

CONVERTIDORES ELECTRÓNICOS DE POTENCIA DC-AC O INVERSORES: PRIMER PROBLEMA

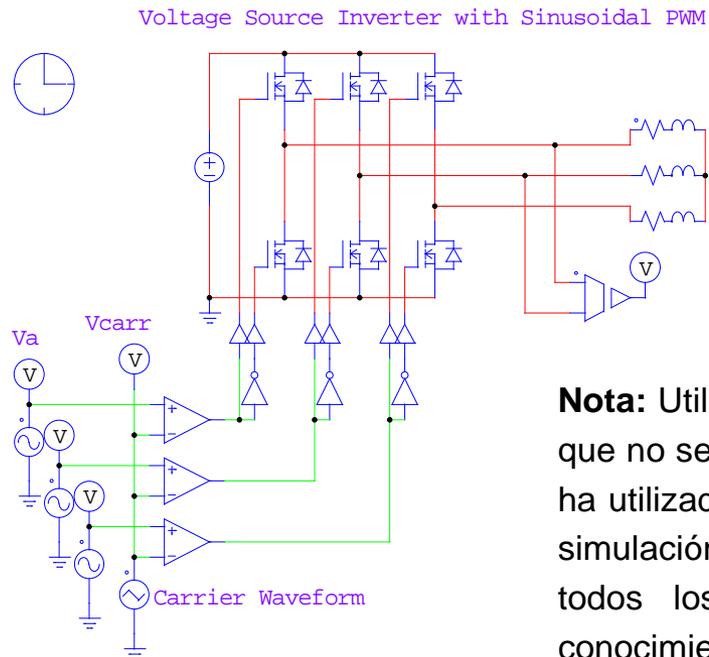
F. Javier Maseda

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA
SISTEMEN INGENIARITZA ETA AUTOMATIKA SAILA



PRIMER PROBLEMA

- A.-** Para el siguiente circuito inversor trifásico con una tensión de entrada continua de 550V, un sistema de modulación PWM de 10kHz y la carga formada por una impedancia de 10Ω y 100mH , calcular:
- Tensión compuesta en la salida, si se considera un índice de modulación $m_a=0.85$.
 - Calculo de la distorsión armónica total en la corriente y en la tensión.
 - Espectro de frecuencias de tensiones y corrientes.
 - Corriente en la salida.
 - Si la carga trifásica conectada en la salida del inversor tuviese que ser alimentada con una tensión alterna compuesta de $660\text{V}/50\text{Hz}$, ¿Cuál debería ser el nivel de tensión continua de entrada al inversor?



- B.-** Hacer el mismo problema considerando un sistema de modulación Six-step.
- C.-** Calcular los transistores del inversor y seleccionar uno comercial.
- D.-** Seleccionar un driver y explicar cómo funciona. Explicar como conectarlo al controlador del sistema y a cada transistor del inversor.

Nota: Utilizar las herramientas de simulación para apoyar aquellos cálculos que no se puedan realizar totalmente de forma manual. Indicar para qué se ha utilizado PSIM, cómo y por qué. También se debe utilizar el modelo de simulación y las posibilidades que ofrece para visualizar, medir y modificar todos los parámetros del sistema, lo que ayudará a asentar los conocimientos teóricos adquiridos en el curso.



Modulación PWM

A.- Modulación PWM

a. Tensión compuesta en la salida con $m_a=0.85$

$$(v_{AB})_1 = \sqrt{3}m_a \frac{V_{entrada}}{2} \text{sen}\omega_1 t = 0.866m_a V_{entrada} \text{sen}\omega_1 t$$

$$= 0.886 \cdot 0.85 \cdot 550 \text{sen}\omega_1 t = 404.86 \text{sen}\omega_1 t$$

