuente(L_c). Si $L_d/R \geq 20(\pi/\omega)$, la carga demanda una corriente constante(I_d). Al terminar el semiperiodo negativo(0^-), D_2 conduce I_d . Al iniciar el semiperíodo positivo(0^+) se polariza en directo D_1 , pero la corriente crece gradualmente a partir de 0 debido a L_c . Se inicia el proceso de conmutación de la corriente del diodo D_2 al D_1 . El circuito equivalente para el proceso de conmutación(fig. 3.04b) permite deducir:

$$\int_0^{I_d} di_{D1} = \frac{\int_0^{\mu} V_m \sin(\omega t) d\omega t}{\omega L_c}$$

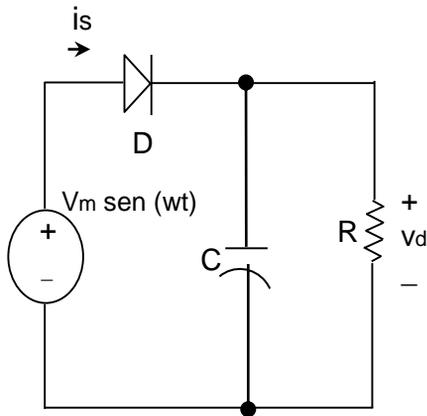
$$\mu = \cos^{-1} \left(1 - \frac{X_c I_d}{V_m} \right) \quad (3.09)$$

El voltaje en la carga es 0 durante el proceso de conmutación, ya que conducen ambos diodos. Al terminar el proceso de conmutación en $\omega t = \mu$, toda la corriente de la carga la conduce D_1 , y D_2 se bloquea

$$\langle v_d \rangle = \frac{\int_{\mu}^{\pi} V_m \sin(\omega t) d\omega t}{2\pi}$$

$$\langle v_d \rangle = \frac{V_m}{\pi} \left(1 - \frac{X_c I_d}{2V_m} \right) \quad (3.10)$$

3.5 RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA Y CARGA RESISTIVA-CAPACITIVA 2



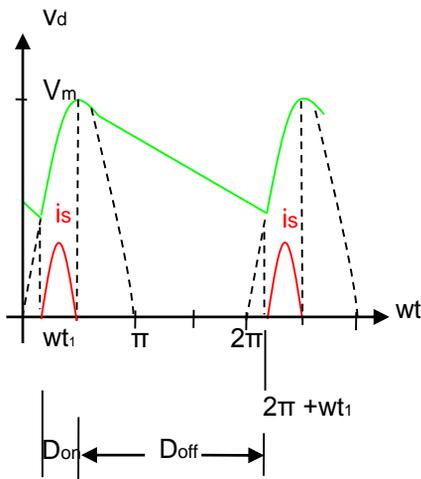
a) Circuito(2)

El diodo conduce si $V_m \sin(\omega t) > v_d$, esto ocurre entre $\omega t_1 < \omega t < \pi/2$. La corriente de la fuente (i_e) crece para cargar el capacitor y alimentar la carga (R) y se interrumpe en $\omega t = \pi/2$, cuando $V_m \sin(\omega t) < v_d$. Para $\pi/2 < \omega t < 2\pi + \omega t_1$, el capacitor alimenta la carga. El valor de ωt_1 se obtiene de:

$$V_m \sin(\omega t_1 + 2\pi) = v_c(\omega t_1 + 2\pi)$$

$$V_m \sin(\omega t_1) = V_m e^{\frac{-(\omega t_1 + 2\pi - \pi/2)}{\omega RC}}$$

$$\omega t_1 = \sin^{-1} \left(e^{\frac{-(\omega t_1 + (3\pi/2))}{\omega RC}} \right) \quad (3.11)$$



b) Forma de onda de v_d e i_s

Un análisis matemáticamente aproximado, pero de más significado físico, supone que el capacitor se carga instantáneamente con una corriente impulsiva ($(\pi/2 - \omega t_1) \rightarrow 0$). El capacitor alimenta la carga durante todo el período, y por tanto:

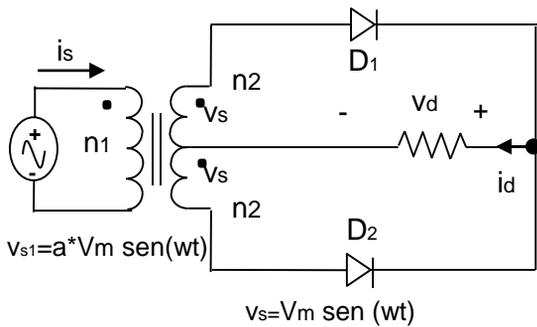
$$\langle I_R \rangle = I_{DC} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{\Delta Q}{T} = \frac{C \Delta v}{T} = \frac{\langle v_d \rangle}{R}$$

$$C = \frac{\langle v_d \rangle}{R f \Delta v} = \frac{V_{DC}}{R f V_{rpp}} \quad (3.12)$$

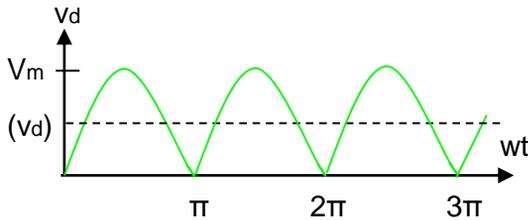
Fig.3.05 Rectificador monofásico con carga resistiva-capacitiva

Dado que existe un límite para C , también lo hay para el producto $R V_{rpp}$ (voltaje de rizo pico-pico * Resistencia).

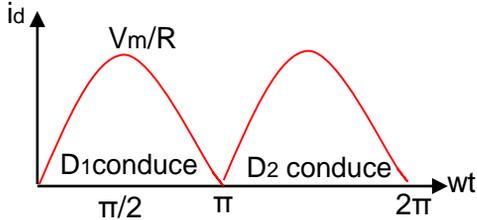
3.6 RECTIFICADOR ONDA COMPLETA TIPO SEMIPUENTE 1



a) Circuito(1)



b) Forma de onda de $v_d(1)$



c) Forma de onda de i_d e $i_s(1)$

Fig. 3.06 Rectificador de onda completa

El rectificador de onda completa tipo semi-puente, consiste de un transformador con derivación intermedia, y 2 diodos (fig. 3.06 a). El primario tiene n_1 espiras y el secundario $2n_2$ espiras ($a=n_1/n_2$). El voltaje en la carga (v_d) consiste del semiperíodo positivo, más el semi período negativo invertido de la fuente (fig. 3.06b). Los circuitos trabajan alternadamente

$$\begin{aligned} \langle v_d \rangle &= \frac{\int_0^\pi V_m \sin(wt) dwt}{\pi} = \\ &= \frac{2V_m}{\pi} \end{aligned} \quad (3.13)$$

