

Diseño de Reductores Activos de Armónicos basados en RAI para el cumplimiento en Clase A.

1. Introducción.

En el presente apartado se verá el diseño de Reductores Activos de Armónicos para el cumplimiento de la normativa en Clase A. Los límites para el contenido armónico en esta clase son absolutos, es decir, no dependen de la potencia del equipo; esto ha hecho que tradicionalmente sea muy sencillo cumplir la norma en esta clase para potencias bajas (100-200W). Diferentes autores han buscado la manera de "evitar" las restricciones impuestas por la máscara que separaba las clases A y D, sin embargo, en la actualidad esta máscara ha sido eliminada y por tanto, que un equipo de baja potencia cumpla en clase A es en la actualidad más "fácil". Estas modificaciones en la normativa, han dado lugar a que las soluciones pasivas, desechadas en el pasado por voluminosas y pesadas, sean una opción muy válida en estos momentos.

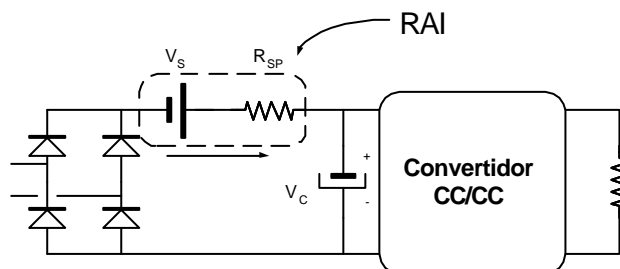
Por otra parte, los reductores activos de armónicos (RAA) basados en redes de alta impedancia (RAI) que veían limitada su aplicación como consecuencia de la máscara divisora entre las dos clases (A y D) (necesitaban ángulos de conducción muy grandes para ser considerados clase A), pueden ahora aplicarse sin penalizar el tamaño de los magnéticos.

Para realizar el diseño de estos RAA diferentes autores han tomado como aproximación, que la tensión en el condensador es constante, como se verá, para el caso de ángulos de conducción pequeños esta aproximación no es válida.

A continuación se obtendrán las condiciones bajo las cuales la consideración de que la tensión en el condensador de almacenamiento sea constante no introduce un error excesivo. Al mismo tiempo se verá como puede realizarse el diseño cuando esta aproximación no puede aplicarse, así como diferentes soluciones a los problemas que aparecen como consecuencia de los pequeños ángulos de conducción utilizados (merma del "hold-up time", aumento del rizado en el condensador, etc).

2. Requisitos para cumplir la norma utilizando el modelo de resistencia sin pérdidas y considerando la tensión en el condensador constante.

Gran parte de las redes de alta impedancia utilizadas pueden aproximarse (bastante fielmente en algunos casos) por un sencillo modelo (Figura 1) formado por una resistencia "sin pérdidas" y una fuente de tensión V_s . La sencillez de este modelo permite al diseñador obtener con relativa facilidad el valor de las bobinas y relaciones de transformación que permitirán cumplir la norma y dar la potencia demandada por la carga, aún con la mínima tensión de entrada. Todo esto deberá realizarse con el menor procesamiento de energía adicional posible, de ahí que como condición de diseño se imponga que a la potencia máxima y con la tensión de entrada mínima la tensión en el condensador deberá ser igual a la tensión de pico de la red.



Diseño en Clase A con ángulos pequeños

Los datos mínimos necesarios para realizar un diseño de estas características son:

Vgmin;	Tensión mínima de red
Vgnom;	Tensión nominal
dmax;	Ciclo de trabajo del convertidor asociada a Vgmin
P;	Potencia demandada por la carga

Partiendo de los datos anteriormente expuestos y considerando que la tensión en el condensador es constante durante un semiciclo de red, se obtendrán unas tablas donde se relacionan Rs y Vs con la potencia demandada, de manera que a la tensión nominal el equipo cumpla con la norma IEC 1000-3-2 en clase A.

Para elaborar las tablas anteriormente mencionadas se procederá de la siguiente forma:

- 1) Se sumpondrá un ángulo de conducción ϕ de los diodos de entrada a tensión nominal y para él se determinará cual será la máxima potencia que en esas condiciones puede demandarse de la red cumpliendo la norma.
- 2) Asociada a la potencia máxima anteriormente calculada puede obtenerse fácilmente Rs
- 3) Conocida la potencia (P) y el valor de la resistencia sin pérdidas (Rs) puede calcularse que ángulo de conducción se tendrá a Vgmin para la misma potencia, a este ángulo se le llamará ϕ_{max} .
- 4) Finalmente conocido el ángulo máximo de conducción (a la tensión Mínima y plena carga) se obtendrá el valor de Vs y la relación de transformación entre el devanado auxiliar y el primario del transformador.

$$V_{gmin} := 190 \cdot \sqrt{2} \quad V_{gnom} := 220 \cdot \sqrt{2} \quad d_{max} := .35 \quad F_{red} := 50$$

Contenido armonico CLASE A.

