



ABB drives

Guía técnica nº 6

Guía de los armónicos con accionamientos de CA

Power and productivity
for a better world™



Guía técnica nº 6

Guía de los armónicos con accionamientos de CA

Contenido

Capítulo 1 - Introducción.....	7
General.....	7
Capítulo 2 - Fundamentos de los fenómenos por armónicos.....	8
Capítulo 3 - Fuentes de distorsión por armónicos y efectos	10
Capítulo 4 - Cálculo de la distorsión por armónicos mediante el software DriveSize	11
4.1 Diagrama de circuitos para el ejemplo de cálculo	11
4.2 Datos de entrada para la carga del motor	11
4.3 Selección del motor	12
4.4 Selección del inversor	12
4.5 Datos de la unidad de alimentación del inversor	12
4.6 Entrada de datos de red y transformador	13
4.7 Calculated harmonic current and voltage	13
4.8 Corrientes armónicas calculadas en formato gráfico	13
4.9 Parte del informe impreso	14
Capítulo 5 - Normas para los límites de armónicos.....	15
5.1 EN 61800-3 (IEC 1800-3) Sistemas de accionamiento de potencia eléctrica de velocidad ajustable	15
5.2 IEC 61000-2-2, Compatibilidad electromagnética (EMC)	16
5.3 IEC 61000-2-4, Compatibilidad electromagnética (EMC)	16
5.4 IEC 61000-3-2, Compatibilidad electromagnética (EMC).....	16
5.5 IEC 61000-3-4, Compatibilidad electromagnética (EMC).....	16
5.6 IEEE 519, Prácticas recomendadas y requisitos IEEE para el control de armónicos en sistemas de potencia eléctrica.....	17
Capítulo 6 - Evaluación de armónicos	19
Capítulo 7 - Reducción de armónicos con modificaciones estructurales en el sistema de accionamiento de CA.....	20
7.1 Factores en el accionamiento de CA que tienen efecto en los armónicos	20
7.2 Tabla: Lista de los distintos factores y sus efectos.....	21
7.3 Empleo de un rectificador de diodos de 6 pulsos	21
7.4 Empleo de un rectificador de diodos de 12 pulsos o 24 pulsos.....	22
7.5 Empleo de un rectificador de tiristores controlado por fase.....	22
7.6 Empleo de un puente de IGBT	23
7.7 Empleo de un inductor de CA o CC mayor.....	24

Capítulo 8 - Otros métodos para la reducción de armónicos.....	27
8.1 Tuned single arm passive filter	27
8.2 Tuned multiple arm passive filter	27
8.3 External active filter	28
Capítulo 9 - Resumen de la atenuación de armónicos	30
9.1 Rectificador de 6 pulsos sin inductor	30
9.2 Rectificador de 6 pulsos con inductor.....	30
9.3 Rectificador de 12 pulsos con transformador polycon	30
9.4 Rectificador de 12 pulsos con transformador de bobinado doble..	30
9.5 Rectificador de 24 pulsos	31
9.6 Rectificador de IGBT activo.....	31
Capítulo 10 - Definiciones	32
Índice.....	34

Capítulo 1 - Introducción

Generalidades

Esta guía constituye una adición a la serie de guías técnicas de ABB, y en ella se describe la distorsión provocada por los armónicos, sus fuentes y sus efectos, así como el cálculo de la distorsión y su evaluación. Se ha prestado una especial atención a los métodos relativos a la reducción de armónicos en los accionamientos de CA.

Capítulo 2 - Fundamentos de los fenómenos por armónicos

Las intensidades y tensiones de armónicos se crean a partir de cargas no lineales conectadas al sistema de distribución de potencia. La distorsión por armónicos es una forma de contaminación en la planta eléctrica que puede provocar problemas si la suma de las intensidades de armónicos supera ciertos límites.

Todos los convertidores electrónicos de potencia empleados en distintos tipos de sistemas electrónicos pueden aumentar las perturbaciones por armónicos introduciendo intensidades de armónicos directamente hacia la red. La Figura 2.1 muestra cómo los armónicos en intensidad (i_h) en la intensidad de entrada (i_s) de un convertidor electrónico de potencia afectan a la tensión de alimentación (u_t).

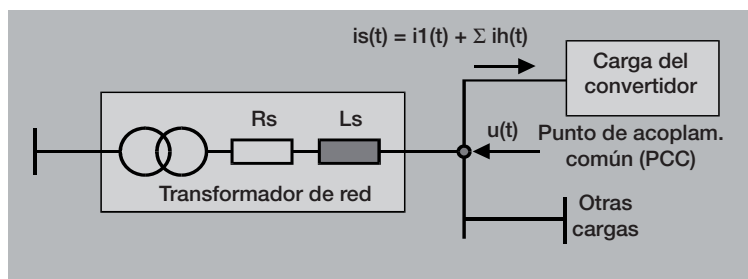


Figura 2.1 Planta con carga del convertidor, transformador de red y otras cargas

La intensidad de red de un rectificador puede calcularse a partir de la intensidad de salida directa mediante la fórmula siguiente.

$$I'_1 = \sqrt{\frac{2}{3}} * I_d, \text{ donde}$$

$$I'_1 = \text{la intensidad de red fundamental y}$$

$$I_d = \text{salida de intensidad directa del rectificador.}$$

La corriente fundamental es pues

$$I_1 = I'_1 * \frac{3}{\pi}$$

En un caso teórico en el que la intensidad de salida puede estimarse como intensidad de cc limpia, las frecuencias de intensidad de armónicos de un rectificador trifásico de 6 pulsos es n veces la frecuencia fundamental (50 ó 60 Hz). Los números de orden n se calculan con la fórmula siguiente:

$$n = 6k \pm 1, \text{ donde } k = 1, 2, 3, \dots$$

Los valores eficaces de los componentes armónicos son:

$$I_{ni} = \frac{I_1}{n}$$

y los componentes armónicos son los que se muestran en la Figura 2.2.