La forma de onda de la corriente es igual a la del voltaje (fig. 3.06b). El factor de potencia de la fuente es:

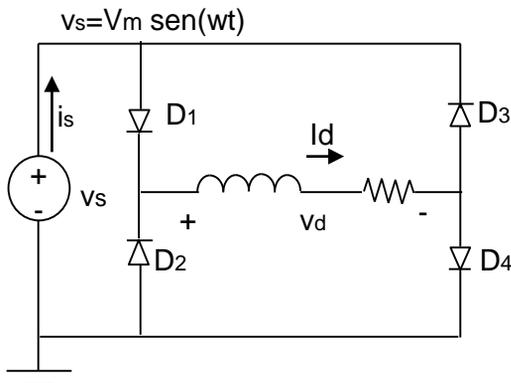
$$F_p = \frac{P_{fuente}}{S_{fuente}} = \frac{P_{carga}}{S_{fuente}}$$

$$F_p = \frac{\langle v_d \rangle \langle i_d \rangle}{v_{s1max} \times i_{smax}}$$

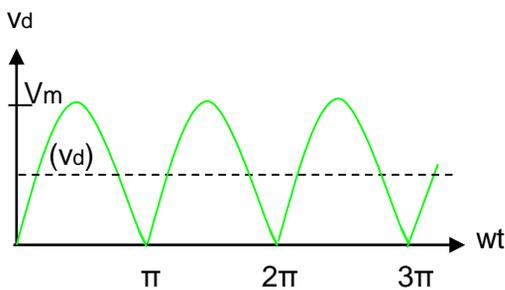
$$F_p = \frac{\frac{4V_m^2}{\pi^2 R}}{\frac{aV_m}{2} \times \frac{V_m}{aR}}$$

$$F_p = \frac{8}{\pi^2} \quad (3.14)$$

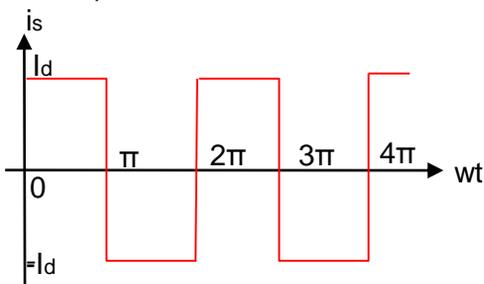
3.7 RECTIFICADOR MONOFÁSICO ONDA COMPLETA TIPO PUENTE - CARGA ALTAMENTE INDUCTIVA



a) Circuito



b) Forma de onda de v_d



c) Forma de onda de i_s

Fig. 3.07 Rectificador de onda completa

El rectificador de onda completa (fig. 3.07a) está conformado por una fuente sinusoidal, 2 rectificadores de media onda: uno para el semiperiodo positivo (D_1 - D_4) y otro para el semiperiodo negativo (D_2 - D_3). Se considera una carga altamente inductiva.

El voltaje en la carga (v_d) es el semiperiodo positivo y el semiperiodo negativo invertido de la fuente (fig. 3.07b). El potencial del negativo de la carga no es cero.

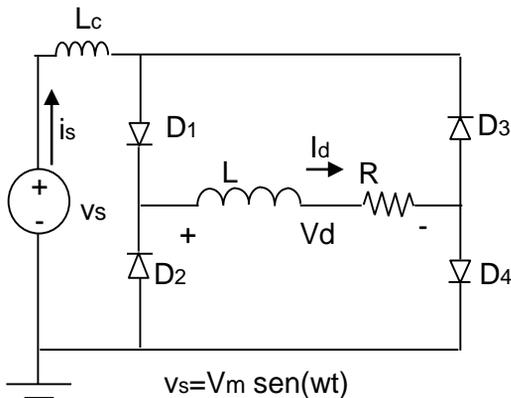
$$\begin{aligned} \langle v_d \rangle &= \frac{\int_0^\pi V_m \sin(\omega t) d\omega t}{\pi} = \\ &= \frac{2V_m}{\pi} \end{aligned} \quad (3.15)$$

Si en la carga, $L/R \geq 10\pi/\omega$, se infiere, $i_d = I_d$ (constante) y la corriente de la fuente (i_s) es alterna rectangular (fig. 3.07c).

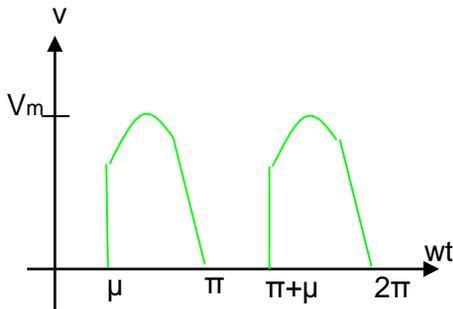
El factor de potencia de la fuente es:

$$\begin{aligned} F_p &= \frac{P_{\text{activa}}}{S_{\text{fuente}}} = \frac{\langle v_d \rangle I_d}{\frac{V_m \times I_{se}}{\sqrt{2}}} \\ F_p &= \frac{2V_m I_d}{\pi \frac{(V_m \times I_d)}{\sqrt{2}}} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \end{aligned} \quad (3.16)$$

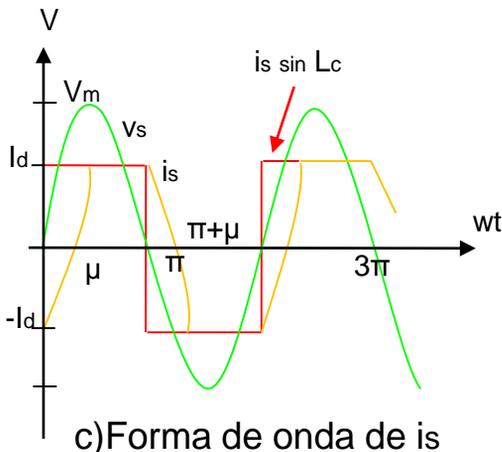
3.8 RECTIFICADOR MONOFÁSICO TIPO PUENTE CON INDUCTANCIA EN LA FUENTE 2



a) Circuito(2)



b) Forma de onda de v_d



c) Forma de onda de i_s

Fig. 3.08 Rectificador de onda completa

Se asume en la carga $L/R \geq 10T$ (período de v_d), para que la corriente sea constante (I_d).