$$I_3 := 2.3 \quad I_2 := 1.08 \quad I_1 := 16$$

$$I_5 := 1.14 \quad I_4 := 0.43$$

$$I_7 := 0.77 \quad I_6 := 0.30$$

$$I_9 := 0.40 \quad t := 8, 10.. 40$$

$$I_{11} := 0.33 \quad I_t := 0.23 \cdot \frac{8}{t}$$

$$I_{13} := 0.21$$

$$t := 15, 17.. 39$$

$$I_t := 0.15 \cdot \frac{15}{t}$$

Diseño en Clase A con ángulos
pequeños

```

PRsyN(dmax, φnom) := for n ∈ 3, 5.. 39
|
|   IGn ←  $\frac{2}{\sqrt{2} \cdot \pi} \cdot \int_{\frac{\pi - \phi_{nom}}{2}}^{\frac{\pi + \phi_{nom}}{2}} \left( V_{gnom} \cdot \sin(\omega t) - V_{gnom} \cdot \cos\left(\frac{\phi_{nom}}{2}\right) \right) \sin(\omega t \cdot n) d\omega$ 
|   Cocienten ←  $\frac{IG_n}{I_n}$ 
|
Rs ← max(Cociente)
P ←  $V_{gnom}^2 \cdot \frac{(\phi_{nom} - \sin(\phi_{nom}))}{2 \cdot \pi \cdot Rs}$ 
φmax ← root $\left[ \left[ V_{gmin}^2 \cdot \frac{(\phi - \sin(\phi))}{2 \cdot \pi \cdot Rs} - P \right], \phi, 0, \pi \right]$ 
Vs ←  $V_{gmin} \cdot \left( 1 - \cos\left(\frac{\phi_{max}}{2}\right) \right)$ 
n ←  $V_{gmin} \cdot \frac{dmax}{Vs}$ 
Sol0 ← P
Sol1 ← Rs
Sol2 ← n
Sol3 ← φnom
Sol4 ← φmax
Sol

```

La función PRsyN(dmax, φnom) tiene como argumentos el ángulo de conducción a tensión nominal y en ciclo de trabajo a tensión mínima, devolverá un array con la potencia máxima de entrada que con ese ángulo de conducción cumplirá la norma (elemento 0), la resistencia sin pérdidas asociada (elemento 1), la relación de transformación (2), el ángulo de conducción nominal ya conocido (3) y el ángulo de conducción máximo (elemento 4).

Ejemplo y comprobación.

Supongamos un ángulo de 45° (que deberá expresarse en radianes), el programa devolverá que potencia puede pedirse al convertidor cumpliendo la norma y dará los valores de Rs, Vs y φmax.

$$PRsyN\left(dmax, \frac{45}{180} \cdot \pi\right) = \begin{pmatrix} 371.465 \\ 3.247 \\ 3.775 \\ 0.785 \\ 0.868 \end{pmatrix}$$

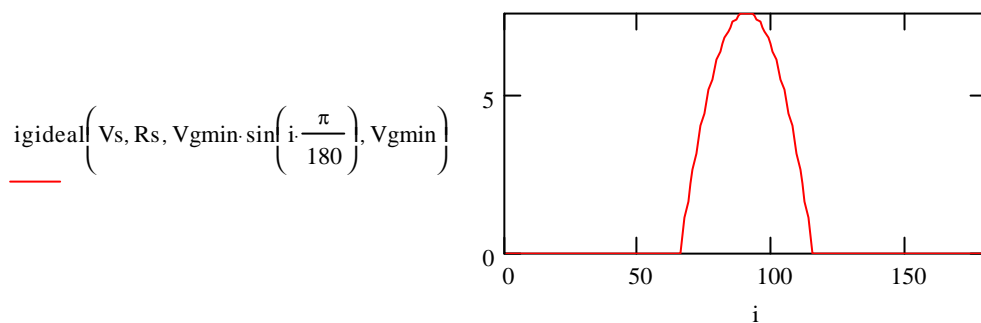
Los resultados obtenidos son:

$P=371W$
 $Rs=3.247 \Omega$
 $Np/Naux=3.775$
 $Vs=V_{gmin} \cdot dmax/3.775$
 $\phi_{max}=0.868 \text{ Radianes}$

A continuación se representará la corriente de entrada y se calculará su contenido armónico para comprobar que los cálculos han sido correctos.

$$i_{\text{ideal}}(V_s, R_s, V_g, V_c) := \begin{cases} A \leftarrow \frac{V_g + V_s - V_c}{R_s} \\ A \leftarrow 0 \text{ if } A < 0 \\ A \end{cases} \quad 0.868 \cdot \frac{180}{\pi} = 49.733$$

$$i := 0..180 \quad V_s := V_{\text{gmin}} \cdot \frac{d_{\text{max}}}{3.775} \quad V_s = 24.913 \quad R_s := 3.247$$



$$\text{Potencia} := \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V_{\text{gmin}} \cdot \sin(\omega t) \cdot i_{\text{ideal}}(V_s, R_s, V_{\text{gmin}} \cdot \sin(\omega t), V_{\text{gmin}}) d\omega t$$

$$\text{Potencia} = 371.466 \quad \text{Como puede comprobarse los cálculos son correctos.}$$

Para el diseñador será más útil conocer que valor de resistencia (R_s) y tensión, necesita para que su convertidor de una determinada potencia (P) cumpla la norma, por lo tanto, los resultados serán expresados de esta forma:

$R_s(P)$
 $V_s(P)$
 $\phi_{\text{nom}}(P)$
 $\phi_{\text{max}}(P)$

Primero se generará una base de datos utilizando la función obtenida anteriormente. Posteriormente se añadirá una función que busque dentro de la base de datos la solución más aproximada.

$$\text{Datos}_{\text{AngNom}, x} := \text{PRsyN}\left(0.35, \frac{\text{AngNom} \cdot \pi}{180}\right)^x$$