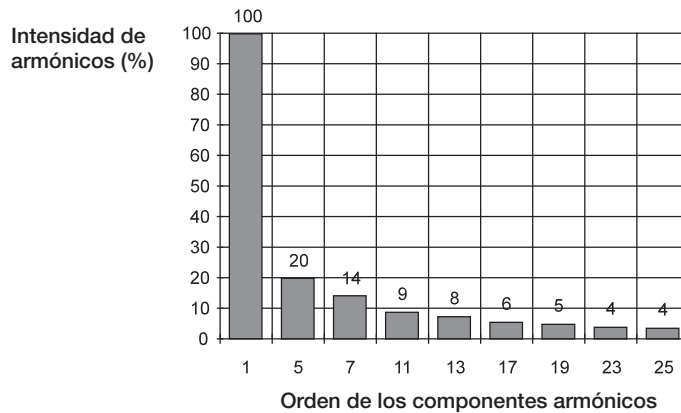


Figura 2.2 Contenido de armónicos en la intensidad rectangular de un rectificador de 6 pulsos

El principio del modo en el que los componentes armónicos se suman a la intensidad fundamental se muestran en la Figura 2.3, en la que solamente se muestra el quinto armónico.

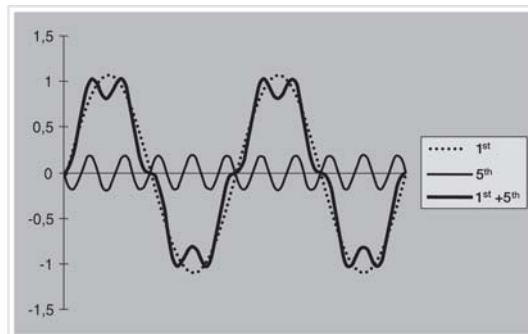


Figura 2.3 La intensidad total como la suma de la fundamental y el quinto armónico

Capítulo 3 - Fuentes de distorsión por armónicos y

Las cargas no lineales comunes incluyen los arrancadores de motores, los convertidores de velocidad variable, los ordenadores y otros dispositivos electrónicos, la iluminación electrónica, las alimentaciones para soldadura y las fuentes de alimentación ininterrumpida.

Los efectos de los armónicos pueden consistir en el sobrecalentamiento de los transformadores, cables, motores, generadores y condensadores conectados a la misma fuente de alimentación que los dispositivos que generan los armónicos. Es posible que las pantallas electrónicas y la iluminación experimenten fluctuaciones, que se disparen los interruptores, que fallen los ordenadores y que las mediciones arrojen valores falsos.

Si se desconoce la causa de los síntomas anteriores, entonces se justifica la investigación de la distorsión por armónicos en la distribución eléctrica de la planta. Es probable que los efectos se manifiesten en la planta del cliente antes que en el sistema de utilidad. Esta Guía Técnica se ha publicado para ayudar a los clientes a comprender los posibles problemas provocados por los armónicos y a asegurarse de que los niveles de distorsión por armónicos no son excesivos.

Capítulo 4 - Cálculo de la distorsión por armónicos mediante el software

Las corrientes armónicas provocan una distorsión de la tensión de red. En principio, los armónicos de la tensión pueden calcularse en cualquier punto de la red si se conocen las corrientes armónicas y la impedancia de fuente correspondiente. Los diagramas de circuitos en la Figura 4.1 . muestran la red que alimenta al convertidor y las demás partes esenciales de la instalación. El software ABB DriveSize se emplea en el ejemplo de cálculo.

4.1 Diagrama de circuitos para el ejemplo de cálculo

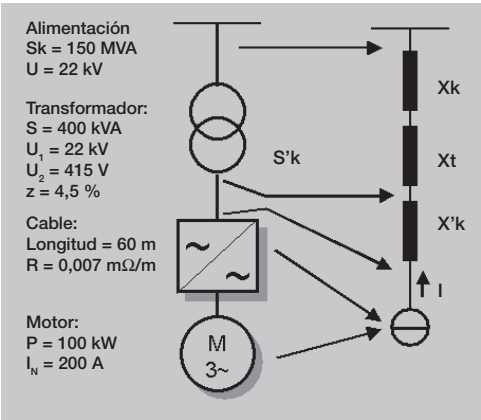


Figura 4.1. Red que alimenta a un convertidor de frecuencia en la parte central y su diagrama equivalente a la derecha. Los datos del ejemplo se encuentran a la izquierda.

