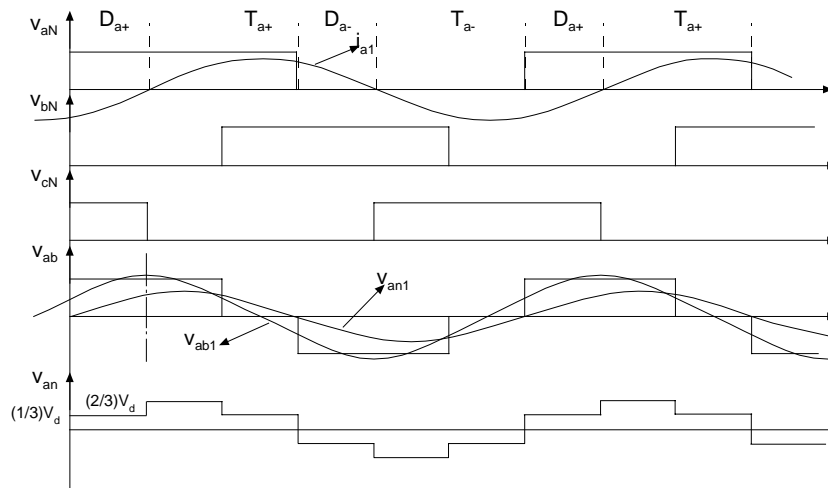
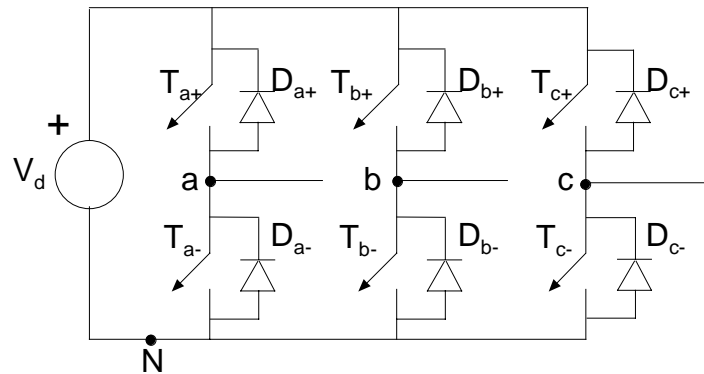




1.- Para un inversor trifásico en puente de tensión de salida cuadrada, obtener la tensión de salida de línea y calcular el 1º 3º y 5º armónico en función de la tensión de alimentación V_{dc} .



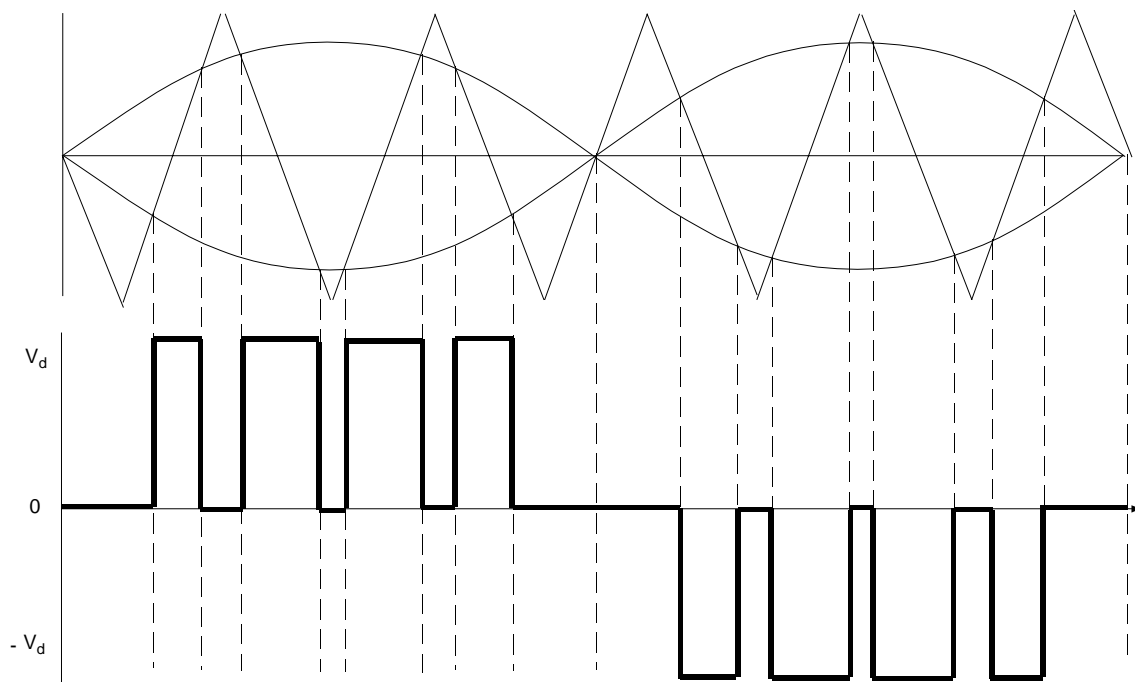
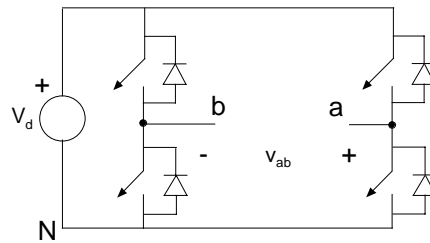
Tomando simetría par:

$$\hat{V}_{ABn} = \frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{3}} V_{dc} \cos(n\omega t) d\omega t \quad ; \quad \hat{V}_{ABn} = \frac{4 V_{dc}}{\pi n} \operatorname{sen}\left(n \frac{\pi}{3}\right)$$

$$\hat{V}_{AB1} = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} V_{dc} \quad ; \quad \hat{V}_{AB3} = 0 \quad ; \quad \hat{V}_{AB5} = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} \frac{V_{dc}}{5}$$

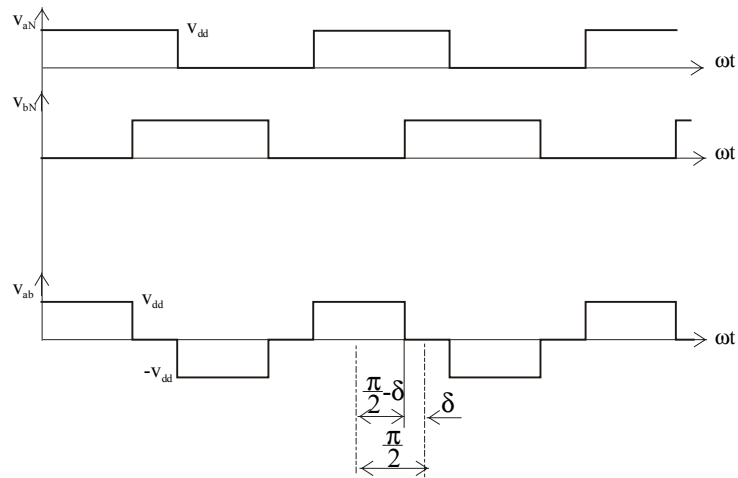
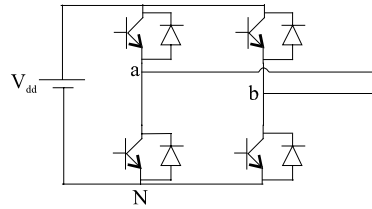


2.- Dibujar la tensión de salida de un inversor puente completo con control PWM unidireccional en las siguientes condiciones: $V_{d0} = 48V$, $M_f = 5$, $M_a = 0,8$.





