

Introducción a las armónicas

Se le asigna mucha importancia a las armónicas. Sabemos que el exceso de distorsión armónica puede causar problemas de calidad de suministro debido al calor generado. Estos problemas de calidad de suministro pueden incluir el sobrecalentamiento de cables de neutro, transformadores y motores.

¿Qué son las armónicas?

- IEEE 519 define una armónica como una componente de orden superior a 1 de la serie de Fourier de una cantidad periódica.
- IEC 61000-4-30 define una frecuencia armónica como una frecuencia que es un múltiplo entero de la frecuencia fundamental.
- IEC 61000-4-30 define una componente armónica como cualquiera de las componentes que tiene una frecuencia armónica.

Las cargas lineales, tales como las lámparas incandescentes y los motores consumen corriente de la misma manera en toda la forma de onda. En resumen, una armónica es una distorsión de forma de onda que tiene componentes sinusoidales que son múltiplos de la frecuencia fundamental.

Por ejemplo, en un sistema de 60 Hz, la armónica 3, también llamada "armónica de tercer orden", es de 180 Hz. ($3 \times 60 = 180$). Por ejemplo, en un sistema de 50 Hz, la armónica 3, también llamada "armónica de tercer orden", es de 150 Hz. ($3 \times 50 = 150$).

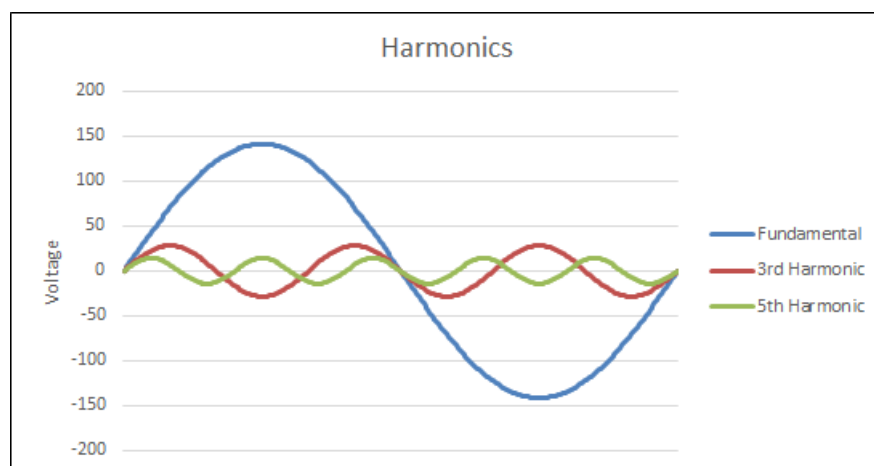


Figura 1

¿Por qué identificamos las distorsiones armónicas en base a su orden armónico?

Se puede representar una forma de onda de dos maneras diferentes. Podemos representar una forma de onda en el dominio del tiempo. En el dominio del tiempo miramos a la amplitud

Introducción a las armónicas

instantánea de la forma de onda a lo largo de un período de tiempo dado, como se muestra en la figura 2. Esta es la forma en que normalmente representamos una forma de onda.

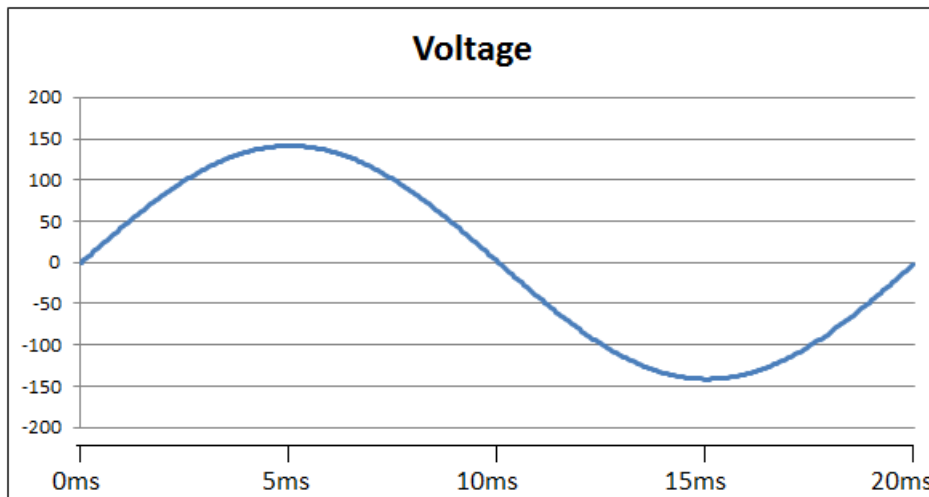


Figura 2

El eje X representa el tiempo.