La potencia máxima incluida en la base de datos sera:

$$\text{Datos}_{150,0} = 3.446 \times 10^3$$

La potencia mínima incluida en la base de datos será:

$$\text{Datos}_{1,0} = 12.84$$

Diseño en Clase A con ángulos
pequeños

La función "DisIdeal" tendrá como parámetro de diseño la potencia del convertidor devolviendo con una precisión de un grado, los mismos parámetros que la función PRsyN.

```

DisIdeal(Potencia) :=
  i ← 1
  while Potencia > Datosi,0
    i ← i + 1
  A0 ← Datosi,0
  A1 ← Datosi,1
  A2 ← Datosi,2
  A3 ← Datosi,3
  A4 ← Datosi,4
  A

```

$$\text{DisIdeal}(900) = \begin{pmatrix} 902.119 \\ 10.666 \\ 0.916 \\ 1.623 \\ 1.809 \end{pmatrix}$$

Para una potencia de 900 W, se necesita:

$$R_s = 10.666$$

$$\phi_{nom} = 93^\circ$$

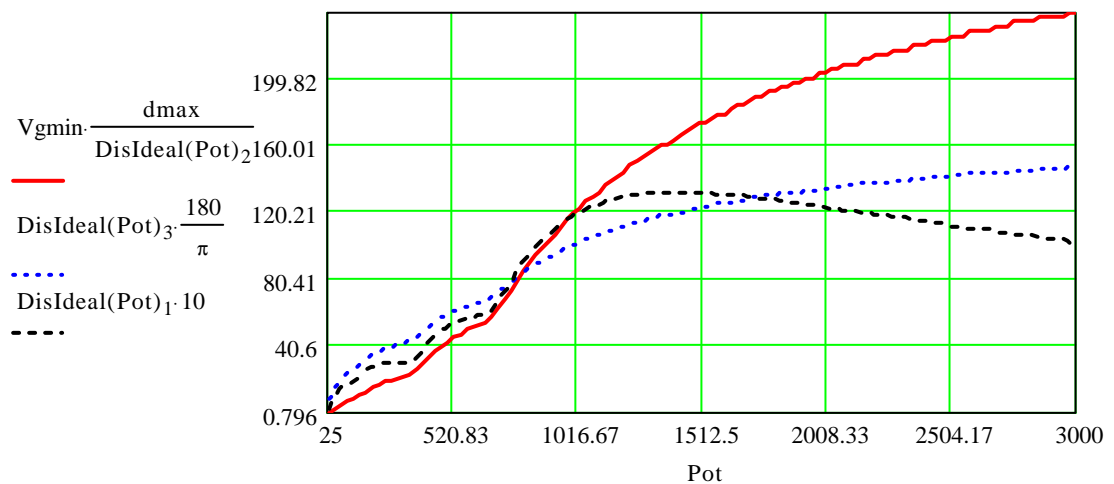
$$\phi_{max} = 103^\circ$$

$$V_s = 102.67$$

$$V_{gmin} \cdot \frac{d_{max}}{0.916} = 102.669$$

Representado graficamente quedará:

Pot := 25, 50.. 3000



Diseño en Clase A con ángulos
pequeños

3. Influencia del condensador de almacenamiento en el contenido armónico de la corriente de entrada. Validez de la suposición de tensión constante en el condensador.

En este apartado podrá comprobarse como el valor del condensador afecta al contenido armónico de la corriente de entrada, principalmente en la topologías donde se trabaja con un ángulo de conducción pequeño. Para ver esta influencia, se realizará una simulación, **para reflejar el efecto de la resistencia sin pérdidas y la fuente de tensión Vs, se añadirá un sumidero de potencia con valor : $P+Vs \cdot I_g \cdot I_g^2 \cdot R_s$.**

El rizado del condensador será apreciable principalmente en los convertidores de poca potencia, donde el ángulo de conducción necesario para cumplir la norma en clase A es muy pequeño, de ahí que la topología seleccionada para la simulación haya sido un "Flyback". Un desarrollo similar puede hacerse con cualquiera de las demás topologías existentes.

Ecuaciones cuando $V_g(t)$ es superior a la tensión en el condensador :

$$V_g \sin(\omega \cdot t) + \frac{V_c(t)}{n_1} \cdot d(t) = I_g(t) \cdot R_s + V_c(t)$$

$$V_{out} = V_c(t) \cdot \frac{d(t)}{1 - d(t)} \cdot \frac{1}{n_2}$$

$$I_{dc}(t) \cdot V_c(t) = P + \frac{d(t) \cdot I_g(t) \cdot V_c(t)}{n_1} - I_g(t)^2 \cdot R_s$$

$$I_g(t) = I_c(t) + I_{dc}(t)$$

$$I_c(t) = C \cdot \left(\frac{d}{dt} V_c(t) \right)$$

Donde :

I_c es la corriente entrante al condensador
 I_{dc} es la corriente que entra al convertidor cc/cc
 I_g es corriente de entrada de la red
 V_{out} es la tensión de salida principal de convertidor cc/cc
 V_c es la tensión en el condensador de almacenamiento
 n_1 número de espiras del devanado auxiliar/ espiras devanado principal
 n_2 número de espiras del devanado principal/ espiras devanado de salida

Discretizando las ecuaciones y tomando un número de puntos por semiciclo $P_pS = 512$, se está en condiciones de realizar un programa que dados los valores de tensión de entrada, potencia, valor del condensador, resistencia y relación de transformación entre primario y auxiliar de la forma de la corriente de entrada, así como el rizado en el condensador.

El programa partirá de un valor inicial de tensión en el condensador y se estará ejecutando hasta que la potencia de entrada sea igual a la demanda (con una tolerancia), los datos finales de cada ejecución serán los datos iniciales de la siguiente, así hasta alcanzar un régimen permanente.