3.- Para un inversor monofásico puente completo de tensión de salida cuadrada unidireccional, calcular la THD de la tensión de salida en función del parámetro de regulación angular, δ .



$$THD = \sqrt{\frac{V_{ab}^2 - V_{ab1}^2}{V_{ab1}^2}} \quad ; \quad V_{ab}^2 = \frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}-\delta} V_d^2 d(\omega t) = \frac{2V_d^2}{\pi} \left(\frac{\pi}{2} - \delta \right)$$

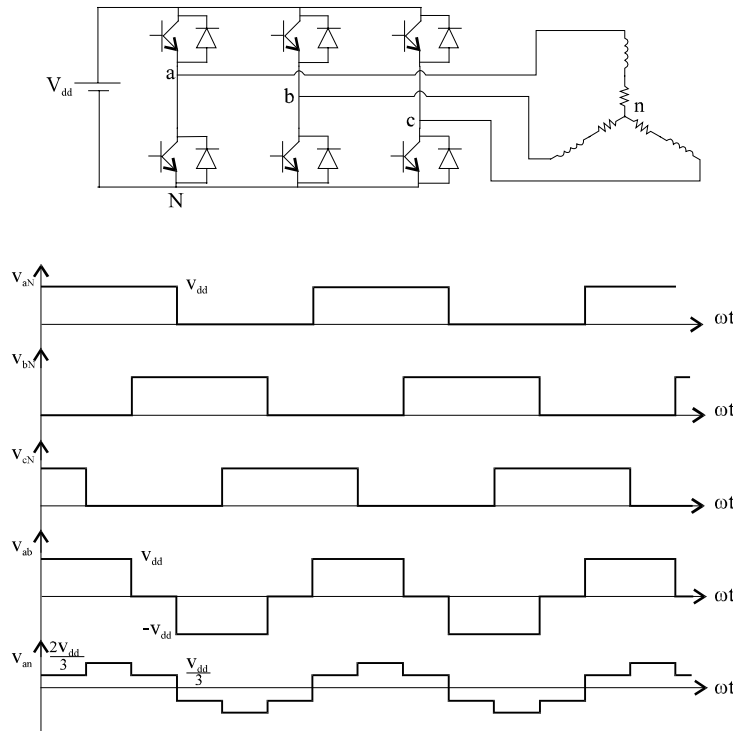
$$\hat{V}_{ab1} = \frac{4}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}-\delta} V_d \cos(\omega t) d(\omega t) = \frac{4V_d}{\pi} \text{sen} \left(\frac{\pi}{2} - \delta \right) \quad ; \quad \hat{V}_{ab1} = \frac{4V_d}{\pi} \cos \delta$$

$$V_{ab1} = \frac{2\sqrt{2}V_d}{\pi} \cos \delta \quad ; \quad V_{ab1}^2 = \frac{8V_d^2}{\pi^2} \cos^2 \delta$$

$$THD = \sqrt{\frac{\frac{\pi}{2} - \delta - \frac{4}{\pi} \cos^2 \delta}{\frac{4}{\pi} \cos^2 \delta}}$$



4.- Un inversor trifásico en puente con tensión de salida cuadrada ($f_o=50\text{Hz}$) alimenta a una carga equilibrada en estrella $L=60\text{mH}$, $R=5\Omega$. Calcular la distorsión armónica de tensión (THD) y la amplitud del armónico de intensidad más cercano al fundamental. Dato tensión de entrada ($V_{dd}=400\text{V}$)



$$V_{abef} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{3}} V_{dd}^2 d\omega t} = V_{dd} \sqrt{\frac{2}{3}} \quad ; \quad \hat{V}_1 = \frac{4}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{3}} V_{dd} \cos(\omega t) d\omega t$$

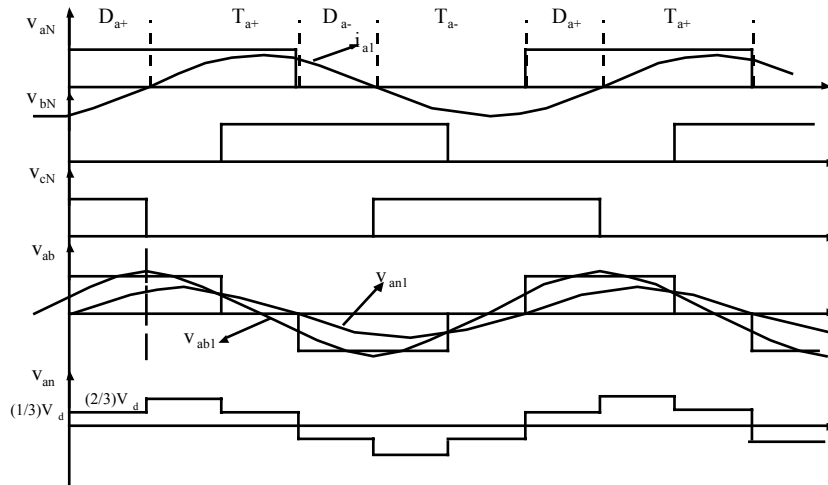
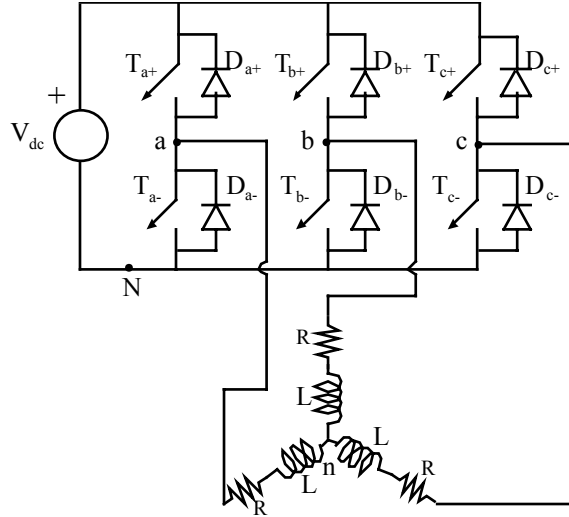
$$\hat{V}_1 = \frac{2V_{dd}}{\pi} \sqrt{3} \quad ; \quad V_{1ef} = \frac{V_{dd}}{\pi} \sqrt{6} \quad ; \quad \text{THD}=31,1\% \quad ; \quad \hat{V}_3 = 0$$

$$\hat{V}_{an5} = \frac{4}{\pi} \left[\int_0^{\frac{\pi}{3}} \frac{V_{dd}}{3} \text{sen}(5\omega t) d\omega t + \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} \frac{2V_{dd}}{3} \text{sen}(5\omega t) d\omega t \right] \quad ; \quad \hat{V}_{an5} = \frac{2V_{dd}}{5\pi}$$

$$Z_{LR} = \sqrt{(5 \cdot 2\pi f_1 L)^2 + R^2} = 94,38\Omega \quad ; \quad \hat{I}_{a5} = \frac{\hat{V}_{an5}}{Z_{LR}} = 540\text{mA}$$