Para $\omega t = 0(-)$ conducen D_2 y D_3 y la corriente en la fuente es $i_s = -I_d$.

Para $\omega t = 0(+)$ se polarizan en directo D_1 y D_4 , y comienzan a conducir gradualmente debido a L_c . Se inicia el proceso de conmutación, que termina en $\omega t = \mu$, durante el cual conducen los 4 diodos.

$$\int_{-I_d}^{I_d} di_s = \frac{\int_0^{\mu} V_m \sin(\omega t) d(\omega t)}{\omega L_c}$$

$$\mu = \cos^{-1} \left(1 - \frac{2X_c I_d}{V_m} \right) \quad (3.17)$$

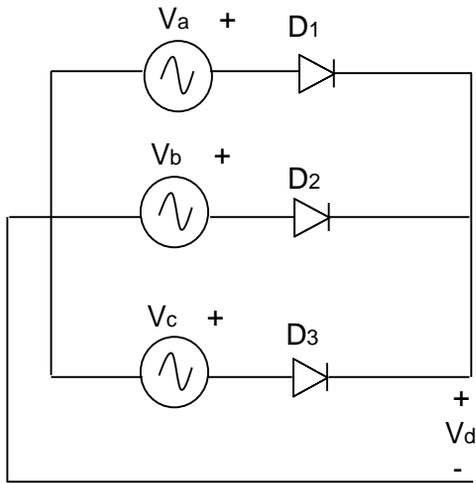
El voltaje en la carga es:

$$\langle v_d \rangle = \frac{\int_{\mu}^{\pi} V_m \sin(\omega t) d(\omega t)}{\pi}$$

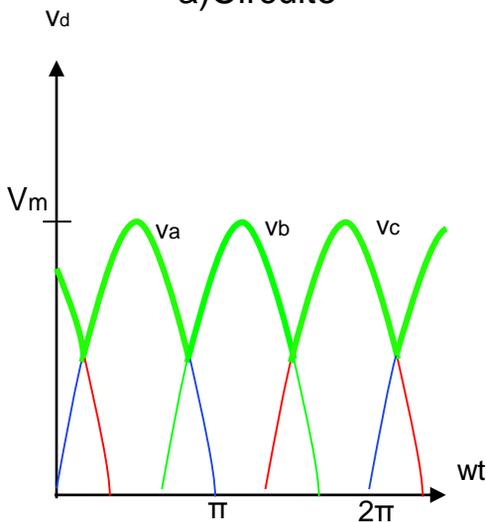
$$\langle v_d \rangle = \frac{2V_m}{\pi} \left(1 - \frac{X_c I_d}{V_m} \right) \quad (3.18)$$

El voltaje resulta regulado por la carga, debido a la inductancia de la fuente. La corriente en la fuente es más trapezoidal que rectangular

3.9 RECTIFICADOR TRIFÁSICO DE TRES PULSOS 2



a) Circuito



b) Forma de onda del voltaje de salida

Fig. 3.09 Rectificador trifásico de tres pulsos

Se considera un sistema trifásico de secuencia a-b-c.

La fuente (v_a) se define por $V_{an} = V_m \sin(\omega t)$ y las otras están desfasadas (atrasadas) en el tiempo 120°

Se conectan a cada una de las tres fuentes, un diodo con su ánodo conectado al positivo de cada fuente (rectificador positivo).

El diodo que conduce, será aquel cuyo V_{AK} sea el mayor de todos.

El diodo D_1 conduce para:

$$30^\circ < \omega t < 150^\circ$$

El diodo D_2 conduce para:

$$150^\circ < \omega t < 270^\circ$$

El diodo D_3 conduce para:

$$270^\circ < \omega t < 390^\circ$$

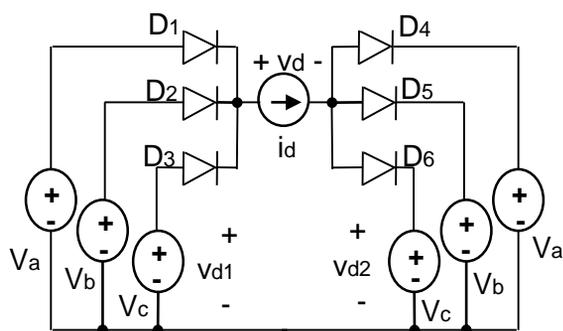
La forma de onda de salida (v_d), está conformada por las crestas positivas de los voltajes de las fuentes, a medida que conducen D_1, D_2 y D_3 (fig. 3.09b). **Se generan tres pulsos en un período de la fuente.**

El valor promedio del voltaje de salida es:

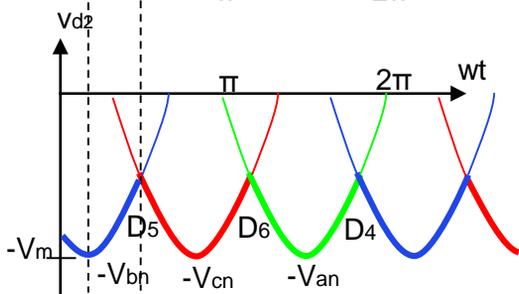
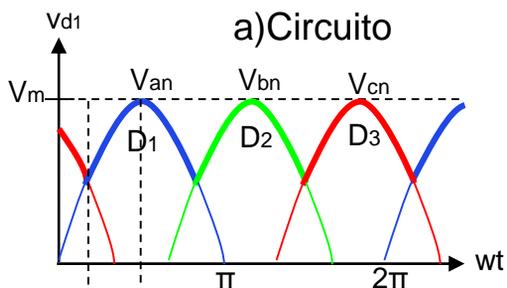
$$\langle v_d \rangle = \frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} V_{an}(\omega t) d(\omega t)$$

$$\langle v_d \rangle = \frac{3\sqrt{3}V_m}{2\pi} \quad (3.19)$$

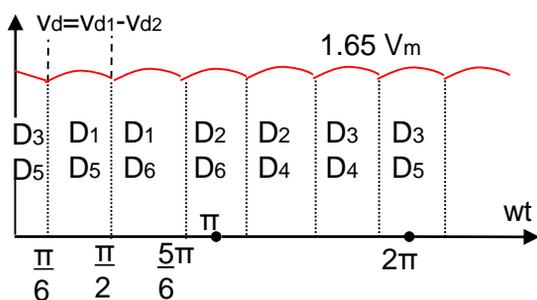
3.10 RECTIFICADOR TRIFÁSICO DE SEIS PULSOS 2



a) Circuito



b) Formas de onda de v_{d1} y v_{d2}



c) Tabla de conducción y forma de onda de v_d

Fig. 3.10 Rectificador de seis pulsos

Se conectan en serie con una carga altamente inductiva, modelada por una fuente de corriente en modo pasivo (I_d), un rectificador trifásico de tres pulsos positivo (ánodos de los diodos conectados al positivo de la fuente) (v_{d1}) y uno negativo (cátodos de los diodos conectados al positivo de las fuentes) (v_{d2}) (fig. 3.10a)

Se define $v_{an} = V_m \sin(\omega t)$

El voltaje a los terminales de la carga es: $v_d = v_{d1} - v_{d2}$

v_{d1} atrasa a $(-v_{d2})$ en 60° , y v_d resulta ser una onda de período igual a 60° (6 pulsos en un período de la fuente).

