

## Guía conceptual de potencias:

### Análisis de armónicos:

Las señales periódicas pueden ser expresadas como la suma de ondas sinusoidales de diferentes amplitudes, frecuencias y fases, que quedan determinadas por su serie de Fourier. Cuanto más distorsión presentan las señales (es decir cuánto más lejos están de seguir una forma sinusoidal), su contenido armónico aumenta. Realizar entonces un estudio de diferentes parámetros que contienen información respecto al contenido armónico de las señales, es útil para obtener características propias de la señal en cuestión que pueden a futuro ayudar a diferenciarla de las demás.

Por otro lado, el contenido armónico de una señal puede tener consecuencias negativas sobre el funcionamiento de la red y del electrodoméstico en cuestión, por lo que es importante analizar y cuantificar el mismo. A modo de ejemplo, estos son algunos de los efectos negativos que estos tienen:

- Provocar mayores pérdidas en todos los cables de distribución, lo que resulta en una menor eficiencia energética.
- En sistemas trifásicos puede llevar a tener corrientes neutras más grandes que las corrientes de fase.
- Pueden provocar el accionar de interruptores y fusibles que causan cortes en el suministro de energía eléctrica.
- Producen corrientes circulantes en los devanados de los transformadores de distribución, lo que reduce la vida útil, confiabilidad y eficiencia del transformador.
- Reducir la cantidad de potencia eléctrica que se puede transformar en trabajo útil o calor.

Veremos a continuación diferentes parámetros, analizando su significado y la manera de calcularlos.

Se expresa tanto el voltaje como la corriente en base a su descomposición de Fourier:

$$v(t) = v_1(t) + v_h(t) \text{ con } v_1(t) = \sqrt{2}V_1 \text{sen}(wt - \alpha_1) \text{ y } v_h(t) = V_0 + \sum_{n \neq 1} \sqrt{2}V_n \text{sen}(nwt - \alpha_n)$$

$$i(t) = i_1(t) + i_h(t) \text{ con } i_1(t) = \sqrt{2}I_1 \text{sen}(wt - \beta_1) \text{ y } i_h(t) = I_0 + \sum_{n \neq 1} \sqrt{2}I_n \text{sen}(nwt - \beta_n)$$

Con frecuencia fundamental  $w$ (rad/s) igual a la frecuencia de la red. De lo anterior se desprende que el valor RMS del voltaje y de la corriente son los siguientes:

$$V = \sqrt{V_1^2 + V_H^2} \text{ con } V_H = \sqrt{V_0^2 + \sum_{n \neq 1} V_n^2}$$

$$I = \sqrt{I_1^2 + I_H^2} \quad \text{con} \quad I_H = \sqrt{I_0^2 + \sum_{n \neq 1} I_n^2}$$

### -Potencia activa (P):

La potencia activa (representada por la letra P y medida en vatios W) es la potencia útil, es decir, la que es aprovechada por el electrodoméstico en cuestión para generar trabajo o calor. Esta potencia es consumida por la parte resistiva de la carga.

$$\text{Se tiene que } P = V_0 I_0 + \sum_{n \neq 0} V_n I_n \cos \theta_n \quad \text{con} \quad \theta_n = \beta_n - \alpha_n$$

### Potencia activa fundamental (P<sub>11</sub>):

La potencia activa como ya se explicó, es igual a la suma de la potencia activa generada por cada uno de los armónicos. La potencia activa fundamental es el aporte a la potencia activa del primer armónico de corriente y tensión (el armónico de igual frecuencia que la red). Este parámetro es importante de cuantificar dado a que tiende a ser el de mayor aporte a la potencia activa consumida por el electrodoméstico en cuestión (con la excepción de los casos en los que la señal de tensión y/o corriente presente una gran distorsión). Se calcula de la siguiente manera:

$$P_{11} = V_1 I_1 \cos \theta_1$$

### Potencia activa armónica (P<sub>H</sub>):

La potencia activa armónica es el aporte a la potencia activa de todos los armónicos diferentes al primero. Este parámetro es importante de cuantificar dado que aporta conocimiento sobre la distorsión en la potencia que consume la carga. A su vez, es importante dimensionar la potencia armónica que consume el electrodoméstico en cuestión ya que puede suceder que la misma termine teniendo un valor negativo dependiendo de los valores obtenidos a partir de la descomposición de Fourier del voltaje y de la corriente y entonces reste al valor de la potencia activa fundamental. Esto llevaría a una disminución en la potencia activa total, que es la que la carga puede transformar en energía útil, cosa que sería negativa para el consumidor, dado que estaría pagando una cantidad de energía eléctrica que luego no puede utilizar para el fin que deseaba si no que se consume en pérdidas en el sistema. La misma se calcula:

$$P_H = V_0 I_0 + \sum_{n \neq 1} V_n I_n \cos \theta_n$$

### Distorsión armónica total del voltaje (THD<sub>v</sub>):

Este parámetro permite dimensionar qué tan distorsionada está la señal de voltaje. Cuantificar la distorsión es de vital importancia ya que como se explicó anteriormente la presencia de armónicos puede traer consigo consecuencias negativas. En nuestro país, el Regulador (URSEA) fiscaliza a UTE en el cumplimiento de una calidad de tensión aceptable respecto a las armónicas. Si hay incumplimiento, UTE debe bonificar a los usuarios afectados por la mala calidad de la energía entregada. Se calcula de la siguiente forma:

$$THD_V = \frac{V_H}{V_1}$$

### Distorsión armónica total de la corriente (THD<sub>i</sub>):

Este parámetro permite dimensionar qué tan distorsionada está la señal de corriente. A diferencia del caso anterior, una fuerte presencia de armónicos en la corriente en caso de que el voltaje no presente mayores distorsiones, se debe a la naturaleza no lineal de las cargas que se encuentran consumiendo energía eléctrica. UTE no puede penalizar per se a usuarios por mala calidad de energía. Sin embargo, como en muchos casos es posible identificar un usuario perturbador que es responsable por la mala calidad de la energía, si UTE se lo demuestra a URSEA, UTE podría tomar medidas con ese usuario.. Se calcula de la siguiente forma:

$$THD_I = \frac{I_H}{I_1}$$

### -Potencia reactiva fundamental (Q<sub>11</sub>):

La potencia reactiva, a diferencia de la activa, no sirve para generar trabajo. Determinados electrodomésticos dependiendo de su estructura interna pueden consumir esta energía para generar campos magnéticos necesarios para su funcionamiento. Se representa por la letra Q y se mide en voltiamperios reactivos (VAr).

A pesar de no ser útil para generar trabajo, la potencia reactiva sí se transporta por las redes de distribución y "ocupa espacio", reduciendo la capacidad para transportar potencia activa que es la que se puede convertir en trabajo útil y aumentando las pérdidas en las líneas. Es por esto que las empresas de distribución penalizan los consumos de reactiva en sus clientes, buscando utilizar la red para transportar potencia eléctrica que se pueda traducir en energía mecánica, calor o cualquier otro tipo de energía útil (potencia activa).

Las cargas inductivas consumen potencia reactiva mientras que las cargas capacitivas la aportan. Es por esto que cuando se tiene un consumo muy inductivo se pueden colocar condensadores de manera de minimizar la potencia reactiva que es consumida desde la red y en cambio consumir localmente a partir de los condensadores.

La potencia reactiva fundamental es la potencia reactiva que el electrodoméstico en cuestión consume debido al primer armónico de corriente y de voltaje y se calcula de la siguiente manera:

$$Q_{11} = V_1 I_1 \text{sen } \theta_1$$

-Potencia aparente (S):

La potencia aparente se define como el producto entre el valor RMS del voltaje y de la corriente, se representa con la letra S y se mide en voltamperios (VA). Esta es la combinación de la potencia activa y no activa en el circuito, por lo que considera toda la potencia eléctrica que el electrodoméstico en cuestión le demanda al distribuidor, ya sea para producir trabajo útil o no. Veamos cómo se calcula:

$$S^2 = (VI)^2 = (V_1^2 + V_H^2)(I_1^2 + I_H^2) = (V_1^2 I_1^2) + (V_1^2 I_H^2) + (V_H^2 I_1^2) + (V_H^2 I_H^2) = S_{11}^2 + D_I^2 + D_V^2 + S_H^2$$

$$S = \sqrt{S_{11}^2 + D_I^2 + D_V^2 + S_H^2}$$

De aquí se desprenden diferentes parámetros que aportan información respecto del consumo del electrodoméstico:

-Potencia aparente fundamental (S<sub>11</sub>):

La potencia aparente fundamental ( $S_{11} = V_1 I_1$ ) aporta información sobre la potencia aparente debida al primer armónico de corriente y de tensión. La misma se obtiene a partir de la suma fasorial de la potencia activa fundamental y la potencia reactiva fundamental, por lo que su módulo obedece la siguiente relación:  $S_{11} = \sqrt{P_{11}^2 + Q_{11}^2}$ . La misma a su vez aporta una noción sobre cuánta distorsión presenta la potencia consumida por el electrodoméstico en cuestión. Para casos en que no se tenga una distorsión importante, la misma representará el mayor aporte al módulo de la potencia aparente total.