5.- Un inversor trifásico en puente con tensión de salida cuadrada ($f_0=50\text{Hz}$) alimenta a una carga equilibrada en estrella $L=15\text{mH}$, $R=3\Omega$. Calcular la distorsión armónica de tensión (THD) y la amplitud del armónico de intensidad más cercano al fundamental. Dato tensión de entrada ($V_{dc}=400\text{V}$)



$$\hat{V}_{ab1} = \frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{3}} V_{dc} \cos(\omega t) d\omega t = \frac{4V_{dc}}{\pi} \sin \frac{\pi}{3} \quad ; \quad \hat{V}_{ab1} = \frac{2V_{dc}\sqrt{3}}{\pi}$$

$$; V_{ab1rms} = \frac{V_{dc}\sqrt{6}}{\pi}$$



$$V_{abrms} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{3}} V_{dc}^2 d\omega t} ;$$

$$V_{abrms} = V_{dc} \sqrt{\frac{2}{3}}$$

$$THD = \sqrt{\frac{V_{rms}^2 - V_{1rms}^2}{V_{1rms}^2}} ;$$

$$THD = \sqrt{\left(\frac{\pi}{3}\right)^2 - 1} = 31,08\%$$

$$\hat{V}_{ab3} = 0 \quad ;$$

$$\hat{V}_{ab5} = \frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{3}} V_{dc} \cos(5\omega t) d\omega t \quad ;$$

$$\hat{V}_{ab5} = \frac{2V_{dc}\sqrt{3}}{5\pi}$$

$$V_{ab5rms} = \frac{V_{dc}}{5\pi} \sqrt{6} \quad ;$$

$$V_{an5rms} = \frac{V_{ab5rms}}{\sqrt{3}} = \frac{V_{dc}\sqrt{2}}{5\pi} \quad ;$$

$$\hat{V}_{an5} = \frac{2V_{dc}}{5\pi}$$

$$\hat{I}_{L5} = \frac{\hat{V}_{an5}}{\sqrt{R^2 + (5 \cdot 2\pi f L)^2}} = 2,14 A$$



6.- Obtener la razón de utilización de los semiconductores de los inversores medio puente, puente completo, push-pull y puente trifásico. Controlados por la técnica PWM, con índice de modulación de amplitud $m_a=0,8$

Razón de utilización, $R_u = \frac{S_o}{qV_T I_T}$ donde S_o es el valor de volti-amperios a la salida del inversor, V_T la máxima tensión que soportan los transistores, I_T la máxima intensidad a través de los transistores y q es el número de transistores

En convertidores monofásicos $S_o = V_{o1} I_o$ donde V_{o1} es la tensión eficaz de salida (primer armónico) e I_o es la intensidad eficaz de salida calculada con el primer armónico de tensión y la carga del inversor.

En convertidores trifásicos $S_o = \frac{\sqrt{3} V_{o1LL} I_o}{\sqrt{3}}$ donde V_{o1LL} es el valor eficaz del primer armónico de la tensión

de línea de salida e I_o es la intensidad eficaz de línea de salida.

Convertidor Push-Pull:

$$V_T = 2V_d ; \quad V_{o1} = \frac{V_d m_a n_2}{\sqrt{2} n_1} ; \quad I_T = \sqrt{2} I_o \frac{n_2}{n_1} ; \quad q = 2$$

$$R_u = \frac{\frac{V_d m_a n_2}{\sqrt{2} n_1} I_o}{2 \cdot 2V_d \sqrt{2} I_o \frac{n_2}{n_1}} = \frac{1}{8} m_a ; \quad m_a = 0,8 ; \quad R_u = 0,1$$

Convertidor Medio Puente:

$$V_T = V_d ; \quad V_{o1} = \frac{V_d m_a}{2 \sqrt{2}} ; \quad I_T = \sqrt{2} I_o ; \quad q = 2$$

$$R_u = \frac{\frac{V_d m_a}{2 \sqrt{2}} I_o}{2 V_d \sqrt{2} I_o} = \frac{1}{8} m_a ; \quad m_a = 0,8 ; \quad R_u = 0,1$$

Convertidor Puente Completo:

$$V_T = V_d ; \quad V_{o1} = V_d \frac{m_a}{\sqrt{2}} ; \quad I_T = \sqrt{2} I_o ; \quad q = 4$$

$$I_T = \sqrt{2} I_o ; \quad m_a = 0,8 ; \quad R_u = 0,1$$

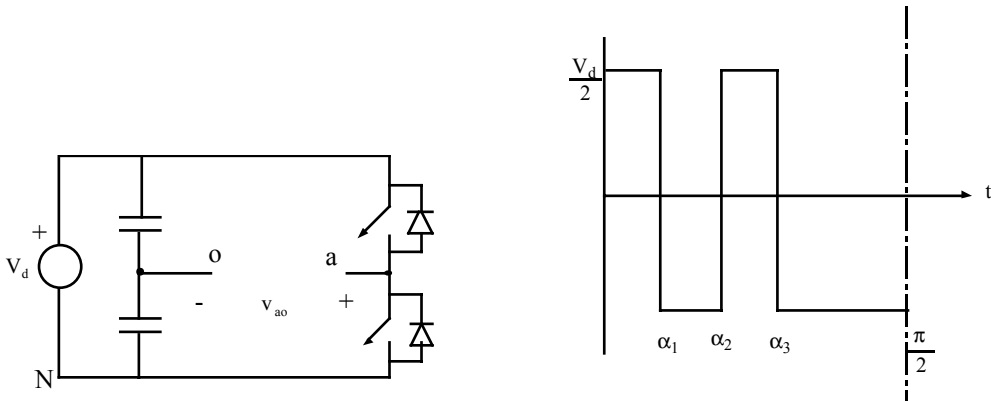
Convertidor Puente Trifásico:

$$V_T = V_d ; \quad V_{o1LL} = \frac{V_d m_a}{2 \sqrt{2}} \sqrt{3} ; \quad I_T = \sqrt{2} I_o ; \quad q = 6$$

$$R_u = \frac{\frac{\sqrt{3} V_d m_a}{2 \sqrt{2}} \sqrt{3} I_o}{6 V_d \sqrt{2} I_o} = \frac{1}{8} m_a ; \quad m_a = 0,8 ; \quad R_u = 0,1$$



7.- Con la técnica de eliminación de armónicos obtener la señal de control de los transistores de un inversor medio puente eliminando el 5º y 7º armónico y obteniendo el 60% del valor máximo en el fundamental.



