

Anexos

A.I

SIMPLIFICACIONES DEL ANÁLISIS DEL CFP CON DISTORSIÓN EN LA CORRIENTE DE ENTRADA

En este anexo se van a mostrar con detalle las simplificaciones matemáticas que se han llevado a cabo para desarrollar el análisis de pequeña señal de la etapa de potencia del Corrector del Factor de Potencia (CFP). Dichas simplificaciones han aplicado en el capítulo 2 de esta tesis.

AI.1 ANÁLISIS DE PEQUEÑA SEÑAL DE LOS ARGUMENTOS DE LOS RIZADOS DEL CFP CON DISTORSIÓN EN LA CORRIENTE DE ENTRADA

Para realizar el análisis matemático del modelo de pequeña señal de los argumentos de los rizados, se ha partir de las ecuaciones (2.79) y (2.83) del estudio estático realizado en el capítulo 2. De estas ecuaciones se deduce:

$$\phi_{V_{o2}} + \pi - \phi_{R2\omega L} = -\phi_A \Rightarrow \phi_A = -\frac{\pi}{2} - \arctg\left[-\frac{(1 + k_A \text{sen}(\phi_A))}{k_A \cos(\phi_A)}\right] + \phi_{R2\omega L} \quad (\text{AI.1})$$

Si se define $\theta = \phi_{2\omega L} + \pi/2$, la expresión anterior se puede recibir como:

$$\arctg\left[\frac{(1+k_A \sin(\phi_A))}{k_A \cos(\phi_A)}\right] = \phi_A + \theta \quad (\text{AI.2})$$

Operando con la expresión (AI.2) se puede despejar ϕ_A :

$$\begin{aligned} \arctg\left[\frac{(1+k_A \sin(\phi_A))}{k_A \cos(\phi_A)}\right] &= \phi_A + \theta \Rightarrow \frac{(1+k_A \sin(\phi_A))}{k_A \cos(\phi_A)} = \text{tg}(\phi_A + \theta) = \frac{\sin(\phi_A + \theta)}{\cos(\phi_A + \theta)} \Rightarrow \\ \Rightarrow (1+k_A \sin(\phi_A)) \cdot \cos(\phi_A + \theta) &= k_A \cos(\phi_A) \cdot \sin(\phi_A + \theta) \Rightarrow \\ \Rightarrow \cos(\phi_A + \theta) + \cos(\phi_A + \theta) \cdot k_A \sin(\phi_A) &= k_A \cos(\phi_A) \cdot \sin(\phi_A + \theta) \Rightarrow \\ \Rightarrow \cos(\phi_A + \theta) &= k_A [\cos(\phi_A) \cdot \sin(\phi_A + \theta) - \cos(\phi_A + \theta) \cdot \sin(\phi_A)] = k_A \cdot \sin(\theta) \end{aligned}$$

Por lo tanto la expresión de ϕ_A es:

$$\phi_A = \arccos(k_A \cdot \sin(\theta)) - \theta = \arccos\left(\frac{v_{Aacp}}{v_{Adc}} \cdot \sin(\theta)\right) - \theta \quad (\text{AI.3})$$

Si se perturba el ángulo y se particulariza en su punto de trabajo (pt) se obtiene:

$$\begin{aligned} \hat{\phi}_A &= \left. \frac{\partial \phi_A}{\partial v_{Adc}} \right]_{pt} \hat{v}_{Adc} + \left. \frac{\partial \phi_A}{\partial v_{Aacp}} \right]_{pt} \hat{v}_{Aacp} = \\ &= \frac{\sin(\theta)}{\sqrt{1 - \frac{v_{Aacp}^2}{v_{Adc}^2} \sin^2(\theta)}} \left[\frac{1}{v_{Adc}} \hat{v}_{Adc} - \frac{v_{Aacp}}{v_{Adc}^2} \cdot \hat{v}_{Aacp} \right] \end{aligned}$$

La ecuación anterior se puede expresar en función de K_A :

$$\hat{\phi}_A = -\frac{\text{sen}(\Theta)}{v_{\text{Adc}} \sqrt{1 - K_A^2 \text{sen}^2(\Theta)}} [\hat{v}_{\text{Aacp}} - K_A \hat{v}_{\text{Adc}}] \quad (\text{AI.4})$$

Por otro lado, se va a realizar otra serie de cálculos destinados a simplificar la expresión (AI.4). Básicamente lo que se realizará es definir θ en función de ϕ_A y k_A . Se va a partir de la relación (AI.2):

$$\begin{aligned} \frac{1 + k_A \text{sen}(\phi_A)}{k_A \cos(\phi_A)} &= \text{tg}(\phi_A + \theta) = \frac{\text{sen}(\phi_A + \theta)}{\cos(\phi_A + \theta)} = \frac{\text{sen}(\phi_A) \cdot \cos(\theta) + \cos(\phi_A) \cdot \text{sen}(\theta)}{\cos(\phi_A) \cdot \cos(\theta) - \text{sen}(\theta) \cdot \text{sen}(\phi_A)} \Rightarrow \\ &\Rightarrow (1 + k_A \text{sen}(\phi_A)) (\cos(\phi_A) \cdot \cos(\theta) - \text{sen}(\theta) \cdot \text{sen}(\phi_A)) = \\ &= k_A \cos(\phi_A) (\text{sen}(\phi_A) \cdot \cos(\theta) + \cos(\phi_A) \cdot \text{sen}(\theta)) \Rightarrow \\ &\Rightarrow \cos(\phi_A) \cdot \cos(\theta) - \text{sen}(\theta) \cdot \text{sen}(\phi_A) - k_A \text{sen}(\theta) \cdot \text{sen}^2(\phi_A) = k_A \cos^2(\phi_A) \cdot \text{sen}(\theta) \Rightarrow \\ &\Rightarrow \cos(\phi_A) \cdot \cos(\theta) = \text{sen}(\theta) \cdot (\text{sen}(\phi_A) + k_A \text{sen}^2(\phi_A) + k_A \cos^2(\phi_A)) \Rightarrow \\ &\Rightarrow \frac{\text{sen}(\theta)}{\cos(\theta)} = \frac{\cos(\phi_A)}{\text{sen}(\phi_A) + k_A} \Rightarrow \frac{\text{sen}^2(\theta)}{1 - \text{sen}^2(\theta)} = \left(\frac{\cos(\phi_A)}{\text{sen}(\phi_A) + k_A} \right)^2 \Rightarrow \\ &\Rightarrow \text{sen}^2(\theta) = \left(\frac{\cos(\phi_A)}{\text{sen}(\phi_A) + k_A} \right)^2 - \left(\frac{\cos(\phi_A)}{\text{sen}(\phi_A) + k_A} \right)^2 \text{sen}^2(\theta) \Rightarrow \\ &\Rightarrow \text{sen}^2(\theta) \cdot \left[1 + \left(\frac{\cos(\phi_A)}{\text{sen}(\phi_A) + k_A} \right)^2 \right] = \left(\frac{\cos(\phi_A)}{\text{sen}(\phi_A) + k_A} \right)^2 \Rightarrow \\ &\Rightarrow \text{sen}^2(\theta) = \frac{\cos^2(\phi_A) \cdot (\text{sen}(\phi_A) + k_A)^2}{(\text{sen}(\phi_A) + k_A)^2 (k_A^2 + \text{sen}^2(\phi_A) + 2k_A \text{sen}(\phi_A) + \cos^2(\phi_A))} \Rightarrow \\ &\Rightarrow \text{sen}^2(\theta) = \frac{\cos^2(\phi_A)}{(k_A^2 + 2k_A \text{sen}(\phi_A) + 1)} \end{aligned}$$

Una vez calculada la expresión del seno cuadrado del parámetro θ en su punto de trabajo, Θ , se puede también realizar una serie de operaciones para llegar a simplificar la ecuación (AI.4):

$$1 - K_A \sin^2(\Theta) = \frac{K_A^2 + 2K_A \sin(\Phi_A) + 1 - \cos^2(\Phi_A)}{(K_A^2 + 2K_A \sin(\Phi_A) + 1)} = \frac{K_A^2 + 2K_A \sin^2(\Phi_A) + \sin^2(\Phi_A)}{(K_A^2 + 2K_A \sin^2(\Phi_A) + 1)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 1 - K_A \sin^2(\Theta) = \frac{K_A^2 + 2K_A \sin^2(\Phi_A) + \sin^2(\Phi_A)}{(K_A^2 + 2K_A \sin^2(\Phi_A) + 1)} = \frac{(K_A + \sin(\Phi_A))^2}{(K_A^2 + 2K_A \sin^2(\Phi_A) + 1)}$$

De las dos simplificaciones realizadas anteriormente, se puede deducir:

$$\frac{\sin(\Theta)}{\sqrt{1 - K_A \sin^2(\Theta)}} = \frac{\cos(\Phi_A)}{1 + K_A \sin(\Phi_A)} \quad (\text{AI.5})$$

Aplicada la ecuación (AI.5) a la expresión (AI.4) se deduce finalmente:

$$\hat{\phi}_A = -\frac{\cos(\Phi_A)}{v_{\text{Adc}}(1 + K_A \sin(\Phi_A))} [\hat{v}_{\text{Aacp}} - K_A \hat{v}_{\text{Adc}}] \quad (\text{AI.6})$$

AI.2 SIMPLIFICACIÓN DEL ANÁLISIS DE PEQUEÑA SEÑAL DE LA ETAPA DE POTENCIA DEL CFP CON DISTORSIÓN EN LA CORRIENTE DE ENTRADA

Para realizar la simplificación de la etapa de potencia del CFP con distorsión en la corriente de entrada, hay que recordar el análisis de pequeña señal que se ha realizado del mismo. Se recuerda que dicho análisis, llevado a cabo en el capítulo 2 y se ha dividido en tres partes:

- Análisis de pequeña señal de la dinámica principal del CFP con distorsión en la corriente de entrada (apartado 2.5.4.1.1).

- Análisis de pequeña señal de los módulos de los rizados del CFP con distorsión en la corriente de entrada (apartado 2.5.4.1.2).
- Análisis de pequeña señal de los argumentos de los rizados del CFP con distorsión en la corriente de entrada (apartado 2.5.4.1.3).

La Figura AI.1 muestra el resumen de dicho análisis donde las funciones de transferencia de cada uno de los bloques son:

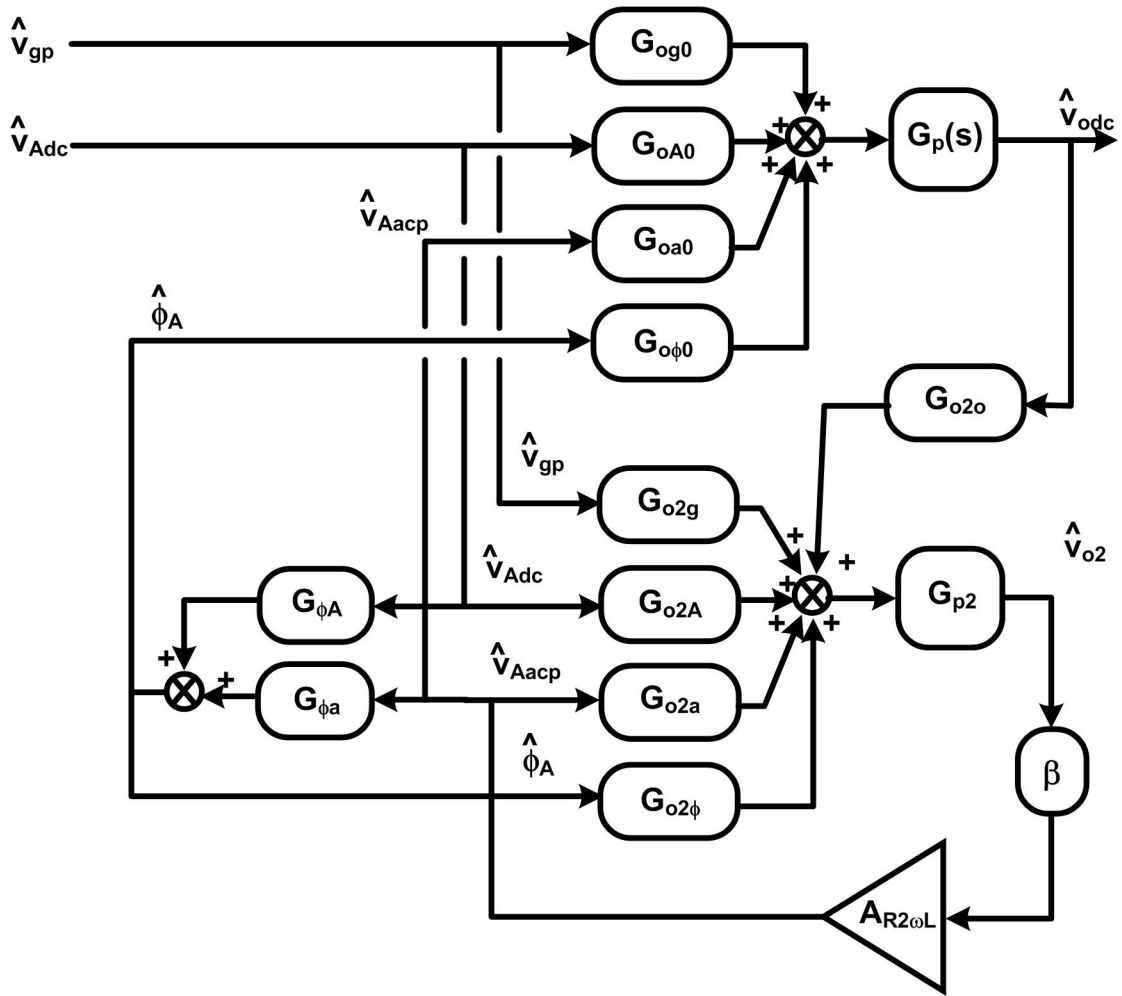


Figura AI.1. Diagrama de bloques del análisis de pequeña señal de la etapa de potencia CFP con distorsión en la corriente de entrada.

$$G_{og0} = \frac{2 V_{odc}}{R_L \cdot V_{gp}} \quad (AI.7)$$

$$G_{oA0} = \frac{2 V_{odc}}{R_L \cdot V_{Adc} (2 + K_A \text{sen}(\Phi_A))} \quad (AI.8)$$

$$G_{oa0} = \frac{V_{odc} \text{sen}(\Phi_A)}{R_L \cdot V_{Adc} (2 + K_A \text{sen}(\Phi_A))} \quad (AI.9)$$

$$G_{o\phi0} = \frac{V_{odc} \cdot K_A \cos(\Phi_A)}{R_L (2 + K_A \text{sen}(\Phi_A))}. \quad (AI.10)$$

$$G_p(s) = \frac{\frac{R_L}{2}}{1 + \frac{s}{\omega_p}} \quad (AI.11)$$

$$G_{o2g} = \frac{4 V_{odc} \sqrt{1 + K_A^2 + 2 K_A \text{sen}(\Phi_A)}}{V_{gp} \cdot R_L (2 + K_A \text{sen}(\Phi_A))} = \frac{2 i_{o2}}{V_{gp}} \quad (AI.12)$$

$$G_{o2o} = -\frac{2 \sqrt{1 + K_A^2 + 2 K_A \text{sen}(\Phi_A)}}{R_L (2 + K_A \text{sen}(\Phi_A))} = -\frac{i_{o2}}{V_{odc}} \quad (AI.13)$$

$$\begin{aligned} G_{o2A} &= \frac{2 V_{odc}}{V_{Adc} \cdot R_L} \frac{1 + K_A \text{sen}(\Phi_A)}{(1 + K_A \text{sen}(\Phi_A)) \cdot \sqrt{1 + K_A^2 + 2K_A \text{sen}(\Phi_A)}} = \\ &= \frac{i_{o2}}{V_{Adc}} \left(\frac{1 + K_A \text{sen}(\Phi_A)}{1 + K_A^2 + 2K_A \text{sen}(\Phi_A)} \right) \end{aligned} \quad (\text{AI.14})$$

$$\begin{aligned} G_{o2a} &= \frac{2V_{odc}}{V_{Adc} \cdot R_L} \frac{K_A + \text{sen}(\Phi_A)}{(2 + \text{sen}(\Phi_A)) \sqrt{1 + K_A^2 + 2K_A \text{sen}(\Phi_A)}} = \\ &= \frac{(K_A + \text{sen}(\Phi_A)) \cdot i_{o2}}{V_{Adc} (1 + K_A^2 + 2K_A \text{sen}(\Phi_A))} \end{aligned} \quad (\text{AI.15})$$

$$G_{o2\phi} = \frac{2V_{odc}}{R_L} \frac{K_A \cdot \cos(\Phi_A)}{(2 + \text{sen}(\Phi_A)) \sqrt{1 + K_A^2 + 2K_A \text{sen}(\Phi_A)}} = \frac{i_{o2} \cdot K_A \cdot \cos(\Phi_A)}{1 + K_A^2 + 2K_A \text{sen}(\Phi_A)} \quad (\text{AI.16})$$

$$G_{p2} = \frac{1}{2\omega_L C_o} \quad (\text{AI.17})$$

$$G_{\phi A} = \frac{K_A \cos(\Phi_A)}{V_{Adc} (1 + K_A \text{sen}(\Phi_A))} \quad (\text{AI.18})$$

$$G_{\phi a} = -\frac{\cos(\Phi_A)}{V_{Adc} (1 + K_A \text{sen}(\Phi_A))} \quad (\text{AI.19})$$

Del diagrama de bloques de la Figura AI.1 se deduce fácilmente la expresión de la perturbación del valor de continua de la tensión de salida:

$$\hat{v}_{odc} = G_p(s) \left(G_{og0} \cdot \hat{v}_{gp} + G_{oA0} \cdot \hat{v}_{Adc} + G_{oa0} \cdot \hat{v}_{Aacp} + G_{o\phi0} \cdot \hat{\phi}_A \right) \quad (AI.20)$$

$$\hat{\phi}_A = \left(G_{\phi A} \cdot \hat{v}_{Adc} + G_{\phi a} \cdot \hat{v}_{Aacp} \right) \quad (AI.21)$$

$$\begin{aligned} \hat{v}_{Aacp} = & G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L} \left(G_{o2a} \hat{v}_{Aacp} + G_{o2\phi} \hat{\phi}_A + G_{o2A} \hat{v}_{Adc} \right) + \\ & + G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L} \left(G_{o2g} \hat{v}_{gp} + G_{o2o} \hat{v}_{odc} \right) \end{aligned} \quad (AI.22)$$

Sustituyendo la expresión (AI.21) en (AI.22) se puede obtener la expresión del módulo del rizado de $v_A(t)$ en función únicamente de la perturbación de la tensión de entrada, de la perturbación del valor de continua de $v_A(t)$ y de la perturbación del valor de continua de la tensión de salida:

$$\begin{aligned} \hat{v}_{Aacp} = & \frac{G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L}}{1 - G_{o2a} G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L} - G_{p2} G_{o2\phi} G_{\phi a} \beta \cdot A_{R2\omega L}} \cdot \\ & \left(G_{o2o} \hat{v}_{odc} + G_{o2g} \hat{v}_{gp} + G_{o2\phi} G_{\phi A} G_{o2A} \hat{v}_{Adc} \right) \end{aligned} \quad (AI.23)$$

Posteriormente se van a sustituir las expresiones (AI.21) y (AI.23) en la expresión de la variación del valor de continua de la tensión de salida (AI.20):

$$\begin{aligned} \hat{v}_{odc} = & G_p(s) \cdot \left(G_{og0} \cdot \hat{v}_{gp} + G_{\phi A} G_{o\phi0} G_{oA0} \cdot \hat{v}_{Adc} + \left(G_{\phi a} G_{o\phi0} + G_{oa0} \right) \cdot \hat{v}_{Aacp} \right) = \\ & G_p(s) \cdot \left(G_{og0} \cdot \hat{v}_{gp} + G_{\phi A} G_{o\phi0} G_{oA0} \cdot \hat{v}_{Adc} \right) + \frac{G_p(s) \left(G_{\phi a} G_{o\phi0} + G_{oa0} \right) G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L}}{1 - \left(G_{o2a} G_{p2} + G_{p2} G_{o2\phi} G_{\phi a} \right) \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L}} \cdot \\ & \cdot \left(G_{o2o} \hat{v}_{odc} + G_{o2g} \hat{v}_{gp} + G_{o2\phi} G_{\phi A} G_{o2A} \hat{v}_{Adc} \right) \Rightarrow \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&\Rightarrow \hat{v}_{\text{odc}} \left[1 - \frac{G_p(s)(G_{\phi a} G_{o\phi 0} + G_{oa0})G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L} G_{o2o}}{1 - (G_{o2a} G_{p2} + G_{p2} G_{o2\phi} G_{\phi a}) \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L}} \right] = \\
&= \left[G_{og0} - \frac{(G_{\phi a} G_{o\phi 0} + G_{oa0})G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L} G_{o2g}}{1 - (G_{o2a} G_{p2} + G_{p2} G_{o2\phi} G_{\phi a}) \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L}} \right] \cdot G_p(s) \cdot \hat{v}_{gp} + \\
&= \left[(G_{\phi A} G_{o\phi 0} + G_{oA0}) + \frac{(G_{\phi a} G_{o\phi 0} + G_{oa0})G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L} (G_{\phi A} G_{o2\phi} + G_{o2A})}{1 - (G_{o2a} G_{p2} + G_{p2} G_{o2\phi} G_{\phi a}) \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L}} \right] \cdot G_p(s) \cdot \hat{v}_{Aacp}
\end{aligned}$$