La tabla de conducción del rectificador se muestra en la fig. 3.10c).

Para $\pi/2 < \omega t < 5\pi/6$, conducen los diodos D_1 y D_6 y se le aplica a la carga el voltaje v_{ac} .

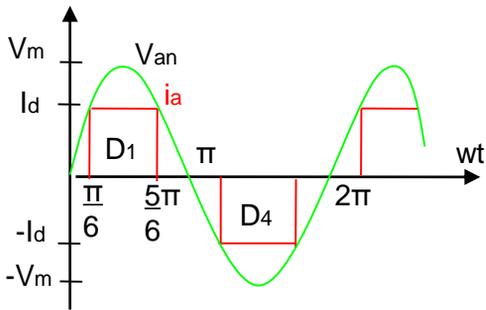
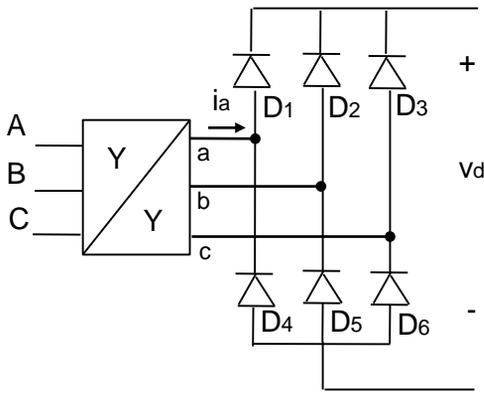
El voltaje promedio en la carga es:

$$\langle v_d \rangle = \frac{1}{\pi} \int_{\pi/2}^{5\pi/6} v_{ac}(\omega t) d(\omega t)$$

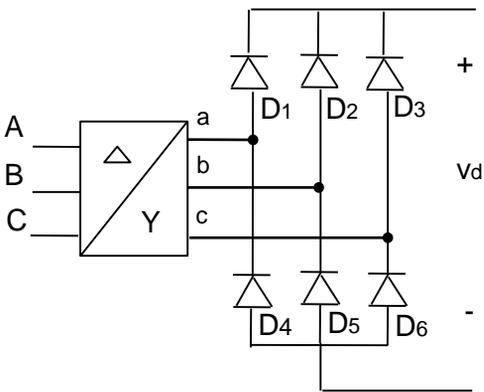
$$v_{ac} = \sqrt{3} V_m \sin(\omega t - 30^\circ)$$

$$\langle v_d \rangle = \frac{3\sqrt{3} V_m}{\pi} \quad (3.20)$$

3.10.1 FORMAS DE ONDA DE LA CORRIENTE EN LA FUENTE DEL RECTIFICADOR DE SEIS PULSOS 2



a) Corriente de la fuente, con fuente en estrella-estrella



b) Fuente en delta-estrella

Fig.3 .11 Corrientes en un rectificador de 6 pulsos

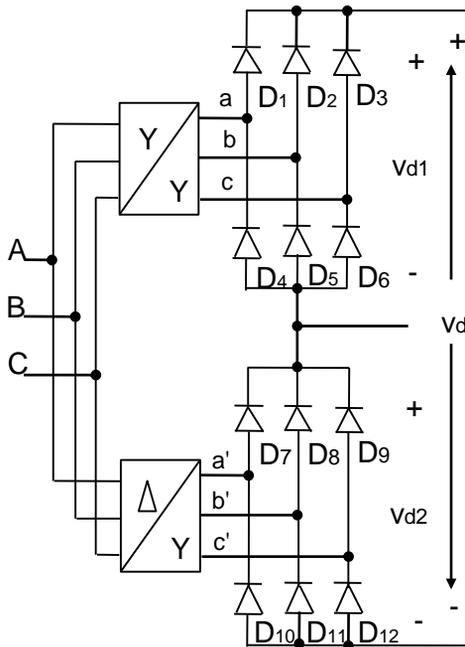
El circuito de 2 rectificadores de tres pulsos en serie(fig. 3.10), se puede representar como un circuito tipo puente(fig. .3.11a).

La fuente del rectificador puede ser un transformador estrella-estrella (fig. 3.11a) o delta-estrella(fig. 3.11b). Si se conecta en estrella(fig. 3.11a), el polo negativo de la carga no se puede conectar a tierra ,ya que su potencial eléctrico es diferente del potencial del neutro de la fuente, el cual suele conectarse a tierra. La corriente en la fuente es la demandada por el rectificador .La forma de onda de i_a se muestra en la fig. 3.11a).La forma de onda de la corriente de la fuente (i_A) es idéntica a i_a

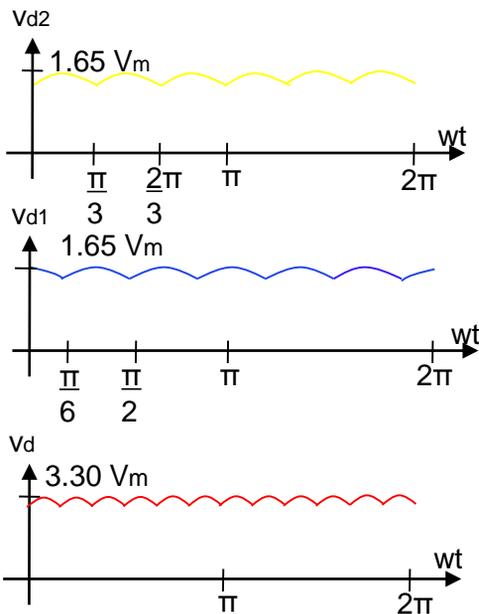
Si la fuente se conecta en delta-estrella, la corriente de la fuente(i_A) es escalonada, ya que es la diferencia de 2 formas de onda(fig. 3.11a) desfasadas 120° .Esta corriente presenta un THD menor que en la fuente estrella-estrella.