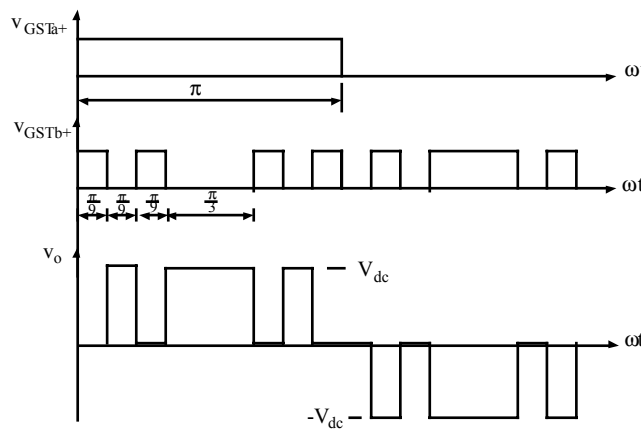
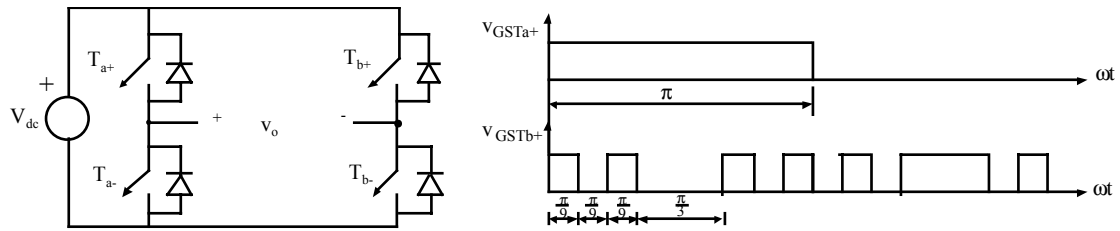
$$\hat{V}_n = \frac{4}{\pi} \left[\int_0^{\alpha_1} \frac{V_d}{2} \sin(n\omega t) d\omega t - \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{V_d}{2} \sin(n\omega t) d\omega t + \int_{\alpha_2}^{\alpha_3} \frac{V_d}{2} \sin(n\omega t) d\omega t - \int_{\alpha_3}^{\frac{\pi}{2}} \frac{V_d}{2} \sin(n\omega t) d\omega t \right]$$

$$\hat{V}_5 = 0 ; \quad \hat{V}_7 = 0$$

$$\hat{V}_{1\max} = \frac{4}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{V_d}{2} \sin \omega t d\omega t = \frac{2V_d}{\pi} \quad ; \quad \hat{V}_1 = 0,6 \frac{2V_d}{\pi}$$



8.- Un inversor puente completo se dirige con las funciones de mando de la figura. a) Dibujar un ciclo completo de la tensión de salida. b) Calcular el primer armónico y la expresión para el armónico n. c) Indicar la distorsión armónica total, THD, de la tensión de salida.



La función v_o presenta simetría impar con el eje en el origen y simetría par con el eje en $\pi/2$

$$\hat{V}_n = \frac{2}{\pi} \left[\int_0^{\frac{2\pi}{9}} V_{dc} \sin(n\omega t) d\omega t + \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{\pi}{2}} V_{dc} \sin(n\omega t) d\omega t \right]$$

$$\hat{V}_n = \frac{4V_{dc}}{\pi n} \left[\left(\cos \frac{n\pi}{9} - \cos \frac{n2\pi}{9} \right) + \left(\cos \frac{n\pi}{3} - \cos \frac{n\pi}{2} \right) \right]$$

$$\hat{V}_1 = \frac{4V_{dc}}{\pi} \left(\cos \frac{\pi}{9} - \cos \frac{2\pi}{9} + \cos \frac{\pi}{3} \right) = 0,67 \frac{4V_{dc}}{\pi} \quad ; \quad V_1 = \frac{\hat{V}_1}{\sqrt{2}} \quad ; \quad V_3=0$$

Para calcular THD obtenemos previamente el valor eficaz de la tensión de salida V_o

$$V_o^2 = \frac{1}{\pi} \left[\int_0^{\frac{2\pi}{9}} V_{dc}^2 d\omega t + \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{\pi}{2}} V_{dc}^2 d\omega t \right] = \frac{5}{9} V_{dc}^2 \quad ; \quad THD = \sqrt{\frac{V_o^2 - V_1^2}{V_1^2}} \quad ;$$

THD=71,4%

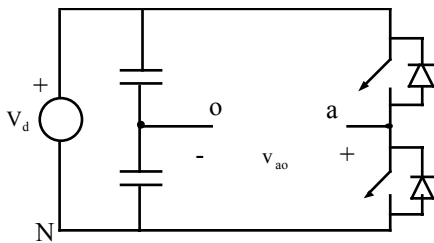


9.- En un inversor medio puente cuya tensión de alimentación $V_d = 300\text{ V}$ se han obtenido los valores eficaces del armónico fundamental y de los armónicos más cercanos. Se realizó el control con la técnica PWM siendo la frecuencia fundamental 50 Hz , $m_a = 0,8$ y $m_f = 39$.

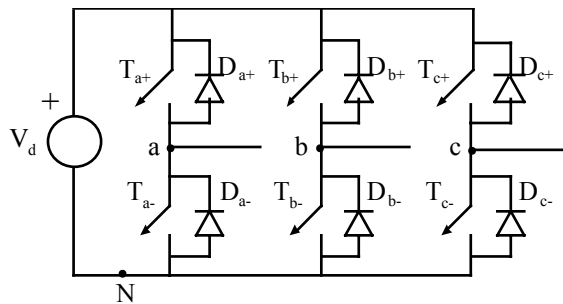
Estos valores son: $V_{ao1} = 84,86\text{ V}$ a 50 Hz , $V_{ao37} = 23,33\text{ V}$ a 1850 Hz , $V_{ao39} = 86,76\text{ V}$ a 1950 Hz , $V_{ao41} = 23,33\text{ V}$ a 2050 Hz , $V_{ao77} = 33,31\text{ V}$ a 3850 Hz , $V_{ao79} = 33,31\text{ V}$ a 3950 Hz

Obtener los valores de tensión de línea para los mismos armónicos al adaptar esta técnica de control a un inversor trifásico en puente.