De las simplificaciones realizadas anteriormente se puede concluir:

$$\hat{v}_{\text{odc}} = G_{v_{gp}}(s) \cdot \hat{v}_{gp} + G_{v_{Adc}}(s) \cdot \hat{v}_{Adc} \quad (\text{AI.24})$$

donde:

$$G_{v_{gp}}(s) = G_p(s) \frac{\left[G_{og0} - \frac{(G_{\phi a} G_{o\phi 0} + G_{oa0})G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L} G_{o2g}}{1 - (G_{o2a} G_{p2} + G_{p2} G_{o2\phi} G_{\phi a}) \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L}} \right]}{\left[1 - \frac{G_p(s)(G_{\phi a} G_{o\phi 0} + G_{oa0})G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L} G_{o2o}}{1 - (G_{o2a} G_{p2} + G_{p2} G_{o2\phi} G_{\phi a}) \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L}} \right]} \quad (\text{AI.25})$$

$$\begin{aligned}
G_{v_{Adc}}(s) = G_p(s) &\frac{(G_{\phi A} G_{o\phi 0} + G_{oA0})}{\left[1 - \frac{G_p(s)(G_{\phi a} G_{o\phi 0} + G_{oa0})G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L} G_{o2o}}{1 - (G_{o2a} G_{p2} + G_{p2} G_{o2\phi} G_{\phi a}) \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L}} \right]} + \\
&\frac{G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L} (G_{\phi a} G_{o\phi 0} + G_{oa0})(G_{\phi A} G_{o2\phi} + G_{o2A})}{1 - (G_{o2a} G_{p2} + G_{p2} G_{o2\phi} G_{\phi a}) \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L}} \\
&+ G_p(s) \frac{\left[1 - \frac{G_p(s)(G_{\phi a} G_{o\phi 0} + G_{oa0})G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L} G_{o2o}}{1 - (G_{o2a} G_{p2} + G_{p2} G_{o2\phi} G_{\phi a}) \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L}} \right]}{\left[1 - \frac{G_p(s)(G_{\phi a} G_{o\phi 0} + G_{oa0})G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L} G_{o2o}}{1 - (G_{o2a} G_{p2} + G_{p2} G_{o2\phi} G_{\phi a}) \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L}} \right]}
\end{aligned} \quad (\text{AI.26})$$

Se recuerda del capítulo 2 que el valor de la expresión de $\beta A_{R2\omega L}$ (2.82) es:

$$\beta A_{R2\omega L} = \frac{v_{Adc} \cdot k_A}{|v_{o2}(2\omega_L t)|} = \frac{V_{Adc} \cdot K_A}{Rzdo_{vo} \cdot V_{odc}} \quad (AI.27)$$

A continuación se van a proceder a simplificar las ecuaciones (AI.25) y (AI.26). En primer lugar se desarrollará la simplificación el término $1 - (G_{o2a} + G_{o2\phi} G_{\phi a}) G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L}$:

$$\begin{aligned} 1 - (G_{o2a} + G_{o2\phi} G_{\phi a}) G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L} &= \\ &= 1 - \left[\frac{i_{o2}}{V_{Adc}} \frac{(K_A + \sin(\Phi_A))}{(1 + K_A^2 + 2K_A \sin(\Phi_A))} \right] \frac{1}{2C_o \omega_L} \frac{K_A \cdot V_{Adc}}{V_{odc} \cdot Rzdo_{vo}} + \\ &- \left[\frac{i_{o2} \cdot K_A \cdot \cos(\Phi_A)}{1 + K_A^2 + 2K_A \sin(\Phi_A)} \frac{\cos(\Phi_A)}{(1 + K_A \sin(\Phi_A)) V_{Adc}} \right] \frac{1}{2C_o \omega_L} \frac{K_A \cdot V_{Adc}}{V_{odc} \cdot Rzdo_{vo}} = \\ &= 1 - \left[\frac{(K_A + \sin(\Phi_A))}{(1 + K_A^2 + 2K_A \sin(\Phi_A))} - \frac{K_A \cdot \cos^2(\Phi_A)}{(K_A + \sin(\Phi_A))} \right] \frac{i_{o2}}{V_{Adc}} \frac{1}{2C_o \omega_L} \frac{K_A \cdot V_{Adc}}{V_{odc} \cdot Rzdo_{vo}} \end{aligned}$$

Si se sustituye en la expresión anterior el valor de i_{o2} , calculada en el capítulo 2 (2.104), se obtiene:

$$\begin{aligned} 1 - \frac{K_A \cdot \sin(\Phi_A)}{1 + K_A^2 + 2K_A \sin(\Phi_A)} \frac{(K_A + \sin(\Phi_A))(K_A + \sin(\Phi_A)) - K_A \cdot \cos^2(\Phi_A)}{(1 + K_A \sin(\Phi_A))} \\ = 1 - \frac{K_A \cdot \sin(\Phi_A)}{1 + K_A^2 + 2K_A \sin(\Phi_A)} \frac{(K_A^2 + 1 + 2K_A \sin(\Phi_A))}{(1 + K_A \sin(\Phi_A))} \end{aligned}$$

Finalmente la expresión simplificada es:

$$1 - (G_{o2a} + G_{o2\phi} G_{\phi a}) G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L} = \frac{1}{(1 + K_A \text{sen}(\Phi_A))} \quad (\text{AI.28})$$

En segundo lugar, se simplifica $G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L} (G_{\phi a} G_{o\phi 0} + G_{oa0}) (G_{\phi a} G_{o2\phi} + G_{o2a})$:

$$\begin{aligned} & G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L} (G_{\phi a} G_{o\phi 0} + G_{oa0}) (G_{\phi a} G_{o2\phi} + G_{o2a}) \\ &= \frac{1}{2C_o \omega_L} \frac{K_A \cdot V_{Adc}}{V_{odc} \cdot R_{zdo_{vo}}} \cdot \\ & \cdot \left[-\frac{\cos(\Phi_A)}{V_{Adc} (1 + K_A \text{sen}(\Phi_A))} \cdot \frac{V_{odc} \cdot K_A \cos(\Phi_A)}{R_L (2 + K_A \text{sen}(\Phi_A))} + \frac{V_{odc} \text{sen}(\Phi_A)}{R_L \cdot V_{Adc} (2 + K_A \text{sen}(\Phi_A))} \right] \cdot \\ & \cdot \left[\frac{i_{o2} \cdot K_A \cdot \cos(\Phi_A)}{1 + K_A^2 + 2 K_A \text{sen}(\Phi_A)} \cdot \frac{K_A \cos(\Phi_A)}{V_{Adc} (1 + K_A \text{sen}(\Phi_A))} + \frac{i_{o2}}{V_{Adc}} \frac{1 + K_A \text{sen}(\Phi_A)}{1 + K_A^2 + 2 K_A \text{sen}(\Phi_A)} \right] \end{aligned}$$

Al igual que antes, si se sustituye i_{o2} (2.104) en la expresión anterior, se obtiene:

$$\begin{aligned} &= \frac{K_A V_{odc}}{R_L V_{Adc}} \left[-\frac{K_A \cos^2(\Phi_A)}{(1 + K_A \text{sen}(\Phi_A))(2 + K_A \text{sen}(\Phi_A))} + \frac{\text{sen}(\Phi_A)}{(2 + K_A \text{sen}(\Phi_A))} \right] \cdot \\ & \left[\frac{K_A^2 \cdot \cos^2(\Phi_A)}{(1 + K_A \text{sen}(\Phi_A))(1 + K_A^2 + 2 K_A \text{sen}(\Phi_A))} + \frac{1 + K_A \text{sen}(\Phi_A)}{(1 + K_A^2 + 2 K_A \text{sen}(\Phi_A))} \right] = \\ &= \frac{K_A V_{odc}}{R_L V_{Adc}} \left[\frac{[-K_A \cos^2(\Phi_A) + \text{sen}(\Phi_A)(1 + K_A \text{sen}(\Phi_A))][K_A^2 \cdot \cos^2(\Phi_A) + (1 + K_A \text{sen}(\Phi_A))^2]}{(1 + K_A \text{sen}(\Phi_A))^2 (2 + K_A \text{sen}(\Phi_A))(1 + K_A^2 + 2 K_A \text{sen}(\Phi_A))} \right] = \\ &= \frac{K_A V_{odc}}{R_L V_{Adc}} \left[\frac{[\text{sen}(\Phi_A) + K_A \text{sen}^2(\Phi_A) - K_A(1 - \text{sen}^2(\Phi_A))][1 + K_A^2 + 2 K_A \text{sen}(\Phi_A)]}{(1 + K_A \text{sen}(\Phi_A))^2 (2 + K_A \text{sen}(\Phi_A))(1 + K_A^2 + 2 K_A \text{sen}(\Phi_A))} \right] = \end{aligned}$$

Finalmente la expresión simplificada es:

$$G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L} (G_{\phi a} G_{o\phi 0} + G_{oa0}) (G_{\phi A} G_{o2\phi} + G_{o2A}) =$$

$$= \frac{K_A V_{odc}}{R_L V_{Adc}} \left[\frac{\text{sen}(\Phi_A) - K_A + 2 K_A \text{sen}^2(\Phi_A)}{(1 + K_A \text{sen}(\Phi_A))^2 (2 + K_A \text{sen}(\Phi_A))} \right] \quad (\text{AI.29})$$

A continuación, se va a llevar a cabo la simplificación del numerador de $G_{vAdc}(s)$. Para ello también se va a utilizar las simplificaciones (AI.28) y (AI.29). Finalmente se denominará a este término τ_{vAdc} .

$$\tau_{vAdc} = (G_{\phi A} G_{o\phi 0} + G_{oa0}) + \frac{G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L} (G_{\phi a} G_{o\phi 0} + G_{oa0}) (G_{\phi A} G_{o2\phi} + G_{o2A})}{1 - (G_{o2a} + G_{o2\phi} G_{\phi a}) G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L}} =$$

$$= \left[\frac{K_A \cos(\Phi_A)}{V_{Adc} (1 + K_A \text{sen}(\Phi_A))} \frac{V_{odc} \cdot K_A \cos(\Phi_A)}{R_L (2 + K_A \text{sen}(\Phi_A))} + \frac{2 V_{odc}}{R_L \cdot V_{Adc} (2 + K_A \text{sen}(\Phi_A))} \right]$$

$$+ \frac{\frac{K_A V_{odc}}{R_L V_{Adc}} \left[\frac{\text{sen}(\Phi_A) - K_A + 2 K_A \text{sen}^2(\Phi_A)}{(1 + K_A \text{sen}(\Phi_A))^2 (2 + K_A \text{sen}(\Phi_A))} \right]}{1 + K_A \text{sen}(\Phi_A)}$$

$$= \frac{V_{odc}}{R_L V_{Adc}} \left[\frac{K_A^2 \cos^2(\Phi_A)}{(1 + K_A \text{sen}(\Phi_A)) (2 + K_A \text{sen}(\Phi_A))} + \frac{2}{(2 + K_A \text{sen}(\Phi_A))} \right]$$

$$+ \frac{V_{odc}}{R_L V_{Adc}} \frac{K_A (\text{sen}(\Phi_A) - K_A + 2 K_A \text{sen}^2(\Phi_A))}{2(1 + K_A \text{sen}(\Phi_A)) (2 + K_A \text{sen}(\Phi_A))} =$$

$$= \frac{V_{odc}}{R_L V_{Adc} (2 + K_A \text{sen}(\Phi_A))} \cdot$$

$$\left[2 + \frac{K_A^2 \cos^2(\Phi_A)}{(1 + K_A \text{sen}(\Phi_A))} + \frac{K_A (\text{sen}(\Phi_A) - K_A + 2 K_A \text{sen}^2(\Phi_A))}{(1 + K_A \text{sen}(\Phi_A))} \right] =$$

Finalmente la expresión simplificada de τ_{vAdc} es:

$$\tau_{vAdc} = \frac{V_{odc}}{R_L V_{Adc}} \left[\frac{2 + 3 K_A (\text{sen}(\Phi_A) + K_A^2 \text{sen}^2(\Phi_A))}{(2 + K_A \text{sen}(\Phi_A))(1 + K_A \text{sen}(\Phi_A))} \right] = \frac{V_{odc}}{R_L V_{Adc}} \quad (\text{AI.30})$$

Por otro lado, teniendo en cuenta la expresión (AI.28), se analiza el término:

$$\begin{aligned} &= \frac{G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L} (G_{\phi a} G_{o\phi 0} + G_{oa0}) G_{o2o}}{1 - (G_{o2a} + G_{o2\phi} G_{\phi a}) G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L}} = \\ &= \frac{1}{2 C_o \omega_L} \frac{K_A \cdot V_{Adc}}{V_{odc} \cdot R_{zdo_{vo}}} \cdot \frac{i_{o2}}{V_{odc}} (1 + K_A \text{sen}(\Phi_A)) \\ &\cdot \left[-\frac{\cos(\Phi_A)}{V_{Adc} (1 + K_A \text{sen}(\Phi_A))} \cdot \frac{V_{odc} \cdot K_A \cos(\Phi_A)}{R_L (2 + K_A \text{sen}(\Phi_A))} + \frac{V_{odc} \text{sen}(\Phi_A)}{R_L \cdot V_{Adc} (2 + K_A \text{sen}(\Phi_A))} \right] \end{aligned}$$

Al igual que antes, si se sustituye en la expresión de i_{o2} (2.104) se obtiene:

$$\begin{aligned} &\frac{G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L} (G_{\phi a} G_{o\phi 0} + G_{oa0}) G_{o2o}}{1 - (G_{o2a} + G_{o2\phi} G_{\phi a}) G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L}} = \\ &= -\frac{K_A}{R_L} (1 + K_A \text{sen}(\Phi_A)) \left[\frac{\text{sen}(\Phi_A) + K_A \text{sen}^2(\Phi_A) - K_A \cos^2(\Phi_A)}{(1 + K_A \text{sen}(\Phi_A))(2 + K_A \text{sen}(\Phi_A))} \right] = \\ &= -\frac{K_A}{R_L} \left[\frac{\text{sen}(\Phi_A) + 2K_A \text{sen}^2(\Phi_A) - K_A}{(2 + K_A \text{sen}(\Phi_A))} \right] \end{aligned} \quad (\text{AI.31})$$

Si denomino a:

$$-\frac{2(\mu - 1)}{R_L} = -\frac{K_A}{R_L} \left[\frac{\text{sen}(\Phi_A) + 2K_A \text{sen}^2(\Phi_A) - K_A}{(2 + K_A \text{sen}(\Phi_A))} \right]$$

se obtiene el valor de μ :

$$\mu = \frac{4 + 3K_A \sin(\Phi_A) - K_A^2 + 2K_A^2 \sin^2(\Phi_A)}{2(2 + K_A \sin(\Phi_A))} \quad (\text{AI.32})$$

Ahora las simplificaciones (AI.30)-(AI.32) se van a aplicar a la función de transferencia $G_{vAdc}(s)$:

$$\begin{aligned} G_{vAdc}(s) &= G_p(s) \frac{(G_{\phi A} G_{o\phi 0} + G_{oA0})}{\left[1 - \frac{G_p(s)(G_{\phi a} G_{o\phi 0} + G_{oa0})G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L} G_{o2o}}{1 - (G_{o2a} + G_{o2\phi} G_{\phi a})G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L}} \right]} + \\ &\quad + G_p(s) \frac{G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L} (G_{\phi a} G_{o\phi 0} + G_{oa0})(G_{\phi A} G_{o2\phi} + G_{o2A})}{\left[1 - \frac{G_p(s)(G_{\phi a} G_{o\phi 0} + G_{oa0})G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L} G_{o2o}}{1 - (G_{o2a} + G_{o2\phi} G_{\phi a})G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L}} \right]} = \\ &= \frac{G_p(s)}{1 - G_p(s) \left(-\frac{2(\mu-1)}{R_L} \right)} \cdot \tau_{vAdc} = \frac{G_p(s)}{1 - G_p(s) \left(-\frac{2(\mu-1)}{R_L} \right)} \frac{V_{odc}}{R_L \cdot V_{Adc}} = \\ &= \frac{\frac{R_L}{2}}{1 + \frac{s}{\omega_p}} \cdot \frac{V_{odc}}{R_L \cdot V_{Adc}} = \frac{\frac{R_L}{2}}{1 + \frac{s}{\omega_p} + \frac{R_L}{2} \left(\frac{2(\mu-1)}{R_L} \right)} \frac{V_{odc}}{R_L \cdot V_{Adc}} = \frac{V_{odc}}{R_L \cdot V_{Adc}} \frac{\frac{R_L}{2\mu}}{1 + \frac{s}{\mu \cdot \omega_p}} \\ &= \frac{V_{odc}}{2\mu \cdot V_{Adc}} \frac{1}{1 + \frac{s}{\mu \cdot \omega_p}} \end{aligned}$$

Ahora se va a analizar otro término para simplificar la función de transferencia $G_{vg}(s)$. Dicho término es:

$$\begin{aligned} & (G_{\phi a} G_{o\phi 0} + G_{oa0}) G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L} G_{o2g} \\ &= \frac{1}{2C_o \omega_L} \frac{K_A \cdot V_{Adc}}{V_{odc} \cdot R_{zdo_{vo}}} \cdot \frac{2i_{o2}}{V_{gp}} \cdot \\ & \cdot \left[-\frac{\cos(\Phi_A)}{V_{Adc}(1 + K_A \sin(\Phi_A))} \cdot \frac{V_{odc} \cdot K_A \cos(\Phi_A)}{R_L(2 + K_A \sin(\Phi_A))} + \frac{V_{odc} \sin(\Phi_A)}{R_L \cdot V_{Adc}(2 + K_A \sin(\Phi_A))} \right] \end{aligned}$$

Al igual que antes, si se sustituye en la expresión de i_{o2} (2.104) se obtiene:

$$\begin{aligned} & (G_{\phi a} G_{o\phi 0} + G_{oa0}) G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L} G_{o2g} = \\ &= \frac{2K_A V_{odc}}{R_L V_{gp}} \left[-\frac{K_A \cos^2(\Phi_A)}{(1 + K_A \sin(\Phi_A))(2 + K_A \sin(\Phi_A))} + \frac{\sin(\Phi_A)}{(2 + K_A \sin(\Phi_A))} \right] = \quad (AI.33) \\ &= \frac{2K_A V_{odc}}{R_L V_{gp}} \cdot \frac{K_A \sin^2(\Phi_A) + \sin(\Phi_A) - K_A \cos^2(\Phi_A)}{(1 + K_A \sin(\Phi_A))(2 + K_A \sin(\Phi_A))} \end{aligned}$$

A continuación se va a llevar a cabo la simplificación del numerador de $G_{vgp}(s)$. Para ello se van a tener en cuenta las simplificaciones (AI.28) y (AI.33). Finalmente se denominará a este término τ_{vAdc} .

$$\begin{aligned} \tau_{vgp} &= G_{og0} - \frac{(G_{\phi a} G_{o\phi 0} + G_{oa0}) G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L} G_{o2g}}{1 - (G_{o2a} + G_{o2\phi} G_{\phi a}) G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L}} = \\ &= \frac{2V_{odc}}{R_L V_{gp}} + \frac{2V_{odc}}{R_L V_{gp}} \cdot \frac{K_A \sin^2(\Phi_A) + \sin(\Phi_A) - K_A \cos^2(\Phi_A)}{(1 + K_A \sin(\Phi_A))(2 + K_A \sin(\Phi_A))} (1 + K_A \sin(\Phi_A)) = \end{aligned}$$

Finalmente la expresión simplificada de τ_{vgp} es:

$$\tau_{vgp} = \frac{2 V_{odc}}{R_L V_{gp}} \left[\frac{2 + 2 K_A \text{sen}(\Phi_A) + K_A^2 (\text{sen}^2(\Phi_A) - \cos^2(\Phi_A))}{(2 + K_A \text{sen}(\Phi_A))} \right] \quad (\text{AI.34})$$