El eje Y representa la magnitud.

De modo que en el dominio del tiempo observamos a la magnitud sobre un período de tiempo.

La figura 3 muestra una forma de onda distorsionada en el dominio del tiempo. La observación de esta forma de onda no nos ayuda a entender la naturaleza y posibles causas de la distorsión.

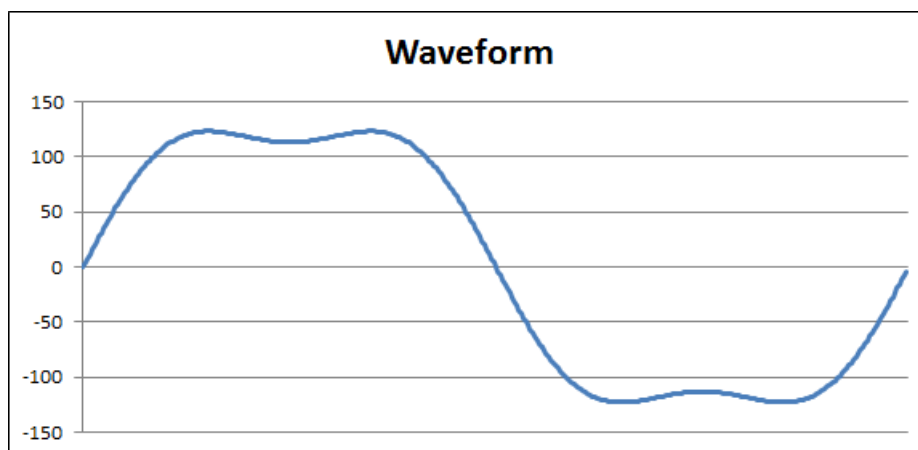


Figura 3

Introducción a las armónicas

Una forma de onda se puede definir también como la suma de diferentes frecuencias. Por ejemplo, la figura 4 muestra una forma de onda que es la suma de una forma de onda de 60 Hz con 100 V de magnitud y una forma de onda de 180 Hz con magnitud de 20 V.

