

## **Influencia del condensador de almacenamiento sobre el contenido armónico de la corriente de entrada**

*Cuando fueron deducidas las características tensión-corriente de cada RAI se consideró constante la tensión en el condensador de almacenamiento durante un semiciclo de la tensión de red. Para comprobar hasta que punto es válida esta suposición en este anexo se estudiará cómo el rizado de tensión en este condensador afecta al contenido armónico de la corriente de entrada.*

### **3.1 Introducción.**

La variación que sufre la tensión en el condensador de almacenamiento será función de la corriente que por él circula y su capacidad. Por norma general, el diseño de este condensador responderá más a unos requisitos de mantenimiento de la tensión ante fallo de la red que a su influencia sobre el contenido armónico de la corriente de entrada.

La forma de onda de la corriente de entrada en los RAA con ángulos de conducción pequeños es especialmente sensible al tamaño de este condensador. Las formas de onda obtenidas distan mucho de parecerse a las calculadas cuando la tensión en el condensador de almacenamiento se considera constante.

Los RAA de baja potencia (menos de 250W) diseñados para cumplir la normativa en Clase A, tendrán ángulos de conducción muy pequeños. Esto plantea el siguiente problema: “¿Serán válidos los diseños hechos bajo la suposición de tensión constante en el condensador de almacenamiento?”.

Para mostrar la influencia del valor del condensador de almacenamiento sobre el contenido armónico de la corriente de entrada se utilizará el modelo “fuente de tensión y resistencia sin pérdidas”. Esto permitirá tratar el problema de una forma intuitiva y como se vio en el Capítulo 2 muy aproximada en la mayor parte de las topologías.

## 3.2 Convertidores de baja potencia en Clase A.

Cumplir la norma IEC-61000-3-2 en Clase A para bajas potencias es muy sencillo, tanto que un convertidor de 100W con un condensador de almacenamiento de 47μF cumplirá la norma sin necesidad de ningún elemento extra.

Los pasos a seguir para diseñar un RAA que cumpla la norma IEC-61000-3-2 en Clase A utilizando el modelo resistencia sin pérdidas son muy similares a los utilizados en el diseño mediante las características tensión corriente. La única diferencia es que la característica tensión corriente en este caso es una línea recta y por tanto la corriente de entrada al convertidor puede ser representada mediante una ecuación sencilla que dependerá de la tensión de red ( $V_g$ ) y el ángulo de conducción ( $\phi$ ). La expresión para la corriente de entrada es la mostrada en la ecuación (3.1).

$$\text{si } \left\{ \frac{\pi - \phi}{2} < \omega t < \frac{\pi + \phi}{2} \right. \\ I_g(\omega t, V_g, R_{sp}, \phi) = \frac{V_g}{R_{sp}} \left( \sin(\omega t) - \cos\left(\frac{\phi}{2}\right) \right) \quad (3.1)$$

Para obtener la corriente de entrada “base” se considerará una resistencia sin pérdidas igual a 1 Ω, por lo que la ecuación (3.1) quedará como (3.2).

$$I_{g_{BASE}}(\omega t, V_g, \phi) = I_g(\omega t, V_g, 1, \phi) \quad (3.2)$$

Cada ángulo de conducción  $\phi$  a la tensión nominal tendrá un contenido armónico base que podrá determinarse mediante su desarrollo de Fourier (3.3).

$$\text{Armónico}_{BASE}(n) = \left| \frac{2}{\pi\sqrt{2}} \int_0^{\pi} I_{g_{BASE}}(\omega t, V_{g_{nom}}, \phi) \sin(n \cdot \omega t) d\omega t \right| \quad (3.3)$$

El valor de la corriente permitida para cada armónico es diferente (Capítulo 1). Por tanto, para determinar si un armónico es “grande o pequeño” deberá ser dividido por el valor máximo permitido. El armónico más desfavorable para el cumplimiento de la norma será aquel cuyo cociente sea máximo. Si este valor máximo es tomado como valor de la resistencia sin pérdidas (3.4) se conseguirá que el armónico más desfavorable para el cumplimiento de la norma sea igual al límite impuesto por la misma.