Ahora las simplificaciones (AI.30) y (AI.34) se van a aplicar a $G_{vgp}(s)$:

$$\begin{aligned} G_{vgp}(s) &= G_p(s) \frac{\left[G_{og0} - \frac{(G_{\phi a} G_{o\phi 0} + G_{oa0}) G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L} G_{o2g}}{1 - (G_{o2a} + G_{o2\phi} G_{\phi a}) G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L}} \right]}{\left[1 - \frac{G_p(s) (G_{\phi a} G_{o\phi 0} + G_{oa0}) G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L} G_{o2o}}{1 - (G_{o2a} + G_{o2\phi} G_{\phi a}) G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L}} \right]} = \tau_{vgp} \frac{\frac{R_L}{2\mu}}{1 + \frac{s}{\mu \cdot \omega_p}} = \\ &= \frac{2 V_{odc}}{R_L V_{gp}} \left[\frac{2 + 2 K_A \text{sen}(\Phi_A) + K_A^2 (\text{sen}^2(\Phi_A) - \cos^2(\Phi_A))}{(2 + K_A \text{sen}(\Phi_A))} \right] \frac{\frac{R_L}{2\mu}}{1 + \frac{s}{\mu \cdot \omega_p}} = \\ &= \frac{2 V_{odc}}{V_{gp}} \frac{\frac{2 + 2 K_A \text{sen}(\Phi_A) + K_A^2 (\text{sen}^2(\Phi_A) - \cos^2(\Phi_A))}{(2 + K_A \text{sen}(\Phi_A))}}{\frac{4 + 3 K_A \text{sen}(\Phi_A) - K_A^2 + 2 K_A^2 \text{sen}^2(\Phi_A)}{2(2 + K_A \text{sen}(\Phi_A))}} \cdot \frac{\frac{1}{2}}{1 + \frac{s}{\mu \omega_p}} = \\ &= \frac{V_{odc}}{V_{gp}} \frac{4 + 4 K_A \text{sen}(\Phi_A) + 4 K_A^2 \text{sen}^2(\Phi_A) - 2 K_A^2}{4 + 3 K_A \text{sen}(\Phi_A) - K_A^2 + 2 K_A^2 \text{sen}^2(\Phi_A)} \cdot \frac{1}{1 + \frac{s}{\mu \cdot \omega_p}} = \frac{V_{odc}}{V_{gp}} \sigma \cdot \frac{1}{1 + \frac{s}{\mu \cdot \omega_p}} \end{aligned}$$

donde σ es:

$$\sigma = \frac{4 + 4 K_A \text{sen}(\Phi_A) + 4 K_A^2 \text{sen}^2(\Phi_A) - 2 K_A^2}{4 + 3 K_A \text{sen}(\Phi_A) - K_A^2 + 2 K_A^2 \text{sen}^2(\Phi_A)} \quad (\text{AI.35})$$

AI.3 SIMPLIFICACIÓN DEL ANÁLISIS DE PEQUEÑA SEÑAL DE LA IMPEDANCIA DE SALIDA DEL CFP CON DISTORSIÓN EN LA CORRIENTE DE ENTRADA

Para realizar la simplificación de la impedancia de salida del CFP con distorsión en la corriente de entrada, hay que anular las perturbaciones de la tensión de entrada y del valor de continua de la tensión $v_A(t)$. La Figura AI.2 muestra el diagrama de bloques del análisis de pequeña señal:

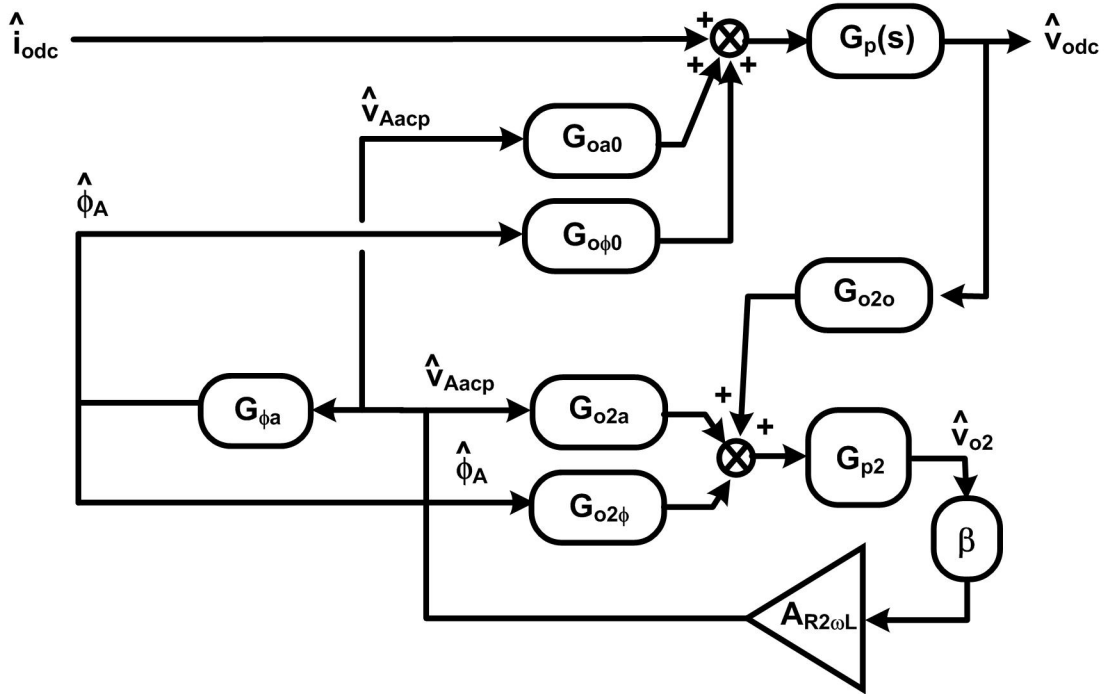


Figura AI.2. Diagrama de bloques del análisis de pequeña señal del CFP con distorsión en la corriente de entrada para $\hat{v}_{gp} = 0$ y $\hat{v}_{Adc} = 0$

Por lo tanto las ecuaciones (AI.20)-(A.22) pasan a ser:

$$\hat{v}_{odc} = G_p(s) \left(G_{oa0} \cdot \hat{v}_{Aacp} + G_{o\phi 0} \cdot \hat{\phi}_A + \hat{i}_{odc} \right) \quad (AI.36)$$

$$\hat{\phi}_A = G_{\phi a} \cdot \hat{v}_{Acp} \quad (AI.37)$$

$$\hat{v}_{Acp} = G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L} (G_{o2a} \hat{v}_{Acp} + G_{o2\phi} \hat{\phi}_A + G_{o2o} \hat{v}_{odc}) \quad (AI.38)$$

Operando con la expresión (AI.36)-(AI.37):

$$\begin{aligned} \hat{v}_{Acp} &= G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L} (G_{o2a} \hat{v}_{Acp} + G_{o2\phi} \hat{\phi}_A + G_{o2o} \hat{v}_{odc}) \Rightarrow \\ \Rightarrow (1 - G_{o2a} G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L}) \hat{v}_{Acp} &= G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L} (G_{o2\phi} \hat{\phi}_A + G_{o2o} \hat{v}_{odc}) = \\ \Rightarrow (1 - \beta \cdot A_{R2\omega L} G_{p2} (G_{o2a} \cdot -G_{\phi a} G_{o2\phi})) \hat{v}_{Acp} &= G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L} G_{o2o} \hat{v}_{odc} \Rightarrow \\ \Rightarrow \hat{v}_{odc} &= \frac{G_p(s) G_{oa0} G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L} G_{o2o}}{1 - \beta \cdot A_{R2\omega L} G_{p2} (G_{o2a} \cdot -G_{\phi a} G_{o2\phi})} \hat{v}_{odc} + \\ &+ \frac{G_p(s) G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L} G_{o2o} G_{o\phi 0} G_{\phi a}}{1 - \beta \cdot A_{R2\omega L} G_{p2} (G_{o2a} \cdot -G_{\phi a} G_{o2\phi})} \hat{v}_{odc} + G_p(s) \cdot \hat{i}_{odc} \\ \Rightarrow \hat{v}_{odc} \left[1 - \frac{G_p(s) G_{p2} \cdot \beta \cdot A_{R2\omega L} G_{o2o} (G_{oa0} + G_{o\phi 0} G_{\phi a})}{1 - \beta \cdot A_{R2\omega L} G_{p2} (G_{o2a} \cdot -G_{\phi a} G_{o2\phi})} \right] &= G_p(s) \cdot \hat{i}_{odc} \end{aligned}$$

Si se sustituye en la expresión anterior (AI.31) y (AI.32), la impedancia de salida será

$$\left. \frac{\hat{v}_{odc}}{\hat{i}_{odc}} \right|_{\substack{\hat{v}_{Adc} = 0 \\ \hat{v}_{gp} = 0}} = Z_o'(s) = \frac{\frac{R_L}{2 \cdot \mu}}{1 + \frac{s}{\mu \cdot \omega_p}} \quad (AI.39)$$

A.II

PROGRAMACIÓN EN MATHCAD. HOJAS DE CÁLCULO PARA EL ANÁLISIS DE MODELOS

En este anexo se van a mostrar las hojas de cálculo programadas en MatchCad que se han utilizado para analizar diversos modelos propuestos en esta tesis. Dichos modelos abarcan la resolución del análisis de pequeña señal del CFP con distorsión en la corriente de entrada, presentado en el capítulo 2, y los modelos estáticos de la corriente de entrada de los controles presentados en el capítulo 4.

AII.1 PROGRAMA PARA EL ANÁLISIS DEL CFP EN LAZO CERRADO

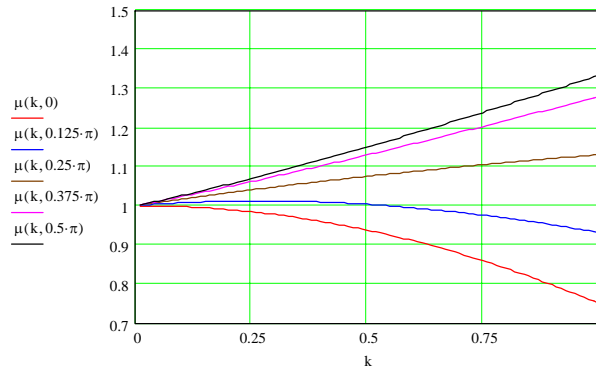
Cálculo de μ en función de k y Φ_L

Se calcula la variación del parámetro μ en función de las características de diseño del CFP que se van a utilizar (k , Φ_L).

$$\mu(k, \Phi_L) := \frac{4 + 3 \cdot k \cdot \sin(\Phi_L) - k^2 + 2 \cdot k^2 \cdot (\sin(\Phi_L))^2}{2(2 + k \cdot \sin(\Phi_L))}$$

$$k := 0.01, 0.02.. 1$$

Se muestra el resultado la siguiente gráfica.

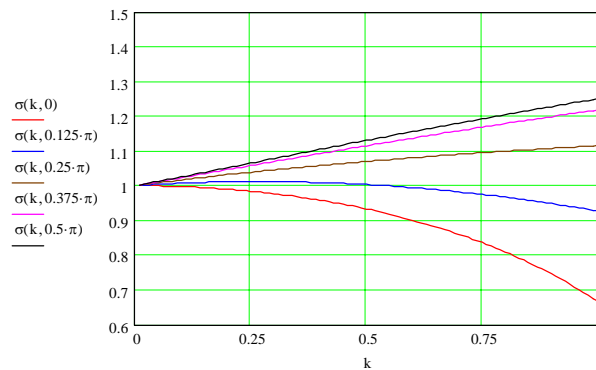


Calculo de σ en función de k y ϕL

Se calcula la variación del parámetro σ en función de las características de diseño del CFP que se van a utilizar (k , ϕL).

$$\sigma(k, \phi L) := \frac{4 + 4 \cdot k \cdot \sin(\phi L) - 2 \cdot k^2 + 4 \cdot k^2 \cdot (\sin(\phi L))^2}{4 + 3 \cdot k \cdot \sin(\phi L) - k^2 + 2 \cdot k^2 \cdot (\sin(\phi L))^2} \quad k := 0.01, 0.02 \dots 1$$

Se muestra el resultado en siguiente gráfica.

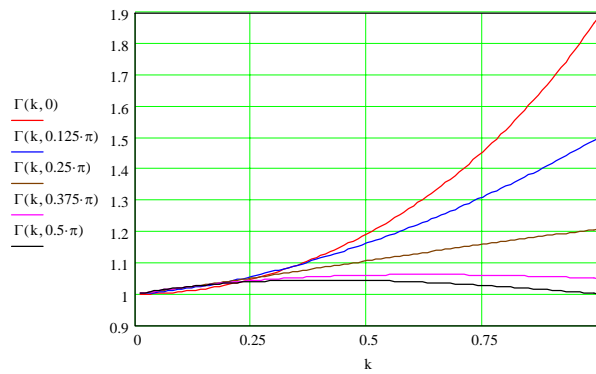


Cálculo de Γ en función k y ϕL

Se calcula la variación del parámetro Γ en función de las características de diseño del CFP que se van a utilizar (k , ϕL).

$$\Gamma(k, \phi L) := \frac{4 \cdot \sqrt{1 + k^2 + 2 \cdot k \cdot \sin(\phi L)}}{4 + 3 \cdot k \cdot \sin(\phi L) - k^2 + 2 \cdot k^2 \cdot (\sin(\phi L))^2}$$

Se muestra el resultado siguiente gráfica.



$$\omega R := 100 \cdot \pi$$

Frecuencia de red

$$rV := 0.005$$

Rizado de la tensión a la salida

Se calcula la expresión del polo del regulador para un determinado margen de fase y ancho de banda.

$$\omega C(M\phi_{ap}, \omega_0) := \frac{\omega_0}{\tan\left(\pi - M\phi_{ap} - \operatorname{atan}\left(\frac{\omega_0}{4 \cdot \omega R \cdot rV}\right)\right)}$$

Se calcula la expresión de parte de la ganancia del regulador de tensión para un determinado margen de fase y ancho de banda.

$$\gamma_{ap}(M\phi_{ap}, \omega_0) := \sqrt{1 + \left(\frac{\omega_0}{\omega C(M\phi_{ap}, \omega_0)}\right)^2}$$

Se calcula la expresión del ángulo α para un determinado margen de fase y ancho de banda.

$$\alpha_{ap}(M\phi_{ap}, \omega_0) := \frac{\pi}{2} - \operatorname{atan}\left(\frac{2 \cdot \omega R}{\omega C(M\phi_{ap}, \omega_0)}\right)$$

Se calcula la expresión de k para un determinado margen de fase y ancho de banda.

$$k(M\phi_{ap}, \omega_0, \phi_L) := \frac{\cos(\phi_L + \alpha_{ap}(M\phi_{ap}, \omega_0))}{\sin(\alpha_{ap}(M\phi_{ap}, \omega_0))}$$

Se comprueban los valores del polo del regulador.

$$\begin{aligned} \frac{\omega_C\left(50 \cdot \frac{\pi}{180}, 40 \cdot 2\pi\right)}{2\pi} &= 45.32 & \frac{\omega_C\left(60 \cdot \frac{\pi}{180}, 40 \cdot 2\pi\right)}{2\pi} &= 65.448 & \frac{\omega_C\left(70 \cdot \frac{\pi}{180}, 40 \cdot 2\pi\right)}{2\pi} &= 101.9 \\ \frac{\omega_C\left(80 \cdot \frac{\pi}{180}, 40 \cdot 2\pi\right)}{2\pi} &= 197.806 & \frac{\omega_C\left(50 \cdot \frac{\pi}{180}, 80 \cdot 2\pi\right)}{2\pi} &= 92.956 & \frac{\omega_C\left(60 \cdot \frac{\pi}{180}, 80 \cdot 2\pi\right)}{2\pi} &= 134.649 \\ \frac{\omega_C\left(70 \cdot \frac{\pi}{180}, 80 \cdot 2\pi\right)}{2\pi} &= 211.533 & \frac{\omega_C\left(80 \cdot \frac{\pi}{180}, 80 \cdot 2\pi\right)}{2\pi} &= 422.734 \end{aligned}$$

Se escribe la expresión de μ para un determinado margen de fase y ancho de banda.

$$\mu(M\phi_{ap}, \omega_0, \phi_L) := \frac{4 + 3 \cdot k(M\phi_{ap}, \omega_0, \phi_L) \cdot \sin(\phi_L) - k(M\phi_{ap}, \omega_0, \phi_L)^2 + 2 \cdot k(M\phi_{ap}, \omega_0, \phi_L)^2 \cdot (\sin(\phi_L))^2}{2(2 + k(M\phi_{ap}, \omega_0, \phi_L) \cdot \sin(\phi_L))}$$

Se escribe la expresión de Γ para un determinado margen de fase y ancho de banda.

$$\Gamma(M\phi_{ap}, \omega_0, \phi_L) := \frac{4 \cdot \sqrt{1 + k(M\phi_{ap}, \omega_0, \phi_L)^2 + 2 \cdot k(M\phi_{ap}, \omega_0, \phi_L) \cdot \sin(\phi_L)}}{4 + 3 \cdot k(M\phi_{ap}, \omega_0, \phi_L) \cdot \sin(\phi_L) - k(M\phi_{ap}, \omega_0, \phi_L)^2 + 2 \cdot k(M\phi_{ap}, \omega_0, \phi_L)^2 \cdot (\sin(\phi_L))^2}$$

Se escribe la expresión del polo del regulador para un determinado margen de fase y ancho de banda.

$$\omega_P(M\phi_{ap}, \omega_0, \phi_L) := \frac{4 \cdot \omega_R \cdot rV}{\Gamma(M\phi_{ap}, \omega_0, \phi_L)}$$

Se escribe la expresión de f_L para un determinado margen de fase y ancho de banda.

$$\Lambda(M\phi_{ap}, \omega_0, \phi_L) := \frac{\gamma_{ap}(M\phi_{ap}, \omega_0)}{\sqrt{1 + \left(\frac{2 \cdot \omega_R}{\omega_C(M\phi_{ap}, \omega_0)}\right)^2}} - \frac{k(M\phi_{ap}, \omega_0, \phi_L)}{2 \cdot \mu(M\phi_{ap}, \omega_0, \phi_L) \cdot rV} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega_0}{\omega_P(M\phi_{ap}, \omega_0, \phi_L)}\right)^2}}$$

Se resuelve el ángulo ϕ_L .

$$\phi_{Ls}(M_{\phi p}, \omega 0) := \text{root}(\Lambda(M_{\phi p}, \omega 0, \phi_L), \phi_L) \quad \phi_L := \frac{\pi}{2.5}$$

Se comprueban los valores de f_L y k .

$$\phi_{Ls}\left(50 \cdot \frac{\pi}{180}, 40 \cdot 2\pi\right) \cdot \frac{180}{\pi} = 59.877 \quad \phi_{Ls}\left(60 \cdot \frac{\pi}{180}, 40 \cdot 2\pi\right) \cdot \frac{180}{\pi} = 47.838$$

$$\phi_{Ls}\left(70 \cdot \frac{\pi}{180}, 40 \cdot 2\pi\right) \cdot \frac{180}{\pi} = 30.359 \quad \phi_{Ls}\left(80 \cdot \frac{\pi}{180}, 40 \cdot 2\pi\right) \cdot \frac{180}{\pi} = 6.057$$

$$\phi_{Ls}\left(50 \cdot \frac{\pi}{180}, 80 \cdot 2\pi\right) \cdot \frac{180}{\pi} = 2.491 \quad \phi_{Ls}\left(60 \cdot \frac{\pi}{180}, 80 \cdot 2\pi\right) \cdot \frac{180}{\pi} = -25.421$$

$$\phi_{Ls}\left(70 \cdot \frac{\pi}{180}, 80 \cdot 2\pi\right) \cdot \frac{180}{\pi} = -35.668 \quad \phi_{Ls}\left(80 \cdot \frac{\pi}{180}, 80 \cdot 2\pi\right) \cdot \frac{180}{\pi} = -41.956$$

$$k\left(50 \cdot \frac{\pi}{180}, 40 \cdot 2\pi, \phi_{Ls}\left(50 \cdot \frac{\pi}{180}, 40 \cdot 2\pi\right)\right) = 0.242 \quad k\left(60 \cdot \frac{\pi}{180}, 40 \cdot 2\pi, \phi_{Ls}\left(60 \cdot \frac{\pi}{180}, 40 \cdot 2\pi\right)\right) = 0.284$$

$$k\left(70 \cdot \frac{\pi}{180}, 40 \cdot 2\pi, \phi_{Ls}\left(70 \cdot \frac{\pi}{180}, 40 \cdot 2\pi\right)\right) = 0.341 \quad k\left(80 \cdot \frac{\pi}{180}, 40 \cdot 2\pi, \phi_{Ls}\left(80 \cdot \frac{\pi}{180}, 40 \cdot 2\pi\right)\right) = 0.397$$

$$k\left(50 \cdot \frac{\pi}{180}, 80 \cdot 2\pi, \phi_{Ls}\left(50 \cdot \frac{\pi}{180}, 80 \cdot 2\pi\right)\right) = 1.031 \quad k\left(60 \cdot \frac{\pi}{180}, 80 \cdot 2\pi, \phi_{Ls}\left(60 \cdot \frac{\pi}{180}, 80 \cdot 2\pi\right)\right) = 1.1$$

$$k\left(70 \cdot \frac{\pi}{180}, 80 \cdot 2\pi, \phi_{Ls}\left(70 \cdot \frac{\pi}{180}, 80 \cdot 2\pi\right)\right) = 0.967 \quad k\left(80 \cdot \frac{\pi}{180}, 80 \cdot 2\pi, \phi_{Ls}\left(80 \cdot \frac{\pi}{180}, 80 \cdot 2\pi\right)\right) = 0.844$$