El programa encargado de modelar el funcionamiento se denomina **Calcula**, el encargado de realizar las iteraciones ha sido llamado **Curvas**

Datos a manejar en el diseño: Rs, n1, n2, Vgmin, dmax, C, P, Vg

$$V_{gmin} := 190 \cdot \sqrt{2} \quad d_{max} := .35 \quad \omega := 2 \cdot \pi \cdot \text{Fred} \quad PpS := 400$$

$$dt(V_c) := \left| \begin{array}{l} K \leftarrow \frac{d_{max} \cdot V_{gmin}}{1 - d_{max}} \\ \frac{K}{V_c + K} \end{array} \right|$$

Pequeño programa para obtener la relación ciclica para cada tensión en el condensador

$$\text{Calcula}(R, C, V_g, P, n1, V_{ci}, I_{gi}, I_{ci}, I_{dci}) := \left[\begin{array}{l} V_{c0} \leftarrow V_{ci} \\ I_{g0} \leftarrow I_{gi} \\ I_{c0} \leftarrow I_{ci} \\ I_{dc0} \leftarrow I_{dci} \\ \text{Resul}_{0,0} \leftarrow I_{g0} \\ \text{Resul}_{1,0} \leftarrow I_{c0} \\ \text{Resul}_{2,0} \leftarrow I_{dc0} \\ \text{Resul}_{3,0} \leftarrow V_{c0} \\ \Delta T \leftarrow \frac{\pi}{\omega \cdot PpS} \\ \text{for } i \in 1..PpS - 1 \\ \quad d \leftarrow dt(V_{c_{i-1}}) \\ \quad V_o \leftarrow \left| V_g \sin \left(i \cdot \frac{\pi}{PpS} \right) \right| + V_{c_{i-1}} \cdot \left(\frac{d}{n1} - 1 \right) \\ \quad I_{g_i} \leftarrow \frac{V_o}{R} \text{ if } (V_o) > 0 \\ \quad I_{g_i} \leftarrow 0 \text{ otherwise} \\ \quad I_{dc_i} \leftarrow \frac{P}{V_{c_{i-1}}} + \left[d \cdot \frac{I_{g_i}}{n1} - (I_{g_i})^2 \cdot \frac{R}{V_{c_{i-1}}} \right] \\ \quad I_{c_i} \leftarrow I_{g_i} - I_{dc_i} \\ \quad V_{c_i} \leftarrow V_{c_{i-1}} + \frac{1}{C} \cdot I_{c_i} \cdot \Delta T \\ \quad \text{Resul}_{0,i} \leftarrow I_{g_i} \\ \quad \text{Resul}_{1,i} \leftarrow I_{c_i} \\ \quad \text{Resul}_{2,i} \leftarrow I_{dc_i} \\ \quad \text{Resul}_{3,i} \leftarrow V_{c_i} \\ \text{Resul} \end{array} \right]$$

Diseño en Clase A con ángulos pequeños

```

Curvas(R, C, Vg, P, n1) :=
  Idci ← 0
  Ici ← 0
  Igi ← 0
  Vci ← Vg
  Contador ← 0
  E ← 1
  while E > .01
    A ← Calcula(R, C, Vg, P, n1, Vci, Igi, Ici, Idci)
    Vc0 ← Vci
    Ig0 ← Igi
    Ic0 ← Ici
    Idc0 ← Idci
    Po ←  $\sum_{i=0}^{PpS-1} A_{0,i} \left( \sin \left( i \cdot \frac{\pi}{PpS} \right) \right)$ 
    Po ← Po ·  $\frac{Vg}{PpS}$ 
    Igi ← A0, PpS-1
    Ici ← A1, PpS-1
    Idci ← A2, PpS-1
    Vci ← A3, PpS-1
    Contador ← Contador + 1
    C ← 10-3 if Contador > 100
    E ←  $\left| \frac{P - Po}{P} \right|$  otherwise
  A

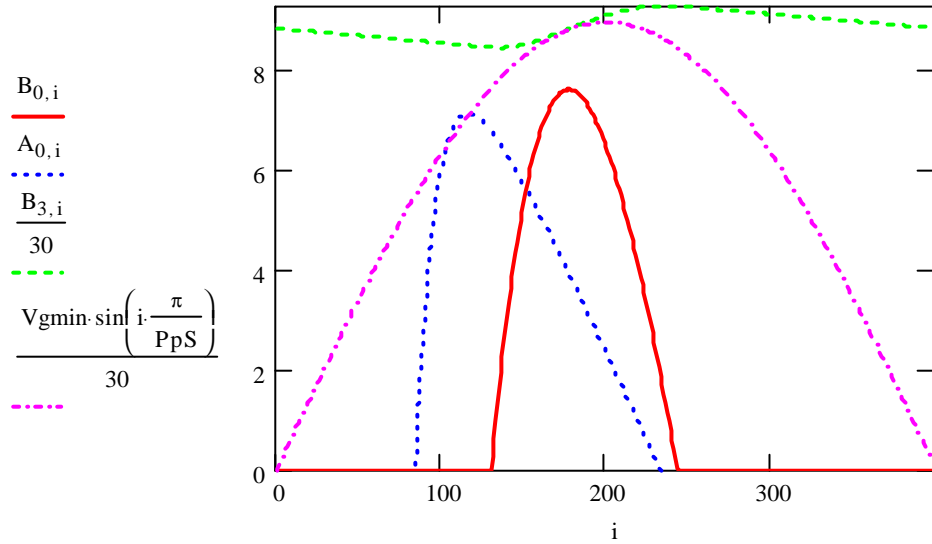
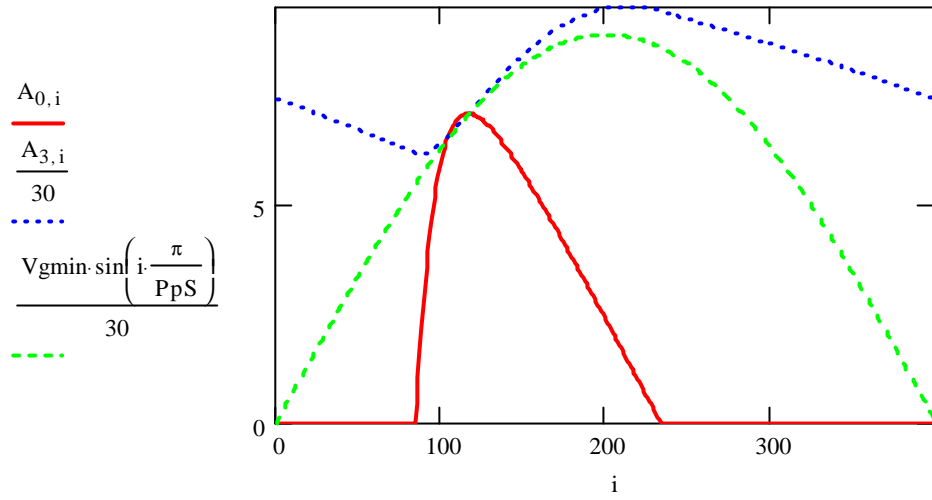
```