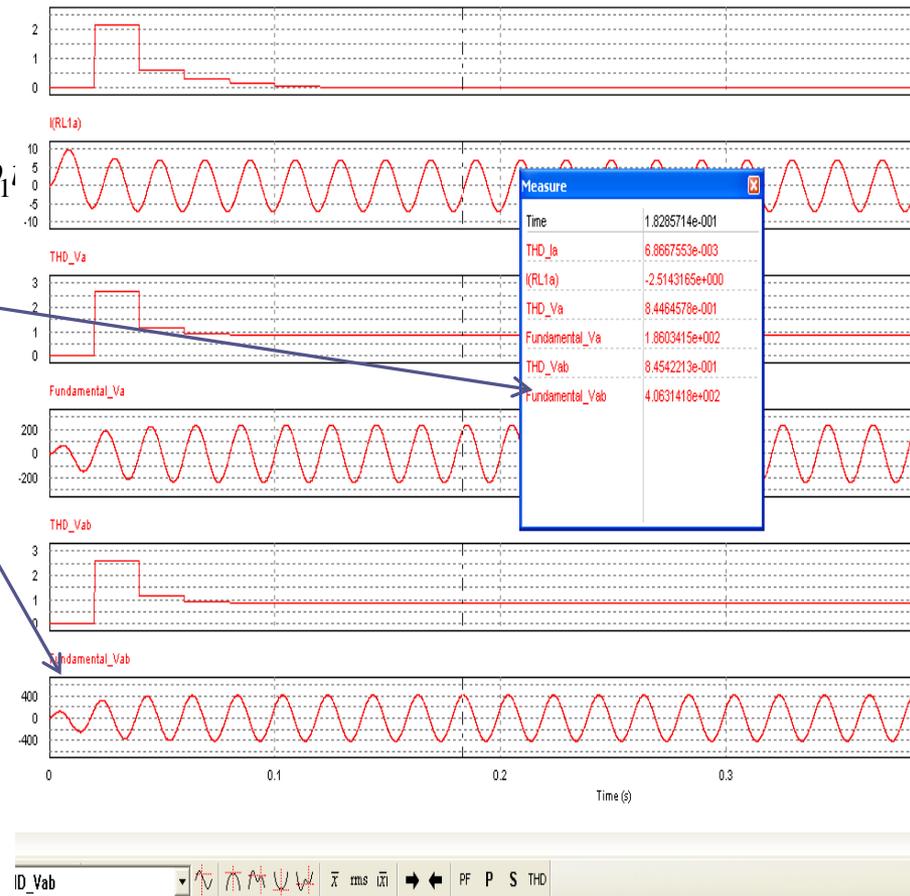
$$(V_{AB})_{1,rms} = \frac{404.86}{\sqrt{2}} = 286.28V$$

b. Para el cálculo de la distorsión de corrientes y tensiones vamos a utilizar PSIM.

$$THD_{corriente} = 0.00686$$

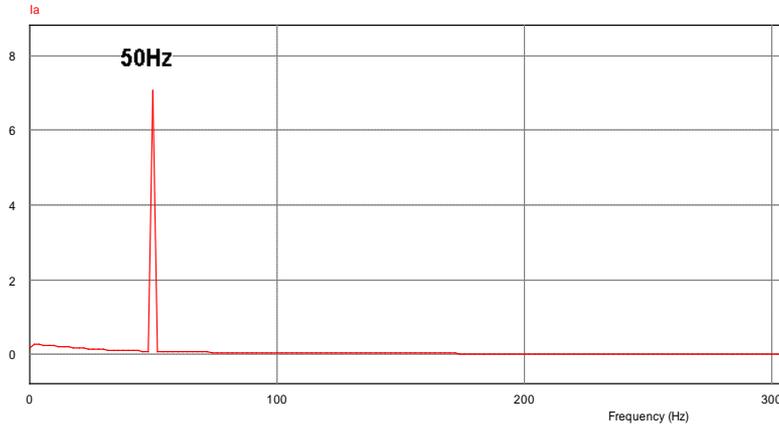
$$THD_{tensión} = 0.845$$

Se aprecia que la distorsión en la corriente es mínima y que la distorsión en la tensión es notable. El motivo es que la inductancia de la carga es elevada y filtra la corriente.



Modulación PWM

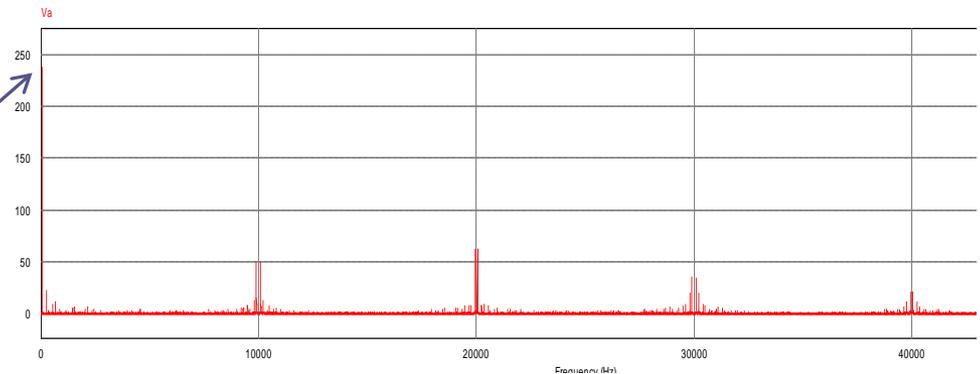
c. Espectro de frecuencias de corriente y tensión en las fases de la carga.