Por la razón anterior , la conexión adecuada para reducir la distorsión en la fuente, es utilizar la conexión delta(primario) - estrella en el secundario.

3.11 RECTIFICADOR DE 12 PULSOS 2



a) Circuito serie(2)



b) Formas de onda de v_d (2)

Fig. 3.12 Rectificador de 12 pulsos

Un rectificador de 12 pulsos se puede obtener, conectando en serie 2 rectificadores de 6 pulsos, si sus voltajes de salida están desfasados 30° (fig.3.12a).

Se conecta el rectificador superior a la fuente, a través de un transformador estrella-estrella, y se obtiene en la salida v_{d1} . El rectificador inferior se conecta con un transformador delta-estrella, y su salida (v_{d2}) está adelantada 30° en relación a v_{d1} , debido a que la conexión delta-estrella produce voltajes en el secundario (a', b', c') adelantados 30° , con respecto a los de la conexión estrella-estrella (a, b, c).

La conexión serie produce

$$v_d = v_{d1} + v_{d2} \quad (3.21)$$

El período de v_d es 30° (12 pulsos en un período de la fuente). En el intervalo $\pi/6 < wt < \pi/3$, conducen los diodos D_1, D_5, D_7 y D_{11} .

$$v_d = v_{ab} + v_{a'b'}$$

$$v_{ab} = \sqrt{3}V_m \sin(wt + 30^\circ)$$

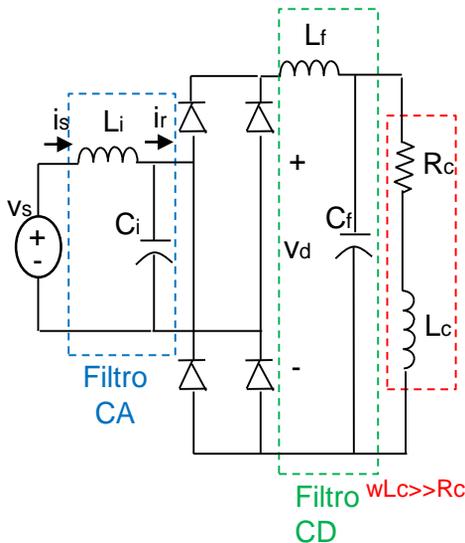
$$v_{a'b'} = \sqrt{3}V_m \sin(wt + 60^\circ)$$

$$v_d = 3.346V_m \sin(wt + 45^\circ)$$

$$\langle v_d \rangle = \frac{1}{\pi} \int_{\pi/6}^{\pi/3} 3.346V_m \sin(wt + 45^\circ) dwt$$

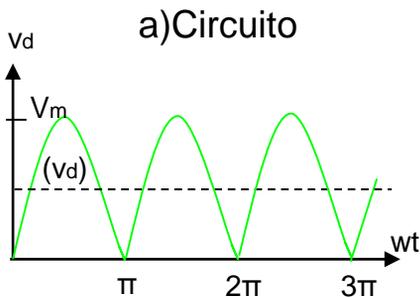
$$\langle v_d \rangle = 3.310V_m \quad (3.22)$$

3.12 FILTROS CA Y C D PARA RECTIFICADORES MONOFÁSICOS CON CARGA ALTAMENTE INDUCTIVA

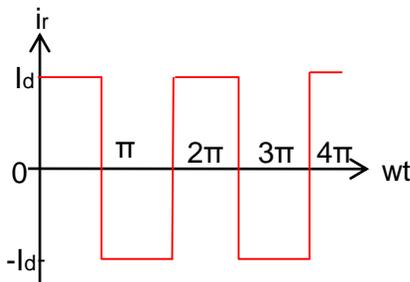


Las condiciones ideales de operación de un convertidor CA/CD son : a)Factor de rizado en la carga :0;b) THD de la corriente en la fuente:0.

El voltaje de salida del rectificador monofásico v_d , (fig. 3.13b) muestra un alto factor de rizado y por ello debe insertarse entre la salida del rectificador y la carga un filtro CD(fig. 3.13a) .**La función del filtro CD es reducir el factor de rizado del voltaje en la carga.**



b)Forma de onda de v_d



c)Forma de onda de i_r

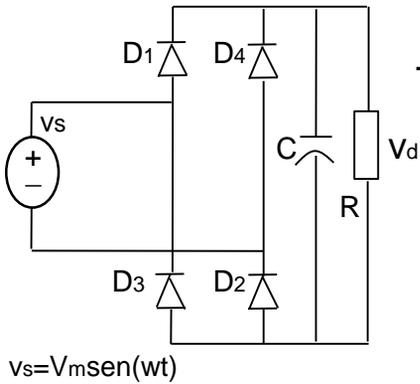
Sí la carga es altamente inductiva, la corriente demandada por el rectificador a la fuente (i_r), es alterna rectangular(fig.3.13c) y lo ideal es que la corriente de la fuente tenga un THD=0(sinusoidal).

El valor fundamental de la corriente i_r ($I_d \text{ sen}(\omega t)/\pi$) lo genera la fuente, y los armónicos son generados por el conjunto carga –filtro- rectificador

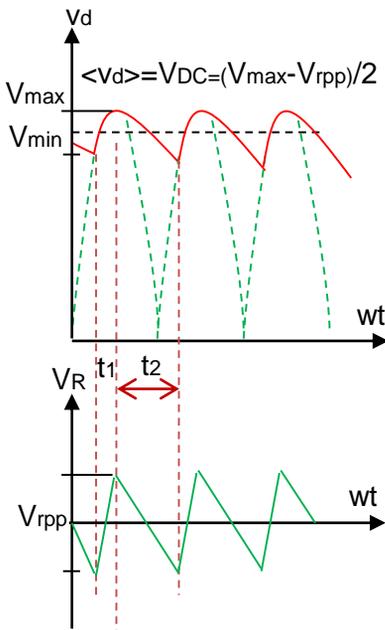
El filtro CA tiene como función minimizar el THD de la corriente de la fuente, mediante circuitos que desvíen de la fuente a las armónicas de corriente de orden 3, y limiten la de orden 5.Se inserta el filtro CA entre la fuente y el rectificador