4.2 Datos de entrada para la carga del motor

Carga motor

Tipo carga:

Tipo sobrec.:

	mín	base	máx
Veloc. [rpm]	0	1450	1500
Pot. [kW]	0	100	100
Sobrec. [%]		100	100

Tpo. sobrec. [s] cada [s]

Figura 4.2. Los datos de carga del motor más importantes para el cálculo de armónicos son la potencia base en kW.

4.3 Selección del motor

Datos motor selecc. M2BA 315 SMC 6	
Selección	DriveSize
Tensión [V]	415
Conexión	D
Frecuencia [Hz]	50
Potencia [kW]	110
Polos	6
Velocidad [rpm]	992
Vel. máx. mec. [rpm]	2300
Intensidad [A]	197
Par [Nm]	1060
T máx/Tn	3,2
Factor de potencia	0,82
Rendimiento [%]	95,6
Clase aislamiento	F

Figura 4. 3. El software realiza la selección del motor para la carga definida. Si es necesario, hay una opción disponible para seleccionar un motor distinto del seleccionado por DriveSize.

4.4 Selección del inversor

Datos inversor selecc. ACS607-0140-3	
Selección	Usuario
Método de selecc.	Intens. (normal)
Tensión [V]	400
Pot. convert. [kVA]	140
Pn [kW]	110
Icont normal [A]	216
Imáx normal [A]	238
Ptp [kW]	90
Icont Trab. pes. [A]	178
Imáx Trab. pes. [A]	267
Pulso	6
Tipo bastidor	R8
P&F 12Ncuad [A]	260

4.4. La selección del inversor se basa en la anterior selección del motor y, en este caso, el usuario también tiene la opción de seleccionar el inversor manualmente.

4.5 Datos de la unidad de alimentación del inversor

Datos udad. alim.	
Nº pulsos	6
Lv [μH]	110
Ccc [mF]	4,95
Ucc [V]	560
Icc [A]	191

Figura 4.5. Los datos de la unidad de alimentación los define DriveSize según el tipo de inversor seleccionado.

4.6 Entrada de datos de red y transformador

Datos de red y transformador

Tensión primario [V]

22000

Tensión secundario [V]

415

Frecuencia [Hz]

50

Sk red [MVA]

150

☐ desconocido

Sn transform. [kVA]

400

Pk transform. [kW]

3,0

Zk transform. [%]

3,8

Tipo de cable alim.

☒ Cable ☐ Embarrado

Cantidad de cables

3

Impedancia [$\mu\Omega$]

70

Longitud cable [m]

60

Figura 4.6. Ésta es la entrada de datos de red y transformador. Para los transformadores ABB estándar, los datos se muestran de forma automática.

4.7 Corriente y tensión armónicas calculadas

DTH

Intens.

Tensión

Result.

47,1 %

0,2 %

Cál. IEEE 0,2 % /

0,2 % /

Lim. IEEE 15,0 %

0,5 %

Datos

☒ Parte del primario

☐ Parte del secundario

Modo vista

☒ Tabla

☐ Gráfico

n	f [Hz]	Intens. [A]	In/I1	Tensión [V]
1	50	2,8	100,0 %	21996,6
5	250	1,2	41,2 %	32,9
7	350	0,6	19,5 %	21,7
11	550	0,2	8,6 %	15,1
13	650	0,2	5,6 %	11,7
17	850	0,1	4,2 %	11,3
19	950	0,1	2,7 %	8,1
23	1150	0,1	2,3 %	8,2
25	1250	0,0	1,4 %	5,5
29	1450	0,0	1,2 %	5,3
31	1550	0,0	0,8 %	3,7
35	1750	0,0	0,5 %	3,0
37	1850	0,0	0,6 %	3,3

Figura 4.7. Los armónicos se calculan efectuando una transformación de Fourier discreta a la intensidad de fase simulada de la unidad de entrada. Se utilizan varias clases de modelos de circuito, uno para SingleDrive con inductores de CA y uno para la alimentación por diodos y tiristores con inductores de CC. También existen modelos para conexiones de 6, 12 y 24 pulsos

4.8 Corrientes armónicas calculadas en formato gráfico

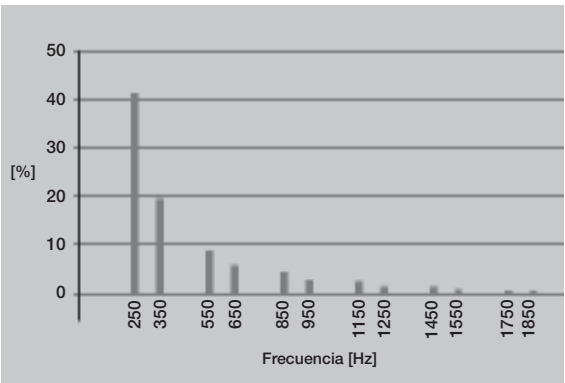


Figura 4.8. Los resultados de los cálculos pueden visualizarse en formato tabular, como se muestra en este ejemplo, o como un gráfico.