Se van a calcular los valores límites de f_L que hacen que k sea mayor que la unidad para márgenes de fase de 40° , 50° , 60° y 70° .

$$M_{\phi p} := \frac{\pi}{180} \cdot 40 \quad \omega_{0\text{lim}} := 70 \cdot 2 \cdot \pi$$

Given

$$\phi_{\text{Lin}}(M_{\phi\text{ap}}, \omega_{0\text{lim}}) = \phi_{\text{Ls}}(M_{\phi\text{ap}}, \omega_{0\text{lim}})$$

$$\omega_{0\text{lim}1} := \text{Find}(\omega_{0\text{lim}})$$

$$\frac{\omega_{0\text{lim}1}}{2\pi} = 81.21 \quad \omega_{01} := 27 \cdot \pi, 27.2 \cdot \pi \dots \omega_{0\text{lim}1}$$

$$M_{\phi\text{ap}} := \frac{\pi}{180} \cdot 50 \quad \omega_{0\text{lim}} := 60 \cdot 2 \cdot \pi$$

Given

$$\phi_{\text{Lin}}(M_{\phi\text{ap}}, \omega_{0\text{lim}}) = \phi_{\text{Ls}}(M_{\phi\text{ap}}, \omega_{0\text{lim}})$$

$$\omega_{0\text{lim}2} := \text{Find}(\omega_{0\text{lim}})$$

$$\frac{\omega_{0\text{lim}2}}{2\pi} = 78.842 \quad \omega_{02} := 22 \cdot \pi, 23 \cdot \pi \dots \omega_{0\text{lim}2}$$

$$M_{\phi\text{ap}} := \frac{\pi}{180} \cdot 60 \quad \omega_{0\text{lim}} := 70 \cdot 2 \cdot \pi$$

Given

$$\phi_{\text{Lin}}(M_{\phi\text{ap}}, \omega_{0\text{lim}}) = \phi_{\text{Ls}}(M_{\phi\text{ap}}, \omega_{0\text{lim}})$$

$$\omega_{0\text{lim}3} := \text{Find}(\omega_{0\text{lim}})$$

$$\frac{\omega_{0\text{lim}3}}{2\pi} = 77.046 \quad \omega_{03} := 20 \cdot \pi, 21 \cdot \pi \dots \omega_{0\text{lim}3}$$

$$M_{\phi\text{ap}} := \frac{\pi}{180} \cdot 70 \quad \omega_{0\text{lim}} := 80 \cdot 2 \cdot \pi$$

Given

$$\phi_{\text{Lin}}(M_{\phi\text{ap}}, \omega_{0\text{lim}}) = \phi_{\text{Ls}}(M_{\phi\text{ap}}, \omega_{0\text{lim}})$$

$$\omega_{0\text{lim}4} := \text{Find}(\omega_{0\text{lim}})$$

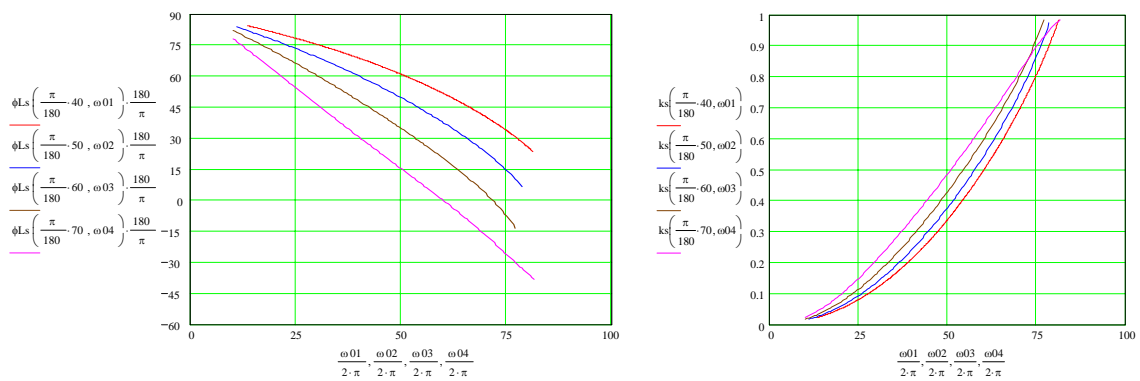
$$\frac{\omega_{lim4}}{2\pi} = 81.604 \quad \omega_{04} := 20 \cdot \pi, 21 \cdot \pi \dots \omega_{lim4}$$

Se calcula la expresión de k para un determinado margen de fase y ancho de banda.

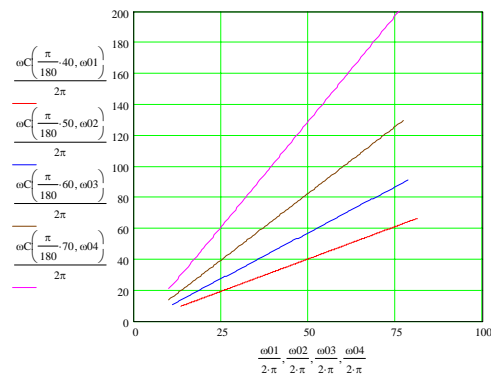
$$k_s(M\phi_{ap}, \omega_0) := k(M\phi_{ap}, \omega_0, \phi_{Ls}(M\phi_{ap}, \omega_0))$$

Finalmente se dibujan las gráficas con los resultados.

Ángulo fL y k

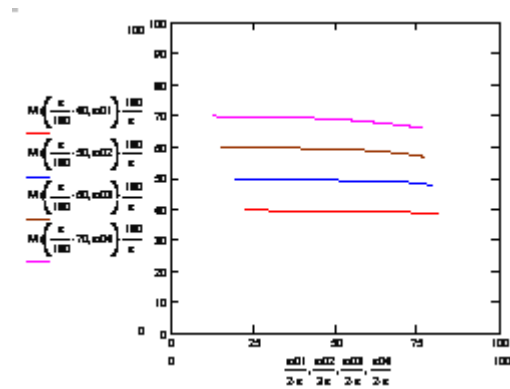


Polo del regulador



Comprobación de la aproximación del margen de fase

$$M\phi(M\phi_{ap}, \omega_0) := \pi - \operatorname{atan}\left(\frac{\omega_0}{\omega_c(M\phi_{ap}, \omega_0)}\right) - \operatorname{atan}\left(\frac{\omega_0}{\omega_p(M\phi_{ap}, \omega_0, \phi_{Ls}(M\phi_{ap}, \omega_0))}\right)$$



Potencia máxima en función del margen de fase y de la frecuencia de paso por cero

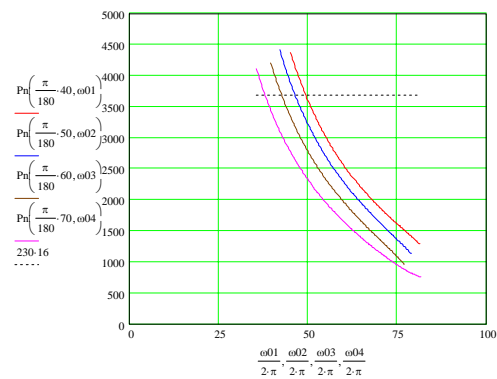
$$P_n(M\phi_{ap}, \omega 0) := 230 \cdot i3 \lim \left(\frac{2 + k(M\phi_{ap}, \omega 0, \phi_{Ls}(M\phi_{ap}, \omega 0)) \cdot \sin(\phi_{Ls}(M\phi_{ap}, \omega 0))}{k(M\phi_{ap}, \omega 0, \phi_{Ls}(M\phi_{ap}, \omega 0))} \right)$$

$$\omega 01 := 45.2\pi, 45.2.2\pi \dots \omega_{olim1}$$

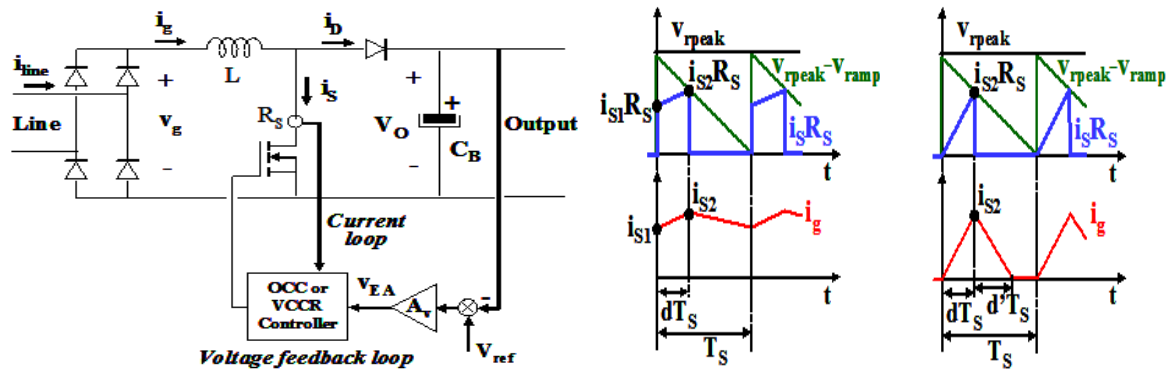
$$\omega 02 := 42.2\pi, 42.2.2\pi \dots \omega_{olim2}$$

$$\omega 03 := 39.5.2\pi, 39.7.2\pi \dots \omega_{olim3}$$

$$\omega 04 := 35.5.2\pi, 35.7.2\pi \dots \omega_{olim4}$$



AIL.2 PROGRAMA PARA EL ANÁLISIS ESTÁTICO DEL CFP ELEVADOR CON CRCCT



Definiciones:

$M=V_O/V_{gP}$ = la relación entre la tensión de salida y el pico de la tensión de entrada

$K= 2L \cdot f_s \cdot v_{rpeak}/(R_S \cdot V_{gP})$ = parámetro adimensional para definir el modo de conducción

$igmC$ = corriente media de entrada en MCC en un semiciclo

$igmD$ = corriente media de entrada en MCD en un semiciclo

igm = corriente media de entrada en un semiciclo

ig = corriente media de entrada en un ciclo completo

$$igmC(t, M, K) := \frac{\sin(2\pi t) \cdot K}{M^2} \cdot \left[1 - \frac{(M - \sin(2\pi t))}{K} \right]$$

$$igmD(t, M, K) := \frac{\sin(2\pi t)}{M - \sin(2\pi t)} \cdot \frac{K^2}{(K + 2 \cdot \sin(2\pi t))^2}$$

Valor de Kcrit

$$Kcrit(t, M) := 2(M - \sin(2\pi t))$$

Valores máximos y mínimos de Kcrit

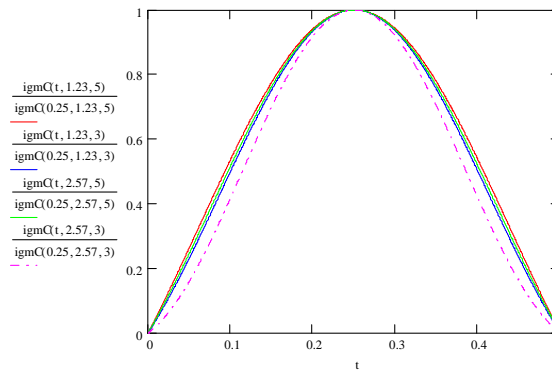
$$K_{critmin}(M) := K_{crit}\left(\frac{1}{4}, M\right)$$

$$K_{critmax}(M) := K_{crit}(0, M)$$

ϕ es el ángulo frontera de conducción cuando el convertidor trabaja una parte del ángulo de red en MCC y otra en MCD

$$\phi(M, K) := \arcsin\left(M - \frac{K}{2}\right)$$

$$igm(t, M, K) := \text{if}(K_{critmax}(M) < K, igmC(t, M, K), \text{if}(K_{critmin}(M) > K, igmD(t, M, K), \text{if}(2\pi \cdot t < \phi(M, K), igmD(t, M, K), \text{if}(2\pi \cdot t > \pi - \phi(M, K), igmD(t, M, K), igmC(t, M, K))))))$$

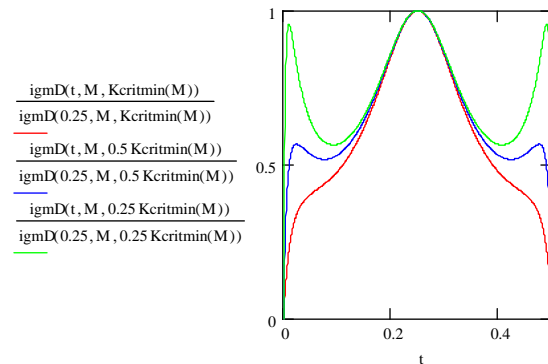
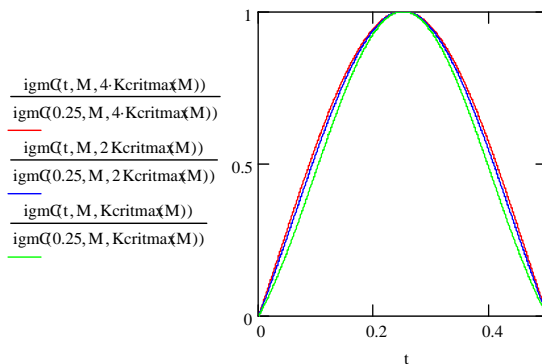


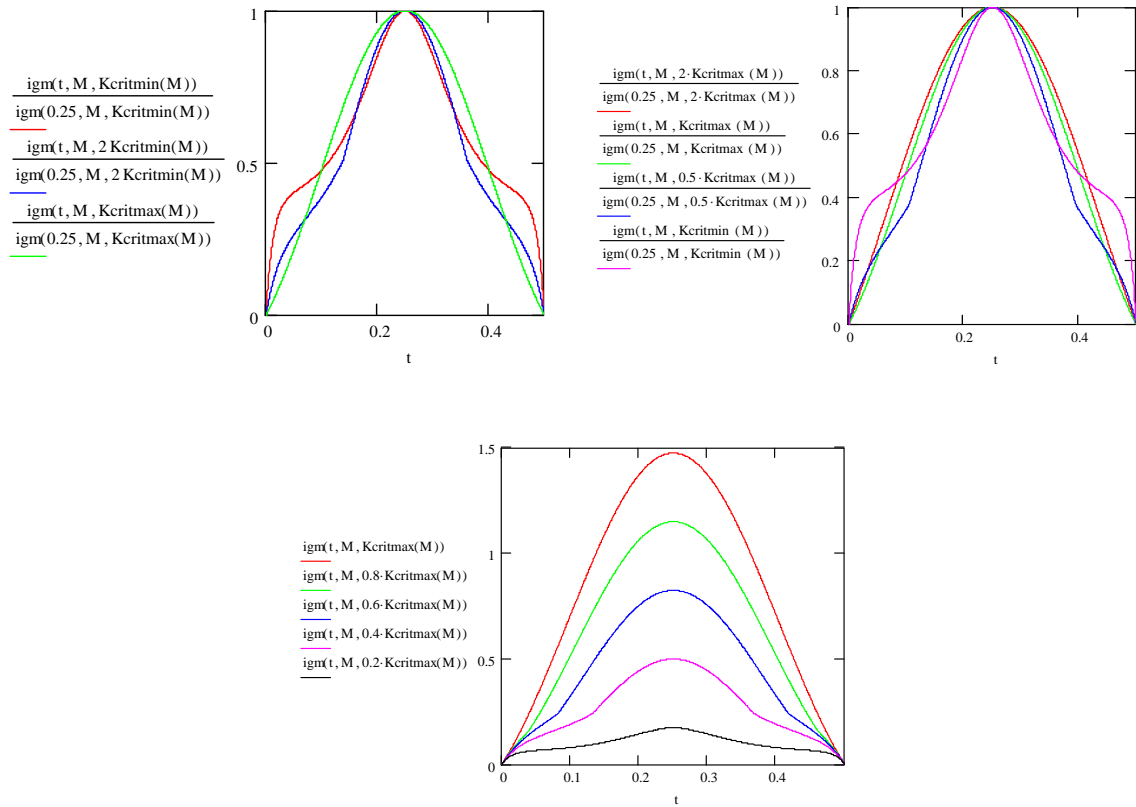
Ejemplo: Operación a 230 V de entrada y 400 V de salida

$$M := \frac{400}{230\sqrt{2}}$$

$$K_{critmin}(M) = 0.46$$

$$K_{critmax}(M) = 2.46$$



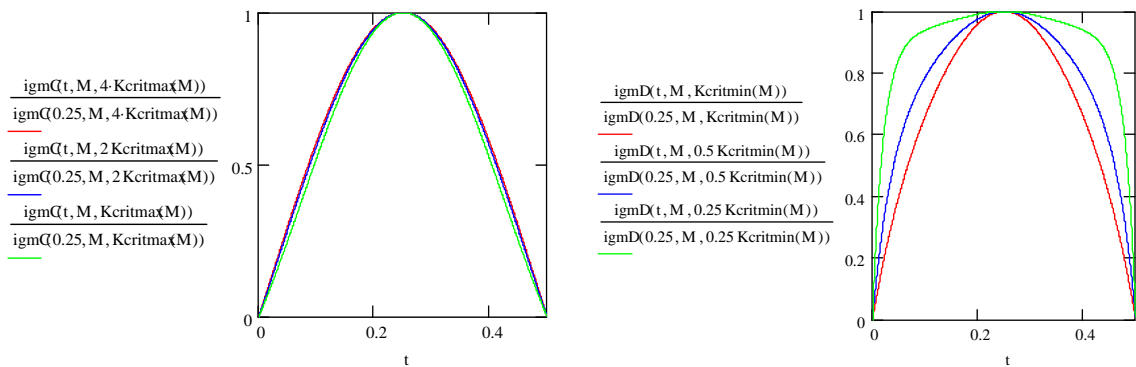


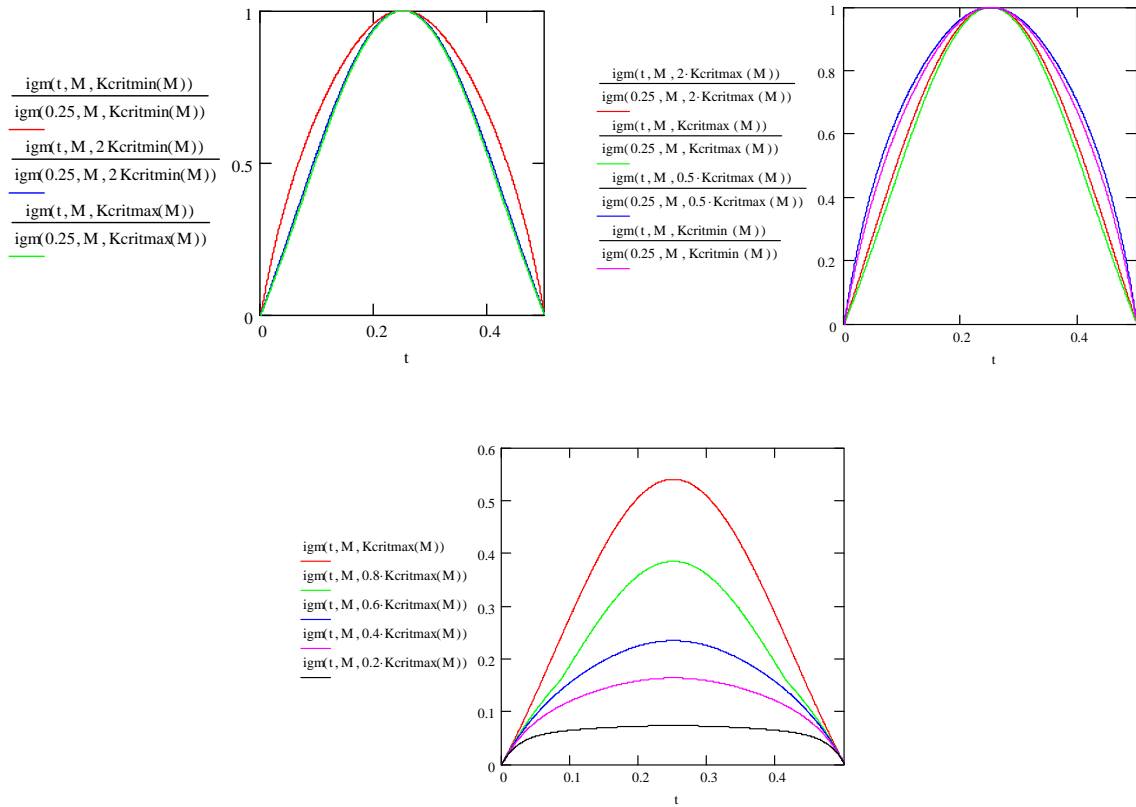
Ejemplo: Operación a 110 V de entrada y 400 V de salida

$$M := \frac{400}{110\sqrt{2}}$$

$$Kcritmin(M) = 3.143$$

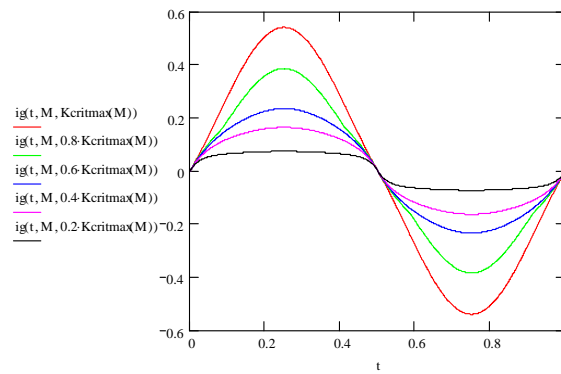
$$Kcritmax(M) = 5.143$$





Cálculo de la corriente media de entrada en un ciclo completo

$$ig(t, M, K) := \text{if}(t < 0.5, igm(t, M, K), -igm(t - 0.5, M, K))$$



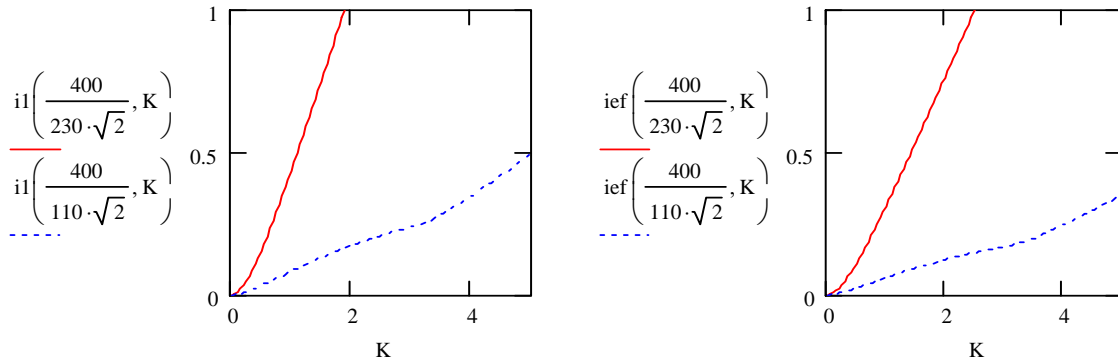
Cálculo del primer armónico la corriente de entrada

$$i1(M, K) := \frac{2}{1} \cdot \int_0^1 ig(t, M, K) \cdot \sin(2\pi t) dt$$

$$i1(1.23, 10) = 6.358$$

Cálculo del valor eficaz de la corriente de entrada

$$\text{ief}(M, K) := \sqrt{\frac{1}{1} \cdot \int_0^1 \text{ig}(t, M, K)^2 dt} \quad \text{ief}(1.23, 10) = 4.496 \quad K := 0, 0.05..5$$



