

DISEÑO DE UN CONVERTIDOR EN MEDIO PUENTE PARA TRABAJAR CON TENSIÓN UNIVERSAL DE ENTRADA

Definición de características.

Rango de tensión de entrada:

$$V_{gmin} := 85 \cdot \sqrt{2}$$

$$V_{gnom1} := 110 \cdot \sqrt{2}$$

$$V_{gnom2} := 230 \cdot \sqrt{2}$$

$$V_{gmax} := 265 \cdot \sqrt{2}$$

Tensión de salida:

$$V_o := 5$$

Potencia máxima:

$$P_{max} := 100$$

Frecuencia de conmutación:

$$f := 100 \cdot 10^3$$

El objetivo del convertidor es cumplir la norma tanto en el rango europeo como en el americano. Además, intentaremos conseguir que el Reductor Activo de Armónicos funcione en todo el rango de tensiones de entrada.

Por tanto, debemos elegir un ángulo de conducción con el que se pueda cumplir la norma en el rango europeo. Debemos tener en cuenta que con tensiones menores, el ángulo de conducción es mayor y por tanto, si el convertidor cumple la norma en el rango europeo, también la cumplirá en el americano. Sin embargo, debemos hacer una consideración previa: el máximo ángulo de conducción no debe ser mayor de 180°.

Veamos qué ángulo de conducción máximo podemos elegir a 230V para que con 85V de entrada el ángulo ϕ_c sea 180°:

$$\phi_{cnmin} := 70 \cdot \frac{\pi}{180}$$

Given

$$\phi_{cnmin} - \sin(\phi_{cnmin}) = \pi \cdot \frac{V_{gmin}}{V_{gnom2}}$$

$$N_{min} := \text{find}(\phi_{cnmin})$$

$$N_{min} \cdot \frac{180}{\pi} = 117$$

Por tanto, no podríamos elegir un ángulo mayor de 117° a 230V.

Elegiremos un ángulo de conducción de 80° en condiciones de potencia máxima y tensión de entrada 230V:

$$\phi_{cnom2} := 80 \cdot \frac{\pi}{180}$$

Con este dato podemos calcular el valor de la Resistencia Sin Pérdidas:

$$R := 50$$

Given

$$P_{max} = \frac{V_{gnom2}^2}{2 \cdot \pi \cdot R} \cdot (\phi_{cnom2} - \sin(\phi_{cnom2}))$$

$$R_{sp} := \text{find}(R)$$

El valor obtenido es el siguiente:

$$R_{sp} = 69.$$

El valor de la bobina retrasadora será:

$$L_r := \frac{R_{sp}}{4 \cdot f}$$

$$L_r \cdot 10^6 = 173$$

μH

Ahora ya podemos calcular los ángulos de conducción para cualquier valor de potencia y de tensión de entrada:

$$\phi_c := 45 \cdot \frac{\pi}{180}$$

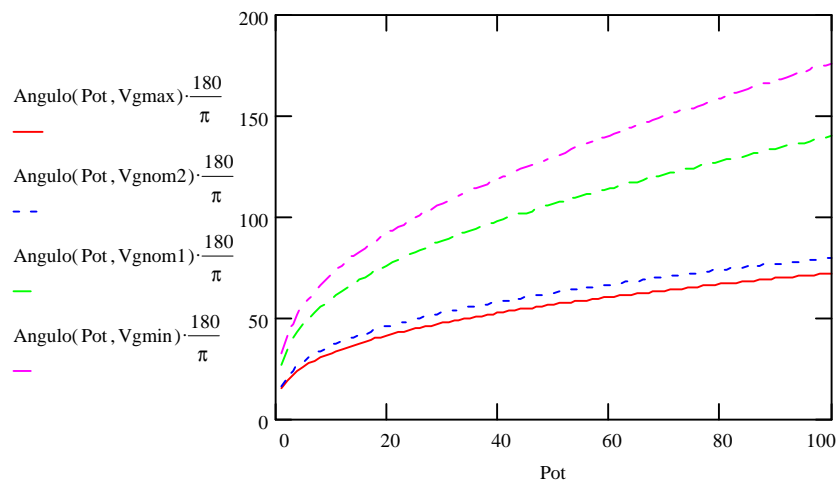
Given

$$P = \frac{V_g^2}{2 \cdot \pi \cdot R_{sp}} \cdot (\phi_c - \sin(\phi_c))$$

$$\text{Angulo}(P, V_g) := \text{find}(\phi_c)$$

Definición del rango de potencia:

$$\text{Pot} := 1, 2, \dots, P_{\max}$$



Por tanto, con la tensión nominal americana (110V), el ángulo de conducción será:

$$\text{Angulo}(P_{\max}, V_{gnom1}) \cdot \frac{180}{\pi} = 135$$

El máximo ángulo de conducción será:

$$\phi_{c\max} := \text{Angulo}(P_{\max}, V_{g\min})$$

$$\phi_{c\max} \cdot \frac{180}{\pi} = 176$$

Conocido el máximo ángulo de conducción, podemos calcular las relaciones de transformación de los diferentes devanados del transformador.

Minimizaremos el reciclaje energético en condiciones de potencia máxima y tensión de entrada mínima. De esta forma, el Reductor Activo de Armónicos funcionará adecuadamente en todo el rango de tensiones de entrada.

Por tanto, la tensión en el condensador en esas condiciones coincidirá con el valor de pico de la tensión de entrada, es decir:

$$V_{c\min} := V_{g\min}$$

Teniendo en cuenta que se trata de un convertidor en Medio Puente, el ciclo de trabajo máximo no puede ser mayor de 0,5. Por razones prácticas, supondremos un ciclo de trabajo máximo de 0,48:

$$d_{\max} := 0.48$$

Por tanto, la relación de transformación del devanado principal (n) será:

$$n := \frac{V_{cmin} d_{max}}{V_o}$$

$$n = 11.$$

El valor de V_s es constante:

$$V_s := V_{gmin} \left(1 - \cos \left(\frac{\phi_{cmax}}{2} \right) \right)$$

$$V_s = 11\epsilon$$

Por otra parte, la relación de transformación de la salida retrasada (nsr) será la siguiente:

$$nsr := \frac{d_{max}}{1 - \cos \left(\frac{\phi_{cmax}}{2} \right)}$$

$$nsr = 0.4$$

Con estos datos ya podemos obtener las evoluciones de todos los parámetros en función de la potencia y de la tensión de entrada:

$$d := 0.1$$

$$V_c := 100$$

$$\phi_c := \frac{\pi}{4}$$

Given

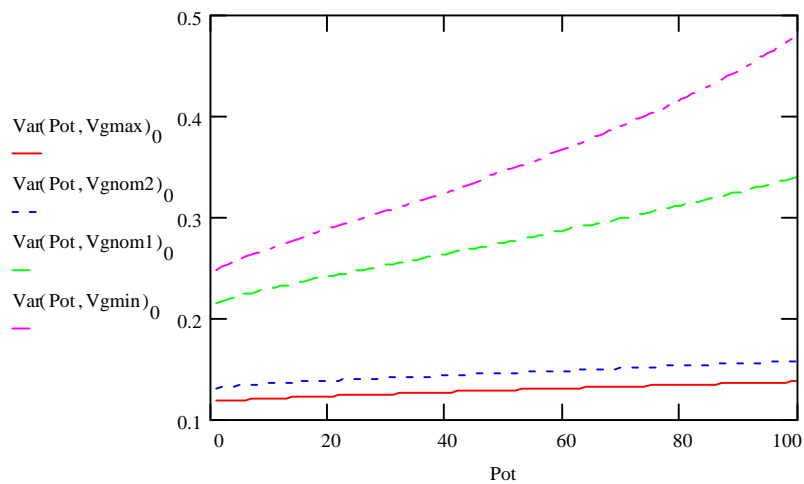
$$V_o = \frac{V_c}{n} \cdot d$$

$$(V_c - V_s) = V_g \cdot \cos \left(\frac{\phi_c}{2} \right)$$

$$P = \frac{V_g^2}{2 \cdot \pi \cdot R_{sp}} \cdot (\phi_c - \sin(\phi_c))$$

$$\text{Var}(P, V_g) := \text{find}(d, V_c, \phi_c)$$

Variación del ciclo de trabajo:

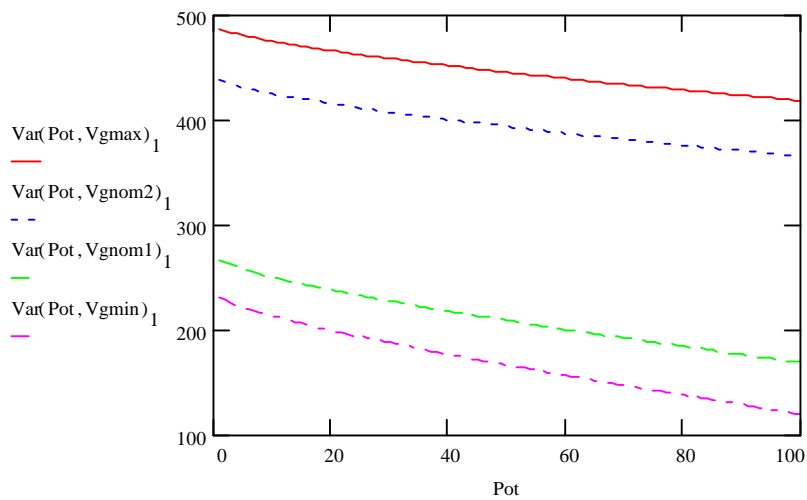


El mínimo ciclo de trabajo será (admitiendo MCC):

$$d_{min} := \text{Var}(0, V_{gmax})_0$$

$$d_{min} = 0.1$$

Variación de la tensión en el condensador de almacenamiento:



El valor máximo de esta tensión es el siguiente:

$$V_{\text{cmax}} := \text{Var}(0, V_{\text{gmax}})_1$$

$$V_{\text{cmax}} = 491$$

Y el valor mínimo:

$$V_{\text{cmin}} = 120$$

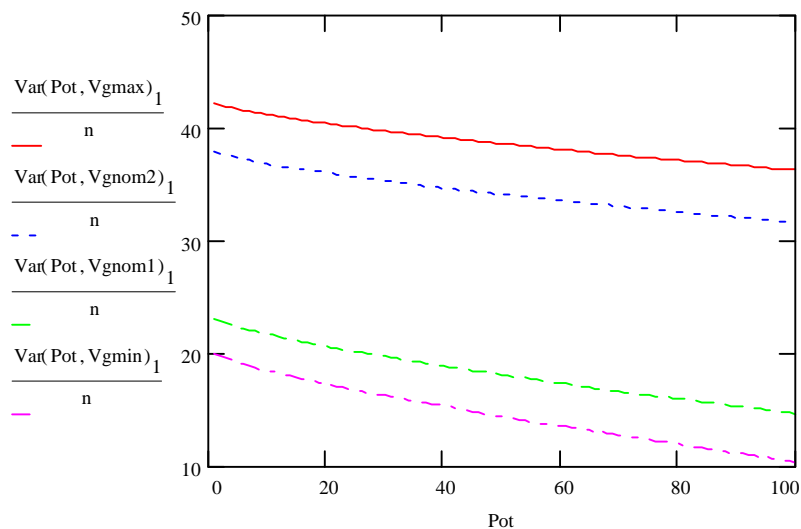
Si dividimos el valor máximo entre el valor mínimo, tenemos:

$$\frac{V_{\text{cmax}}}{V_{\text{cmin}}} = 4.0$$

$$V_{\text{cmin}}$$

Por tanto, el rango de variación de la tensión en el condensador es de **4.085 a 1**

Veamos la tensión que deben soportar los semiconductores de salida:



La máxima tensión que deben soportar es la siguiente:

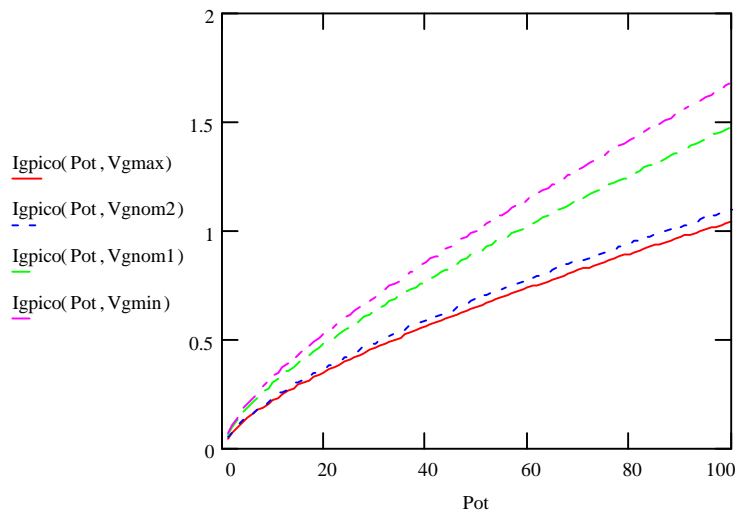
$$V_{\text{Dmax}} := \frac{V_{\text{cmax}}}{n}$$

$$V_{\text{Dmax}} = 42.$$

Vemos que el rango de variación es muy amplio, lo que implica que es prácticamente imposible implementar una salida con rectificación síncrona autoexcitada.

También podemos calcular el valor de pico de la corriente de entrada:

$$I_{\text{glico}}(P, V_g) := \frac{V_g + V_s - \text{Var}(P, V_g)_1}{R_{\text{sp}}}$$



El valor máximo que se alcanza es el siguiente:

$$I_{\text{gpicomax}} := I_{\text{glico}}(P_{\text{max}}, V_{\text{gmin}})$$

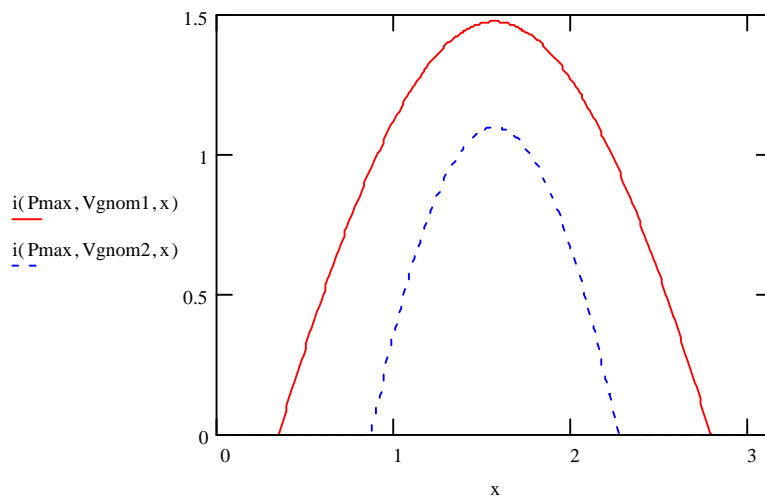
$$I_{\text{gpicomax}} = 1.6$$

Podemos también dibujar las formas de onda de la corriente de entrada:

$$i(P, V_g, x) := \text{if} \left(\frac{V_g \cdot \sin(x) + V_s - \text{Var}(P, V_g)_1}{R_{\text{sp}}} < 0, 0, \frac{V_g \cdot \sin(x) + V_s - \text{Var}(P, V_g)_1}{R_{\text{sp}}} \right)$$

$$x := 0, 0.01.. \pi$$

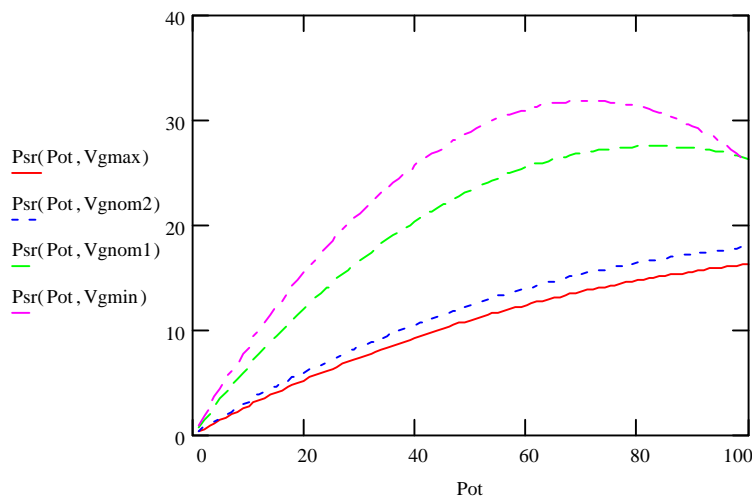
La forma de onda de la corriente de entrada con las dos tensiones nominales y a potencia máxima serían las siguientes:



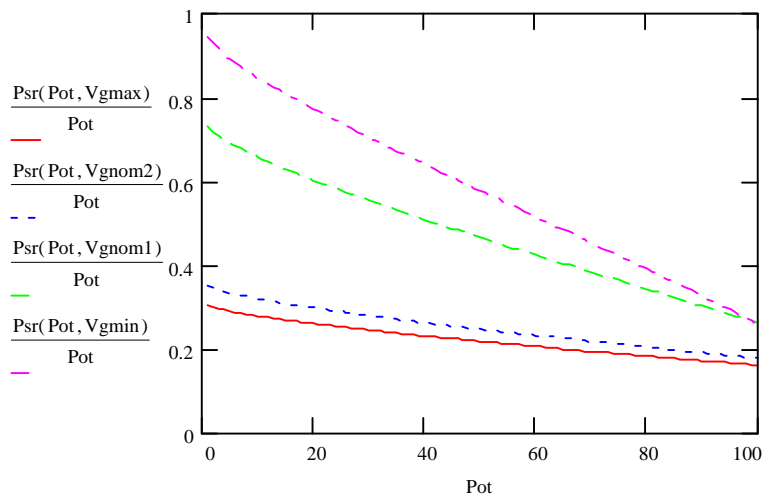
Otro aspecto interesante es la energía reciclada por la salida retrasada:

$$P_{\text{sr}}(P, V_g) := \frac{\text{Var}(P, V_g)_1 \cdot V_g}{\pi \cdot R_{\text{sp}}} \cdot \left(2 \cdot \sin \left(\frac{\text{Var}(P, V_g)_2}{2} \right) - \text{Var}(P, V_g)_2 \cdot \cos \left(\frac{\text{Var}(P, V_g)_2}{2} \right) \right) - P$$

Cantidad de energía reciclada:



Y en forma relativa:



Como podemos comprobar, al diseñar para cumplir la norma IEC 1000-3-2 en el rango de tensión de entrada universal, el comportamiento del convertidor no es demasiado bueno ya que con tensiones de entrada bajas recicla una gran cantidad de energía. Como se puede observar en la figura, la energía reciclada supera el 50% en casi todo el rango de funcionamiento cuando la tensión de entrada es menor de 110V.

Por otra parte, este diseño también presenta el inconveniente del tamaño del condensador de almacenamiento. No podemos permitir que el rizado de tensión haga que en condiciones de máxima potencia y tensión de entrada 110V, el valor de V_c sea menor que el valor de pico de la tensión de entrada. Por tanto, el máximo rizado de tensión permitido será:

$$\Delta V_{cmax} := \text{Var}(P_{max}, V_{gnom1})_1 - V_{gnom1}$$

$$\Delta V_{cmax} = 14.1$$

Como podemos comprobar, el rizado permitido es muy pequeño. Veamos qué tamaño de condensador es necesario en este caso:

$$C := \frac{P_{max}}{V_{gnom1} \cdot \Delta V_{cmax}} \cdot 10 \cdot 10^{-3}$$

$$C \cdot 10^6 = 457$$

μF

Vemos que el condensador necesario es de unos 450 μF , lo cual es una capacidad muy grande, sobre todo si tenemos en cuenta que este condensador debe soportar una tensión máxima del

orden de 500V. Si comparamos el resultado obtenido en este caso con el que se obtiene en un convertidor similar, pero que opera en el rango de tensión europeo, vemos que las diferencias son importantes, ya que en este último caso los valores que se obtienen son del orden de 100 μ F.