4.9 Parte del informe impreso

ABB						
Comprobación de red		ACS607-0140-3				
Datos de red y transformador		Datos udad. aliment.				
Tensión normal [V]	22000 (parte primario)	Nº pulsos		6		
Frecuencia [Hz]	50	Lv [µH]		110		
Sk red [MVA]	150	Ccc [mF]		4,95		
Sn transform. [kVA]	400	Ucc [V]		560		
Pk transform. [kW]	3,0	Icc [A]		191		
Zk transform. [%]	3,8					
Tipo de cable alim.	Cable					
Cantidad de cables	3					
Longitud de cable	60					
Resultado		Límites IEEE 519 cálc/límite				
Cosφi	0,999	Intens. DTH	47,1 %	Intens. DTH	0,2 %/15,0 %	
Factor potencia tot.	0,90	Tensión DTH	0,2 %	Tensión DTH	0,2 %/5,0 %	
Unmax mot.	98 %					

Figura 4.9. Los datos de entrada y los resultados calculados pueden imprimirse como un informe, que aquí se muestra en parte.

Capítulo 5 - Normas para los límites de armónicos

Las normas nacionales e internacionales más comunes que definen límites para los armónicos se describen a continuación. La Figura 5.1 se muestra como un ejemplo de los límites de distorsión por armónicos.

5.1 EN 61800-3 (IEC 61800-3) Sistemas de accionamiento de potencia eléctricos de velocidad ajustable

Parte 3: Norma de producto EMC que incluye métodos de comprobación específicos

Los países en el Área Económica Europea (AEE) han acordado unos requisitos reglamentarios mínimos para garantizar la libre circulación de productos dentro del AEE. El Etiquetaje CE indica que el producto funciona de conformidad con las directivas que son válidas para el producto. Las directivas indican los principios que deben observarse, y las normas especifican los requisitos que deben satisfacerse. EN 61800-3 es la norma de producto EMC de los sistemas de accionamiento de potencia eléctricos de velocidad ajustable (PDS). La condición mínima para la libre comercialización de los convertidores electrónicos de potencia dentro del AEE es el cumplimiento de esta norma.

EN 61800-3 indica que el fabricante deberá proporcionar, dentro de la documentación del PDS o bajo petición, el nivel de armónicos en intensidad, en condiciones nominales y en forma de porcentaje de la intensidad nominal fundamental en la entrada de potencia. Los valores referenciados se calcularán para cada orden por lo menos hasta el vigesimoquinto. La THD de intensidad (órdenes hasta el 40 inclusive) y su PHD de componentes de alta frecuencia (órdenes del 14 al 40, ambos inclusive) deberán evaluarse. Para estos cálculos estándar, se asumirá que el PDS está conectado a un PC con $R_{sc} = 250$ y con una distorsión de tensión inicial menor que el 1%. La impedancia interna de la red se asumirá como una reactancia pura.

En una red de alimentación pública de baja tensión, los límites y los requisitos de IEC 61000-3-2 se aplican al equipo con una intensidad nominal < 16 A. El uso de la próxima IEC 61000-3-4 se recomienda para los equipos con intensidad nominal > 16 A. Si el PDS se utiliza en una instalación industrial, debe emplearse un enfoque económico razonable que tenga en cuenta la totalidad de la instalación. Este enfoque se basa en la potencia acordada, que puede proporcionar la fuente de alimentación en cualquier momento. El método para el cálculo de los armónicos de la instalación total se emplearse como límites de la distorsión de tensión.

5.2 IEC 61000-2-2, Compatibilidad electromagnética (EMC)

Parte 2: Entorno - Sección 2: Niveles de compatibilidad para perturbaciones conducidas de baja frecuencia y señales en sistemas de alimentación públicos de baja tensión

Esta norma define los límites de compatibilidad para las perturbaciones conducidas de baja frecuencia y las señales en sistemas de alimentación públicos de baja tensión. Los fenómenos de perturbación incluyen los armónicos, los interarmónicos, las fluctuaciones de tensión, las caídas de tensión y las interrupciones breves, los desequilibrios de tensión, etc. Básicamente, esta norma define los criterios de diseño para el fabricante del equipo, y establece los requisitos mínimos de inmunidad del equipo. IEC 61000-2-2 se equipara a los límites definidos en EN 50160 para la calidad de la tensión que el propietario de la utilidad debe proporcionar en los terminales de alimentación del cliente.

5.3 IEC 61000-2-4, Compatibilidad electromagnética (EMC)

Parte 2: Entorno - Sección 4: Niveles de compatibilidad en plantas industriales para perturbaciones conducidas de baja frecuencia

IEC 61000-2-4 es similar a IEC 61000-2-2, pero proporciona niveles de compatibilidad para redes industriales y de tipo no público. Cubre las redes de baja tensión así como las alimentaciones de tensión media, excluyendo las redes para barcos, aviones, plataformas marinas y vías de ferrocarril

5.4 IEC 61000-3-2, Compatibilidad electromagnética (EMC)

Parte 3: Límites - Sección 2: Límites para las emisiones de intensidad de armónicos (intensidad del equipo <16 A por fase)

Esta norma se centra en los límites de emisión de intensidad de armónicos del equipo individual conectado a las redes públicas. La fecha de implementación de esta norma es el 1 de enero de 2001, pero se han emprendido tareas exhaustivas para revisar la norma antes de esta fecha. Las dos razones principales para la revisión son la necesidad de que la norma cubra asimismo la tensión por debajo de 230 V y las dificultades y las contradicciones en la aplicación de la categorización del equipo facilitada en la norma.