La función curvas nos devuelva una matriz bidimensional, donde el primer array (0) contiene la corriente de entrada, en segundo (1) la corriente en el condensador, el tercero (2) la corriente de entrada al convertidor y por ultimo la tensión en el condensador (3). Si se utilizan condensadores excesivamente grandes puede converger muy lentamente, para evitar posibles retrasos, si el proceso se ejecuta más de 100 veces el programa limitará el tamaño del condensador a 1 mF.

Ejemplo utilizando los datos del modelo ideal anteriormente calculado.

$$A := \text{Curvas}(3.247, 100 \cdot 10^{-6}, V_{gmin}, 371, 3.775) \quad i := 0.. PpS - 1$$

$$B := \text{Curvas}(3.247, 400 \cdot 10^{-6}, V_{gmin}, 371, 3.775)$$



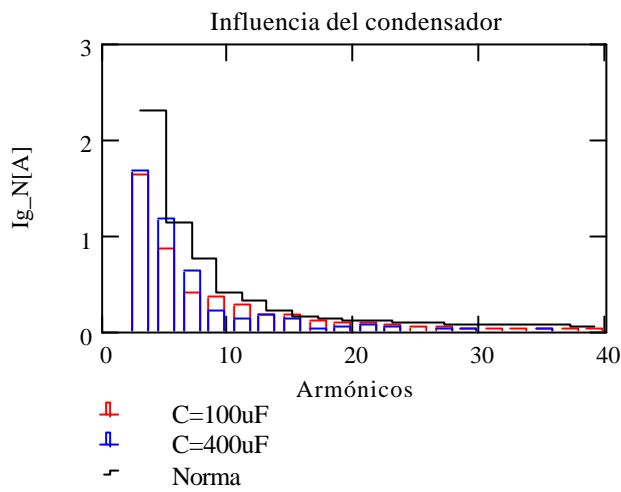
Para calcular el contenido armónico de las corrientes calculadas será necesario realizar el análisis de Fourier.

Contenido armónico de la señal obtenida. Se realizará numericamente, además tendrá terminos seno y coseno por no ser una señal totalmente simetrica. Se comparará posteriormente cuanto difiere el contenido armónico de la señal con el transitorio del condensador, del contenido armónico de la corriente calculada con un condensador infinito.

$$AN(n, A) := \frac{2}{\sqrt{2} \cdot PpS} \cdot \sum_{i=0}^{PpS-1} A_{0,i} \cdot \sin\left(n \cdot i \cdot \frac{\pi}{PpS}\right) \quad BN(n, A) := \frac{2}{\sqrt{2} \cdot PpS} \cdot \sum_{i=0}^{PpS-1} A_{0,i} \cdot \cos\left(n \cdot i \cdot \frac{\pi}{PpS}\right)$$

$$IN(n, A) := \sqrt{AN(n, A)^2 + BN(n, A)^2}$$

$$n := 3, 5 \dots 39$$



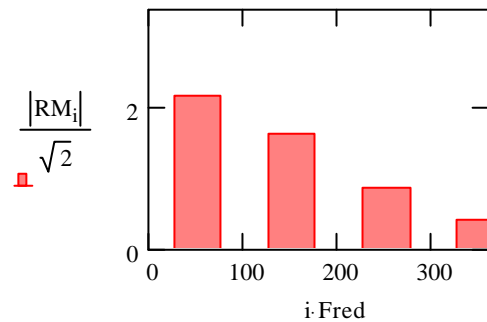
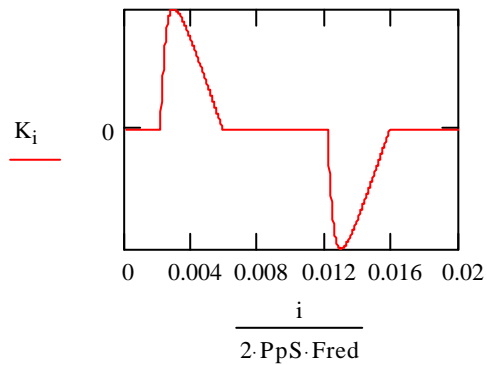
Como puede apreciarse en la gráfica, el contenido armónico depende del valor del condensador incluso en un ejemplo de "media" potencia. La modificación introducida por el condensador es "beneficiosa" para el contenido armónico.