La máxima potencia (para cumplir la norma) que un convertidor con ángulo de conducción nominal ( $\phi_{nominal}$ ) vendrá determinada por la expresión (3.5).

$$R_{SP\text{mínima}} = \max \left( \frac{\text{Armónico}_{\text{BASE}}(n)}{I_{\text{NORMA}}(n)} \right) \quad (3.4)$$

$$\text{Pot}_{\text{max}}(\phi_{\text{no min al}}) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} \frac{I_{g\text{BASE}}(\omega t, V_{g\text{nom}}, \phi_{\text{no min al}})}{R_{SP\text{mínima}}} V_{g\text{nom}} \sin(\omega t) d\omega t \quad (3.5)$$

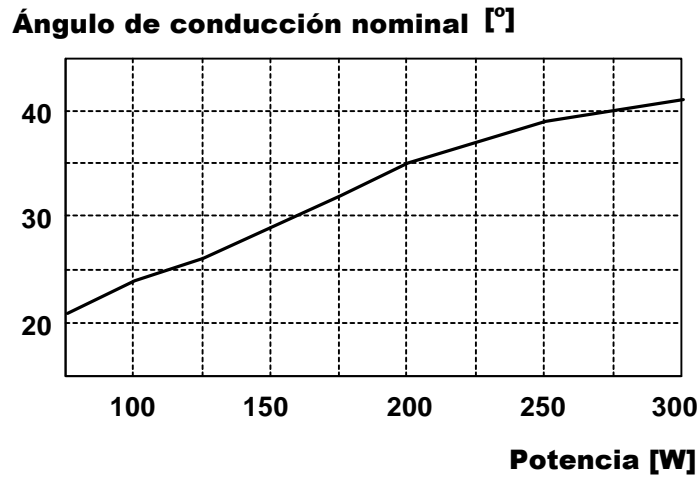
Para obtener el valor de la tensión  $V_s$  conectada en serie con la resistencia sin pérdidas deberá conocerse el ángulo de conducción máximo ( $\phi_{\text{máximo}}$ ). Este ángulo de conducción será aquel que a la tensión de alimentación mínima ( $V_{g\text{mín}}$ ) permita que la potencia de entrada al convertidor sea igual a la potencia máxima anteriormente calculada (3.5). Es decir, el ángulo de conducción máximo se obtendrá de la resolución de la ecuación (3.6).

$$\begin{aligned} \text{Pot}_{\text{max}}(\phi_{\text{no min al}}) &= \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} I_{g}(\omega t, V_{g\text{mín}}, R_{SP\text{mínima}}, \phi_{\text{máximo}}) V_{g\text{mín}} \sin(\omega t) d\omega t \\ \frac{V_{g\text{nom}}^2 (\phi_{\text{no min al}} - \sin(\phi_{\text{no min al}}))}{V_{g\text{mín}}^2 (\phi_{\text{máximo}} - \sin(\phi_{\text{máximo}}))} &= 1 \end{aligned} \quad (3.6)$$

Una vez conocido el ángulo de conducción máximo se obtendrá el valor de la tensión serie ( $V_s$ ) mediante la ecuación

$$V_s = V_{g\text{mín}} \left( 1 - \cos \left( \frac{\phi_{\text{máximo}}}{2} \right) \right) \quad (3.7)$$

Como puede comprobarse en la Fig. 3-1 los ángulos de conducción nominales obtenidos de esta forma para bajas potencias son menores de 45°.



**Fig. 3-1. Ángulo de conducción nominal para cumplir en Clase A en función de la potencia.**

Considerando una tensión mínima de red de 190  $V_{\text{eficaces}}$  y una tensión nominal de 220  $V_{\text{eficaces}}$  se han obtenido los valores de resistencia sin pérdidas y tensión serie mostrados en la Fig. 3-2.

Los valores de tensión serie obtenidos para estas potencias son comparables al valor del rizado de la tensión en el condensador de almacenamiento. Por tanto, tan importante será en la forma de onda de corriente la capacidad del condensador de almacenamiento como el valor de la resistencia utilizada (recordando que la tensión  $V_s$  es muy pequeño comparado con el rizado en el condensador de almacenamiento).