5.5 IEC 61000-3-4, Compatibilidad electromagnética (EMC)

Esta norma se ha publicado como un Informe técnico de tipo II. Se está trabajando para convertirlo en una norma. Proporciona los límites de emisión de intensidad de armónicos para equipos individuales con una intensidad nominal de más de 16 A hasta 75 A. Se aplica a las redes públicas con tensiones nominales de 230 V y una fase hasta 600 V trifásicas.

La norma proporciona tres etapas diferentes para los procedimientos de conexión del equipo. Al satisfacerse los límites de armónicos individuales en la Etapa 1 es posible efectuar la conexión del equipo en cualquier punto en el sistema de alimentación. La Etapa 2 proporciona límites de intensidad de armónicos individuales así como la THD y su PWHD de contrapartida de alta frecuencia ponderada. Los límites se clasifican y se tabulan mediante el coeficiente de cortocircuito. La tercera etapa de la conexión se basa en el acuerdo entre el usuario y la autoridad que suministra la alimentación, basado en la potencia activa acordada de la instalación del consumidor. Si la intensidad nominal se sitúa por encima de 75 A, se aplica siempre la Etapa 3.

La estructura de esta norma suele considerarse adecuada, pero es legítimo preguntarse si el equipo de una fase y trifásico debería tener límites distintos en la Etapa 2. Es muy probable que la estructura de la norma no experimente cambios, pero la versión con el estado de la norma real contendrá límites distintos para el equipo de una fase y trifásico.

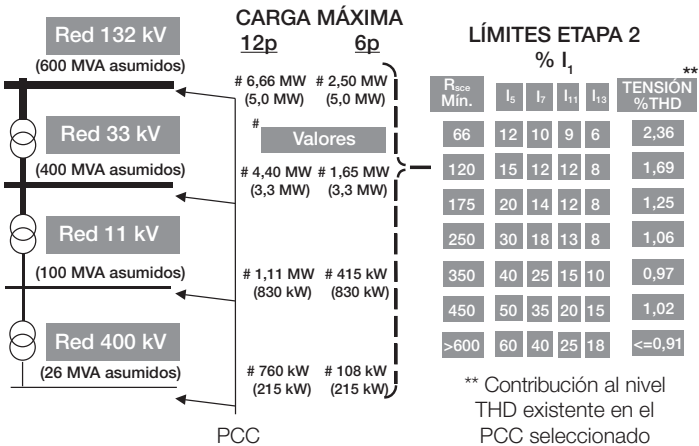


Figure 5.1 Limits on harmonics in the proposed EN61000-3-4.

5.6 IEEE 519, Prácticas recomendadas y requisitos IEEE para el control de armónicos en sistemas de potencia eléctrica

La filosofía de desarrollo de límites de armónicos en esta práctica recomendada es limitar la inyección de armónicos de clientes individuales con el fin de que no provoquen niveles de distorsión de tensión inaceptables para características de sistema normales y limitar la distorsión por armónicos global de la tensión de sistema suministrada por la utilidad. Esta norma se reconoce también como una Norma Nacional Americana y se utiliza ampliamente en los EE.UU., especialmente en el ámbito de obras públicas municipales.

La norma no proporciona límites para equipos individuales, sino para clientes individuales. Los clientes se clasifican por el coeficiente de intensidad de cortocircuito disponible (I_{sc}) y su intensidad de carga de demanda máxima (I_L) en el punto de acoplamiento común. La intensidad de carga de demanda total es la suma de las cargas lineales y no lineales. Dentro de una planta industrial, el PCC se define claramente como el punto entre la carga no lineal y otras cargas.

Las intensidades de armónicos individuales permitidas y la distorsión por armónicos total se tabulan mediante el coeficiente de intensidad de cortocircuito disponible y la intensidad de carga de demanda total (I_{sc}/I_L) en el punto de acoplamiento común. Los límites son un porcentaje de I_L para todos los armónicos pares e impares de 2 a infinito. La distorsión total por armónicos se denomina distorsión total de demanda y debería calcularse asimismo hasta infinito. Muchos autores limitan el cálculo de los componentes individuales y la TDD a 50.

La tabla 10.3 de la norma se malinterpreta algunas veces como límites para las emisiones de armónicos de un solo aparato empleando R_{sc} del equipo en lugar de I_{sc}/I_L de la totalidad de la instalación. Los límites de la tabla no deberían emplearse de este modo, dado que el coeficiente de la intensidad de cortocircuito y la intensidad de carga de demanda total de una instalación deberían emplearse siempre.

Capítulo 6 - Evaluación de armónicos

La “Guía para la aplicación de límites de armónicos en sistemas de potencia” P519A/D6 Ene 1999 introduce reglas generales para evaluar límites de armónicos en instalaciones industriales. El procedimiento se muestra en la siguiente figura.