Cálculo de la DAT y del Factor de Potencia

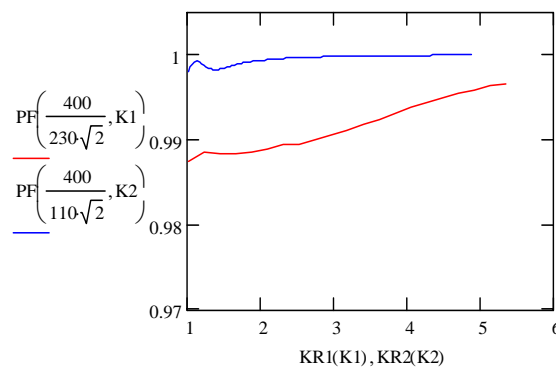
$$\text{PF}(M, K) := \frac{\text{i1}(M, K)}{\sqrt{2} \cdot \text{ief}(M, K)} \quad \text{THD}(M, K) := \frac{\sqrt{\text{ief}(M, K)^2 - \frac{\text{i1}(M, K)^2}{2}}}{\frac{\text{i1}(M, K)}{\sqrt{2}}}$$

$$K1 := \text{Kcritmin}\left(\frac{400}{230\sqrt{2}}\right), \text{Kcritmin}\left(\frac{400}{230\sqrt{2}}\right) + 0.1.. \text{Kcritmax}\left(\frac{400}{230\sqrt{2}}\right) \quad \text{Kcritmax}\left(\frac{400}{230\sqrt{2}}\right) = 2.46$$

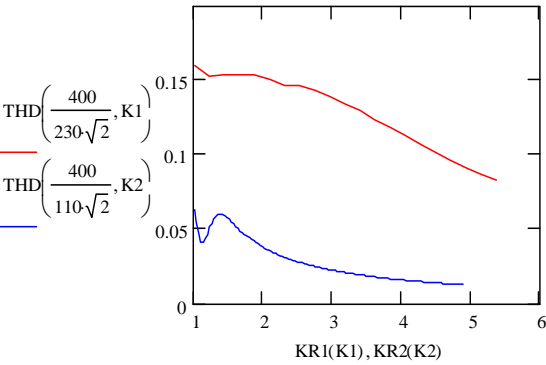
$$K2 := \text{Kcritmin}\left(\frac{400}{110\sqrt{2}}\right), \text{Kcritmin}\left(\frac{400}{110\sqrt{2}}\right) + 0.1.. 3 \cdot \text{Kcritmax}\left(\frac{400}{110\sqrt{2}}\right) \quad \text{Kcritmax}\left(\frac{400}{110\sqrt{2}}\right) = 5.143$$

$$\text{KR1}(K1) := \frac{K1}{\text{Kcritmin}\left(\frac{400}{230\sqrt{2}}\right)} \quad \text{KR2}(K2) := \frac{K2}{\text{Kcritmin}\left(\frac{400}{110\sqrt{2}}\right)}$$

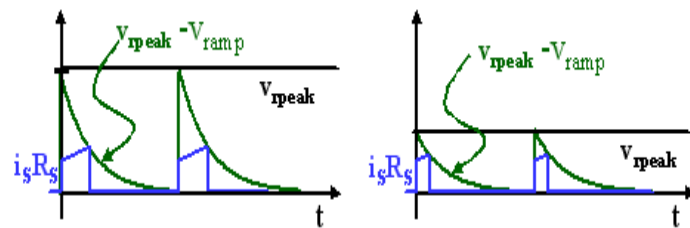
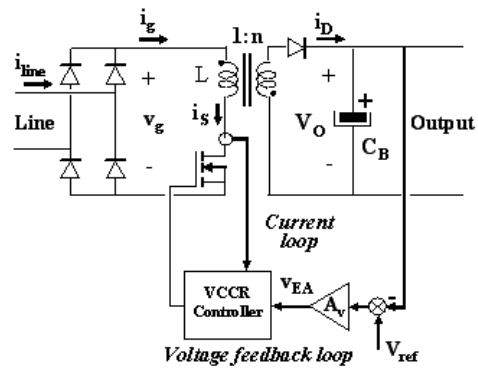
Factor de Potencia



Distorsión Armónica Total



AIL3 PROGRAMA PARA EL ANÁLISIS ESTÁTICO DEL CFP DE RETROCESO CON CRCCT



Definiciones:

$M=V_O/(nV_gP)$ = la relación entre la tensión de salida y el pico de la tensión de entrada

$K= 2L \cdot f_s \cdot v_{rpeak}/(R_S \cdot V_gP)$ = parámetro adimensional para definir el modo de conducción

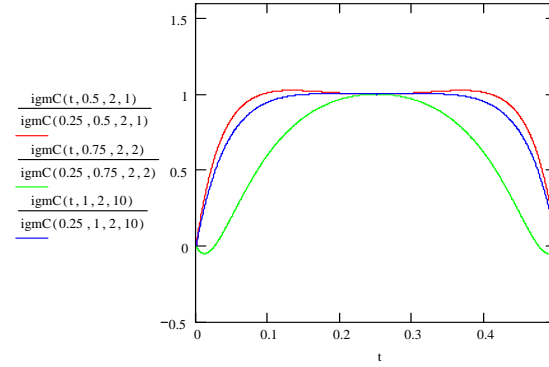
i_{gmC} = corriente media de entrada en MCC en un semiciclo

i_{gmD} = corriente media de entrada en MCD en un semiciclo

i_{gm} = corriente media de entrada en un semiciclo

i_g = corriente media de entrada en un ciclo completo

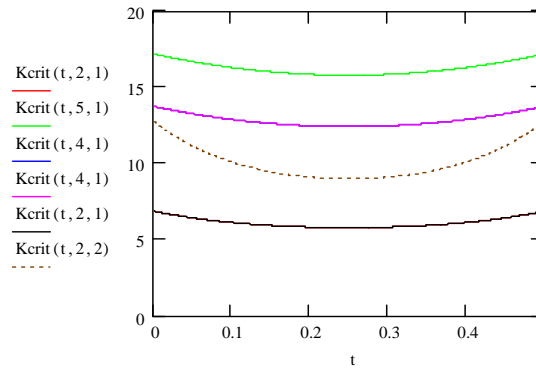
$$\text{igmC}(t, M, K, \mu) := \frac{1}{(M + \sin(2\pi t))} \cdot \left[K \cdot \left[\frac{e^{-\mu \cdot \frac{M}{(M + \sin(2\pi t))}} - e^{-\mu}}{1 - e^{-\mu}} \right] - \left(\frac{M \cdot \sin(2\pi t)}{M + \sin(2\pi t)} \right) \right]$$



Valor de Kcrit

$$K_{\text{crit}}(t, M, \mu) := 2 \cdot \left(\frac{M \cdot \sin(2\pi t)}{M + \sin(2\pi t)} \right) \cdot \frac{(1 - e^{-\mu})}{\left[e^{-\mu \cdot \frac{M}{(M + \sin(2\pi t))}} - e^{-\mu} \right]}$$

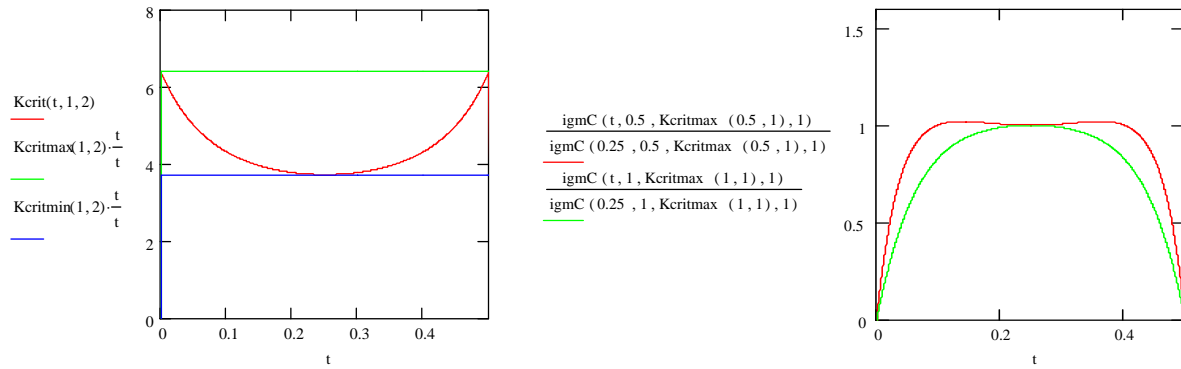
Valores máximos y mínimos de Kcrit



$$K_{\text{critmax}}(M, \mu) := \frac{2 \cdot M \cdot (1 - e^{-\mu})}{(\mu) \cdot e^{-\mu}}$$

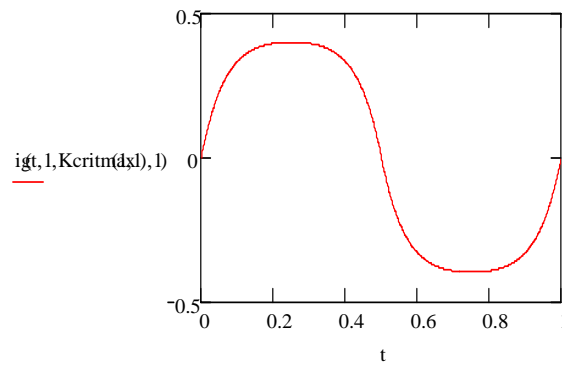
$$K_{\text{critmax}}(2, 1) = 6.873$$

$$K_{\text{critmin}}(M, \mu) := \frac{2 \cdot M}{M + 1} \cdot \frac{(1 - e^{-\mu})}{\left(e^{-\mu \cdot \frac{M}{M+1}} - e^{-\mu} \right)}$$



Cálculo de la corriente media de entrada en un ciclo completo, pero sólo en MCC

$$ig(t, M, K, \mu) := \text{if}(t < 0.5, igmC(t, M, K, \mu), -igmC(t - 0.5, M, K, \mu))$$



Cálculo del primer armónico la corriente de entrada y cálculo del valor eficaz de la corriente de entrada

$$il(M, K, \mu) := \frac{2}{1} \cdot \int_0^1 ig(t, M, K, \mu) \cdot \sin(2\pi t) dt$$

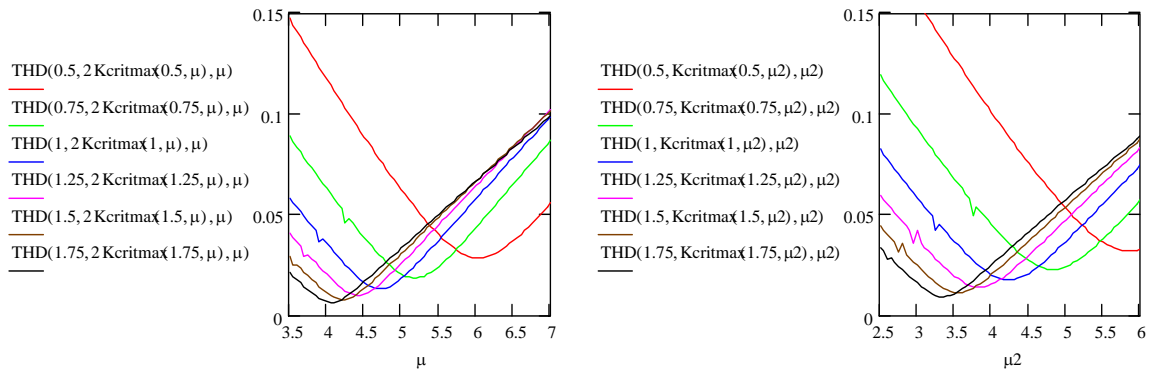
$$ief(M, K, \mu) := \sqrt{\frac{1}{1} \cdot \int_0^1 ig(t, M, K, \mu)^2 dt}$$

Cálculo de la DAT y del Factor de Potencia

$$PF(M, K, \mu) := \frac{il(M, K, \mu)}{\sqrt{2} \cdot ief(M, K, \mu)}$$

$$THD(M, K, \mu) := \frac{\sqrt{ief(M, K, \mu)^2 - \frac{il(M, K, \mu)^2}{2}}}{\frac{il(M, K, \mu)}{\sqrt{2}}}$$

$$\mu := 3.5, 3.55..7 \quad \mu_2 := 2.5, 2.55..6$$



Búsqueda del valor de μ con el que se minimiza la DAT

El objetivo ahora es determinar el valor del parámetro μ que minimiza el contenido armónico en función de los parámetros de diseño.

$$\mu_{05} := 1 \quad \mu_{06} := 1 \quad \mu_{07} := 1 \quad \mu_{08} := 1 \quad \mu_{09} := 1 \quad \mu_{10} := 1$$

$$\mu_{11} := 1 \quad \mu_{12} := 1 \quad \mu_{13} := 1 \quad \mu_{14} := 1 \quad \mu_{15} := 1 \quad \mu_{16} := 1$$

$$\mu_{17} := 1 \quad \mu_{18} := 1 \quad \mu_{19} := 1 \quad \mu_{20} := 1$$

$$\text{THD05}(\mu) := \text{THD}(0.5, \text{Kcritmax}(0.5, \mu), \mu) \quad \text{THD06}(\mu) := \text{THD}(0.6, \text{Kcritmax}(0.6, \mu), \mu)$$

$$\text{THD07}(\mu) := \text{THD}(0.7, \text{Kcritmax}(0.7, \mu), \mu) \quad \text{THD08}(\mu) := \text{THD}(0.8, \text{Kcritmax}(0.8, \mu), \mu)$$

$$\text{THD09}(\mu) := \text{THD}(0.9, \text{Kcritmax}(0.9, \mu), \mu) \quad \text{THD10}(\mu) := \text{THD}(1, \text{Kcritmax}(1, \mu), \mu)$$

$$\text{THD11}(\mu) := \text{THD}(1.1, \text{Kcritmax}(1.1, \mu), \mu) \quad \text{THD12}(\mu) := \text{THD}(1.2, \text{Kcritmax}(1.2, \mu), \mu)$$

$$\text{THD13}(\mu) := \text{THD}(1.3, \text{Kcritmax}(1.3, \mu), \mu) \quad \text{THD14}(\mu) := \text{THD}(1.4, \text{Kcritmax}(1.4, \mu), \mu)$$

$$\text{THD15}(\mu) := \text{THD}(1.5, \text{Kcritmax}(1.5, \mu), \mu) \quad \text{THD16}(\mu) := \text{THD}(1.6, \text{Kcritmax}(1.6, \mu), \mu)$$

$$\text{THD18}(\mu) := \text{THD}(1.8, \text{Kcritmax}(1.8, \mu), \mu) \quad \text{THD17}(\mu) := \text{THD}(1.7, \text{Kcritmax}(1.7, \mu), \mu)$$

$$\text{THD19}(\mu) := \text{THD}(1.9, \text{Kcritmax}(1.9, \mu), \mu) \quad \text{THD20}(\mu) := \text{THD}(2, \text{Kcritmax}(2, \mu), \mu)$$

$$\mu_{05C} := \text{Minimize}(\text{THD05}, \mu_{05}) \quad \mu_{05C} = 5.845$$

$$\mu_{06C} := \text{Minimize}(\text{THD06}, \mu_{06}) \quad \mu_{06C} = 5.356$$

$$\mu_{07C} := \text{Minimize}(\text{THD07}, \mu_{07}) \quad \mu_{07C} = 4.981$$

$$\mu08C := \text{Minimize}(\text{THD08}, \mu08) \quad \mu08C = 4.681$$

$$\mu09C := \text{Minimize}(\text{THD09}, \mu09) \quad \mu09C = 4.435$$

$$\mu10C := \text{Minimize}(\text{THD10}, \mu10) \quad \mu10C = 4.228$$

$$\mu11C := \text{Minimize}(\text{THD11}, \mu11) \quad \mu11C = 4.053$$

$$\mu12C := \text{Minimize}(\text{THD12}, \mu12) \quad \mu12C = 3.902$$

$$\mu13C := \text{Minimize}(\text{THD13}, \mu13) \quad \mu13C = 3.771$$

$$\mu14C := \text{Minimize}(\text{THD14}, \mu14) \quad \mu14C = 3.656$$

$$\mu15C := \text{Minimize}(\text{THD15}, \mu15) \quad \mu15C = 3.555$$

$$\mu16C := \text{Minimize}(\text{THD16}, \mu16) \quad \mu16C = 3.464$$

$$\mu17C := \text{Minimize}(\text{THD17}, \mu17) \quad \mu17C = 3.384$$

$$\mu18C := \text{Minimize}(\text{THD18}, \mu18) \quad \mu18C = 3.311$$

$$\mu19C := \text{Minimize}(\text{THD19}, \mu19) \quad \mu19C = 3.246$$

$$\mu20C := \text{Minimize}(\text{THD20}, \mu20) \quad \mu20C = 3.186$$

$$\mu05a := 1 \quad \mu06a := 1 \quad \mu07a := 1 \quad \mu08a := 1 \quad \mu09a := 1 \quad \mu10a := 1$$

$$\mu11a := 1 \quad \mu12a := 1 \quad \mu13a := 1 \quad \mu14a := 1 \quad \mu15a := 1 \quad \mu16a := 1$$

$$\mu17a := 1 \quad \mu18a := 1 \quad \mu19a := 1 \quad \mu20a := 1$$

$$\text{THD05a}(\mu) := \text{THD}(0.5, 1.5\text{Kcritmax}(0.5, \mu), \mu) \quad \text{THD06a}(\mu) := \text{THD}(0.6, 1.5\text{Kcritmax}(0.6, \mu), \mu)$$

$$\text{THD07a}(\mu) := \text{THD}(0.7, 1.5\text{Kcritmax}(0.7, \mu), \mu) \quad \text{THD08a}(\mu) := \text{THD}(0.8, 1.5\text{Kcritmax}(0.8, \mu), \mu)$$

$$\text{THD09a}(\mu) := \text{THD}(0.9, 1.5\text{Kcritmax}(0.9, \mu), \mu) \quad \text{THD10a}(\mu) := \text{THD}(1, 1.5\text{Kcritmax}(1, \mu), \mu)$$

$$\text{THD11a}(\mu) := \text{THD}(1.1, 1.5\text{Kcritmax}(1.1, \mu), \mu) \quad \text{THD12a}(\mu) := \text{THD}(1.2, 1.5\text{Kcritmax}(1.2, \mu), \mu)$$