Espectro de frecuencias de la corriente en la carga centrada en el fundamental de 50Hz

$$(V_a)_1 = \frac{404.86}{\sqrt{3}} = 233.746V$$

Espectro de frecuencias de la corriente en la carga



Espectro de frecuencias de la tensión simple en la carga. Notar que la distorsión armónica empieza con la frecuencia de la portadora triangular de 10kHz.



Modulación PWM

d. Corriente en la salida

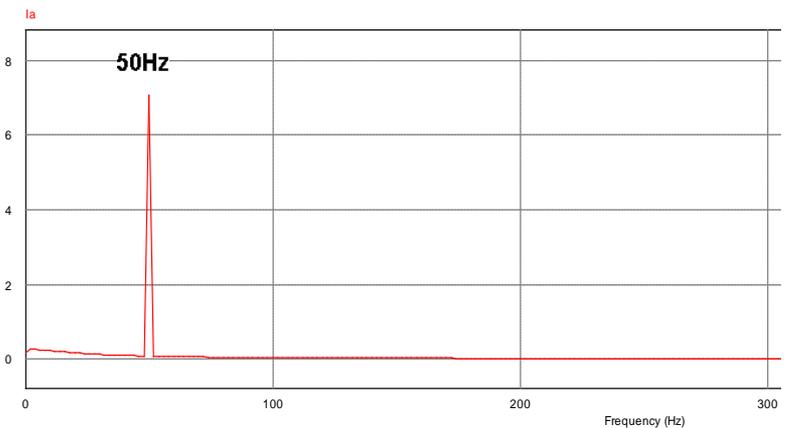
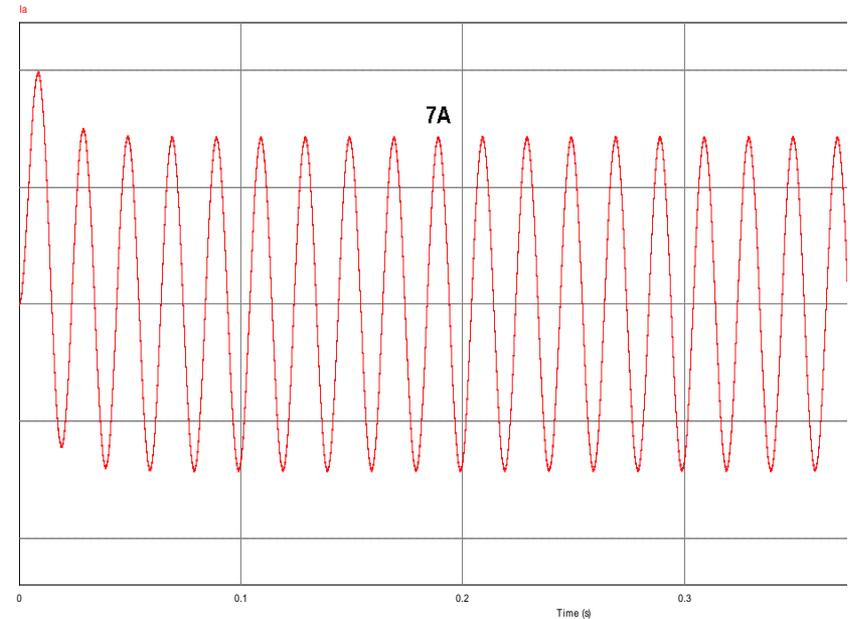
$$Z = \sqrt{10^2 + (2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0.1)^2} = 32.97\Omega$$

$$V_a = \frac{404.86}{\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}}} = 165.28V$$

$$I_a = \frac{V_a}{Z} = 5A$$

$$v_a(t) = \frac{404.86}{\sqrt{3}} \text{sen}(\omega t) = 233.746 \text{sen}(\omega t)$$

$$i_a(t) = \frac{v_a}{Z} = \frac{233.746}{32.97} \text{sen}(\omega t) = 7 \text{sen}(\omega t)$$