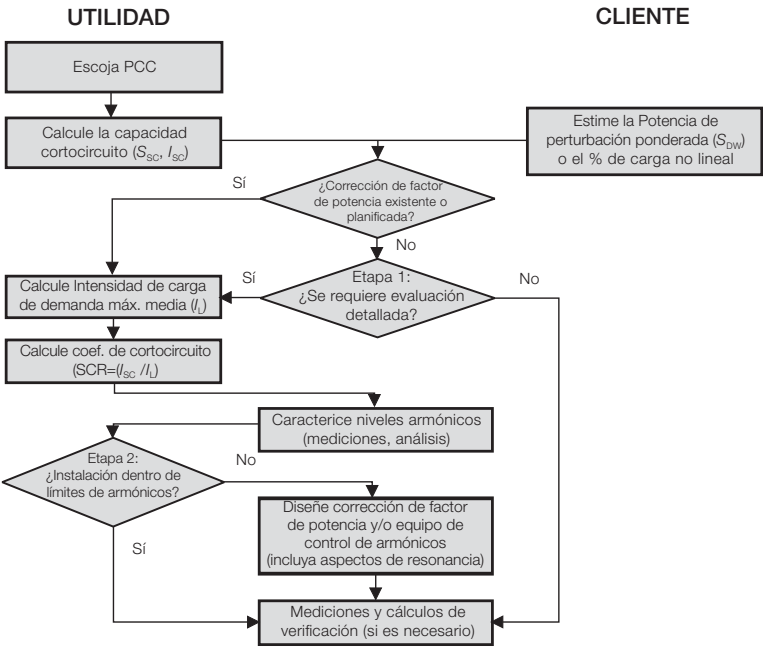


Figura 6.1 Evaluación de la distorsión por armónicos

Capítulo 7 - Reducción de armónicos con modificaciones estructurales en el sistema de accionamiento de CA

7.1 Factores en el accionamiento de CA que tienen efecto en los armónicos

La reducción de armónicos puede realizarse mediante modificaciones estructurales en el sistema de accionamiento o empleando filtrado externo. Las modificaciones estructurales pueden consistir en reforzar la alimentación, en emplear un accionamiento de 12 pulsos o más, en emplear un rectificador controlado o en mejorar el filtrado interno en el convertidor.

La Figura 7.1 muestra los factores en el sistema de accionamiento de CA que tienen algún efecto en los armónicos. Los armónicos en intensidad dependen de la estructura del convertidor y los armónicos en tensión son los armónicos en intensidad multiplicados por las impedancias de alimentación.

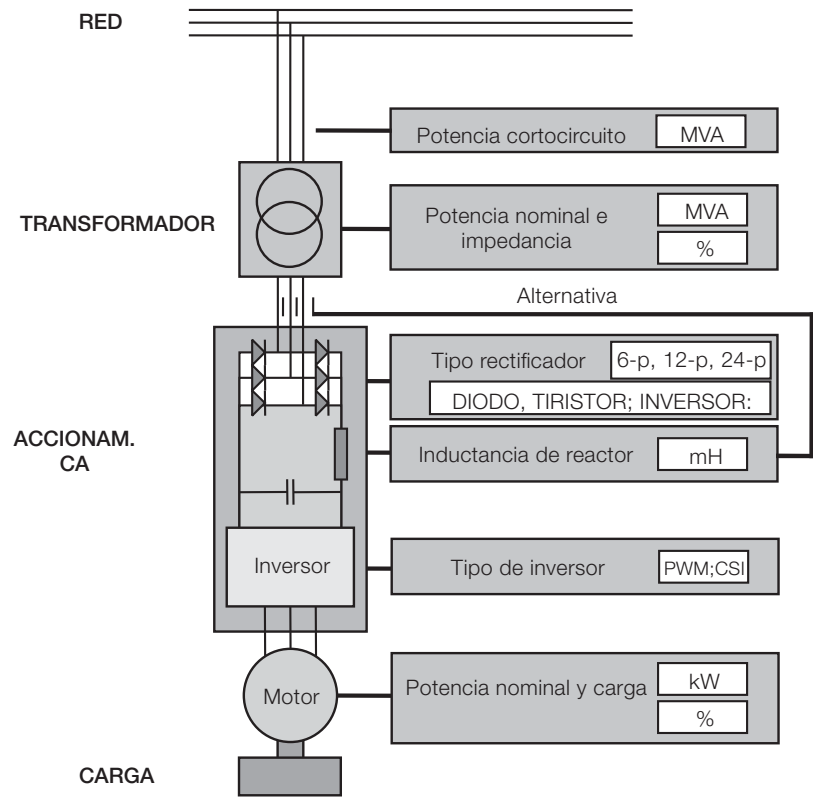


Figura 7.1 Características del sistema de accionamiento que afectan a los armónicos

7.2 Tabla: Lista de los distintos factores y sus efectos

Causa	Efecto
Para un motor mayor...	mayores armónicos en intensidad
Para una mayor carga del motor...	mayores armónicos en intensidad
A más inductancia de CC o CA...	mayores armónicos en intensidad
Para un número mayor de pulsos en el rectificador...	mayores armónicos en intensidad
Con un transformador mayor...	mayores armónicos en tensión
Menor impedancia del transformador...	mayores armónicos en tensión
Para una capacidad de cortocircuito mayor de la alimentación...	mayores armónicos en tensión

7.3 Empleo de un rectificador de diodos de 6 pulsos

Las conexiones para las distintas soluciones de rectificadores se muestran en la Figura 7.2. El circuito rectificador más común en los accionamientos de CA trifásicos es un puente de diodos de 6 pulsos. Consta de seis rectificadores o diodos no controlables y un inductor, que junto con un condensador de CC forman un filtro de paso bajo para filtrar la intensidad de CC. El inductor puede hallarse en la etapa de CC o CA o puede dejarse completamente en el exterior. El rectificador de 6 pulsos es sencillo y barato pero genera una gran cantidad de armónicos del orden bajo quinto, séptimo y undécimo, especialmente con una inductancia de filtrado reducido.