$$\text{Completa}(B) := \begin{cases} \text{for } i \in 0.. \text{PpS} \cdot 2 - 1 \\ \left| \begin{array}{l} A_i \leftarrow -B_{0, i - \text{PpS}} \text{ if } i \geq \text{PpS} \\ A_i \leftarrow B_{0, i} \text{ otherwise} \end{array} \right. \\ A \end{cases}$$

$$K := \text{Completa}(A)$$

$$i := 0.. \text{PpS} \cdot 2 - 1$$

$$\text{RM} := 2 \cdot \text{CFFT}(K)$$



$$\text{IN}(23, A) = 0.067 \quad \frac{|RM_{23}|}{\sqrt{2}} = 0.067$$

Comprobación de que las operaciones realizadas son correctas.

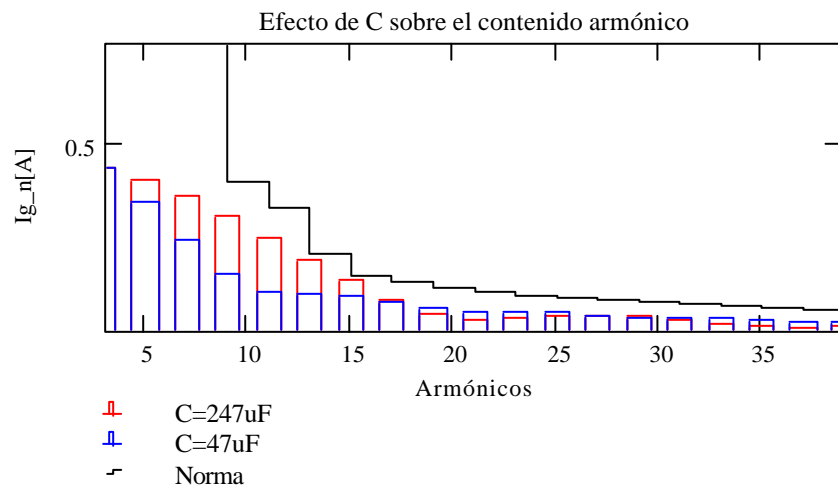
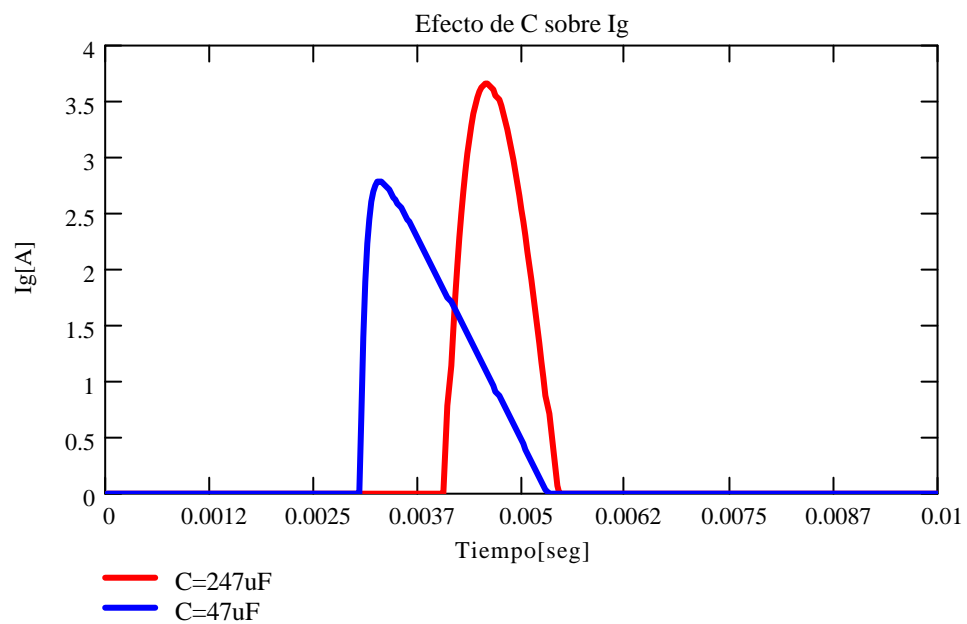
Este efecto se ve agudizado cuando el ángulo de conducción es más pequeño. El siguiente ejemplo se realizará para una potencia menor, 100W.

Diseño en Clase A con ángulos
pequeños

Los valores para el diseño ideal pueden obtenerse de la función DisIdeal:

$$\text{DisIdeal}(100) = \begin{pmatrix} 106.833 \\ 1.751 \\ 13.166 \\ 0.419 \\ 0.462 \end{pmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{Resistencia} = 1.751 \\ N1 = 13.166 \\ n := 1, 3 \dots 39 \end{array}$$

$$A := \text{Curvas}(1.751, 47 \cdot 10^{-6}, V_{\text{gnom}}, 100, 13.166) \quad B := \text{Curvas}(1.751, 247 \cdot 10^{-6}, V_{\text{gnom}}, 100, 13.166)$$



Diseño en Clase A con ángulos
pequeños

Como puede apreciarse, en las gráficas anteriores, el efecto introducido por el condensador de almacenamiento es beneficioso para el cumplimiento de la norma, sin embargo es un error cometido en el cálculo. Sería interesante conocer a partir de que potencia y para que valor de condensador puede considerarse la aproximación de tensión en el condensador como válida.