Modulación PWM

- e. Si la salida debe ser de 660V/50Hz, el nivel de continua tiene que ser:

$$(v_{AB})_{pico} = \sqrt{3}m_a \frac{V_{entrada}}{2}$$

$$\sqrt{2} \cdot 660 = \sqrt{3} \cdot 0.85 \cdot \frac{V_{entrada}}{2} \Rightarrow$$

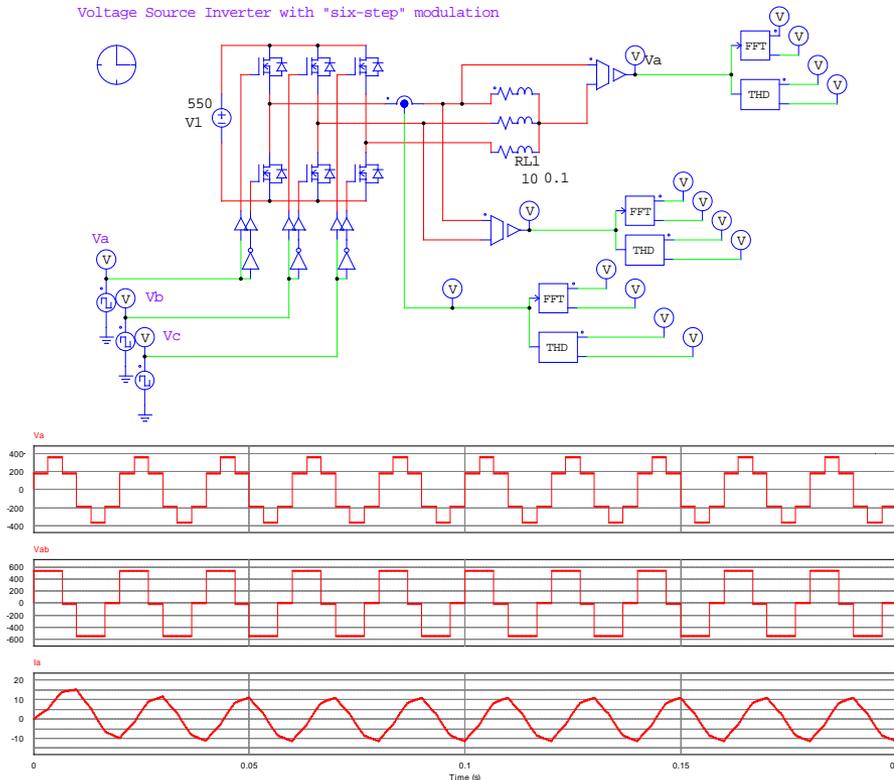
$$V_{entrada} = \frac{2 \cdot \sqrt{2} \cdot 660}{\sqrt{3} \cdot 0.85} = 1267.97V$$



Modulación six-step

B.- Hacer el mismo problema considerando un sistema de modulación six-step.

Voltage Source Inverter with "six-step" modulation



La serie de Fourier para la tensión compuesta:

$$V_{AB}(t) = \frac{2 \cdot \sqrt{3} \cdot V_{entrada}}{\pi} \left[\sin \omega t - \frac{1}{5} \sin 5 \omega t - \frac{1}{7} \sin 7 \omega t + \frac{1}{11} \sin 11 \omega t \dots \right]$$

a. Tensión compuesta en la salida.

$$(v_{AB})_1 = \frac{2 \cdot \sqrt{3}}{\pi} V_{entrada} \sin \omega t = 606.46 \sin \omega t$$

$$(V_{AB})_{1,rms} = \frac{606.46}{\sqrt{2}} = 428.83V$$

$$V_{AB,rms_linea} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot V_{entrada} = 449V$$

Las formas de onda en la siguiente transparencia *

$$(V_{AB})_{rms_distorsión} = \sqrt{V_{AB,rms_linea}^2 - (V_{AB})_{1,rms}^2} = 133V$$

$$THD_{tensión} = \frac{(V_{AB})_{rms_distorsión}}{(V_{AB})_{1,rms}} = \frac{133}{428.83} = 0.31$$

b. Como en el caso de la modulación PWM, la corriente presentará una menor distorsión armónica, y aunque se podría recurrir al cálculo integral, se va a utilizar PSIM.

$$Z = \sqrt{10^2 + (2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0.1)^2} = 32.97\Omega$$

$$V_a = \frac{606.46}{\sqrt{2}} = 247.58V$$

$$I_a = \frac{V_a}{Z} = 7.5A$$



Modulación six-step

c. Corriente de fase.