$$\text{THD13a}(\mu) := \text{THD}(1.3, 1.5\text{Kcritmax}(1.3, \mu), \mu) \quad \text{THD14a}(\mu) := \text{THD}(1.4, 1.5\text{Kcritmax}(1.4, \mu), \mu)$$

$$\text{THD15a}(\mu) := \text{THD}(1.5, 1.5\text{Kcritmax}(1.5, \mu), \mu)$$

$$\text{THD16a}(\mu) := \text{THD}(1.6, 1.5\text{Kcritmax}(1.6, \mu), \mu)$$

$$\text{THD18a}(\mu) := \text{THD}(1.8, 1.5\text{Kcritmax}(1.8, \mu), \mu)$$

$$\text{THD17a}(\mu) := \text{THD}(1.7, 1.5\text{Kcritmax}(1.7, \mu), \mu)$$

$$\text{THD20a}(\mu) := \text{THD}(2, 1.5\text{Kcritmax}(2, \mu), \mu)$$

$$\text{THD19a}(\mu) := \text{THD}(1.9, 1.5\text{Kcritmax}(1.9, \mu), \mu)$$

$$\mu05\text{Ca} := \text{Minimize}(\text{THD05a}, \mu05\text{a}) \quad \mu05\text{Ca} = 5.973$$

$$\mu06\text{Ca} := \text{Minimize}(\text{THD06a}, \mu06\text{a}) \quad \mu06\text{Ca} = 5.533$$

$$\mu07\text{Ca} := \text{Minimize}(\text{THD07a}, \mu07\text{a}) \quad \mu07\text{Ca} = 5.204$$

$$\mu08\text{Ca} := \text{Minimize}(\text{THD08a}, \mu08\text{a}) \quad \mu08\text{Ca} = 4.948$$

$$\mu09\text{Ca} := \text{Minimize}(\text{THD09a}, \mu09\text{a}) \quad \mu09\text{Ca} = 4.74$$

$$\mu10\text{Ca} := \text{Minimize}(\text{THD10a}, \mu10\text{a}) \quad \mu10\text{Ca} = 4.569$$

$$\mu11\text{Ca} := \text{Minimize}(\text{THD11a}, \mu11\text{a}) \quad \mu11\text{Ca} = 4.424$$

$$\mu12\text{Ca} := \text{Minimize}(\text{THD12a}, \mu12\text{a}) \quad \mu12\text{Ca} = 4.301$$

$$\mu13\text{Ca} := \text{Minimize}(\text{THD13a}, \mu13\text{a}) \quad \mu13\text{Ca} = 4.194$$

$$\mu14\text{Ca} := \text{Minimize}(\text{THD14a}, \mu14\text{a}) \quad \mu14\text{Ca} = 4.1$$

$$\mu15\text{Ca} := \text{Minimize}(\text{THD15a}, \mu15\text{a}) \quad \mu15\text{Ca} = 4.017$$

$$\mu16\text{Ca} := \text{Minimize}(\text{THD16a}, \mu16\text{a}) \quad \mu16\text{Ca} = 3.943$$

$$\mu17\text{Ca} := \text{Minimize}(\text{THD17a}, \mu17\text{a}) \quad \mu17\text{Ca} = 3.877$$

$$\mu18\text{Ca} := \text{Minimize}(\text{THD18a}, \mu18\text{a}) \quad \mu18\text{Ca} = 3.818$$

$$\mu19\text{Ca} := \text{Minimize}(\text{THD19a}, \mu19\text{a}) \quad \mu19\text{Ca} = 3.764$$

$$\mu20\text{Ca} := \text{Minimize}(\text{THD20a}, \mu20\text{a}) \quad \mu20\text{Ca} = 3.715$$

$$\mu05\text{b} := 1 \quad \mu06\text{b} := 1 \quad \mu07\text{b} := 1 \quad \mu08\text{b} := 1 \quad \mu09\text{b} := 1 \quad \mu10\text{b} := 1$$

$$\mu11\text{b} := 1 \quad \mu12\text{b} := 1 \quad \mu13\text{b} := 1 \quad \mu14\text{b} := 1 \quad \mu15\text{b} := 1 \quad \mu16\text{b} := 1$$

$$\mu_{17b} := 1$$

$$\mu_{18b} := 1$$

$$\mu_{19b} := 1$$

$$\mu_{20b} := 1$$

$$\text{THD05b}(\mu) := \text{THD}(0.5, 2 \text{Kcritmax}(0.5, \mu), \mu)$$

$$\text{THD06b}(\mu) := \text{THD}(0.6, 2 \text{Kcritmax}(0.6, \mu), \mu)$$

$$\text{THD07b}(\mu) := \text{THD}(0.7, 2 \text{Kcritmax}(0.7, \mu), \mu)$$

$$\text{THD08b}(\mu) := \text{THD}(0.8, 2 \text{Kcritmax}(0.8, \mu), \mu)$$

$$\text{THD09b}(\mu) := \text{THD}(0.9, 2 \text{Kcritmax}(0.9, \mu), \mu)$$

$$\text{THD10b}(\mu) := \text{THD}(1, 2 \text{Kcritmax}(1, \mu), \mu)$$

$$\text{THD11b}(\mu) := \text{THD}(1.1, 2 \text{Kcritmax}(1.1, \mu), \mu)$$

$$\text{THD12b}(\mu) := \text{THD}(1.2, 2 \text{Kcritmax}(1.2, \mu), \mu)$$

$$\text{THD13b}(\mu) := \text{THD}(1.3, 2 \text{Kcritmax}(1.3, \mu), \mu)$$

$$\text{THD14b}(\mu) := \text{THD}(1.4, 2 \text{Kcritmax}(1.4, \mu), \mu)$$

$$\text{THD15b}(\mu) := \text{THD}(1.5, 2 \text{Kcritmax}(1.5, \mu), \mu)$$

$$\text{THD16b}(\mu) := \text{THD}(1.6, 2 \text{Kcritmax}(1.6, \mu), \mu)$$

$$\text{THD17b}(\mu) := \text{THD}(1.7, 2 \text{Kcritmax}(1.7, \mu), \mu)$$

$$\text{THD18b}(\mu) := \text{THD}(1.8, 2 \text{Kcritmax}(1.8, \mu), \mu)$$

$$\text{THD19b}(\mu) := \text{THD}(1.9, 2 \text{Kcritmax}(1.9, \mu), \mu)$$

$$\text{THD20b}(\mu) := \text{THD}(2, 2 \text{Kcritmax}(2, \mu), \mu)$$

$$\mu_{05Cb} := \text{Minimize}(\text{THD05b}, \mu_{05b}) \quad \mu_{05Cb} = 6.032$$

$$\mu_{06Cb} := \text{Minimize}(\text{THD06b}, \mu_{06b}) \quad \mu_{06Cb} = 5.613$$

$$\mu_{07Cb} := \text{Minimize}(\text{THD07b}, \mu_{07b}) \quad \mu_{07Cb} = 5.304$$

$$\mu_{08Cb} := \text{Minimize}(\text{THD08b}, \mu_{08b}) \quad \mu_{08Cb} = 5.065$$

$$\mu_{09Cb} := \text{Minimize}(\text{THD09b}, \mu_{09b}) \quad \mu_{09Cb} = 4.873$$

$$\mu_{10Cb} := \text{Minimize}(\text{THD10b}, \mu_{10b}) \quad \mu_{10Cb} = 4.715$$

$$\mu_{11Cb} := \text{Minimize}(\text{THD11b}, \mu_{11b}) \quad \mu_{11Cb} = 4.584$$

$$\mu_{12Cb} := \text{Minimize}(\text{THD12b}, \mu_{12b}) \quad \mu_{12Cb} = 4.471$$

$$\mu_{13Cb} := \text{Minimize}(\text{THD13b}, \mu_{13b}) \quad \mu_{13Cb} = 4.374$$

$$\mu_{14Cb} := \text{Minimize}(\text{THD14b}, \mu_{14b}) \quad \mu_{14Cb} = 4.29$$

$$\mu_{15Cb} := \text{Minimize}(\text{THD15b}, \mu_{15b}) \quad \mu_{15Cb} = 4.215$$

$$\mu_{16Cb} := \text{Minimize}(\text{THD16b}, \mu_{16b}) \quad \mu_{16Cb} = 4.149$$

$$\mu17Cb := \text{Minimize}(\text{THD17b}, \mu17b) \quad \mu17Cb = 4.09$$

$$\mu18Cb := \text{Minimize}(\text{THD18b}, \mu18b) \quad \mu18Cb = 4.037$$

$$\mu19Cb := \text{Minimize}(\text{THD19b}, \mu19b) \quad \mu19Cb = 3.988$$

$$\mu20Cb := \text{Minimize}(\text{THD20b}, \mu20b) \quad \mu20Cb = 3.944$$

$$\mu05c := 1 \quad \mu06c := 1 \quad \mu07c := 1 \quad \mu08c := 1 \quad \mu09c := 1 \quad \mu10c := 1$$

$$\mu11c := 1 \quad \mu12c := 1 \quad \mu13c := 1 \quad \mu14c := 1 \quad \mu15c := 1 \quad \mu16c := 1$$

$$\mu17c := 1 \quad \mu18c := 1 \quad \mu19c := 1 \quad \mu20c := 1$$

$$\text{THD05d}(\mu) := \text{THD}(0.5, 4 \text{Kcritmax}(0.5, \mu), \mu) \quad \text{THD06d}(\mu) := \text{THD}(0.6, 4 \text{Kcritmax}(0.6, \mu), \mu)$$

$$\text{THD07d}(\mu) := \text{THD}(0.7, 4 \text{Kcritmax}(0.7, \mu), \mu) \quad \text{THD08d}(\mu) := \text{THD}(0.8, 4 \text{Kcritmax}(0.8, \mu), \mu)$$

$$\text{THD09d}(\mu) := \text{THD}(0.9, 4 \text{Kcritmax}(0.9, \mu), \mu) \quad \text{THD10d}(\mu) := \text{THD}(1, 4 \text{Kcritmax}(1, \mu), \mu)$$

$$\text{THD11d}(\mu) := \text{THD}(1.1, 4 \text{Kcritmax}(1.1, \mu), \mu) \quad \text{THD12d}(\mu) := \text{THD}(1.2, 4 \text{Kcritmax}(1.2, \mu), \mu)$$

$$\text{THD13d}(\mu) := \text{THD}(1.3, 4 \text{Kcritmax}(1.3, \mu), \mu) \quad \text{THD14d}(\mu) := \text{THD}(1.4, 4 \text{Kcritmax}(1.4, \mu), \mu)$$

$$\text{THD15d}(\mu) := \text{THD}(1.5, 4 \text{Kcritmax}(1.5, \mu), \mu) \quad \text{THD16d}(\mu) := \text{THD}(1.6, 4 \text{Kcritmax}(1.6, \mu), \mu)$$

$$\text{THD18d}(\mu) := \text{THD}(1.8, 4 \text{Kcritmax}(1.8, \mu), \mu) \quad \text{THD17d}(\mu) := \text{THD}(1.7, 4 \text{Kcritmax}(1.7, \mu), \mu)$$

$$\text{THD19d}(\mu) := \text{THD}(1.9, 4 \text{Kcritmax}(1.9, \mu), \mu) \quad \text{THD20d}(\mu) := \text{THD}(2, 4 \text{Kcritmax}(2, \mu), \mu)$$

$$\mu05Cc := \text{Minimize}(\text{THD05c}, \mu05c) \quad \mu05Cc = 6.116$$

$$\mu06Cc := \text{Minimize}(\text{THD06c}, \mu06c) \quad \mu06Cc = 5.725$$

$$\mu07Cc := \text{Minimize}(\text{THD07c}, \mu07c) \quad \mu07Cc = 5.441$$

$$\mu08Cc := \text{Minimize}(\text{THD08c}, \mu08c) \quad \mu08Cc = 5.224$$

$$\mu09Cc := \text{Minimize}(\text{THD09c}, \mu09c) \quad \mu09Cc = 5.053$$

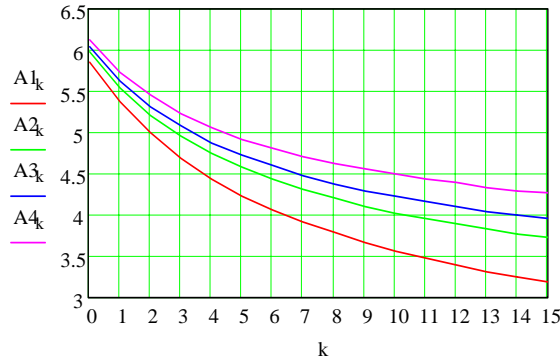
$$\mu10Cc := \text{Minimize}(\text{THD10c}, \mu10c) \quad \mu10Cc = 4.914$$

$\mu_{11Cc} := \text{Minimize}(\text{THD11c}, \mu_{11c})$	$\mu_{11Cc} = 4.798$
$\mu_{12Cc} := \text{Minimize}(\text{THD12c}, \mu_{12c})$	$\mu_{12Cc} = 4.701$
$\mu_{13Cc} := \text{Minimize}(\text{THD13c}, \mu_{13c})$	$\mu_{13Cc} = 4.618$
$\mu_{14Cc} := \text{Minimize}(\text{THD14c}, \mu_{14c})$	$\mu_{14Cc} = 4.545$
$\mu_{15Cc} := \text{Minimize}(\text{THD15c}, \mu_{15c})$	$\mu_{15Cc} = 4.482$
$\mu_{16Cc} := \text{Minimize}(\text{THD16c}, \mu_{16c})$	$\mu_{16Cc} = 4.426$
$\mu_{17Cc} := \text{Minimize}(\text{THD17c}, \mu_{17c})$	$\mu_{17Cc} = 4.376$
$\mu_{18Cc} := \text{Minimize}(\text{THD18c}, \mu_{18c})$	$\mu_{18Cc} = 4.332$
$\mu_{19Cc} := \text{Minimize}(\text{THD19c}, \mu_{19c})$	$\mu_{19Cc} = 4.292$
$\mu_{20Cc} := \text{Minimize}(\text{THD20c}, \mu_{20c})$	$\mu_{20Cc} = 4.255$

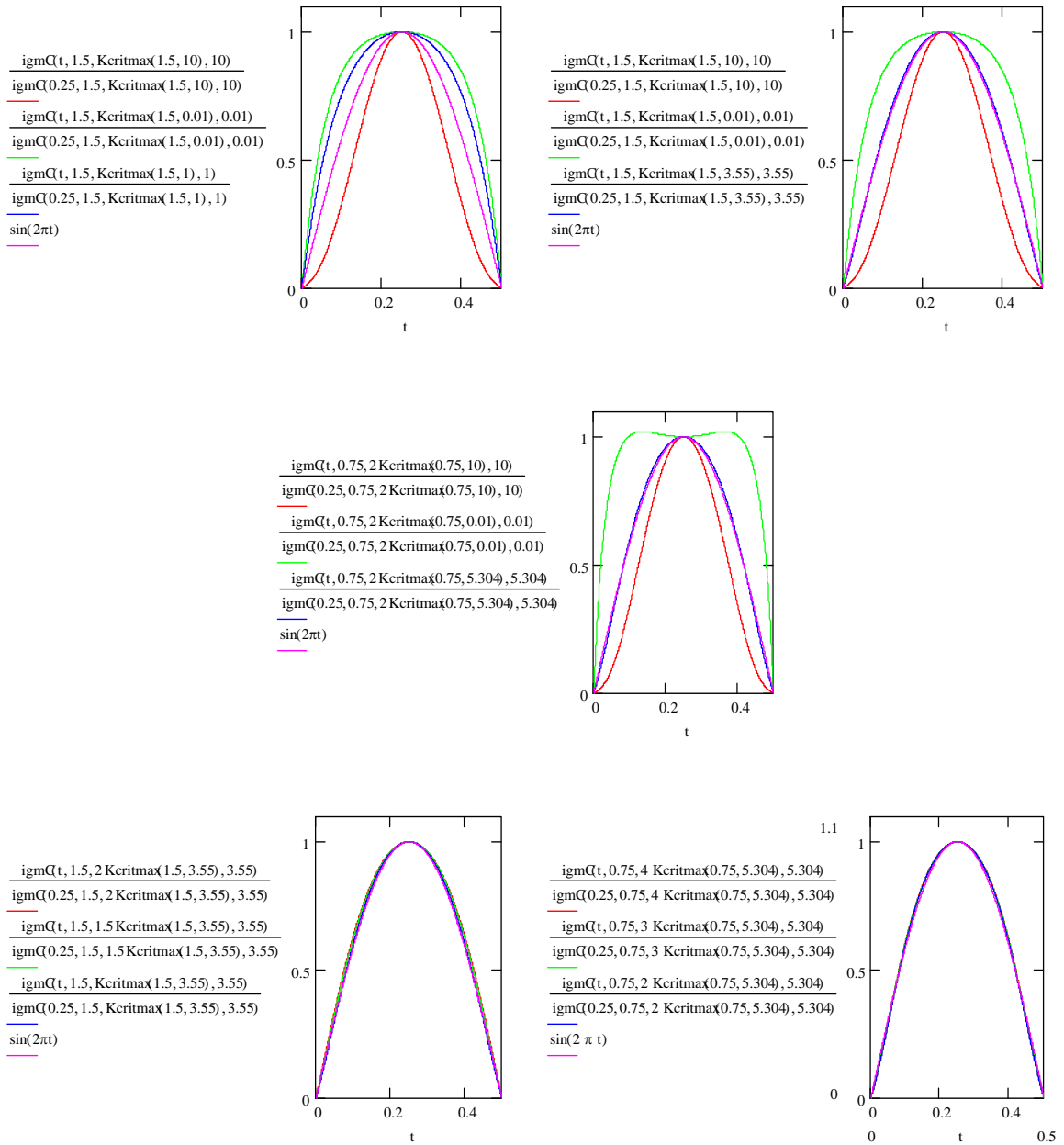
Una vez calculados los parámetros se van a ordenar de manera que posteriormente se puedan representar de forma coherente.

$k := 0..15$

$A1_k :=$	$A2_k :=$	$A3_k :=$	$A4_k :=$
μ_{05C}	μ_{05Ca}	μ_{05Cb}	μ_{05Cc}
μ_{06C}	μ_{06Ca}	μ_{06Cb}	μ_{06Cc}
μ_{07C}	μ_{07Ca}	μ_{07Cb}	μ_{07Cc}
μ_{08C}	μ_{08Ca}	μ_{08Cb}	μ_{08Cc}
μ_{09C}	μ_{09Ca}	μ_{09Cb}	μ_{09Cc}
μ_{10C}	μ_{10Ca}	μ_{10Cb}	μ_{10Cc}
μ_{11C}	μ_{11Ca}	μ_{11Cb}	μ_{11Cc}
μ_{12C}	μ_{12Ca}	μ_{12Cb}	μ_{12Cc}
μ_{13C}	μ_{13Ca}	μ_{13Cb}	μ_{13Cc}
μ_{14C}	μ_{14Ca}	μ_{14Cb}	μ_{14Cc}
μ_{15C}	μ_{15Ca}	μ_{15Cb}	μ_{15Cc}
μ_{16C}	μ_{16Ca}	μ_{16Cb}	μ_{16Cc}
μ_{17C}	μ_{17Ca}	μ_{17Cb}	μ_{17Cc}
μ_{18C}	μ_{18Ca}	μ_{18Cb}	μ_{18Cc}
μ_{19C}	μ_{19Ca}	μ_{19Cb}	μ_{19Cc}
μ_{20C}	μ_{20Ca}	μ_{20Cb}	μ_{20Cc}



A continuación se representa la corriente optimizada para μ .