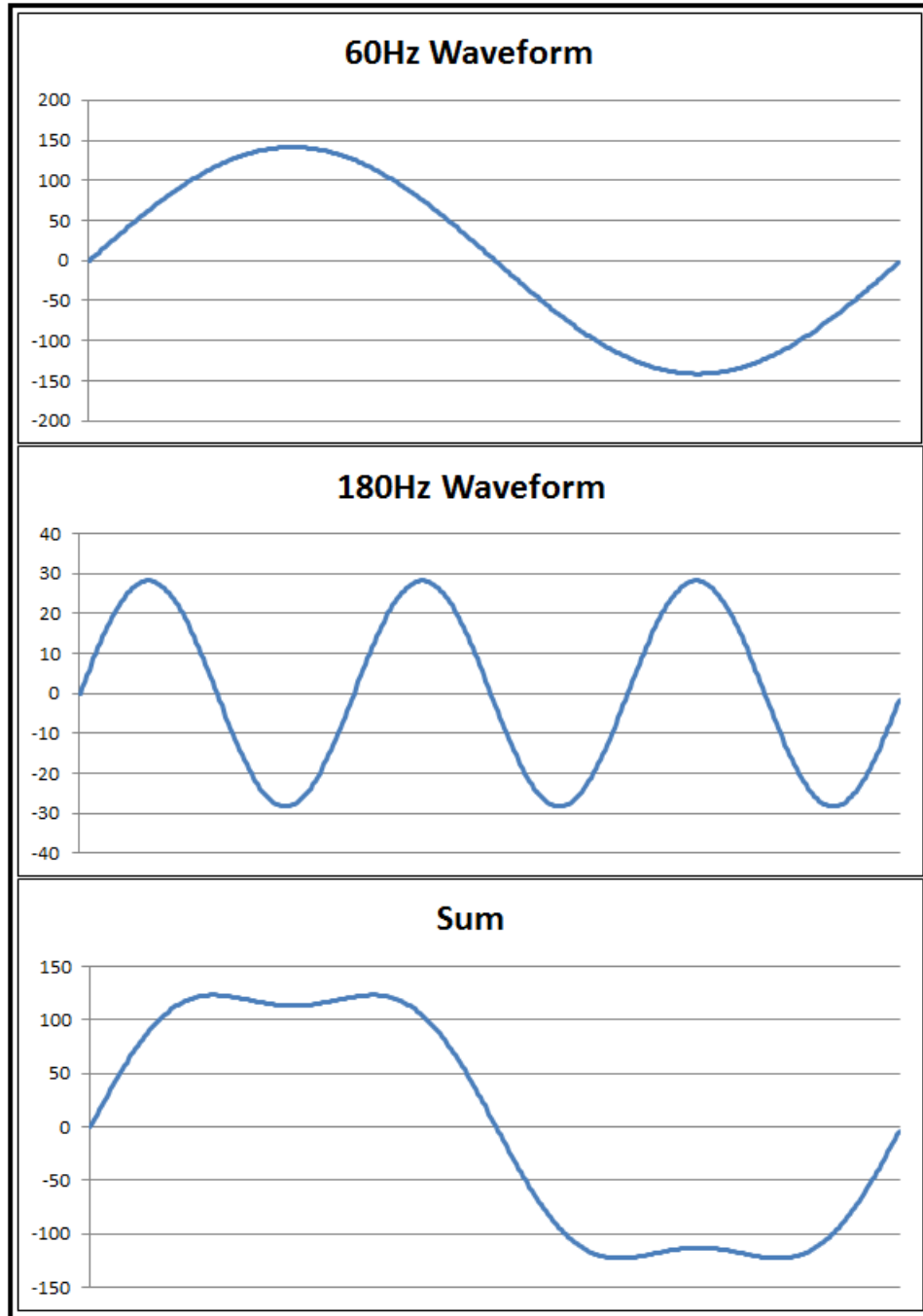


Figura 4

Introducción a las armónicas

Podemos ver una forma de onda en el dominio de la frecuencia como la suma de varias frecuencias con diferentes amplitudes.

Si examinamos nuestra forma de onda distorsionada de la figura 3 en el dominio de la frecuencia, veremos una imagen muy diferente de la forma de onda.

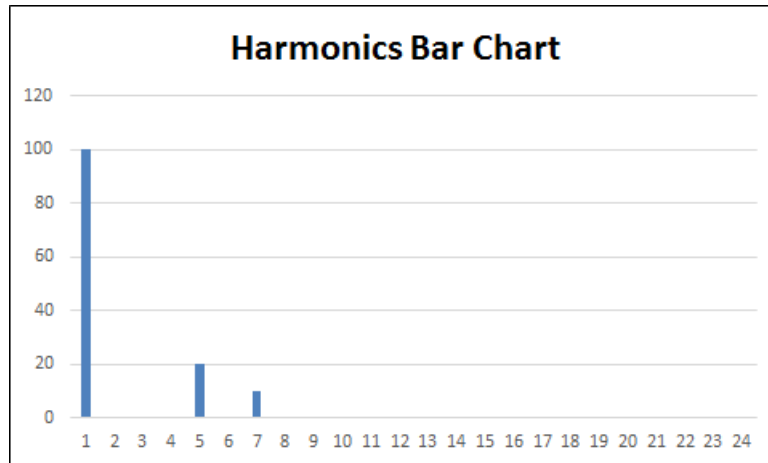


Figura 5

El eje X representa el orden de la armónica.

El eje Y representa la magnitud de cada armónica como porcentaje de la fundamental.

Al examinar la forma de onda en el dominio de la frecuencia podemos apreciar fácilmente que la distorsión armónica se debe a armónicas de quinto y de séptimo orden.

¿Qué causa las armónicas?

Las armónicas son creadas por cargas no lineales tales como fuentes de alimentación conmutadas que toman corriente solo en el pico de la onda. Cuando se aplica una tensión de CA a una carga lineal tal como un motor o una lámpara incandescente, la corriente consumida por esa carga sigue la forma de onda de la tensión de CA. Esto es porque la impedancia de una carga lineal en general permanece relativamente constante.

De modo que si analizamos la ley de Ohm veremos que si la impedancia permanece constante luego la corriente debe ser proporcional a la tensión. Vea la figura 6.