Medio Puente



Puente Trifásico



$$V_{ao1} = \frac{V_d}{2} 0,8 \frac{1}{\sqrt{2}} = 84,86V$$

$$V_{ab1} = V_{ao1} \sqrt{3} = 147V$$

$$V_{ao37} = 23,33V$$

$$V_{ab37} = V_{ao37} \sqrt{3} = 40,4V$$

$$V_{ao39} = 86,76V$$

$$V_{ab39} = 0V$$

$$V_{ao41} = 23,33V$$

$$V_{ab41} = 40,4V$$

$$V_{ao77} = 33,31V$$

$$V_{ab77} = V_{ao77} \sqrt{3} = 57,69V$$

$$V_{ao79} = 23,33V$$

$$V_{ab79} = 57,69V$$

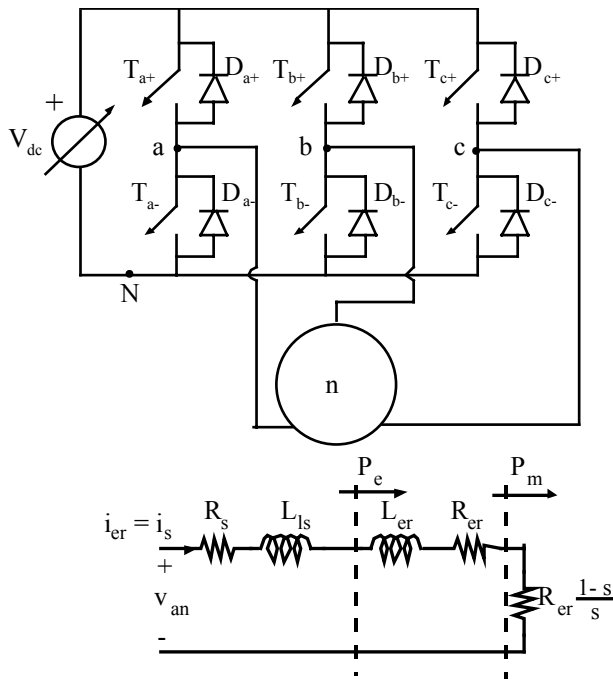


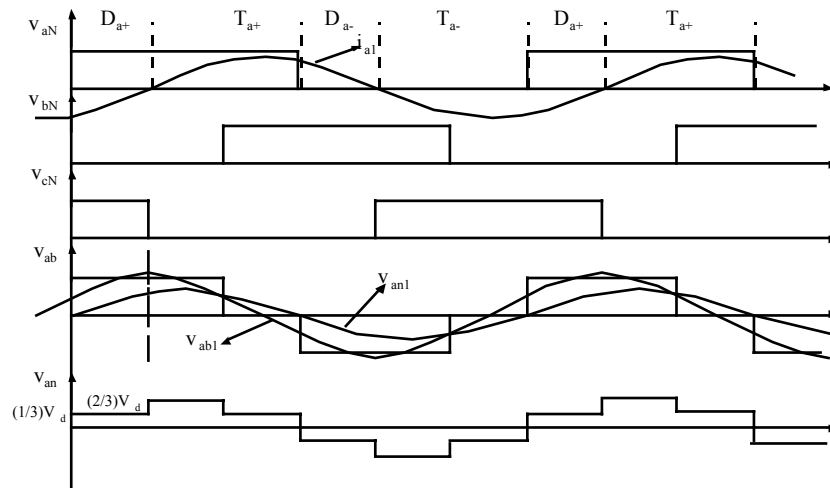
10.- Se desea regular la velocidad de un motor trifásico mediante un convertidor cc/cc y un inversor trifásico en puente, variando la frecuencia de salida del inversor y la tensión de salida del convertidor cc/cc. Los tiempos de conducción de cada rama del inversor son complementarios y de un semiperíodo de duración.

Calcular la tensión de salida del convertidor cc/cc y la frecuencia de la tensión de salida del inversor para $n = n_{nom}$ y $n = 1050$ rpm, manteniendo el deslizamiento nominal.

Calcular el primer y quinto armónico de intensidad de línea de salida del inversor.

Datos: Parámetros nominales del motor: Tensión de alimentación 380 V, 50 Hz. $X_s = 1,8 \Omega$, $X_{er} = 2,2 \Omega$, $R_s = 1,90 \Omega$, $R_{er} = 1,01 \Omega$. $n_{nom} = 1275$ rpm, 4 polos. La regulación de velocidad se realiza con flujo constante.





$$\omega_s = \omega \frac{2}{p} = 157,08 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad ; \quad \omega_m = \omega_s (1 - s) \quad ; \quad s=0,15$$

$$v_{annom} = \frac{380}{\sqrt{3}} V \quad ; \quad I_{ernom}^2 = \frac{V_{annom}^2}{(X_s + X_{er})^2 + \left(R_s + \frac{R_{er}}{s}\right)^2} = 531,7 A^2 \quad ;$$

$$I_{ernom} = 23,06 A$$

$$\hat{V}_{ab1} = 380\sqrt{2} V = \frac{4}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{3}} V_d \cos(\omega t) d\omega t = \frac{4}{\pi} V_d \sin \frac{\pi}{3} \quad ; \quad V_{dnom} = 487,4 V, f_{nom} = 50 \text{ Hz}$$

$$\hat{V}_{an5} = \frac{4}{\pi} \left[\int_0^{\frac{\pi}{6}} \frac{2}{3} V_d \cos(5\omega t) d\omega t + \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{3} V_d \cos(5\omega t) d\omega t \right] ;$$

$$\hat{V}_{an5} = \frac{4}{\pi} \frac{1}{3} V_d \frac{1}{5} \left[\sin \frac{5\pi}{6} + \sin \frac{5\pi}{2} \right] = 62,1 V$$

$$V_{an5} = 43,88 V$$

$$I_{er5}^2 = \frac{V_{an5}^2}{(X_{s5} + X_{er5})^2 + \left(R_s + \frac{R_{er}}{s}\right)^2} = 4,06 A^2 \quad ; \quad I_{er5} = 2,01 A$$

A 1050 rpm con s=0,15

$$\omega_m 1050 = 110 \text{ rad/s} \quad ; \quad \omega_s = 129,3 \text{ rad/s} \quad ; \quad \omega = 258,7 \text{ rad/s} \quad ; \quad f = 41,18 \text{ Hz}$$