-Potencia de distorsión de corriente (D<sub>I</sub>):

La potencia de distorsión de corriente ( $D_I = V_1 I_H = S_1 THD_I$ ) aporta información sobre la potencia aparente debida únicamente a la distorsión en la corriente. En caso de que la señal de voltaje no presente distorsión, la misma tendrá contenido armónico  $V_H = 0$  y  $D_I$  será el único aporte a la potencia aparente por fuera de la potencia aparente fundamental. En caso de que la corriente no presente distorsión este parámetro vale cero. Este muestra el peso que tiene la distorsión en la corriente en el consumo del electrodoméstico en cuestión, información que es importante teniendo en cuenta los efectos ya explicados que los armónicos tienen sobre la red.

#### -Potencia de distorsión de voltaje ( $D_V$ ):

La potencia de distorsión de voltaje ( $D_V = V_H I_1 = S_1 THD_V$ ) aporta información sobre la potencia aparente debida únicamente a la distorsión en el voltaje. En caso de que la señal de corriente no presente distorsión, la misma tendrá contenido armónico  $I_H = 0$  y  $D_V$  será el único aporte a la potencia aparente por fuera de la potencia aparente fundamental. En caso de que el voltaje no presente distorsión  $D_V$  vale cero. Este parámetro muestra el peso que tiene la distorsión en el voltaje en el consumo del electrodoméstico en cuestión, información que es importante teniendo en cuenta los efectos ya explicados que los armónicos tienen sobre la red.

#### -Potencia armónica aparente ( $S_H$ ):

La potencia armónica aparente ( $S_H = V_H I_H$ ) aporta información sobre la potencia aparente debida al contenido armónico de corriente y de tensión. La misma aporta una noción sobre la potencia consumida por el electrodoméstico debido a la existencia de distorsión tanto en el voltaje como en la corriente. Para casos en que una de estas dos magnitudes no presente distorsión, la potencia armónica aparente valdrá cero. Para cargas lineales y redes fuertes con poca distorsión este parámetro tiende a tener valores bajos en comparación a la potencia aparente fundamental.

#### -Potencia de distorsión armónica ( $D_H$ ):

Este parámetro permite cuantificar qué parte de la potencia armónica aparente no es potencia activa. Se calcula de la siguiente manera:  $D_H = \sqrt{S_H^2 - P_H^2}$ . Como se ha explicado anteriormente, esta potencia que no es activa no sirve para realizar trabajo útil pero si hay que transportarla a través de la red de distribución pudiendo producir pérdidas y sobrecargas. Además de no ser potencia activa (al igual que la potencia reactiva fundamental), su existencia se desprende de la presencia de distorsión en la corriente y en el voltaje, por lo que es importante dimensionarla y eventualmente penalizar su consumo.

#### -Potencia aparente no fundamental ( $S_N$ ):

La potencia aparente no fundamental suma todos los aportes a la potencia aparente debidos a la presencia de armónicos, permitiendo tener noción de la influencia final de los mismos en el consumo del electrodoméstico. Este es nulo sólo en el caso de ausencia de distorsión tanto en la corriente como en el voltaje. La misma se calcula de la siguiente

manera:  $S_N = \sqrt{D_I^2 + D_V^2 + S_H^2}$  por lo que obedece la igualdad:  $S_N = \sqrt{S^2 - S_{11}^2}$ .

#### -Potencia no activa aparente (N):

Este parámetro permite dimensionar qué parte de la potencia aparente consumida por el electrodoméstico no puede ser transformada en trabajo o calor. Como ya se explicó, se busca minimizar la potencia no activa que se le demanda a la red ya que puede producir sobrecargas y pérdidas sin ser potencia útil para el fin con el que se quiere utilizar el electrodoméstico. Se calcula de la siguiente manera:

$$N = \sqrt{S^2 - P^2}$$

En el caso de ausencia de distorsión la potencia no activa aparente es igual a la potencia reactiva fundamental.