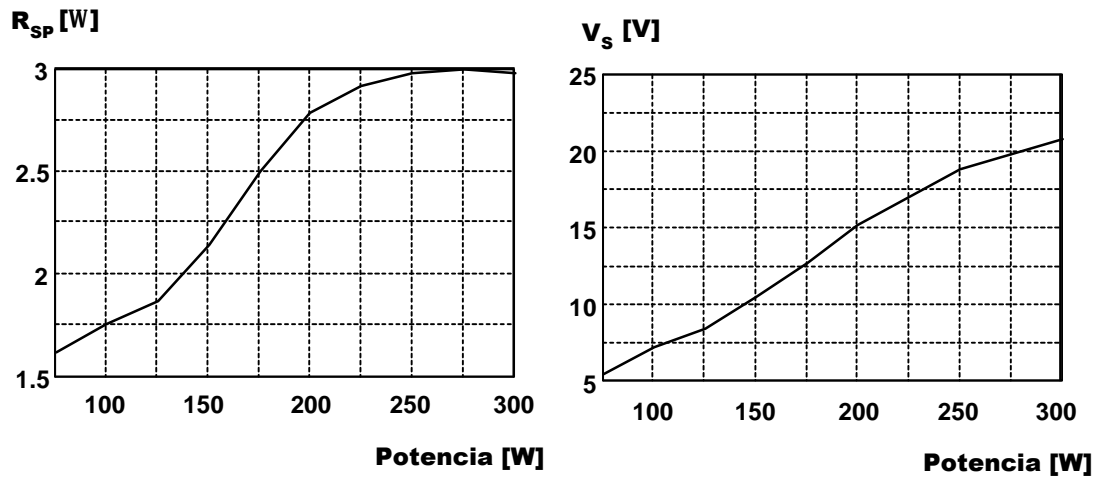


Fig. 3-2. Resistencia sin pérdidas y tensión serie para cumplir en Clase A.

### 3.3 Influencia del condensador en el cumplimiento de la Norma.

Para determinar las formas de corriente de entrada en función del tamaño del condensador se utilizarán los modelos promediados deducidos en el anexo 2. Para un diseño de 100W, el ángulo de conducción nominal necesario es de  $24^\circ$ . Este ángulo de conducción puede ser obtenido con una tensión serie de sólo 7,5V por lo que las variaciones de tensión en el condensador de almacenamiento afectarán fuertemente a la forma de la corriente de entrada.

En la Fig. 3-3 han sido representadas la corriente de entrada y su contenido armónico para el convertidor mencionado con dos condensadores de almacenamiento diferentes. La corriente obtenida con el condensador de menor tamaño ( $47\mu\text{F}$ ) dista de ser la representación gráfica de la ecuación (3.1) mientras que la correspondiente al condensador de mayor tamaño ( $247\mu\text{F}$ ) si se aproxima a la forma esperada.