Fig. 3.13 Filtros CA/CD

3.12.1 FILTRO CD CAPACITIVO PARA RECTIFICADOR MONOFÁSICO 3



a) Circuito



b) Forma de onda de v_d y del voltaje de rizo

Fig. 3.14 Filtro DC capacitivo

En el semi-período positivo de la fuente, cuando $v_s > v_d$ (voltaje del capacitor) conducen los diodos D_1 y D_2 y el capacitor se carga hasta V_{max} en el tiempo t_1 . Un ciclo análogo de carga a través de los diodos D_3 y D_4 , ocurre para el semi-período negativo de la fuente. Si $v_s < v_d$, se polarizan en inverso D_1, D_2 en el semi-período positivo o D_3, D_4 en el semi-período negativo, y el capacitor se descarga desde V_{max} hasta V_{min} , a través de R , en el tiempo t_2 . Sea V_{rpp} el voltaje de rizo pico-pico

$$V_{rpp} = V_{max} - V_{min} = V_m \left(1 - e^{-\frac{t_2}{RC}} \right)$$

$$e^{-\frac{t_2}{RC}} \approx 1 - \frac{t_2}{RC} ; V_{rpp} = V_m \left(\frac{t_2}{RC} \right) = \frac{V_m T}{2RC}$$

$$t_1 + t_2 = T(\text{periodo de la fuente})/2 \approx t_2$$

$$V_{CD} = \langle v_d \rangle = V_m \left(1 - \frac{1}{4fRC} \right) \quad (3.23)$$

La aproximación lineal del voltaje de rizo V_R (fig. 3.14b) tiene un valor eficaz de:

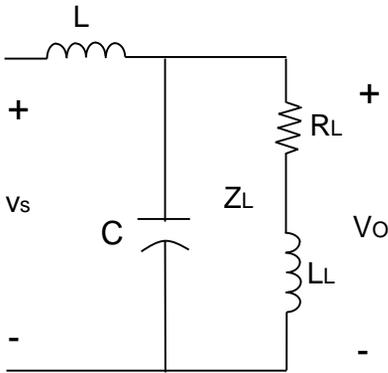
$$V_{ca} = \frac{V_{rpp}}{2\sqrt{3}} = \frac{V_m}{4\sqrt{3}fRC} \quad (3.24)$$

El factor de rizado (FR) en la carga es:

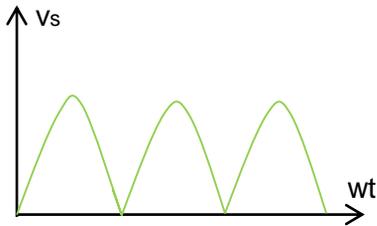
$$FR = \frac{V_{ca}}{V_{CD}} = \frac{\frac{V_m}{4\sqrt{3}fRC}}{\frac{V_m(4fRC - 1)}{4fRC}} = \frac{1}{\sqrt{3}(4fRC - 1)} \quad (3.25)$$

C se selecciona de la ec. 3.23, y automáticamente queda determinado el FR, ya que las ec. 3.23 y 3.25 son dependientes

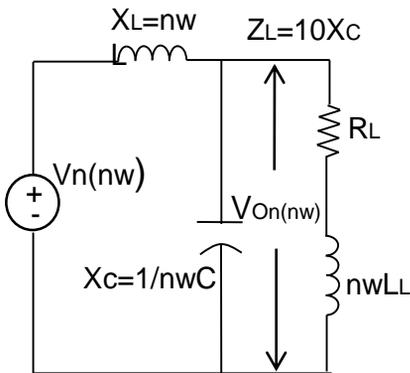
3.12.2 FILTRO CD INDUCTIVO - CAPACITIVO PARA RECTIFICADOR MONOFÁSICO 3



a) Circuito



b) Forma de onda de v_s



c) Circuito equivalente para los armónicos

El circuito y la fuente (v_s) del circuito filtro-carga, se muestran en la fig. 3.15 a) y b).

El voltaje de salida del rectificador (v_s) se puede representar por una serie de Fourier como:

$$v_s = V_{CD} + \sum V_n \cos(nwt)$$

$$v_s = \frac{2V_m}{\pi} + \sum_{n=2,4}^{\infty} \frac{4V_m/\pi}{(n-1)(n+1)} \cos(nwt) \quad (3.26)$$

El circuito equivalente para los armónicos se muestra en la fig. 3.15c). Para que el capacitor desvíe con éxito, las armónicas de corriente se debe cumplir:

$$Z_L = \sqrt{R_L^2 + (nwL_L)^2} \geq \frac{10}{nwC} \quad (3.27)$$

por ser $V_n(2wt) = 5V_n(4wt)$, se ignora la armónica de orden 4 del voltaje. Del circuito equivalente para armónicos, el voltaje en la carga debido al armónico 2 es:

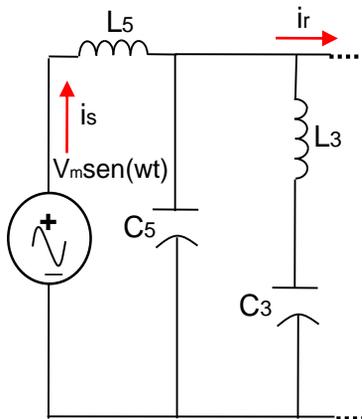
$$\begin{aligned} V_{on}(2w) &\approx V_n(2w) \left| \frac{1}{1 - 4w^2LC} \right| \\ &= \frac{4V_m}{3\pi} \left| \frac{1}{1 - 4w^2LC} \right| \end{aligned}$$

El FR en la carga es:

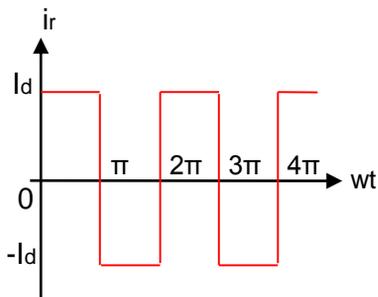
$$\begin{aligned} FR &= \frac{V_{ca}}{V_{CD}} = \frac{\frac{4V_m}{3\sqrt{2}\pi|1 - 4w^2LC|}}{\frac{2V_m}{\pi}} \\ &= \frac{\sqrt{2}}{3|1 - 4w^2LC|} \end{aligned} \quad (3.28)$$