Introducción a las armónicas

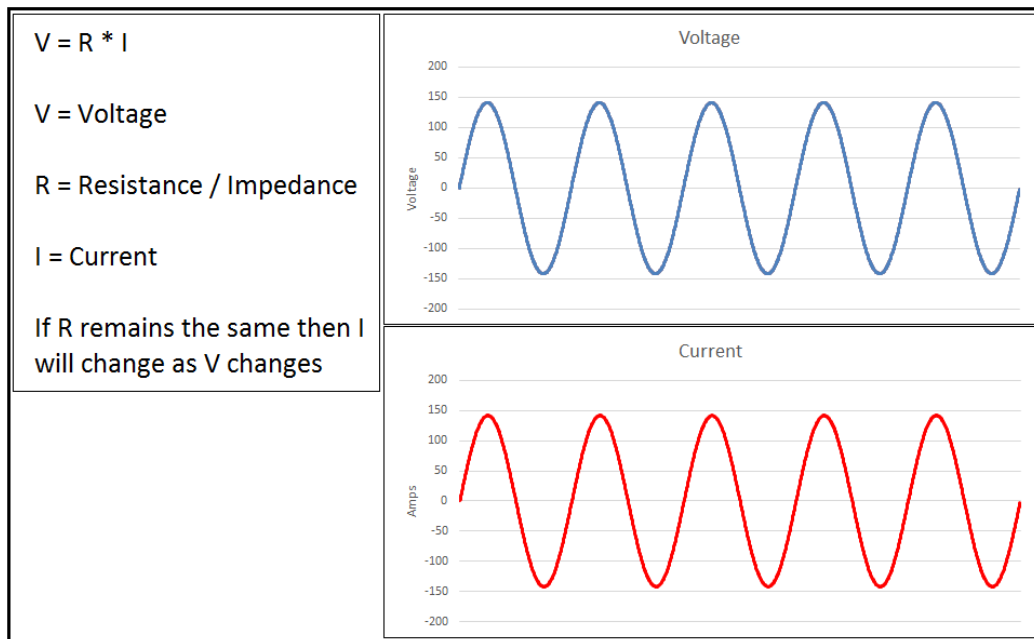


Figura 6

Cuando se aplica una tensión de CA a una carga no lineal tal como una fuente de alimentación, la corriente se consume en principio como en el pico de la forma de onda. La carga no lineal no toma corriente en forma pareja durante la forma de onda de tensión. Esto se debe a que la carga no lineal tiene rectificadores que toman corriente en una única dirección, o la carga no lineal tiene dispositivos de conmutación tales como transistores que se activan y desactivan y solo conducen corriente en tiempos específicos. (Figura 7) Esto significa que la impedancia de la carga no es constante.

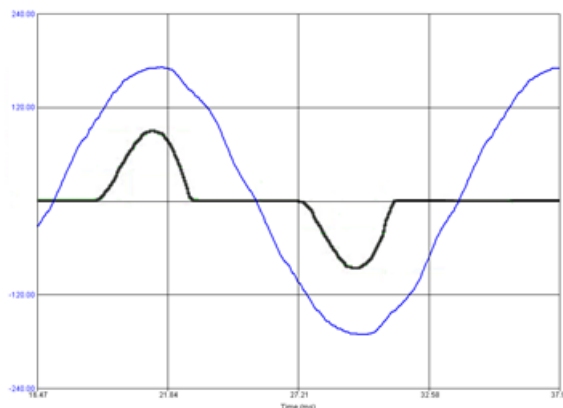


Figura 7

La figura 7 presenta la distorsión armónica de la corriente.

Introducción a las armónicas

Todas las cargas no lineales generan un grado de distorsión de corriente. Cuanto mayor sea la carga, mayor será la magnitud de la distorsión. Cuanto mayor sea la velocidad de conmutación, mayor será el orden de la armónica. La mayoría de las cargas actuales son no lineales, de modo que es común observar armónicas de corriente. Si la magnitud de las armónicas de corriente no es muy alta, no se observará distorsión armónica en la forma de onda de la tensión. Sin embargo, si la magnitud de las armónicas de corriente resulta muy alta, las mismas empezarán a afectar a la tensión. En ese caso observaremos distorsión armónica de la tensión (Figura 8).

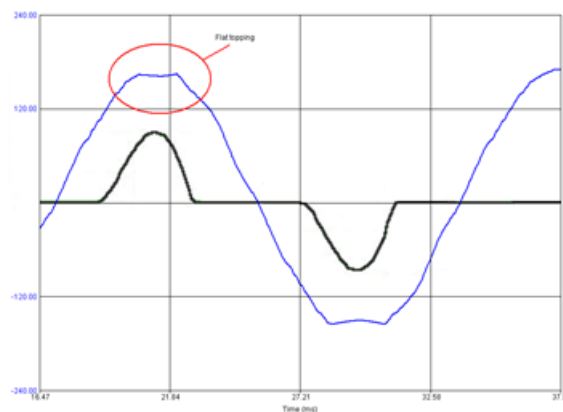


Figura 8

Una forma común de distorsión de tensión es el aplanamiento de los picos. (Figura 8). Esto sucede debido a excesivas armónicas de tercer orden en la corriente, que recortan el pico de la forma de onda de tensión. Esto induce una tercera armónica en la tensión. Una vez que las armónicas afectan a la forma de onda de la tensión, pueden propagarse a través de transformadores. Una forma de onda distorsionada que ingresa significa una forma de onda distorsionada que sale.