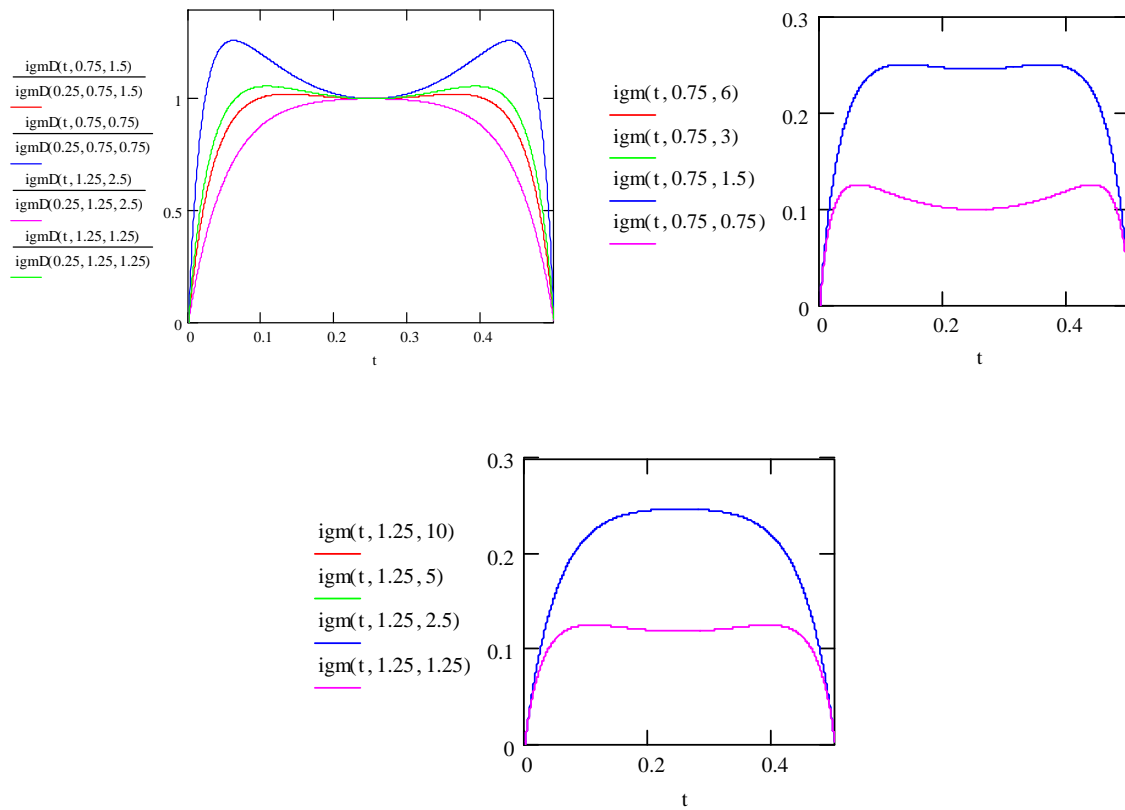


Corriente de entrada en MCC

$$\text{igmD}(t, M, K) := \frac{\sin(2\pi t) \cdot K^2}{M \cdot (K + 2 \cdot \sin(2\pi t))^2} \quad K_{\text{crit}}(M) := 2M$$

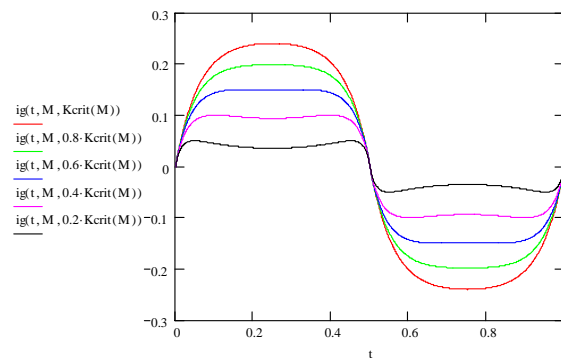
Corriente de entrada en cualquier modo (MCC o MCD)

$$\text{igm}(t, M, K) := \text{if}(K_{\text{crit}}(M) < K, \text{igmC}(t, M, K), \text{igmD}(t, M, K))$$



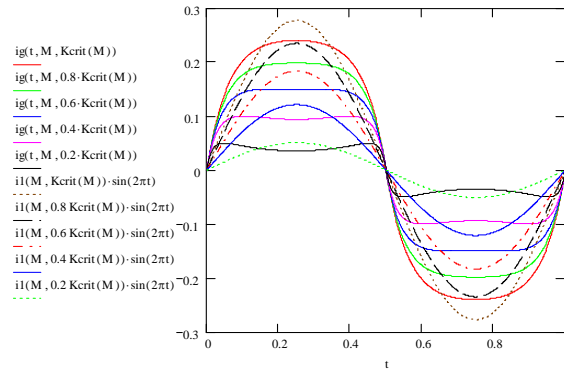
Cálculo de la corriente media de entrada en un ciclo completo (ambos modos).

$$\text{ig}(t, M, K) := \text{if}(t < 0.5, \text{igm}(t, M, K), -\text{igm}(t - 0.5, M, K)) \quad M := 1.5$$

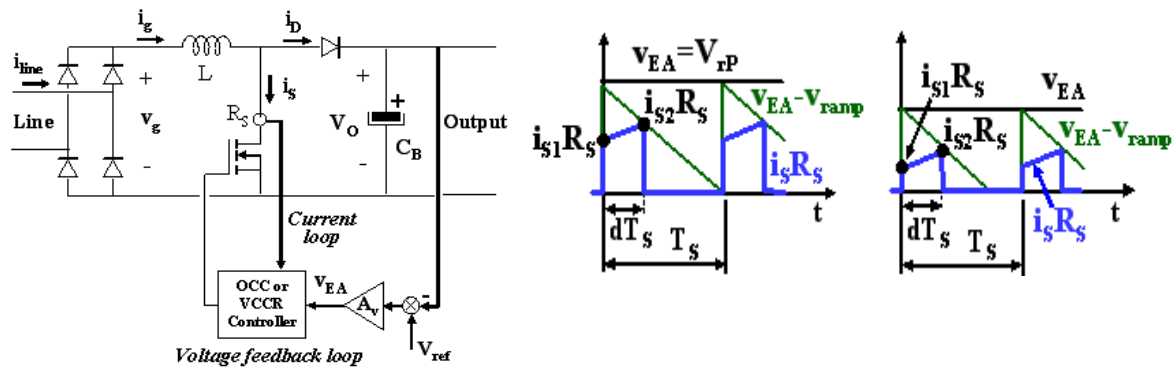


$$il(M, K) := \frac{2}{1} \cdot \int_0^1 ig(t, M, K) \cdot \sin(2\pi t) dt$$

$$ief(M, K) := \sqrt{\frac{1}{1} \cdot \int_0^1 ig(t, M, K)^2 dt}$$



AIL.4 PROGRAMA PARA EL ANÁLISIS ESTÁTICO DEL CFP ELEVADOR CON CRCPF



Definiciones:

$M=V_o/V_{gP}$ = la relación entre la tensión de salida y el pico de la tensión de entrada

V_{rP} =Tensión de pico de la rampa

$K= 2L \cdot f_s \cdot V_{rP}/(R_s \cdot V_{gP})$ = parámetro adimensional para definir el modo de conducción

i_{S1} =corriente por el transistor al comienzo del pulso

i_{gmC} = corriente media de entrada en MCC en un semiciclo

i_{gmD} = corriente media de entrada en MCD en un semiciclo

i_{gm} = corriente media de entrada en un semiciclo

i_g = corriente media de entrada en un ciclo completo

v_{EA} =tensión de control

$\lambda=v_{EA}/V_{rP}$ con $\lambda=1$ se trata del CRCCT

$$\text{igmC}(t, M, K, \lambda) := \frac{\sin(2\pi t) \cdot K}{(M)^2 \cdot 2} \cdot \left[\frac{M}{\sin(2\pi t)} (\lambda - 1) + 1 - \frac{(M - \sin(2\pi t))}{K} \right]$$

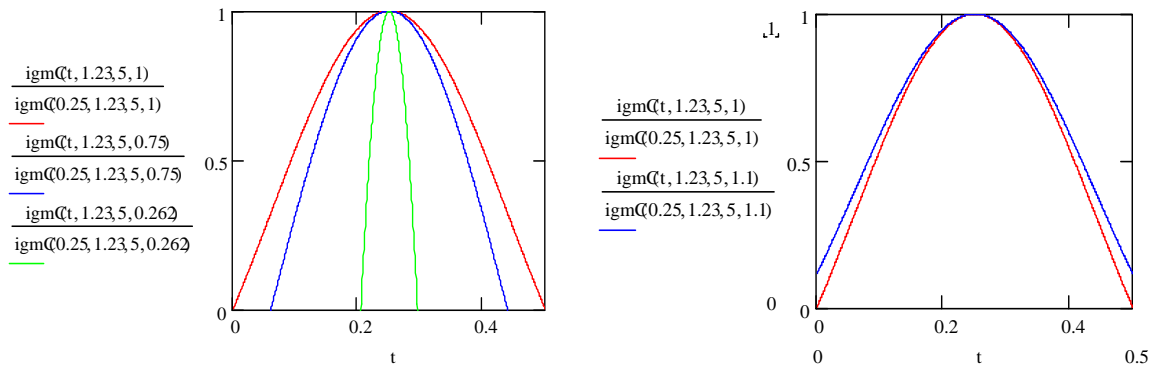
$$\lambda_{\text{critmin}}(M, K) := 1 + \frac{2(M - 1) - K}{K \cdot M}$$

$$\lambda_{\text{critmin}}(1.23, 5) = 0.262$$

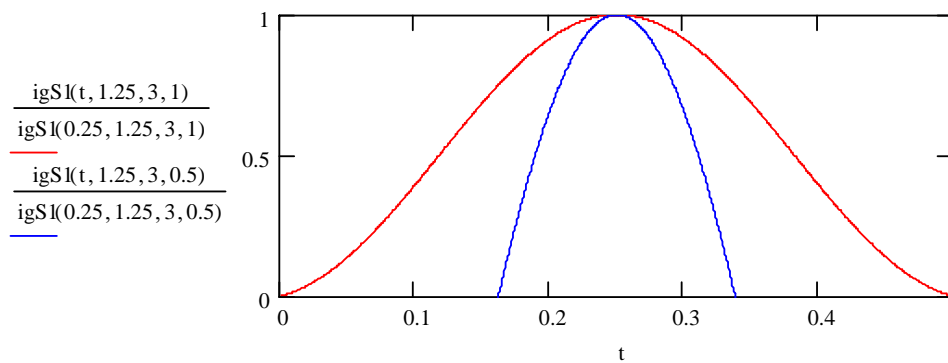
$$t := 0, 0.0005..0.5$$

Formas de onda en MCC.

Ojo, en la realidad el convertidor sólo funciona en CCM en todo el semiciclo de red si $\lambda=1$



$$\text{igS1}(t, M, K, \lambda) := \frac{\sin(2\pi t) \cdot K}{(M)^2 \cdot 2} \cdot \left[\frac{M}{\sin(2\pi t)} (\lambda - 1) + 1 - \frac{(M - \sin(2\pi t))}{K} \right] \cdot 2$$



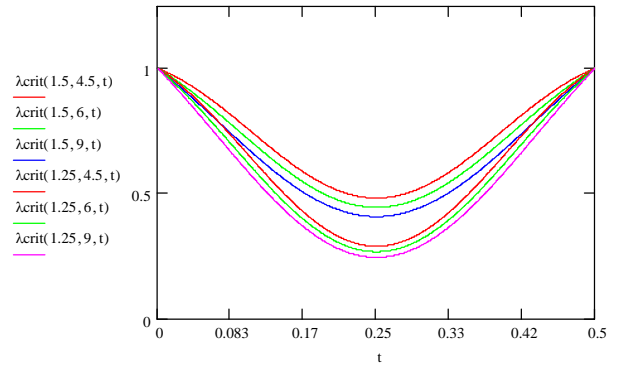
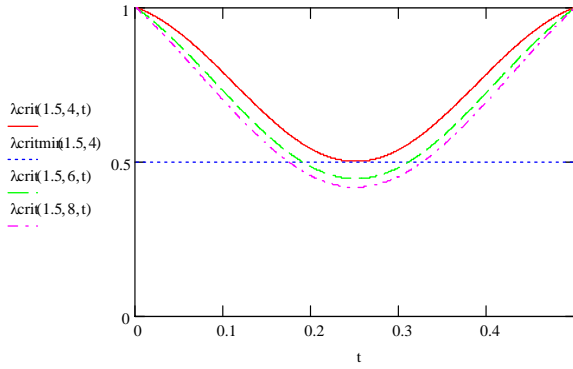
$$\text{igmD}(t, M, K, \lambda) := \frac{\sin(2 \cdot \pi \cdot t)}{2(M - \sin(2 \cdot \pi \cdot t))} \cdot \frac{K^2 \cdot \lambda^2}{(K + 2 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot t))^2}$$

Valor de λ_{crit}

$$\lambda_{crit}(M, K, t) := 1 - \frac{2}{K \cdot M} \cdot (\sin(2\pi t))^2 - \left(\frac{1}{M} - \frac{2}{K} \right) \cdot \sin(2\pi t)$$

Valores mínimos de λ_{crit}

$$\lambda_{critmin}(M, K) := 1 + \frac{2(M - 1) - K}{K \cdot M}$$

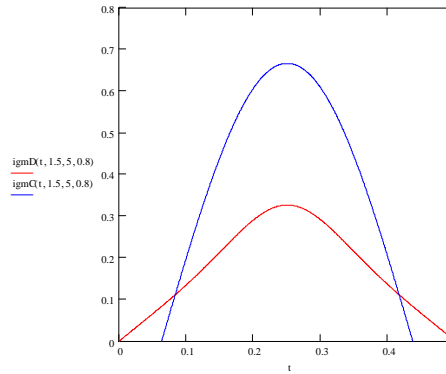


Ángulo frontera entre MCC y MCD, ϕ

$$\lambda := 0, 0.05..1 \quad \lambda_{critmin}(1.5, 5) = 0.467$$

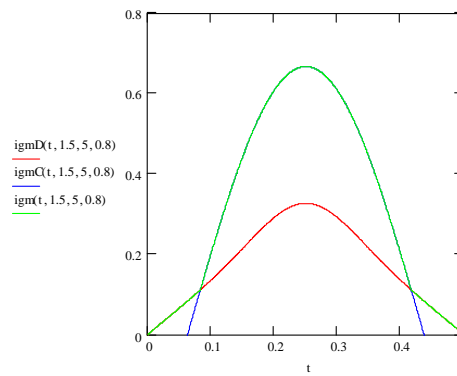
$$\phi(M, K, \lambda) := \arcsin \left[\frac{(2 \cdot M - K) + \sqrt{(K - 2 \cdot M)^2 - 8 \cdot M \cdot K \cdot (\lambda - 1)}}{4} \right]$$

$$\frac{\phi(1.5, 5, 0.8)}{2 \cdot \pi} = 0.083$$



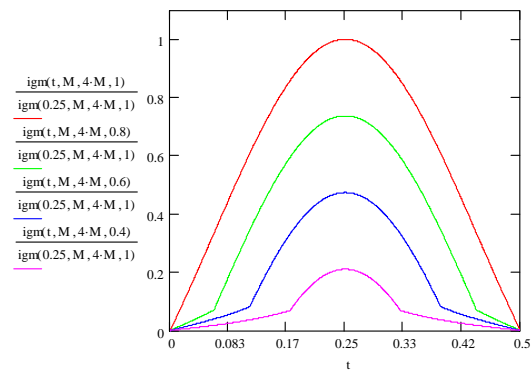
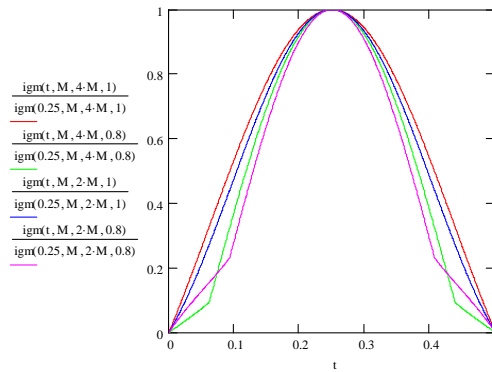
$$igm(t, M, K, \lambda) := \text{if}(\lambda \geq \lambda_{crit}(M, K, t), igmC(t, M, K, \lambda), \text{if}(\lambda < \lambda_{crit}(M, K, t), igmD(t, M, K, \lambda), \text{if}(2 \cdot \pi \cdot t < \phi(M, K, \lambda), igmD(t, M, K, \lambda), \text{if}(2 \cdot \pi \cdot t > \pi - \phi(M, K, \lambda), igmD(t, M, K, \lambda), igmC(t, M, K, \lambda))))))$$

Comprobación del paso de MCC a MCD



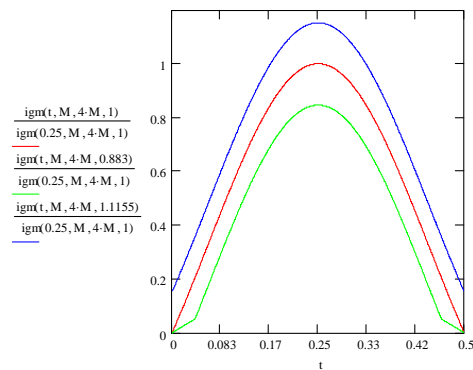
$$M := \frac{400}{\sqrt{2 \cdot 230}}$$

$$M := 1.25$$



Con $\lambda=0.883$ la potencia será la misma que con $\lambda=1$, pero con tensión de entrada un 20% mayor que la nominal.

Con $\lambda=1.1155$ la potencia será la misma que con $\lambda=1$, pero con tensión de entrada un 20% menor que la nominal

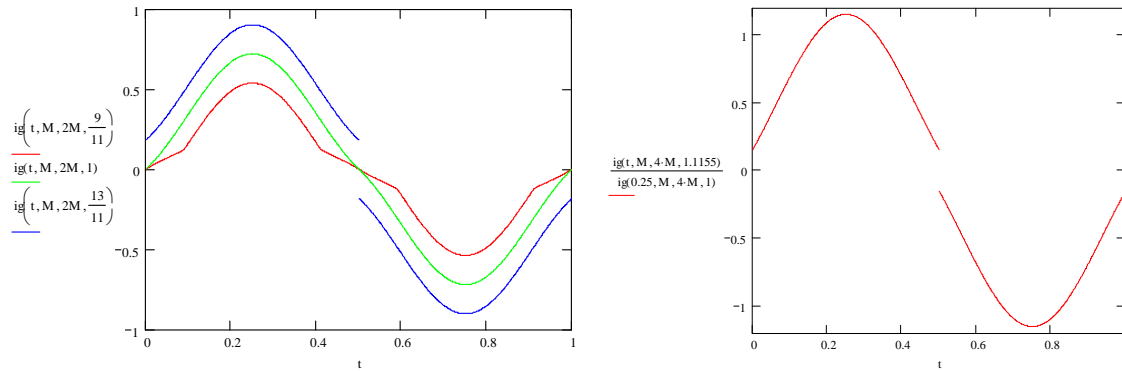


Cálculo de la corriente media de entrada en un ciclo completo

$$t := 0, 0.001.. 1$$

$$ig(t, M, K, \lambda) := \text{if}(t < 0.5, igm(t, M, K, \lambda), -igm(t - 0.5, M, K, \lambda))$$

$$M := 1.25$$



Cálculo del primer armónico la corriente de entrada y cálculo del valor eficaz de la corriente de entrada

$$il(M, K, \lambda) := \frac{2}{1} \cdot \int_0^1 ig(t, M, K, \lambda) \cdot \sin(2\pi t) dt$$

$$ief(M, K, \lambda) := \sqrt{\frac{1}{1} \cdot \int_0^1 ig(t, M, K, \lambda)^2 dt}$$

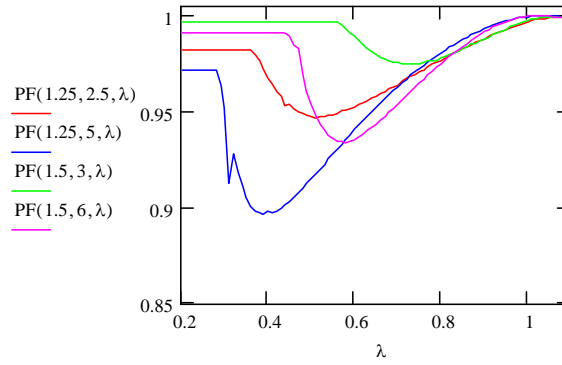
Cálculo de la DATy del Factor de Potencia

$$THD(M, K, \lambda) := \frac{\sqrt{ief(M, K, \lambda)^2 - \frac{il(M, K, \lambda)^2}{2}}}{\frac{il(M, K, \lambda)}{\sqrt{2}}}$$

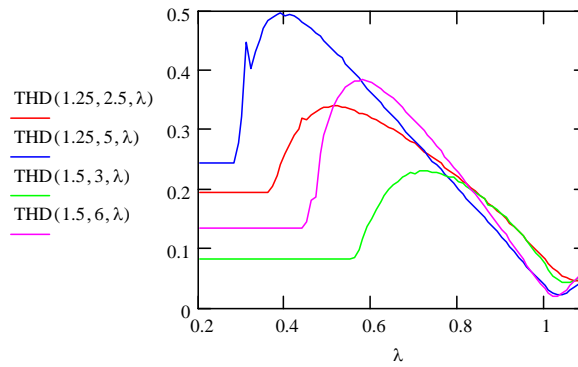
$$PF(M, K, \lambda) := \frac{il(M, K, \lambda)}{\sqrt{2} \cdot ief(M, K, \lambda)}$$

$$\lambda := 0.2, 0.21.. 1.1$$

Factor de Potencia

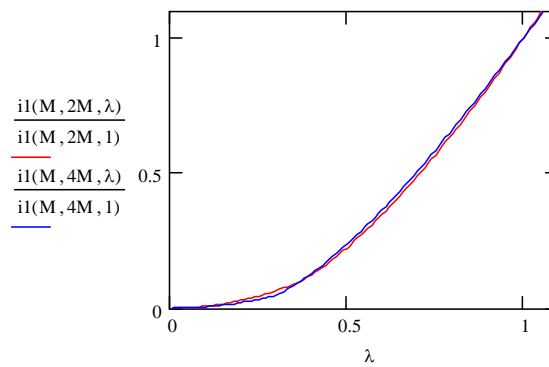


Distorsión Armónica Total



La amplitud del primer armónico con λ distinta de 1, con relación a su valor con $\lambda=1$, mide la potencia relativa procesada por el convertidor.