Fig. 3.15 Filtro inductivo capacitivo

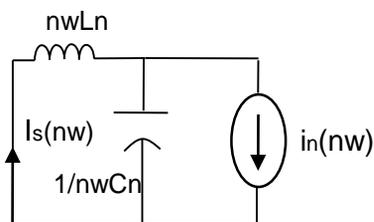
3.12.3 FILTRO CA PARA RECTIFICADOR MONOFÁSICO 3



a) Filtro para armónicas 3 y 5(2)



b) Forma de onda de i_r



c) Circuito equivalente para los armónicos de corriente de orden 5

El circuito rectificador-filtro-carga demandan de la fuente, una corriente alterna rectangular i_r (fig. 3.16 b) la cual se puede expresar por una serie de Fourier como:

$$i_r = \frac{4I_d}{\pi} \text{sen}(\omega t) + \sum_{n=3,5,7}^{\infty} \frac{4I_d}{n\pi} \text{sen}(n\omega t)$$

$$i_r = \sqrt{2}I_1 \text{sen}(\omega t) + \sum_{n=3,5,7}^{\infty} \sqrt{2} I_n \text{sen}(n\omega t) \quad (3.29)$$

La carga y el rectificador generan las armónicas de corriente, y esto se modela en el circuito equivalente de la fig. 3.16c), por la fuente de corriente ($i_n(n\omega)$)

Dado que las armónicas de orden 3 y 5 son comparables en magnitud, un solo filtro no reduce efectivamente el THD en la fuente. Lo deseable sería tener un circuito serie LC resonante a $n=3$, para desviar la armónica 3 de corriente, en paralelo con el rectificador y un filtro L_5C_5 (fig. 3.16c) para minimizar una parte importante de la armónica 5 por el capacitor (divisor de corriente).

Del circuito equivalente se puede deducir:

$$I_s(5\omega) = \frac{I_n(5\omega)}{|1 - 5^2\omega^2 L_5 C_5|} \quad (3.30)$$

$$THD = \sqrt{\frac{\sum_{n \neq 1} I_s^2(n\omega)}{I_{s1}^2}} \quad (3.31)$$

Las ec. 3.30 y 3.31 permiten el diseño del filtro para un THD determinado

Fig. 3.16 Filtro CA

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Rashid M.H.(editor) POWER ELECTRONIC HANDBOOK 1993.www.rapidshare.com/filea/97921259.septiembre 24 ,2008
- 2) Kassakian J.G; Schlecht M.F.; Verghese G.C. PRINCIPLES OF POWER ELECTRONICS 1995. Editorial Addison Wesley.
- 3) Rashid M. H. POWER ELECTRONICS:CIRCUITS,DEVICES,AND APPLICATIONS 1993.Editorial Prentice-Hall
- 4) JaiP. Agrawal .POWER ELECTRONIC SYSTEMS. Theory and design.2001 Editorial Prentice Hall
- 5) P T. Krein ELEMENTS OF POWER ELECTRONICS 2000
- 6) Mohan N ;Undeland T.M. ;Robbins .W.P. POWER ELECTRONICS 2003 Editorial John Wiley & sons Inc
- 7) R.G. Hoft(editor) SCR APPLICATONS HANDBOOK 1974 International Rectifier
- 8) INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY POWER ELECTRONIC pdf.www.onlinefreebooks.net.Julio 13, 2008

ACTIVIDADES

TEORÍA

- 1) Deducir la ec. 3.02. .
- 2) ¿Por qué en el circuito rectificador de media onda y carga R-L , el diodo continúa conduciendo después de $\omega t = 2\pi$? ¿Es posible en este circuito obtener $\omega t_1 = 2\pi$? Justificar la respuesta
- 3) Para el circuito rectificador de media onda con diodo de rueda libre, se pide graficar i_d para $L/R = 20\pi/\omega$
- 4) Se alimenta una carga de $1K\Omega, 20w$, de una fuente alterna de $120V, 60hz$ y un diodo en serie con la carga. La variación máxima del voltaje en la carga debe ser de $\pm 5V$. Se pide determinar el valor del capacitor a conectar en paralelo con la carga.
- 5) ¿Cuáles son los efectos de la inductancia de la fuente, en la operación de un rectificador de media onda y diodo de rueda libre en : a) Voltaje en la carga. b) THD de la corriente de la fuente. Justificar las respuestas.
- 6) ¿Qué se entiende por proceso de conmutación en un rectificador?
- 7) ¿Por qué no se utiliza el filtro capacitivo con cargas de baja resistencia?
- 8) Deducir el factor de potencia de un arrollamiento secundario del rectificador tipo semi-puente. ¿Cuánto vale la relación de transformación en este rectificador (fig.3.06 a)? ¿Por qué?
- 9) Hacer un análisis comparativo entre el rectificador tipo puente y el semi-puente. Considerar los siguientes aspectos: Costos; Características de los diodos; Situaciones de aplicación.
- 10) Deducir la ecuación 3.18. Analizar el efecto de la inductancia de la fuente en la operación del rectificador.
- 11) ¿Por qué no tiene utilidad práctica el rectificador de tres pulsos?
- 12) Deducir la ecuación 3.20 para $7\pi/6 < \omega t < 9\pi/6$.
- 13) Deducir la forma de onda de la corriente de la fuente (i_A). para la conexión delta-estrella (fig.3.11b).
- 14) ¿Cuál es la topología de rectificación trifásica más utilizada? ¿Por qué?
- 15) Deducir la ecuación 3.22 para $\pi/3 < \omega t < \pi/2$.
- 16) Deducir para el rectificador de 12 pulsos la forma de onda de la corriente de la fuente (i_A).

ACTIVIDADES

TEORIA

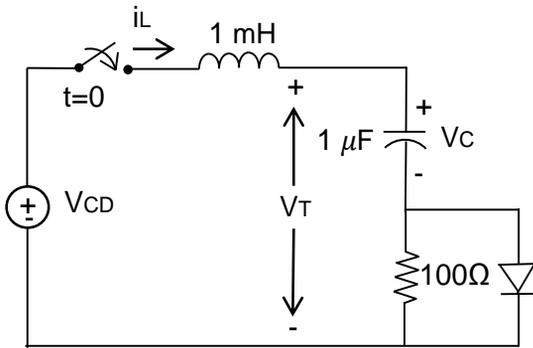
17) ¿ En un convertidor CA/CD, ¿cuál es la función del filtro CD? ¿Del filtro CA? ¿Cómo realiza cada filtro su función?

18) Analizar e interpretar la ecuación 3.25. Hacer un análisis comparativo entre la ecuación 3.25 y la 3.12.

19) ¿Cuándo se utiliza un filtro CD tipo LC en lugar de uno C?