¿Por qué las armónicas generan calor en cables, transformadores y motores?

Una corriente al pasar por un conductor genera un campo magnético. A su vez, cuando un campo magnético alternante cruza un conductor, se induce una corriente en ese conductor. El campo magnético cambiante puede causar bucles de corriente en los conductores. Estas se conocen como corrientes parásitas (Figura 9).

Introducción a las armónicas

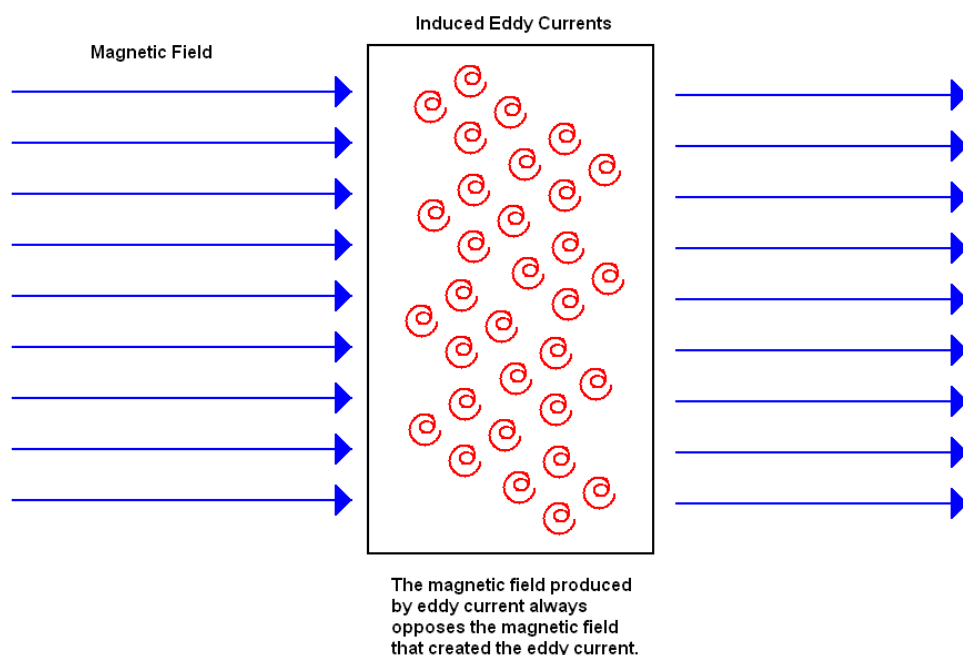


Figura 9

Las corrientes parásitas inducen campos magnéticos que se oponen a los campos magnéticos que los crearon. La repulsión de los campos magnéticos aumenta la resistencia en el conductor. Esto a su vez se traduce en calor y pérdida de potencia. Las armónicas de mayores frecuencias aumentarán la energía de las corrientes parásitas.

Categorización de las armónicas

Las armónicas se categorizan en base a sus características similares. Las armónicas se pueden categorizar en base a su orden. Cuando se las categoriza por su orden se las agrupa en armónicas impares, armónicas pares y triples.

Las armónicas impares son armónicas con números de orden impar. Las armónicas impares son simétricas y serían producidas normalmente por cargas no lineales (Figura 10).