Curso 00/01. Tecnología Electrónica Ingeniería de Sistemas y Automática, TEISA
E.T.S. Ingenieros Industriales y de Telecomunicación. Universidad de Cantabria



$$\text{Si } \phi = \text{cte}, \frac{V_{an1}}{\omega_s} = k = 1,4 \quad ; \quad V_{1an1050} = 180,7V \quad ; \quad \hat{V}_{1ab1050} = 442,6V$$

$$V_{d1050} = 401,4V \quad ; \quad V_{5an1050} = 36,14V \quad ; \quad I_{5er1050}^2 = 2,75A^2 ; I_{5er1050} = 1,66A$$

$$I_{1er1050} = 19A$$

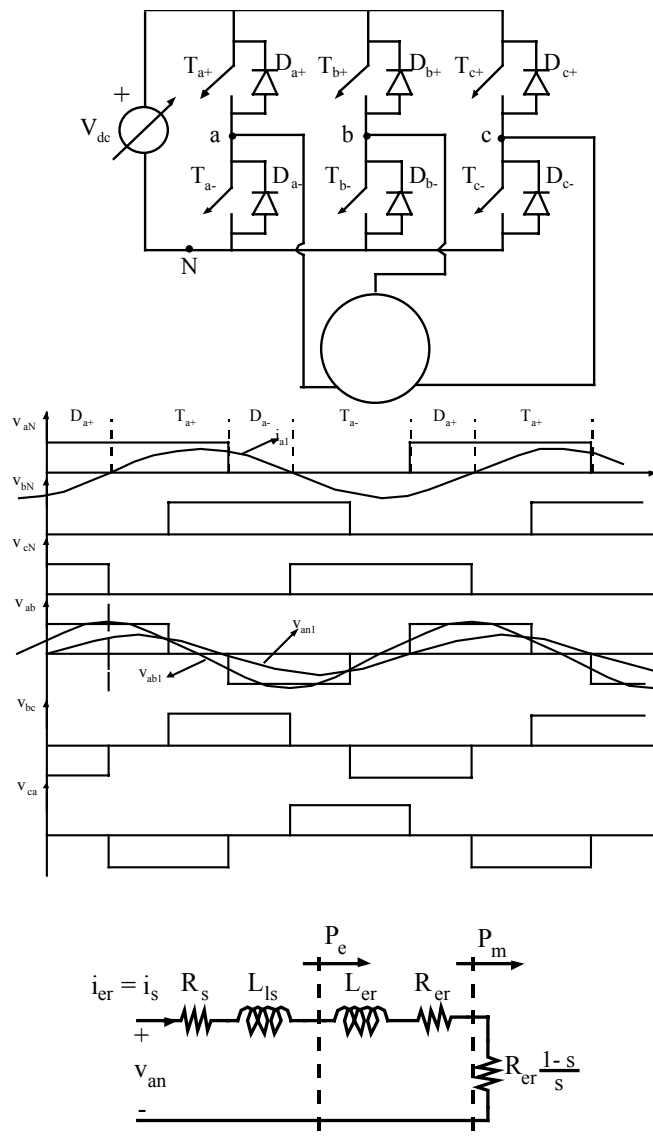


11.- Se desea regular la velocidad de un motor trifásico mediante un convertidor cc/cc y un inversor trifásico en puente, variando la frecuencia de salida del inversor y la tensión de salida del convertidor cc/cc. Los tiempos de conducción de cada rama del inversor son complementarios y de un semiperiodo de duración.

Calcular la tensión de salida del convertidor cc/cc y la frecuencia de la tensión de salida del inversor para $n = n_{nom}$ y $n = 1000$ rpm, manteniendo el deslizamiento nominal.

Calcular el primer y tercer armónico de intensidad de línea de salida del inversor.

Datos: Parámetros nominales del motor: Tensión de alimentación 380 V, 50 Hz. $X_s = 1,8 \Omega$, $X_{er} = 2,2 \Omega$, $R_s = 1,90 \Omega$, $R_{er} = 1,01 \Omega$. $n_{nom} = 1275$ rpm, 4 polos. La regulación de velocidad se realiza con flujo constante.





De las condiciones nominales se obtiene el deslizamiento:

$$\omega_s = \omega \frac{2}{p} = 157,08 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad ; \quad \omega_m = \omega_s (1 - s) \Rightarrow s = 0,15$$

A partir del circuito equivalente en condiciones nominales se obtiene I_{er1nom} .

$$V_{annom} = \frac{380}{\sqrt{3}} \quad ; \quad I_{ernom}^2 = \frac{V_{annom}^2}{(X_s + X_{er})^2 + \left(R_s + \frac{R_{er}}{s}\right)^2} = 531,7 A^2 \quad ; \quad I_{er1nom} =$$

23,1 A

Analizando la forma de onda de tensión se obtiene V_d

$$\hat{V}_{ab1} = 380\sqrt{2}V = \frac{4}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{3}} V_d \cos(\omega t) d\omega t = \frac{4}{\pi} \sin\left(\frac{\pi}{3}\right) V_d \quad ; \quad V_{dnom} = 487,37 \text{ V}, f_{nom} = 50 \text{ Hz}$$

Con $n = 1000 \text{ rpm}$, $s = 0,15$

$$\omega_{m1000} = 104,72 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = \omega_s (1 - s) \Rightarrow \omega_{s1000} = 123,2 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad ; \quad \omega_{1000} = 246,4 \text{ rad/s}, f_{1000} = 39,2 \text{ Hz}$$

Si $\phi = \text{cte}$, en primera aproximación $\frac{V_{an1}}{\omega_s} = k = 1,4$, así $V_{1an1000} = 172,1 \text{ V}$

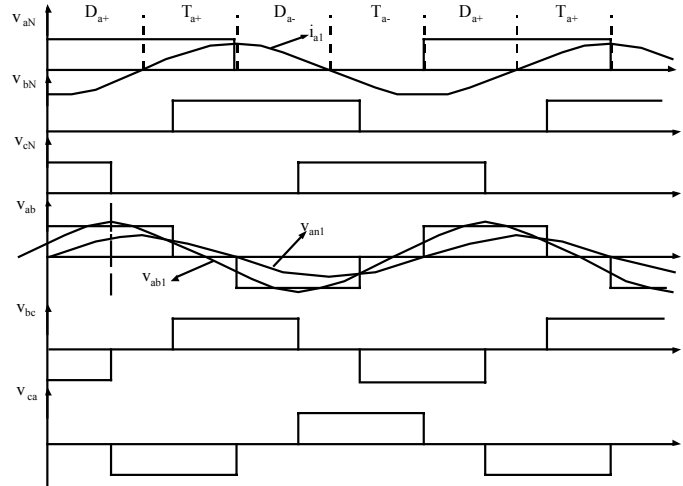
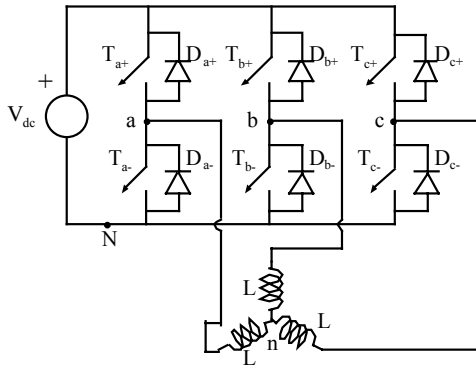
$$\hat{V}_{1ab1000} = 172,1\sqrt{2}\sqrt{3}V = \frac{4}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{3}} V_d \cos(\omega t) d\omega t = \frac{4}{\pi} \sin\left(\frac{\pi}{3}\right) V_d \quad ; \quad V_{d1000} = 382,3 \text{ V}$$