El modo de la intensidad se muestra en la Figura 7.2. Si la mayor parte de la carga consiste en convertidores con un rectificador de 6 pulsos, el transformador de alimentación tienen que sobredimensionarse y el cumplimiento de los requisitos en las normas puede llegar a complicarse. Suele ser necesario algún tipo de filtrado de armónicos.

6

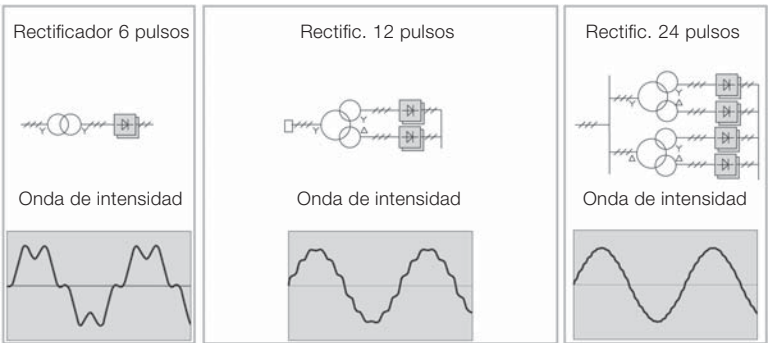


Figura 7.2 Armónicos en la intensidad de red con distintas estructuras de rectificadores

7.4 Empleo de un rectificador de diodos de 12 pulsos o 24 pulsos

El rectificador de diodos de 12 pulsos se forma conectando dos rectificadores de 6 pulsos en paralelo para alimentar un bus de CC común. La entrada a los rectificadores se realiza mediante un transformador de tres bobinados (de doble secundario). Los secundarios del transformador están desfasados 30°. Las ventajas de esta disposición consisten en que en la etapa de alimentación algunos de los armónicos se hallan en la fase opuesta y por lo tanto se eliminan. En teoría, el componente armónico con la frecuencia más baja que se aprecia en el primario del transformador es el undécimo.

Las principales desventajas son los transformadores especiales y un coste más elevado que con el rectificador de 6 pulsos.

El principio para el rectificador de 24 pulsos se muestra también en la Figura 7.2. Este consta de dos rectificadores de 12 pulsos en paralelo alimentados por dos transformadores de doble secundario con un desfase de 15°. La ventaja es que prácticamente se eliminan todos los armónicos de baja frecuencia pero el inconveniente es el elevado coste. En el caso de un solo convertidor de elevada potencia o una gran instalación con varios convertidores, un sistema de 24 pulsos puede ser la solución más económica con la menor distorsión por armónicos.

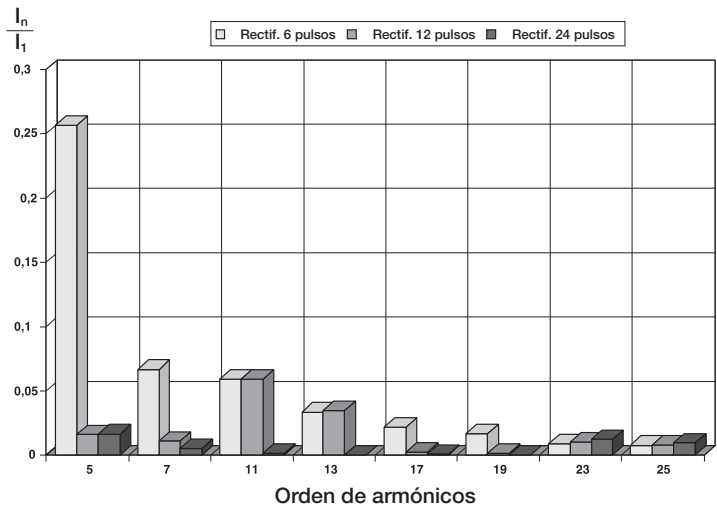


Figura 7.3 Componentes armónicos con distintos rectificadores

7.5 Empleo de un rectificador de tiristores controlado por fase

Un rectificador controlado por fase se obtiene sustituyendo los diodos en un rectificador de 6 pulsos por tiristores. Dado que un tiristor requiere un pulso de disparo para efectuar la transición de estado no conductor a conductor, el ángulo de fase en el que el tiristor empieza a conducir puede retardarse. Al retardar el ángulo

de disparo por encima de 90º, la tensión del bus de CC pasa a ser negativa. Ello permite el flujo regenerativo de potencia desde el bus de CC de vuelta a la fuente de alimentación.

Las configuraciones estándar de bus de CC e inversor no permiten el cambio de polaridad de la tensión de CC y es más común conectar otro puente de tiristores antiparalelo respecto al primero para permitir la inversión de la polaridad de la intensidad. En esta configuración el primer puente conduce en modo de rectificación y el otro en modo regenerativo.