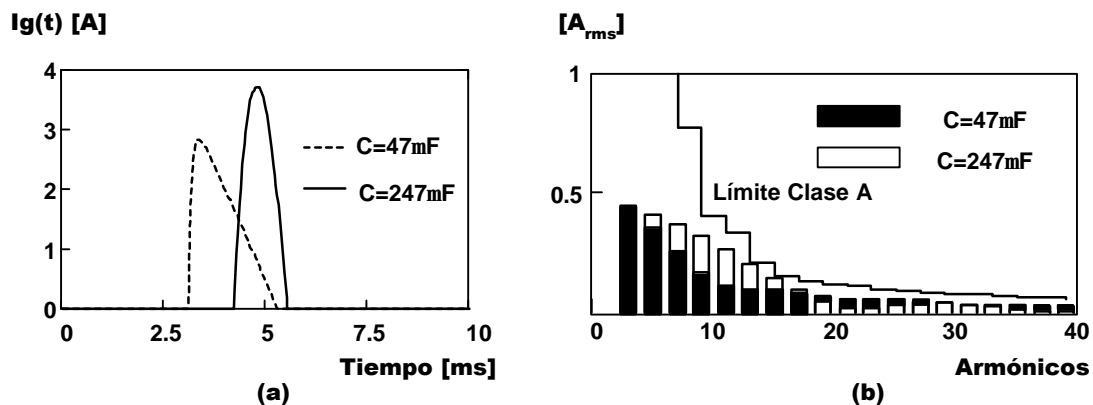


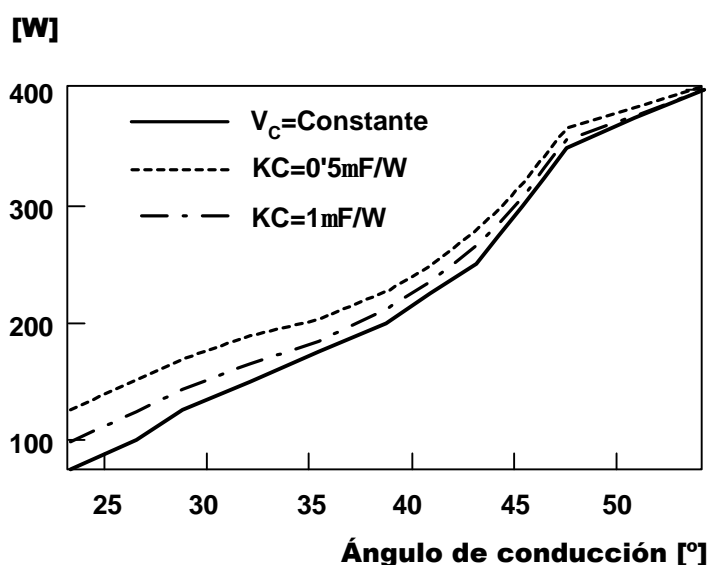
Fig. 3-3. (a) Corriente de entrada y (b) contenido armónico a tensión nominal y plena carga.

Aunque en este caso se trate de un ejemplo puntual (100W y  $C=47\mu\text{F}$ ) se aprecia cómo la configuración con un condensador más pequeño cumple la norma holgadamente. La configuración con el condensador de almacenamiento mayor está trabajando con una potencia (100W) que mantiene al convertidor al límite del cumplimiento de la norma. Sin embargo, el convertidor con el condensador menor podría trabajar con una potencia superior y aún así seguiría cumpliendo la norma.

Para comprobar que el resultado anteriormente mencionado no se trata de un caso puntual se ha realizado la siguiente prueba. Utilizando los valores de resistencia sin pérdidas y tensión serie obtenidos en el apartado 3-2 junto con un condensador de almacenamiento que será calculado como una constante por la potencia nominal de diseño, se incrementará la potencia demandada al convertidor hasta que la corriente de entrada alcance los límites impuestos por la Clase A. De esta forma podrá determinarse que margen de seguridad en el diseño es aportado por el tamaño del condensador de almacenamiento.

Las pruebas se realizarán para diferentes ángulos de conducción y para diferentes tamaños de condensador. Las constantes utilizadas para el cálculo del condensador serán  $KC1=0.5\mu F/W$  y  $KC2=1\mu F/W$ .

A la vista de los resultados mostrados en la Fig. 3-4 a medida que el ángulo de conducción aumenta la importancia del tamaño del condensador disminuye. Por otra parte, a medida que el tamaño del condensador aumenta el comportamiento de la corriente más se aproxima al obtenido suponiendo la tensión en el condensador de almacenamiento constante (obvio) pero siempre permitiendo cumplir la norma con un margen de seguridad.



**Fig. 3-4. Máxima potencia para cumplir la norma en Clase A para diferentes ángulos de conducción máximos y diferentes tamaños de condensador.**

Estos resultados llevan a la siguiente conclusión: “La condición de diseño correspondiente a considerar la tensión en el condensador de almacenamiento constante, propicia la obtención del contenido armónico en el caso más desfavorable para el cumplimiento de la norma”.

Esta conclusión permite separar totalmente el cálculo del tamaño del condensador de almacenamiento del diseño del RAA. Así, el condensador podrá ser determinado en función del tiempo de mantenimiento de la tensión en ausencia de red sin perjudicar el cumplimiento de la norma.

El efecto que tendrá el tamaño del condensador no afectará apreciablemente las formas de onda de corriente en Clase D. El ángulo de conducción necesario para cumplir la norma en estas condiciones es superior a  $60^\circ$ . En la Fig. 3-4 puede comprobarse cómo el efecto del condensador con estos ángulos de conducción es inapreciable.