$$v_a(t) = \frac{606.46}{\sqrt{3}} \text{sen}(\omega t) = 350.14 \text{sen}(\omega t)$$

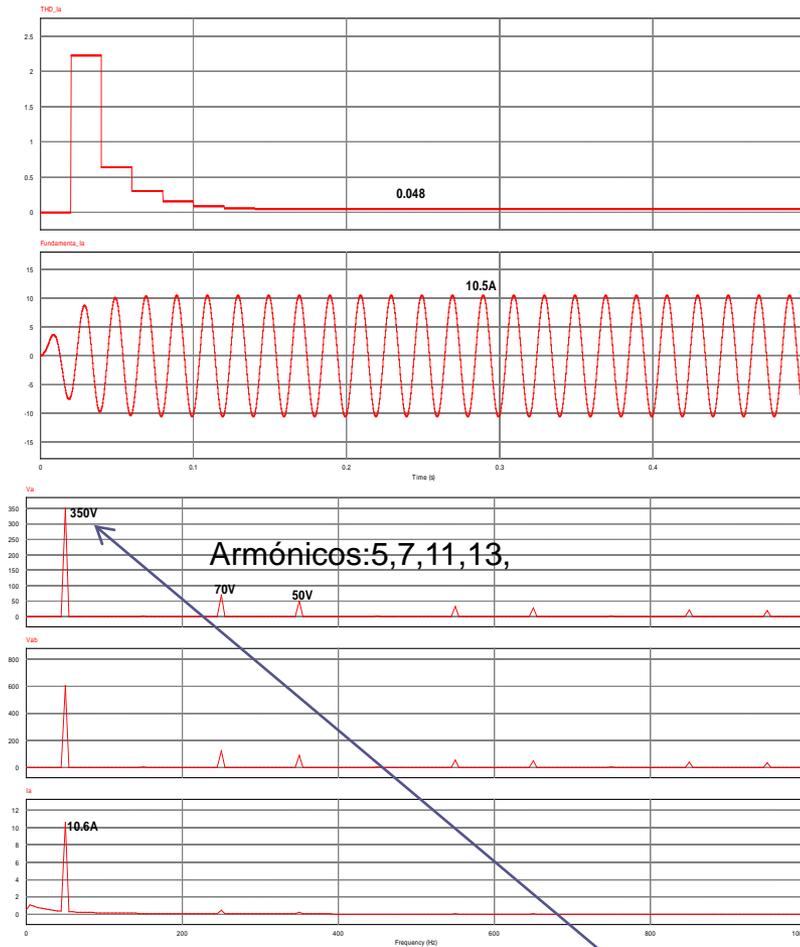
$$i_a(t) = \frac{v_a}{Z} = \frac{350.14}{32.97} \text{sen}(\omega t) = 10.62 \text{sen}(\omega t)$$

d. Si la salida debe ser de 660V/50Hz, el nivel de continua tiene que ser

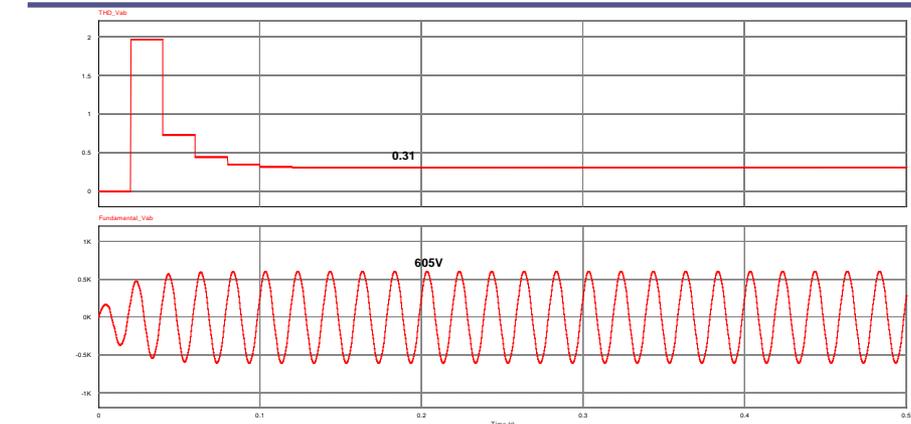
$$(v_{AB})_{pico} = \frac{2 \cdot \sqrt{3}}{\pi} V_{entrada}$$

$$\sqrt{2} \cdot 660 = \frac{2 \cdot \sqrt{3}}{\pi} V_{entrada} \Rightarrow$$

$$V_{entrada} = \frac{\pi \cdot \sqrt{2} \cdot 660}{\sqrt{3} \cdot 2} = 846.49V$$



$$(v_A)_1 = \frac{606.46}{\sqrt{3}} \text{sen} \omega_1 t = 349.9 \text{sen} \omega_1 t \quad \text{Tensión simple de fase}$$