$$I_{er1000}^2 = \frac{V_{1an1000}^2}{(X_{s1000} + X_{er1000})^2 + \left(R_s + \frac{R_{er}}{s}\right)^2} = 351,1 A^2 \quad ; \quad I_{1er1000} = 18,74 \text{ A}$$

$$I_{3ernom} = I_{3er1000} = 0 \text{ A}$$



12.- Inversor trifásico con técnica de regulación por onda cuadrada. Carga equilibrada inductiva. Dibujar el primer armónico de intensidad por los semiconductores diferenciando la que circula por los diodos y los transistores.



Para calcular el primer armónico de v_{ab} se traslada el origen $\pi/3$ buscando una simetría par. De esta forma,

$$\hat{V}_{ab1} = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} V_{dc} \cos \omega t \cdot d\omega t ; \hat{V}_{ab1} = \frac{4}{\pi} V_{dc} \sin\left(\frac{\pi}{3}\right) = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} V_{dc} ; \hat{V}_{ab1} = 1,1 \cdot V_{dc}$$

$$V_{an1} = \frac{V_{ab1}}{\sqrt{3}} \angle -30^\circ ; I_{a1} = \frac{V_{an1}}{\omega L} \angle -90^\circ$$



13.- Inversor mofásico puente completo con regulación PWM

Datos: Tensión de alimentación $V_d = 295 - 325$ V. Tensión en la carga eficaz (1er armónico) $V_{o1ef} = 200$ V. Carga $Z_o = 20 \Omega$

Determinar: a) Razón de utilización de los semiconductores, b) Índice de modulación de amplitud, c) Distorsión de la tensión de salida

La tensión máxima que soporta un transistor es $V_T = V_{dmax} = 325$ V

La intensidad máxima que circula por un transistor es la intensidad máxima de carga: $I_{oef} = 200/20 = 10$ A; $I_T = \sqrt{2} I_o$

El número de transistores en esta topología es $q = 4$

$$R_{ut} = \frac{V_{o1ef} I_{oef}}{q V_T I_T} = 0,11$$

Para índices de modulación m_a menores que la unidad $\hat{V}_{o1} = m_a V_d$;

$$m_a = \frac{\hat{V}_{o1}}{V_d} = 0,96 - 0,87$$

Valor eficaz de la tensión de salida, V_o utilizando la técnica de control PWM

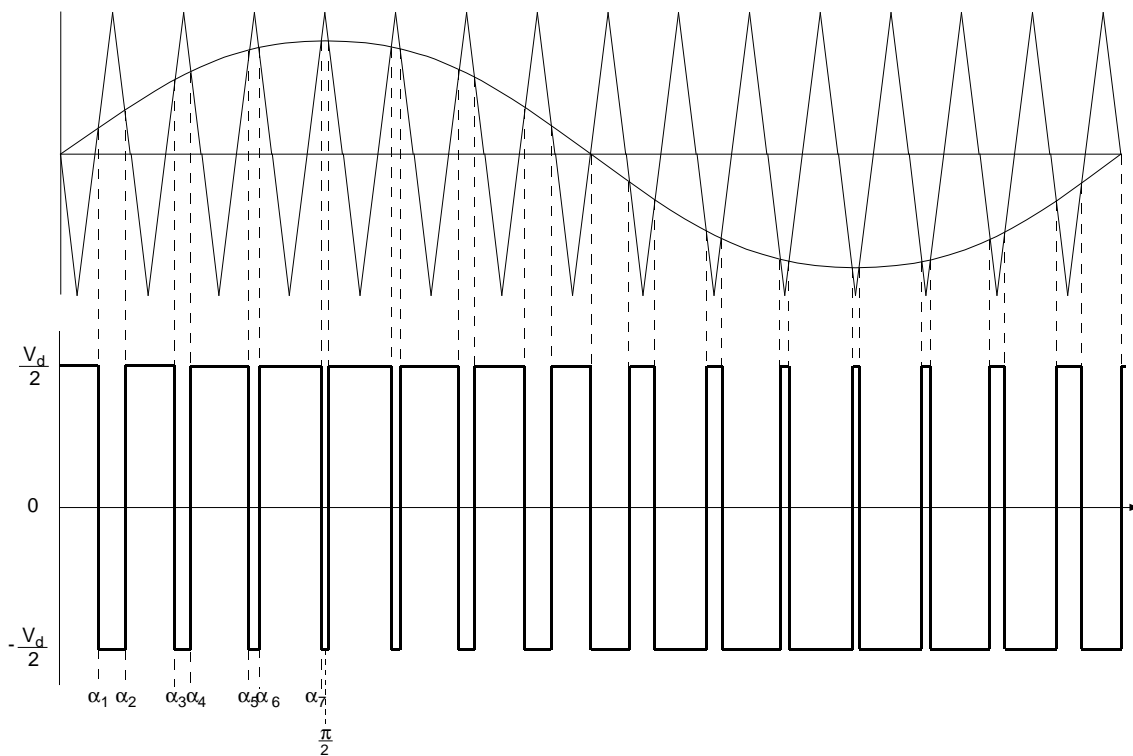
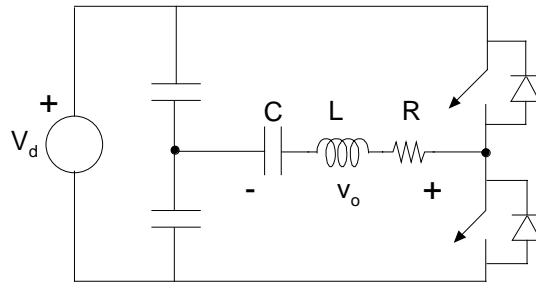
$$V_o = \sqrt{\frac{2}{\pi} \left(\int_0^{\alpha_1} (V_d)^2 d(\omega t) + \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} (-V_d)^2 d(\omega t) + \dots + \int_{\alpha_n}^{\frac{\pi}{2}} (-V_d)^2 d(\omega t) \right)}$$

$$V_o = \sqrt{\frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} (V_d)^2 d(\omega t)} \quad ; \quad V_o = V_d \quad ; \quad \frac{V_{o1}}{V_o} = \frac{m_a}{\sqrt{2}} = 0,68 - 0,615$$



14.- Un inversor monofásico de topología medio puente está alimentado con $V_d=400V$ y controlado con la técnica PWM. La frecuencia del primer armónico de la tensión de salida es 50 Hz. El índice de modulación de frecuencia es $m_f = 15$ y el factor de modulación de amplitud es $m_a = 0,8$. La carga es $R = 5 \Omega$, $L = 15 \text{ mH}$, $C = 25 \mu\text{F}$.