Introducción a las armónicas

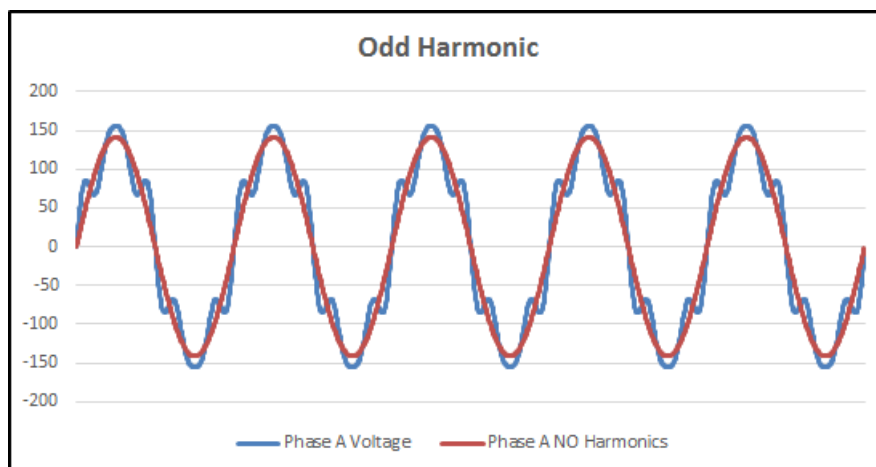


Figura 10

Las armónicas pares son armónicas con números de orden par. Las armónicas pares son asimétricas. Se debe evitar cualquier nivel significativo de armónicas pares. Las armónicas pares se deben en general a rectificadores con fallas en cargas no lineales. Por ese motivo son asimétricas (Figura 11).

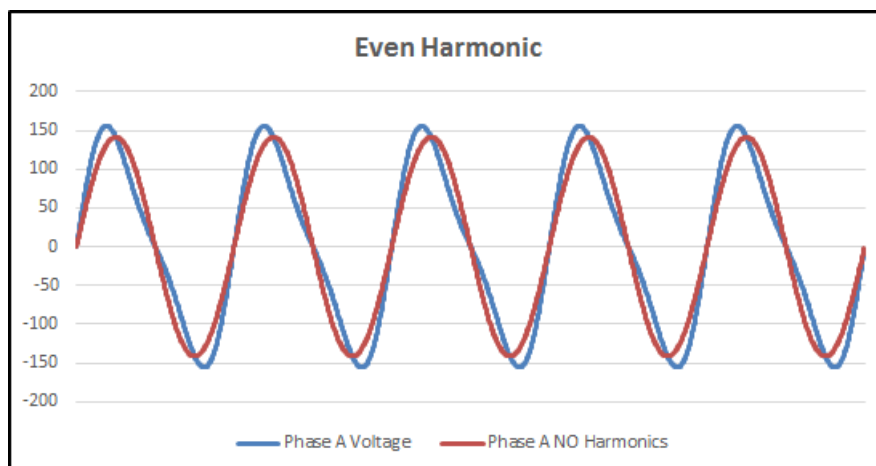


Figura 11

Las triples son armónicas impares que son múltiplos de 3 (Figura 12).

Introducción a las armónicas

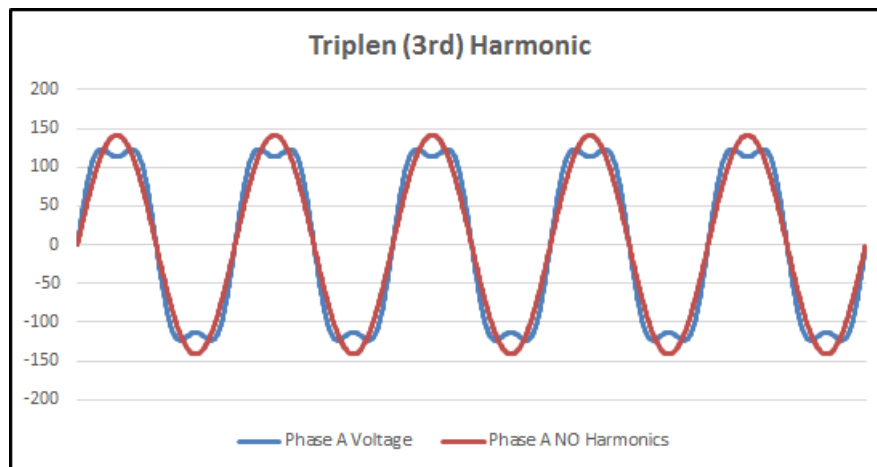


Figura 12

Las armónicas triples causan altas corrientes de neutro. Las formas de onda consisten en picos y valles. Las diferentes formas de onda de frecuencia en general se cancelarán en forma parcial. Esto es porque los picos y los valles no están alineados. Las armónicas triples no se cancelan. Sus efectos se suman para crear valores mayores. Esto se traduce en altas corrientes de neutro.

Las armónicas también se pueden caracterizar por su secuencia. Esto se basa en la rotación de su campo magnético. Las armónicas de secuencia positiva crean un campo magnético que gira en la misma dirección que la fundamental. La frecuencia fundamental se considera como una armónica de secuencia positiva.

Las armónicas de secuencia negativa tienen campos magnéticos que giran en la dirección opuesta a la fundamental. Esto reduce el par motor y aumenta la corriente requerida para accionar a los motores.