El valor del condensador no puede ser comparado entre diferentes potencias, por tanto el parámetro que se utilizará como "medida" será el Hold-up time. Para determinar el Hold-up time será necesario introducir un parámetro más al diseño la tensión a partir de la cual el convertidor dejará de funcionar V_{mf} (tensión mínima para funcionamiento).

Para calcular el condensador necesario para obtener el HUT deseado a cada potencia, se partirá del caso ideal, se introducirá el valor obtenido en la función Curvas y se comprobará el **Cálculo del condensador de almacenamiento para un determinado HUT y potencia, según el modelo ideal.**

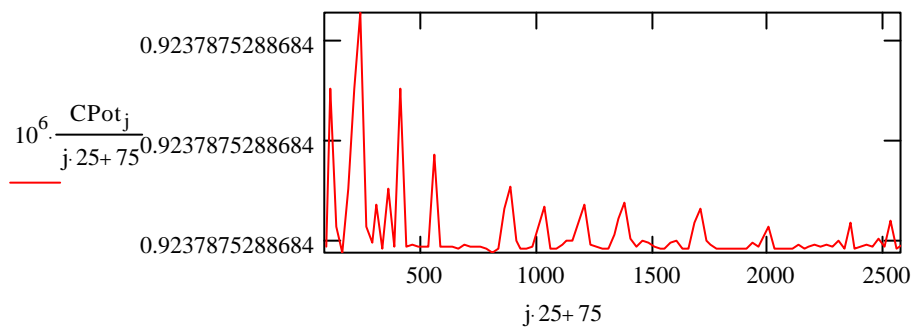
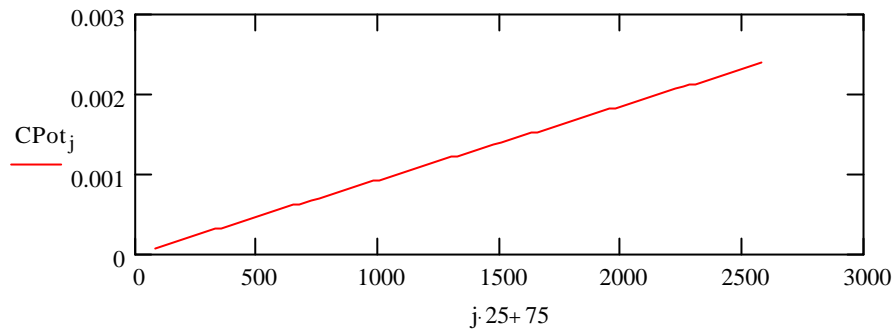
Se utilizará como aproximación, que la tensión en el condensador tiene un valor constante igual a V_{gmin} (con V_{gmin} de entrada) y un rizado sobre este valor asociado al valor de la corriente en el condensador supuesta constante y de valor P/V_{gmin} .

$$\begin{aligned}
 \text{CalculaCRV}(V_{mf}, \text{Pot}, \text{HUPT}) := & \left\{ \begin{array}{l}
 R_s \leftarrow \text{DisIdeal}(\text{Pot})_1 \\
 V_s \leftarrow \frac{V_{gmin} \cdot d_{max}}{\text{DisIdeal}(\text{Pot})_2} \\
 \alpha \leftarrow \arcsin \left(\text{Pot} \cdot \frac{R_s}{V_{gmin}^2} + 1 - \frac{V_s}{V_{gmin}} \right) \\
 \Delta Q \leftarrow \left(\int_{\frac{\alpha}{\omega}}^{\frac{\pi-\alpha}{\omega}} \left(\frac{-\text{Pot}}{V_{gmin}} + \frac{V_{gmin} \cdot \sin(\omega \cdot t) + V_s - V_{gmin}}{R_s} \right) dt \right) \\
 C1 \leftarrow \text{root} \left[.5 \cdot C \cdot [(V_{gmin})^2 - V_{mf}^2] - \text{Pot} \cdot \text{HUPT}, C, 10^{-6}, 10^{-1} \right] \\
 \Delta V \leftarrow \left| \frac{\Delta Q}{C1 \cdot 2} \right| \\
 \text{Result}_0 \leftarrow C1 \\
 \text{Result}_1 \leftarrow R_s \\
 \text{Result}_2 \leftarrow V_s \\
 \text{Result}_3 \leftarrow \Delta V \\
 \text{Result}
 \end{array} \right. \\
 \text{CalculaCRV}(170, 150, 10 \cdot 10^{-3}) = & \begin{pmatrix} 6.928 \times 10^{-5} \\ 2.139 \\ 10.414 \\ 34.635 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

```

CPot := | for i ∈ 0.. 100
        |   Xi ← CalculaCRV(170, 75 + i·25,  $\frac{1}{1 \cdot \text{Fred}}$ )0      j := 0.. 100
        | X

```



Como puede apreciarse la importancia del rizado en el HUT es muy pequeña y por tanto no será incluida en los cálculos posteriores. Se definirán un tamaño de condensador por vatio, CpV , por ejemplo valores a estudiar serán 0.5 μF por vatio y valores similares.

A continuación, partiendo de la solución ideal y utilizando el condensador calculado aproximadamente, se irá aumentando la potencia demandada por el convertidor principal hasta determinar el valor máximo de potencia que puede dar el convertidor cumpliendo la norma. Este valor será comparado con el valor ideal y así se determinará el error que se comete al no incluir el rizado en el diseño del reductor activo de armónico. Como se verá, cuanto mayor sea el HOLD-up time, mejor será la aproximación, de todas formas podrá también comprobarse que el rizado aleja el funcionamiento del esperado, pero no penaliza el contenido armónico.