Calcular el factor de distorsión de la tensión de salida. Calcular el armónico fundamental de intensidad por la carga.



$$\hat{V}_{o1} = m_a \frac{V_d}{2} = 160V ; V_{o1} = \frac{160}{\sqrt{2}} ; v_{o1} = 160 \text{ sen } (100\pi t)$$

$$|Z_1| = 122,7\Omega ; \varphi = -87,75^\circ ; i_{o1} = 1,3 \text{ sen } (100\pi t + 87,75^\circ)$$

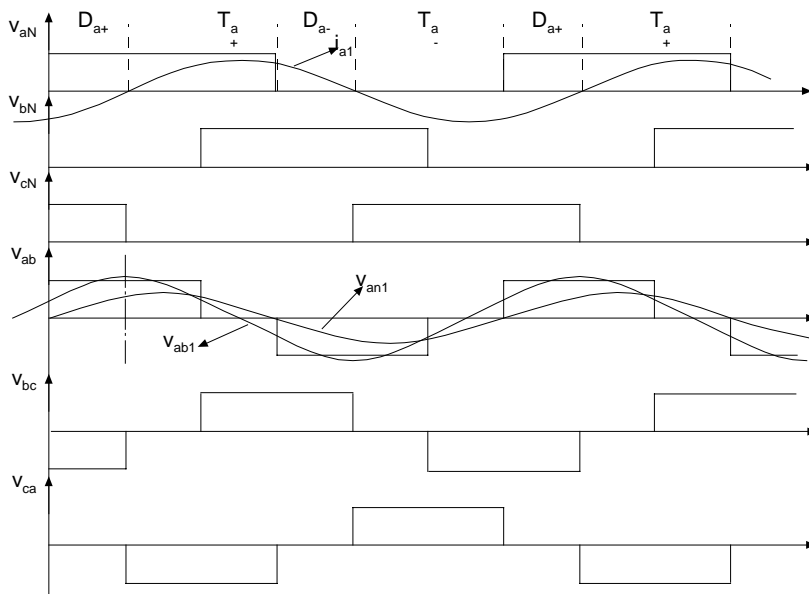
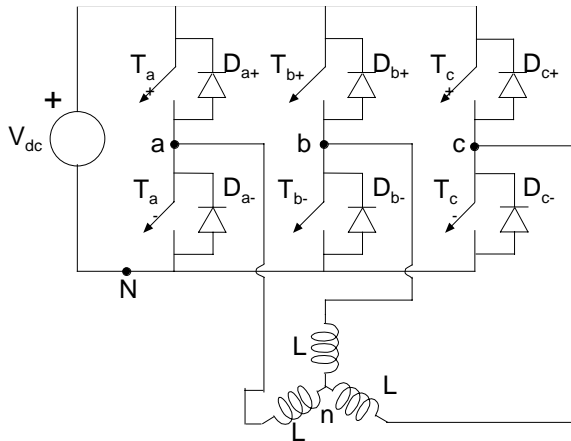


$$V_o = \sqrt{\frac{2}{\pi} \left(\int_0^{\alpha_1} \left(\frac{V_d}{2}\right)^2 d(\omega t) + \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \left(-\frac{V_d}{2}\right)^2 d(\omega t) + \dots + \int_{\alpha_7}^{\frac{\pi}{2}} \left(-\frac{V_d}{2}\right)^2 d(\omega t) \right)}$$

$$V_o = \sqrt{\frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left(\frac{V_d}{2}\right)^2 d(\omega t)} \quad ; \quad V_o = \frac{V_d}{2} \quad ; \quad \frac{V_{o1}}{V_o} = \frac{m_a}{\sqrt{2}} = 0,57$$



15.- Un inversor trifásico en puente con regulación de tensión de salida cuadrada alimenta a una carga trifásica inductiva equilibrada, en estrella. Dibujar las formas de onda del sistema de tensiones de salida, calcular el primer armónico de intensidad de línea e indicar gráficamente, para una intensidad de línea (primer armónico), los tramos de conducción de los transistores y de los diodos en antiparalelo.



$$\hat{V}_{ab1} = \frac{2}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{2}} V_d \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{4}{\pi} V_d \cos\left(\frac{\pi}{6}\right) ; \hat{V}_{ab1} = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} V_d$$

$$v_{ab1} = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} V_d \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right) ; v_{an1} = \frac{2V_d}{\pi} \sin(\omega t)$$

$$i_{a1} = \frac{2V_d}{\pi \omega L} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$



16.- En un inversor medio puente cuya tensión de alimentación es $V_d=300$ V se han obtenido los valores eficaces del armónico fundamental y de los armónicos más cercanos. Se realizó el control con la técnica PWM siendo la frecuencia fundamental 50 Hz. El índice de modulación de frecuencia es $m_f = 20$.

Estos valores son: $V_{ao1}=84,6$ V a 50 Hz, $V_{ao18}=23,33$ V, $V_{ao20}=86,76$ V, $V_{ao22}=23,33$ V, $V_{ao39}=33,31$ V, $V_{ao41}=33,31$ V

Obtener el índice de modulación de amplitud y los valores de tensión de salida para los mismos armónicos al adaptar esta técnica de control a un inversor monofásico en puente con tensión de salida unidireccional. Si la carga es $L=100$ mH calcular la amplitud de intensidad de los armónicos 39 y 41

$$\hat{V}_{ao1} = m_a \frac{V_d}{2} ; \quad m_a = 0,8$$

Los controles de las dos ramas del inversor puente completo están desfasado 180° por lo que la amplitud de los armónicos impares de la tensión de salida es el doble que en el inversor medio puente, mientras que los armónicos pares se cancelan

Puente completo

$$V_{ao1}=169,2$$
 V

$$V_{ao18}=0$$
 V

$$V_{ao20}=0$$
 V

$$V_{ao22}=0$$
 V

$$V_{ao39}=66,82$$
 V

$$V_{ao41}=66,82$$
 V

$$\text{Para el armónico 39, } Z_{L39} = 39\omega_1 L = 1225,22\Omega \quad ; \quad \hat{V}_{ao39} = V_{ao39} \sqrt{2} = 94,5V$$

$$\hat{I}_{ao39} = \frac{\hat{V}_{ao39}}{Z_{L39}} = 77,13mA$$

$$\text{Para el armónico 41, } Z_{L41} = 41\omega_1 L = 1288,05\Omega ; \quad \hat{V}_{ao41} = V_{ao41} \sqrt{2} = 94,5V$$

$$\hat{I}_{ao41} = \frac{\hat{V}_{ao41}}{Z_{L41}} = 68,08mA$$