Las armónicas de secuencia cero tienen campos magnéticos que no tienen rotación de fase. Estas armónicas pueden aumentar la demanda total de corriente y generar calor. En sistemas trifásicos, las corrientes fundamentales se cancelarán mutuamente, lo que se traduce en cero amperios en la línea de neutro. Las armónicas de secuencia cero (tales como la tercera armónica) estarán en fase con las otras corrientes del sistema trifásico. Dado que están en fase, sus amplitudes se suman y se pueden traducir en altas corrientes de neutro.

Introducción a las armónicas

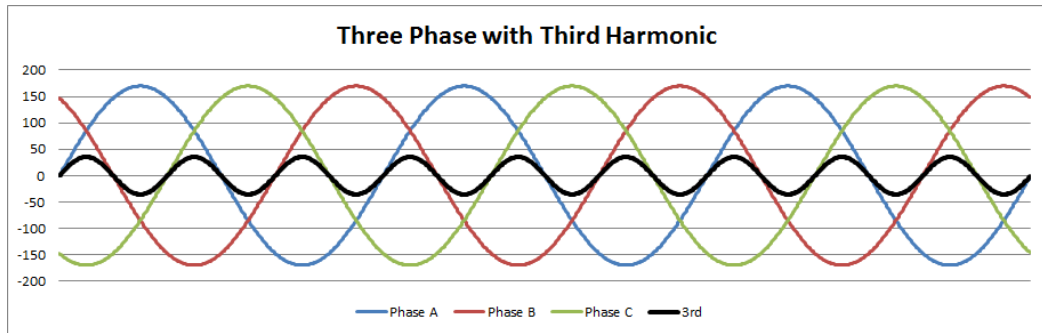


Figura 13

¿Como podemos identificar la secuencia de los diferentes órdenes de armónicas?

Las armónicas de secuencia positiva, negativa y cero corren en orden secuencial (positiva, negativa y luego cero). Dado que la frecuencia fundamental es positiva, eso significa que la armónica de segundo orden es una armónica de secuencia negativa. La tercera armónica es una armónica de secuencia cero.

50Hz Harmonics Frequencies			60Hz Harmonics Frequencies		
Harmonic	Frequency	Note	Harmonic	Frequency	Note
0	0	DC	0	0	DC
1	50	Fundamental	1	60	Fundamental
2	100	Negative Seq.	2	120	Negative Seq.
3	150	Zero Sequence	3	180	Zero Sequence
4	200	Positive Seq.	4	240	Positive Seq.
5	250	Negative Seq.	5	300	Negative Seq.
6	300	Zero Sequence	6	360	Zero Sequence
7	350	Positive Seq.	7	420	Positive Seq.
8	400	Negative Seq.	8	480	Negative Seq.
9	450	Zero Sequence	9	540	Zero Sequence
10	500	Positive Seq.	10	600	Positive Seq.
11	550	Negative Seq.	11	660	Negative Seq.
12	600	Zero Sequence	12	720	Zero Sequence
13	650	Positive Seq.	13	780	Positive Seq.
14	700	Negative Seq.	14	840	Negative Seq.
15	750	Zero Sequence	15	900	Zero Sequence
<i>The Fundamental has a Positive Sequence</i>			<i>The Fundamental has a Positive Sequence</i>		

Figura 14

La tabla siguiente muestra la rotación de fase para un sistema trifásico de 60 Hz en estrella. La fase A presenta múltiples ángulos 0°, 360°, 720°, 1080°...etc. Todos estos ángulos son fase A,

Introducción a las armónicas

son todos el mismo. Todos representan una diferente cantidad de rotaciones enteras. Una rotación completa produce 360° , otra rotación completa produce 720° , y así sucesivamente. Lo mismo sucede para los ángulos de la fase B y los de la fase C.

Podemos usar este diagrama para entender las secuencias de armónicos.