Otra función necesaria para comprobar el buen funcionamiento del convertidor es comprobar que la fuente auxiliar trabaja correctamente es decir que su tensión mínima sea igual o mayor que 0. Esta comprobación se realizará con la tensión mínima y la potencia máxima.

```

VrsMinima(A) := | Vominima ← Vgmin
                  | for i ∈ 0.. PpS - 1
                  |   Vominima ← K if  $\left[ K \leftarrow \left( A_{3,i} - Vgmin \cdot \sin \left( i \cdot \frac{\pi}{PpS} \right) \right) \right] < Vominima$ 
                  | Vominima

```

```

CumpleClaseA(A) := | i ← 1
                   | for n ∈ 3, 5.. 39
                   |   if  $I_n < IN(n, A)$ 
                   |     | i ← n
                   |     | break
                   | i

```

Si devuelve un 1 cumple en Clase A si devuelve otro valor, no cumple, y además ese numero indica el primer armónico que se sale de la norma

En los programas que siguen a continuación se comprobará hasta donde puede aumentarse la potencia, cumpliendo la norma y cual sería la tensión mínima de funcionamiento manteniendo un hold-up time dado.

Proceso a seguir para determinar una tabla potencia en función de R, Ns y kCV valor de condensador por vatio.

Dada una pareja de valores R y N se propone una potencia inicial, con esta potencia se calcula aproximadamente el condensador necesario y se comprueba Vrsmin, si esta es mayor que 0, se aumentará y se repetirá el proceso obteniéndose así el valor máximo de potencia con funcionamiento correcta a Vgmin. Por otra parte, se comprobará si cumple la norma, si cumple la norma igual que en el caso anterior se aumentará la potencia. De las dos potencias (Vrsmin y Norma) nos quedaremos con la más pequeña. Finalmente se tendrá una tabla donde se podrá buscar para una potencia dada, la configuración más adecuada.

```

Tabla(R, N, kCV) := | Rmin ← 0.2
                    | Rmax ← 7.5
                    | Nmin ← 1
                    | Nmax ← 15
                    | Pmin ← 50
                    | Pmax ← 4000
                    | E ← 1
                    | while E > 0.01
                    |   | Pactual ←  $\frac{Pmin + Pmax}{2}$ 
                    |   | C ← kCV · Pactual
                    |   | A ← Curvas(R, C, Vgmin, Pactual, N)
                    |   | Vrs ← VrsMinima(A)
                    |   | Pmin ← Pactual if Vrs > 0.5

```

Diseño en Clase A con ángulos pequeños

```

Pmax ← Pactual otherwise
E ←  $\left| \frac{Vrs - 0.5}{0.5} \right|$ 
PVsmin ← Pactual
E ← 1
Pmin ← 50
Pmax ← 4000
while E > 0.01
    Pactual ←  $\frac{Pmin + Pmax}{2}$ 
    C ← kCV · Pactual
    A ← Curvas(R, C, Vgnom, Pactual, N)
    for n ∈ 3, 5.. 7
         $IA_n \leftarrow \frac{IN(n, A)}{I_n}$ 
    Candidato ← max(IA)
    Pmax ← Pactual if Candidato > 1
    Pmin ← Pactual otherwise
    E ← |1 - Candidato|
PClaseA ← Pactual
Sol0 ← PClaseA
Sol1 ← PVsmin
Sol

```

```

PotenciaReal(Poideal, kCV) :=
    X ← DisIdeal(Poideal)
    N ← X2
    R ← X1
    C ← kCV · Poideal
    min(Tabla(R, N, kCV))

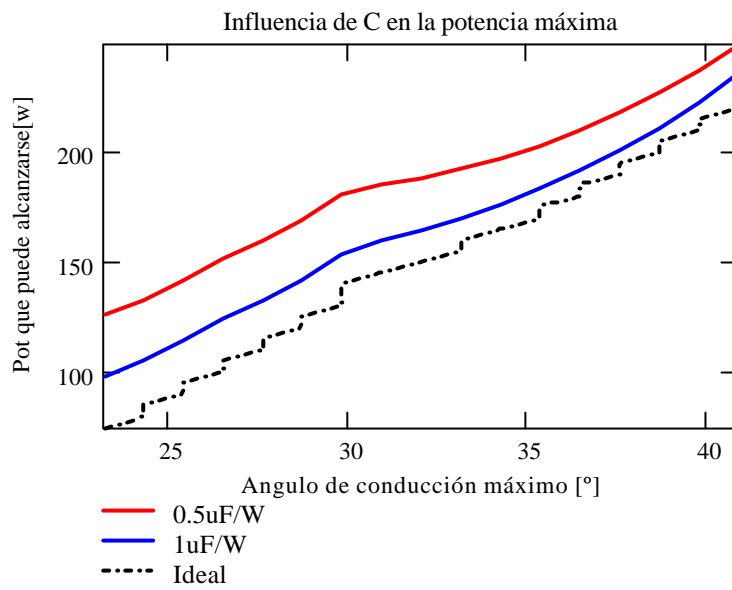
```

A continuación se obtendrá la potencia máxima posible con los componentes ideales

$i := 0..30$ $kCV := 0.5 \times 10^{-6}$

$P_{contrastada1} := PotenciaReal(75 + 5 \cdot i, 1 \cdot kCV)$

$P_{contrastada2} := PotenciaReal(75 + 5 \cdot i, 2 \cdot kCV)$



Con el condensador pequeño se añade un margen de seguridad al diseño realizado, siempre cumplirá la norma para una potencia mayor que la diseñada (ideal).

t