$M := 1.25$ $\lambda := 0, 0.01.. 1.1$

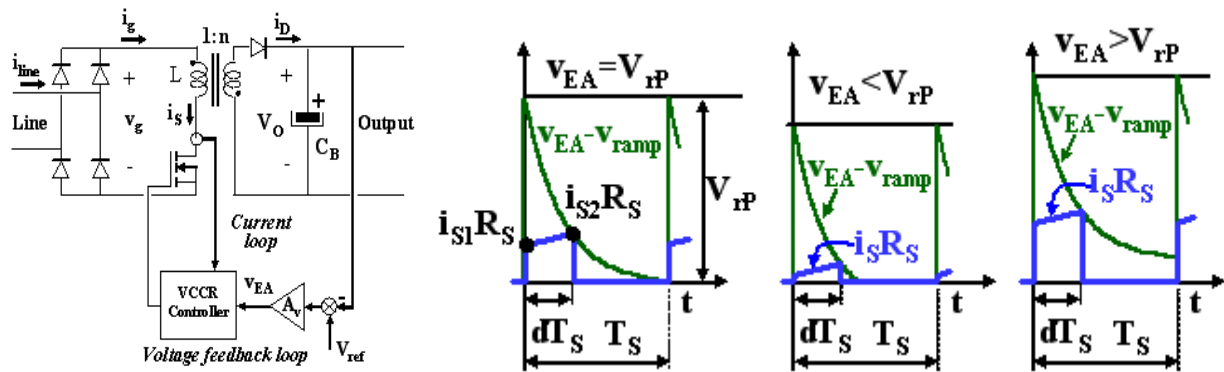


$$\frac{i1(M, 4M, 0.8)}{i1(M, 4M, 1)} = 0.663$$

$$\frac{i1(M, 4M, 0.883)}{i1(M, 4M, 1)} = 0.8$$

$$\frac{i1(M, 4M, 0.6)}{i1(M, 4M, 1)} = 0.364$$

AIL5 PROGRAMA PARA EL ANÁLISIS ESTÁTICO DEL CFP DE RETROCESO CON CRCPF



Definiciones:

$M = V_O / (n \cdot V_{gP})$ = la relación entre la tensión de salida y el pico de la tensión de entrada

V_{rP} = Tensión de pico de la rampa

$K = 2L \cdot f_s \cdot V_{rP} / (R_S \cdot V_{gP})$ = parámetro adimensional para definir el modo de conducción

i_{S1} = corriente por el transistor al comienzo del pulso

i_{gmC} = corriente media de entrada en MCC en un semiciclo

i_{gmD} = corriente media de entrada en MCD en un semiciclo

i_{gm} = corriente media de entrada en un semiciclo

i_g = corriente media de entrada en un ciclo completo

v_{EA} = tensión de control

$\lambda = v_{EA} / V_{rP}$ con $\lambda = 1$ se trata del CRCCT

$$\text{igmC}(t, M, K, \lambda, \mu) := \frac{K}{2 \cdot (M + \sin(2\pi t))} \left[\lambda - \frac{1 - e^{-\frac{\mu \cdot M}{M + \sin(2\pi t)}}}{1 - e^{-\mu}} - \frac{M \cdot \sin(2\pi t)}{K \cdot (M + \sin(2\pi t))} \right]$$

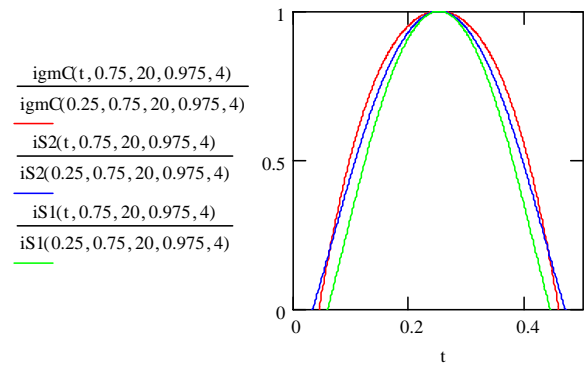
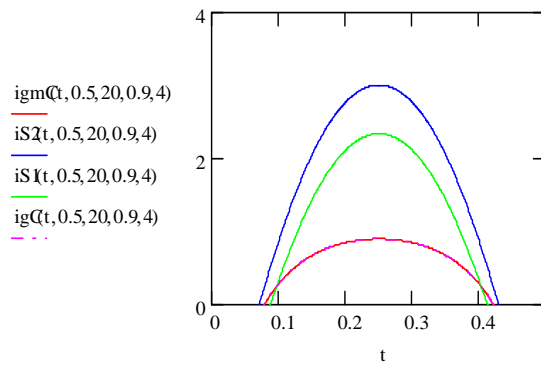
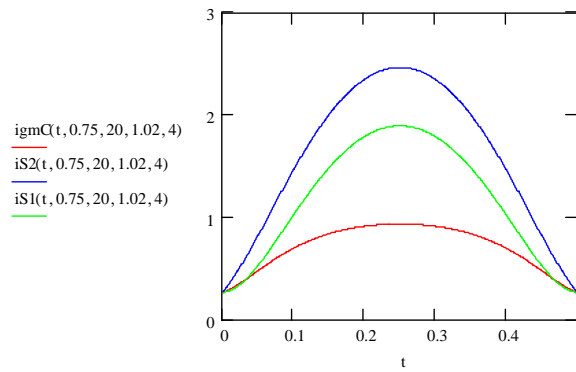
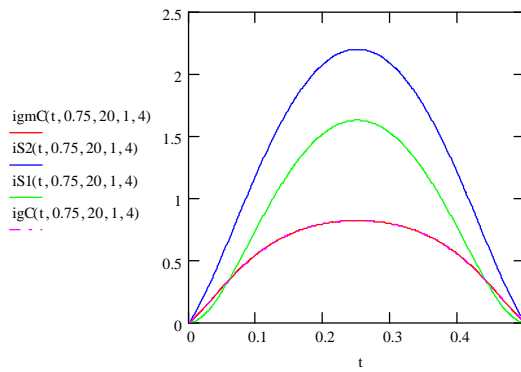
$$\text{iS2}(t, M, K, \lambda, \mu) := \frac{K}{2 \cdot M} \left(\lambda - \frac{1 - e^{-\frac{\mu \cdot M}{M + \sin(2\pi t)}}}{1 - e^{-\mu}} \right)$$

$$\text{iS1}(t, M, K, \lambda, \mu) := \frac{K}{2 \cdot (M)} \left(\lambda - \frac{1 - e^{-\frac{\mu \cdot M}{M + \sin(2\pi t)}}}{1 - e^{-\mu}} \right) - \frac{\sin(2\pi t)}{(M + \sin(2\pi t))}$$

$$d(t, M) := \frac{M}{M + \sin(2\pi t)}$$

$$\text{igC}(t, M, K, \lambda, \mu) := \frac{1}{2} \cdot (\text{iS2}(t, M, K, \lambda, \mu) + \text{iS1}(t, M, K, \lambda, \mu)) \cdot d(t, M)$$

t := 0, 0.001.. 0.5



Valor de λ_{crit}

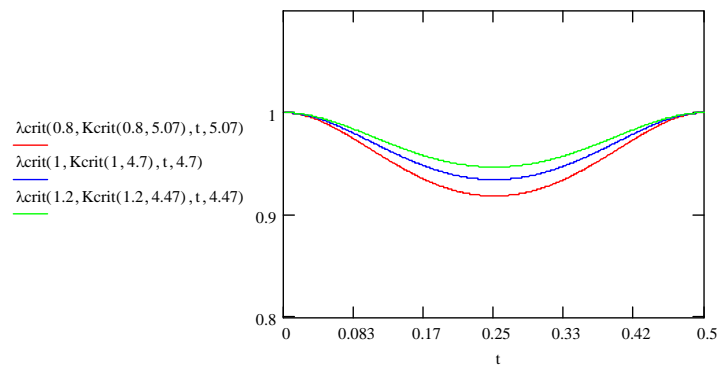
$$\lambda_{crit}(M, K, t, \mu) := 2 \frac{M \cdot \sin(2\pi t)}{K \cdot (M + \sin(2\pi t))} + \frac{1 - e^{-\frac{\mu \cdot M}{M + \sin(2\pi t)}}}{1 - e^{-\mu}}$$

Aquí Kcrit es el valor de Kcrit máximo para $\lambda=1$, que coincide con rampa exponencial variable

$$K_{crit}(M, \mu) := 2 \cdot \frac{M \cdot (1 - e^{-\mu})}{\mu \cdot e^{-\mu}} \quad K_{crit}(0.75, 4) = 20.099$$

Valores mínimos de λ_{crit}

$$\lambda_{critmin}(M, K, \mu) := \lambda_{crit}(M, K, 0.25, \mu) \quad t := 0, 0.001.. 0.5$$



$$\lambda_{critmin}(0.75, 20, 4) = 0.878$$

$$t := 0.2$$

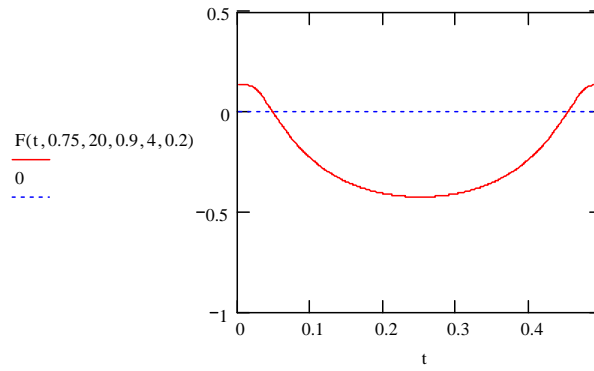
$$tc(M, K, \lambda, \mu) := \text{root}[(\lambda_{crit}(M, K, t, \mu) - \lambda), t]$$

$$tc(0.75, 20, 0.9, 4) = 0.166$$

$$iS2d := 0.1$$

$$F(t, M, K, \lambda, \mu, iS2d) := \frac{iS2d \cdot M \cdot 2}{K} - \lambda + \frac{1 - e^{-\frac{\mu \cdot M \cdot iS2d}{\sin(2\pi t)}}}{1 - e^{-\mu}}$$

$$iS2ds(t, M, K, \lambda, \mu) := \text{root}[(F(t, M, K, \lambda, \mu, iS2d)), iS2d, 0, 0.25]$$

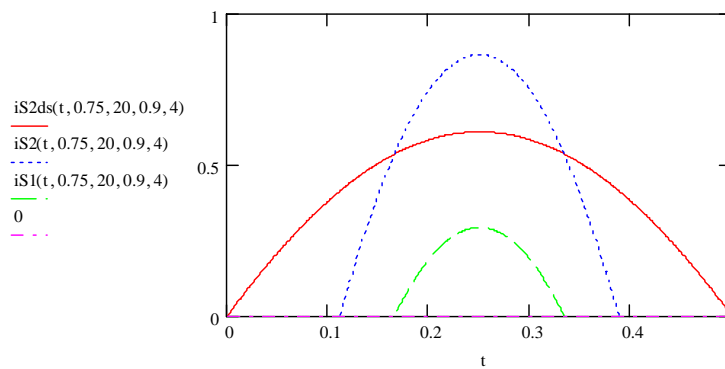


$iS2d := 0.001$

$iS2ds(t, M, K, \lambda, \mu)$

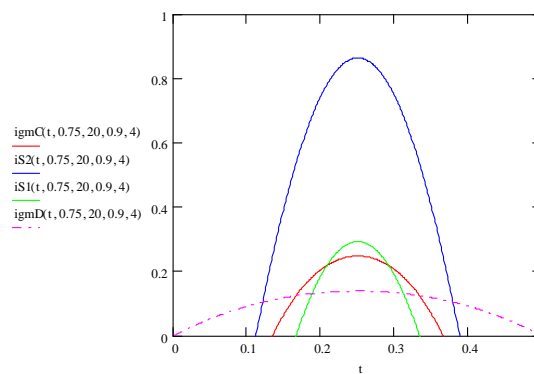
$iS2ds(t, M, K, \lambda, \mu) := \text{root}[(F(t, M, K, \lambda, \mu, iS2d)), iS2d, 0, 1]$

Comprobación de que cuando is1 llega a cero coinciden is2 en MCC y en MCD



$igmD(t, M, K, \lambda, \mu) := 0.25$

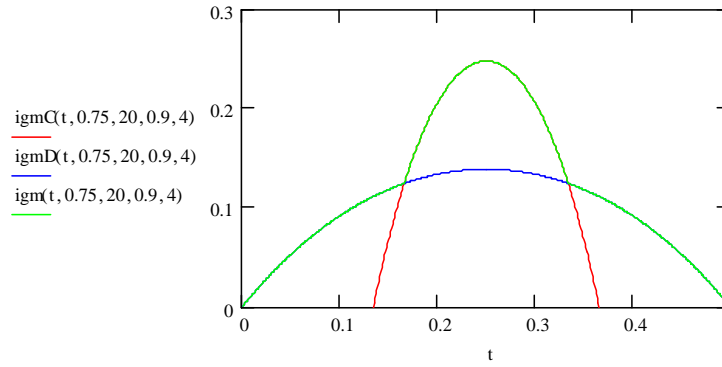
$igmD(t, M, K, \lambda, \mu) := \frac{1}{2} \cdot (iS2ds(t, M, K, \lambda, \mu))^2 \cdot \frac{M}{\sin(2\pi t)}$



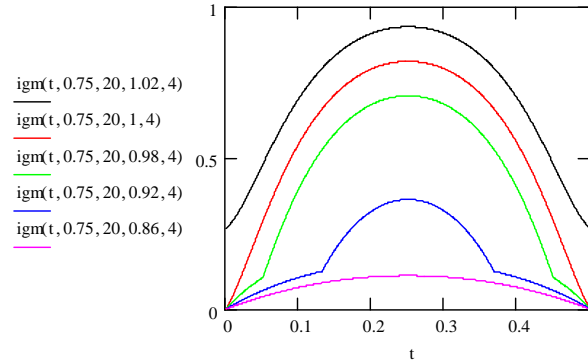
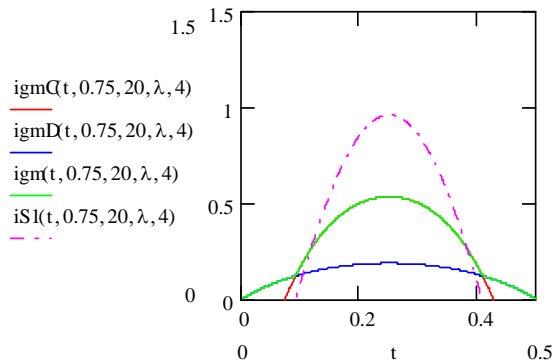
Cálculo de la corriente media en un semiciclo de red

$$\text{igm}(t, M, K, \lambda, \mu) := \text{if}(\lambda \geq \lambda_{\text{crit}}(M, K, t, \mu), \text{igmC}(t, M, K, \lambda, \mu), \text{if}(\lambda < \lambda_{\text{crit}}(M, K, t, \mu), \text{igmD}(t, M, K, \lambda, \mu), \text{if}(t < t_c(M, K, \lambda, \mu), \text{igmD}(t, M, K, \lambda, \mu), \text{if}(t > 0.5 - t_c(M, K, \lambda, \mu), \text{igmD}(t, M, K, \lambda, \mu), \text{igmC}(t, M, K, \lambda, \mu))))))$$

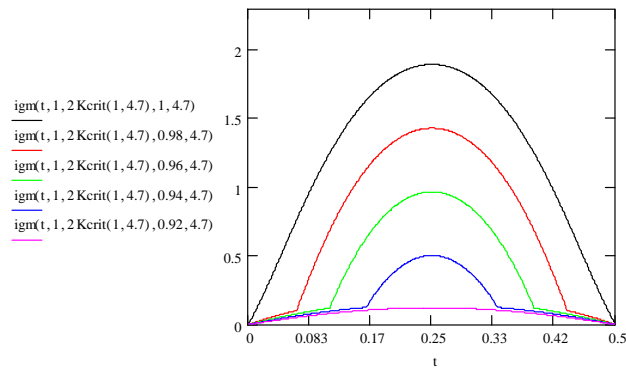
$$t := 0, 0.001..0.5 \quad \lambda_{\text{critmin}}(0.75, 20, 4) = 0.878$$



$$t := 0, 0.001..0.5 \quad \lambda := 0.95$$



$$\lambda_{\text{crit}}(1, K_{\text{crit}}(1, 4.7), t, 4.7)$$

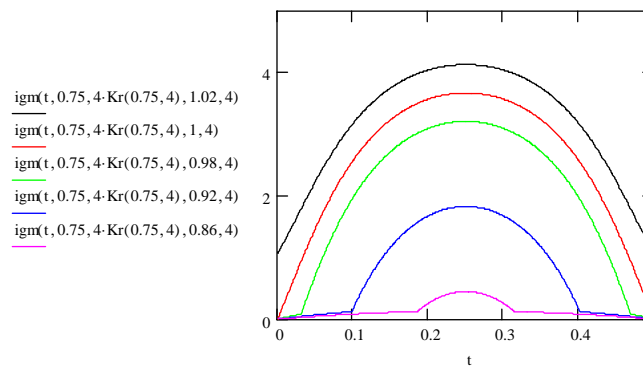


Aquí se volvió a definir la K_{crit} .

$$Kr(M, \mu) := \frac{2 \cdot M \cdot (1 - e^{-\mu})}{\mu \cdot e^{-\mu}}$$

$$Kcrit(M, \mu) := 2 \cdot \frac{M \cdot (1 - e^{-\mu})}{\mu \cdot e^{-\mu}}$$

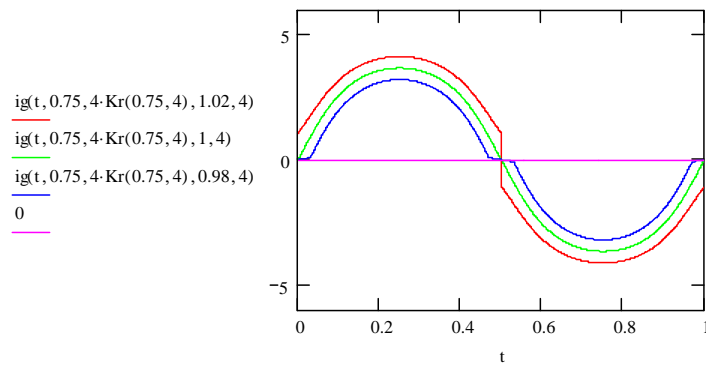
$$Kr(0.75, 4) = 20.099$$



Cálculo de la corriente media en un ciclo de red

$$t := 0, 0.001.. 1$$

$$ig(t, M, K, \lambda, \mu) := \text{if}(t < 0.5, igm(t, M, K, \lambda, \mu), -igm(t - 0.5, M, K, \lambda, \mu))$$



Cálculo del primer armónico la corriente de entrada y cálculo del valor eficaz de la corriente de entrada

$$il(M, K, \lambda, \mu) := \frac{2}{1} \cdot \int_0^1 ig(t, M, K, \lambda, \mu) \cdot \sin(2\pi t) dt$$

$$\text{ief}(M, K, \lambda, \mu) := \sqrt{\frac{1}{1} \cdot \int_0^1 \text{ig}(t, M, K, \lambda, \mu)^2 dt}$$

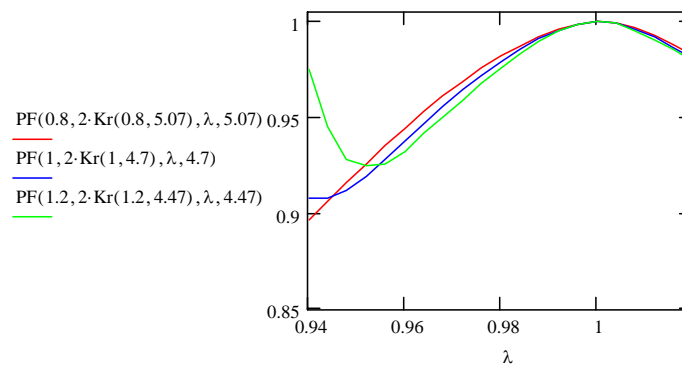
Cálculo de la DAT y del Factor de Potencia

$$\text{PF}(M, K, \lambda, \mu) := \frac{\text{il}(M, K, \lambda, \mu)}{\sqrt{2} \cdot \text{ief}(M, K, \lambda, \mu)} \quad \text{THD}(M, K, \lambda, \mu) := \frac{\sqrt{\text{ief}(M, K, \lambda, \mu)^2 - \frac{\text{il}(M, K, \lambda, \mu)^2}{2}}}{\frac{\text{il}(M, K, \lambda, \mu)}{\sqrt{2}}}$$

$$\lambda := 0.94, 0.944, \dots, 1.02$$

$$M := 0.75$$

Factor de Potencia



Distorsión Armónica Total