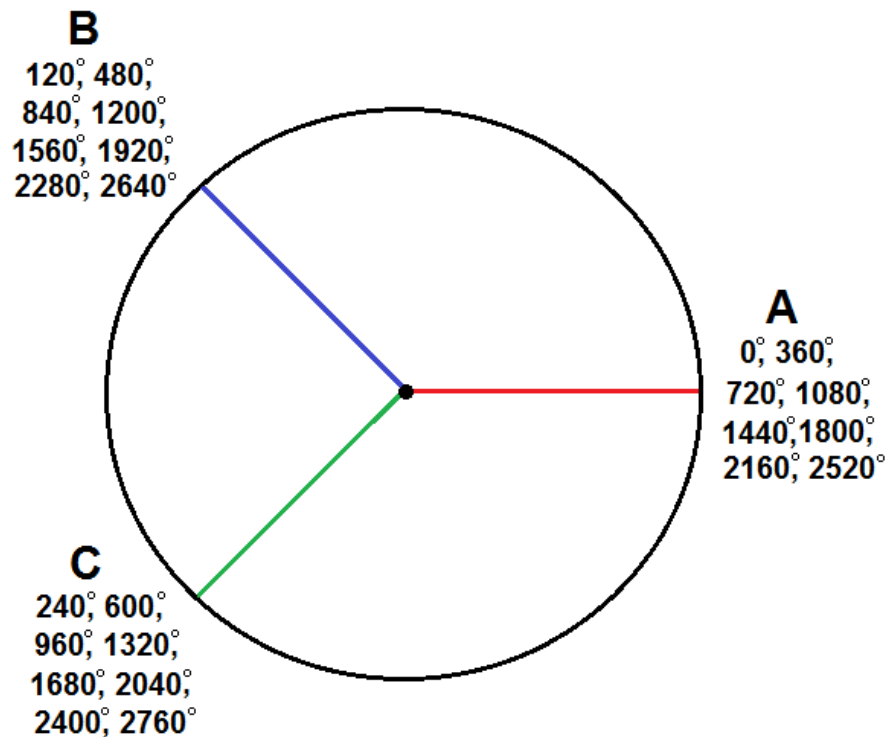


Figura 15

Para entender la rotación de fase de las armónicas de secuencia positiva, negativa y cero vamos a usar como ejemplo un sistema de 60 Hz. La fundamental (60 Hz) se considera la armónica de primer orden, donde la fase A está a 0° , la fase B está a 120° y la fase C está a 240° . Esta es la rotación de secuencia positiva. Si examinamos la rotación de fase abajo, veremos que produce una rotación contraria a las agujas del reloj.

Examinemos ahora la armónica de quinto orden, que es una armónica de secuencia negativa. Para determinar las rotaciones de fase para este ángulo debemos tomar los ángulos de las fases A, B y C y multiplicarlos por el orden armónico, en este caso por 5.

$$\text{Fase A } (0^\circ * 5) = 0^\circ$$

$$\text{Fase B } (120^\circ * 5) = 600^\circ$$

Introducción a las armónicas

Fase C ($240^\circ * 5$) = 1200°

Si examinamos esta rotación de fase abajo, veremos que produce una rotación en el sentido de las agujas del reloj. Ese sentido es opuesto al de la fundamental, y por lo tanto es de secuencia negativa.

Examinemos ahora la armónica de tercer orden, que es una armónica de secuencia cero. Para determinar las rotaciones de fase para este ángulo debemos tomar los ángulos de las fases A, B y C y multiplicarlos por el orden armónico, en este caso por 3.

Fase A ($0^\circ * 3$) = 0°

Fase B ($120^\circ * 3$) = 360°

Fase C ($240^\circ * 3$) = 720°

Si examinamos esta rotación de fase abajo, veremos que no produce rotación. Todas están en fase, y por lo tanto esta es una armónica de secuencia cero. La tabla siguiente nos muestra la secuencia de armónicas de algunas armónicas que observamos en sistemas de potencia.

Harmonic	Phase A	Phase B	Phase C	Rotation	Sequence
1	0	120	240	ABC	Positive Seq.
3	$0 \times 3 = 0$	$120 \times 3 = 360$	$240 \times 3 = 720$	No Rotation	Zero Seq.
5	$5 \times 0 = 0$	$5 \times 120 = 600$	$5 \times 240 = 1200$	ACB	Negative Seq.
7	$7 \times 0 = 0$	$7 \times 120 = 840$	$7 \times 240 = 1680$	ABC	Positive Seq.
9	$9 \times 0 = 0$	$9 \times 120 = 1080$	$9 \times 240 = 2160$	No Rotation	Zero Seq.
11	$11 \times 0 = 0$	$11 \times 120 = 1320$	$11 \times 240 = 2640$	ACB	Negative Seq.

Figura 16

RESUMEN

En redes eléctricas modernas vemos una multitud de diferentes tipos de cargas. La cantidad de cargas no lineales aumenta continuamente. Es esencial entender las causas y los efectos de los diferentes órdenes de armónicas para resolver una cantidad de problemas de calidad de suministro. En el siguiente documento técnico discutiremos los efectos que tienen las armónicas en transformadores y motores. También discutiremos como reducir la especificación de transformadores usando un factor K.

NOTA DE APLICACIÓN



Introducción a las armónicas