20) Deducir las ecuaciones 3.28 y 3.31

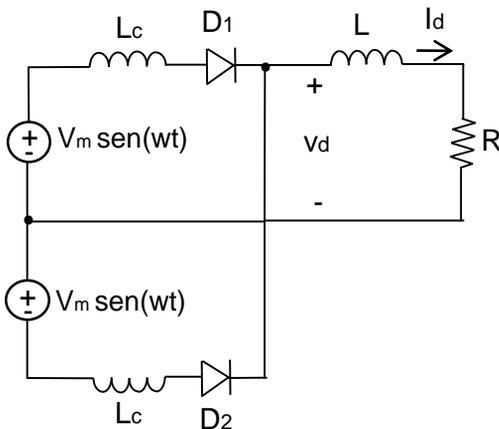
PROBLEMAS



Problema 1

1) El circuito adjunto sirve para limitar un rápido crecimiento temporal de V_T (snubber de voltaje).

Se pide deducir y graficar i_L , V_C , y V_T



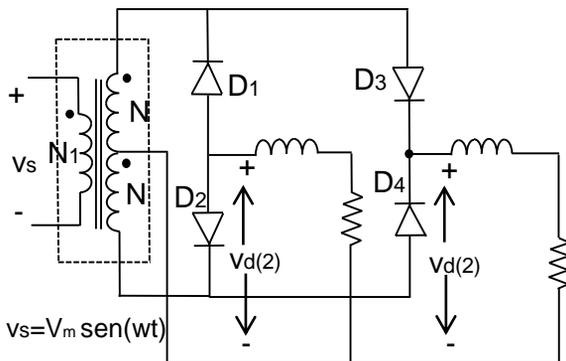
Problema 2(2)

2) La figura adjunta muestra el circuito esquemático de un rectificador de onda completa tipo semi-puente. Cada una de las fuentes representa uno de los devanados del secundario del transformador:

a) Asuma que $L_c=0$ y dibuje v_d

b) Para $0 < \omega t < 2\pi$, se pide deducir y dibujar i_{D1} y i_{D2} .

c) Deducir la expresión de v_d , para $L_c \neq 0$

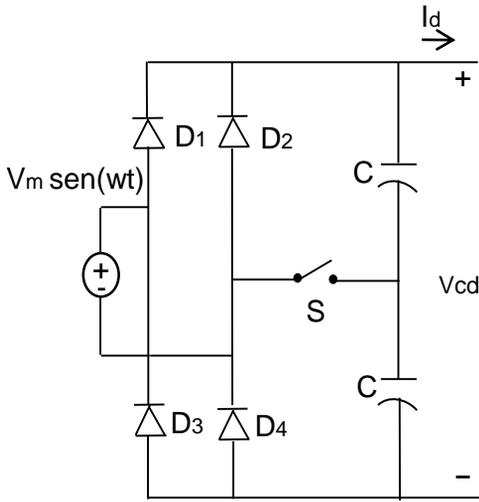


Problema 3(2)

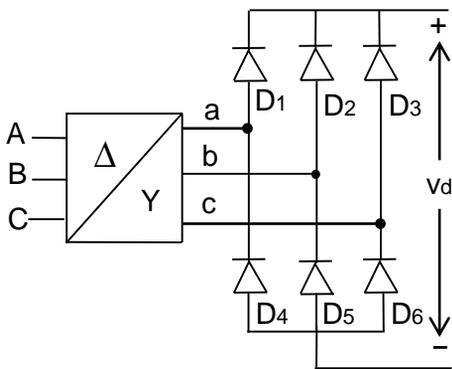
3) El circuito adjunto se utiliza para construir una fuente dual de voltaje, por ejemplo $\pm 15V$

Se pide dibujar a v_{d1} y v_{d2} , indicando las magnitudes, si $V_m=170V$, y $N/N_1=0.1$

PROBLEMAS



Problema 4(2)



Problema 7

4) El circuito adjunto se conoce como un doblador de voltaje, y se utiliza usualmente para proveer operación con doble voltaje.

Se pide :

Dibujar el circuito equivalente y dibujar V_{cd} si el interruptor S está:

1)abierto.2)Cerrado

5)Diseñar un rectificador para una carga de $R=24 \Omega$; $V= 12V \pm 3\%$; La fuente es de 120 V, 60 hz. El diseño debe incluir:

- a)Características del transformador;
- b)Parámetros de los diodos;
- c)Parámetros del filtro

6)Para alimentar un motor DC de 50HP,200V, se requiere diseñar un rectificador .El diseño debe incluir la selección de la fuente de CA, el modelo del motor , las características nominales de los diodos ; la característica nominal del transformador y características del filtro

7)Se dispone de un sistema trifásico de 440V,60hz,Se requiere alimentar una carga de voltaje constante, de 20Kw, 240 Vcd. Se propone para resolver el problema un rectificador trifásico de 6 pulsos, con un transformador delta-estrella. Se pide determinar :

- a)Las características nominales de los diodos. b)Características nominales del transformador delta-estrella. c)Factor de potencia en la fuente. d)THD de la corriente de la fuente. e)Factor de rizo en la carga

PROBLEMAS

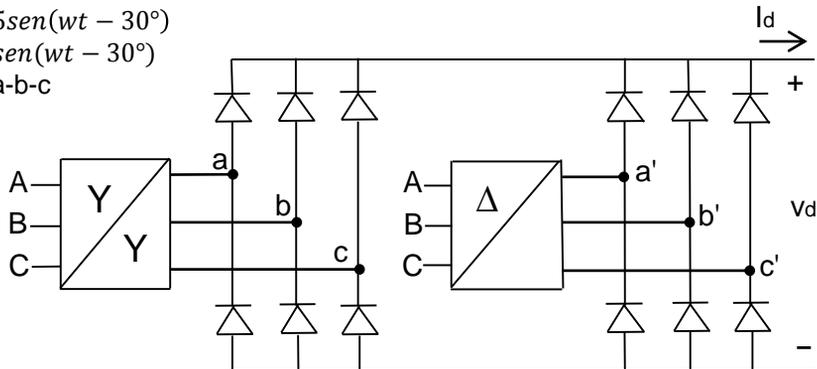
8) Una manera alterna para obtener el rectificador de 12 pulsos, se muestra en el circuito adjunto, donde se conectan en paralelo 12 rectificadores de 6 pulsos. Asuma $I_d=100A$. Se pide :

- Dibujar v_d y calcular $\langle v_d \rangle$
- Determinar el valor eficaz de la corriente para los diodos.
- Determinar la forma de onda de la corriente de la fuente.
- Hacer un análisis comparativo, con el rectificador serie de 12 pulsos.

$$v_{AN} = 622.25 \text{sen}(wt - 30^\circ)$$

$$v_{an} = 169.7 \text{sen}(wt - 30^\circ)$$

Secuencia a-b-c



Problema 8(2)