Cálculo de los transistores

C.- Calcular los transistores del inversor y seleccionar uno comercial. (rs-online)



Transistor IGBT, IRG4PH20KDPBF, N-Canal, 11 A, 1.200 V, TO-247AC, 3-Pines

Código RS: 830-3259
Fabricante: International Rectifier
Nº ref. fabric.: IRG4PH20KDPBF

Datos del Producto

Añadir producto para comparar

Especificaciones

¿No es lo que buscaba? Seleccione los atributos que desee y pulse en el botón de abajo.

<input type="checkbox"/> Corriente Máxima Continua del Colector	11 A
<input type="checkbox"/> Tensión Máxima Colector-Emisor	1.200 V
<input type="checkbox"/> Tensión Máxima Puerta-Emisor	±20V

- a. La elección de la corriente de diseño de los transistores en los inversores es un tema controvertido por la dificultad de calcular el efectos de la conmutación a frecuencias altas. Una forma usualmente utilizada es la de dimensionarlo en basa a la corriente eficaz de fase. Como la corriente es mayor en la modulación six-step, se van a seleccionar los transistores:

$$I_T = I_a = 7.5 \cdot 1.3 \approx 10A$$

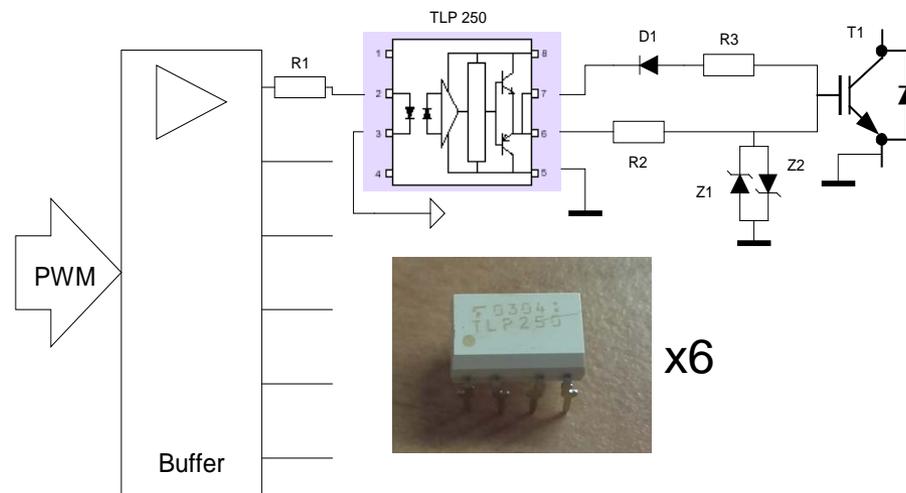
$$V_{T(CE)_{\max}} = 550 \cdot 1.5 \approx 825A$$

Nota: se han aplicado coeficientes de seguridad, 1.3 para las corrientes y 1.5 para las tensiones.



Selección del driver

D.- Seleccionar un driver y explicar cómo funciona; y como lo conectarías al controlador del sistema y cada transistor del inversor.



El driver se basa en un circuito integrado TLP 250. El aislamiento galvánico se obtiene mediante barrera óptica. La circuitería discreta se utiliza para mejorar los tiempo de apagado del transistor, ya que los tiempos de encendido y apagado del interruptor de potencia no son simétricos, siendo este último mayor. Y por último un supresor de tensión que trata de evitar sobretensiones, por ejemplo las provocadas por el efecto Miller en los IGBTs, en la puerta del interruptor de potencia.

El controlador estaría conectado al fotodiodo del TLP directamente o a través de un Buffer. Depende de la capacidad de sus las salidas PWM y de la lógica necesaria para el disparo de los transistores



Conclusiones

- El problema busca la relación entre las estrategias de modulación y las tensiones continuas de entrada a la hora de obtener un nivel de tensión alterna trifásica de salida.
- Se analizan los efectos de cada tipo de modulación en base a sus índices de distorsión armónica (THD) y las formas de onda de las corrientes y tensión en la salida del inversor.
- Se indica un procedimiento para calcular los interruptores que componen el inversor trifásico y un ejemplo de driver con aislamiento óptico.