Las ondas de intensidad de los rectificadores controlados por fase son similares a las de los rectificadores de diodos de 6 pulsos, pero dado que absorben potencia con un factor de potencia de desplazamiento alternante, el factor de potencia total con carga parcial es bastante bajo. El factor de potencia bajo provoca una intensidad aparente elevada y las intensidades de armónicos absolutas son más elevadas que las propias de un rectificador de diodos.

Además de estos problemas, los convertidores controlados por fase provocan interrupciones de conmutación en la onda de tensión de la utilidad. La posición angular de las interrupciones varía con el ángulo de disparo.

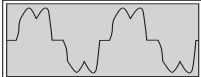
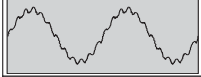
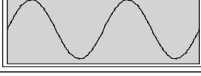
Tipo de alimentac.	TDH de intensidad (%)	TDH de tensión (%) RSC=20	TDH de tensión (%) RSC=100	Onda de intensidad
Rectificador de 6 pulsos	30	10	2	
Rectificador de 12 pulsos	10	6	1,2	
Unidad de alimentación IGBT	4	8	1,8	
Distorsión en % de valores eficaces				

Figura 7.4 Distorsión de distintos tipos de unidades de alimentación. Los valores pueden variar según el caso.

7.6 Empleo de un puente de IGBT

La introducción de un puente rectificador, formado por componentes autoconmutados, aporta diversas ventajas y oportunidades en comparación con los conmutados por fase. Al igual que un rectificador conmutado por fase, este equipo permite la rectificación y la regeneración, pero posibilita el control del nivel de tensión de CC y el factor de potencia de desplazamiento de forma separada con independencia de la dirección del flujo de potencia.

Las principales ventajas son:

- Función segura en caso de desaparición de la alimentación de red.

- Elevada dinámica del control del convertidor incluso en el rango de debilitamiento de campo.
- Posibilidad de generar potencia reactiva.
- Intensidad de alimentación casi sinusoidal con un bajo contenido en armónicos. Los resultados medidos para un convertidor se muestran en la Figura 7.5. Al efectuar la comparación con 7.3 se puede apreciar una clara diferencia. Un IGBT tiene armónicos muy bajos a frecuencias menores, pero son bastante más elevados a frecuencias más altas.
- Capacidad de sobrepasar de tensión. En caso de tensión de alimentación baja, la tensión de CC puede incrementarse para mantener la tensión del motor a un nivel mayor que la tensión de alimentación.

El inconveniente principal es el elevado coste del puente de IGBT y el filtrado extra requerido.

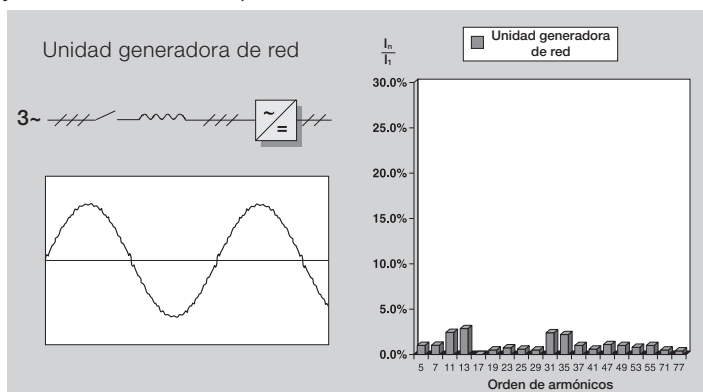


Figura 7.5 Armónicos en la intensidad de red de la unidad generadora de red IGBT

7.7 Empleo de un inductor de CC o CA mayor

Los armónicos de un accionamiento de CA como fuente de tensión pueden reducirse considerablemente conectando un inductor lo bastante grande en su entrada de CA o bus de CC. La tendencia ha sido reducir el tamaño del convertidor y también del inductor, o en bastantes casos se ha omitido. El efecto puede verse en las curvas en la Figura 7.6.

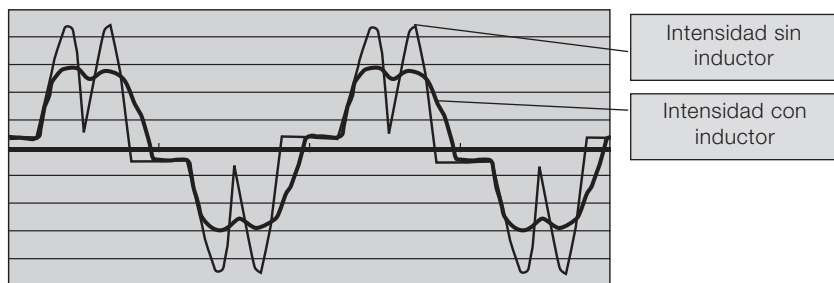


Figura 7.6 El efecto del inductor en la intensidad de red

El gráfico en la Figura 7.7 muestra el efecto del tamaño del inductor de CC en los armónicos. Para los 25 primeros componentes armónicos el mínimo teórico de la THD es del 29%. Este valor se alcanza prácticamente cuando la inductancia es de 100 mH dividida por los Kw del motor o de 1 mH para un motor de 100 kW (415 V, 50 Hz). No debería seleccionarse una mayor inductancia, pero unos 25 mH divididos por los kW del motor proporcionan una THD de un 45%. El valor es de 0,25 mH para un motor de 100 kW.

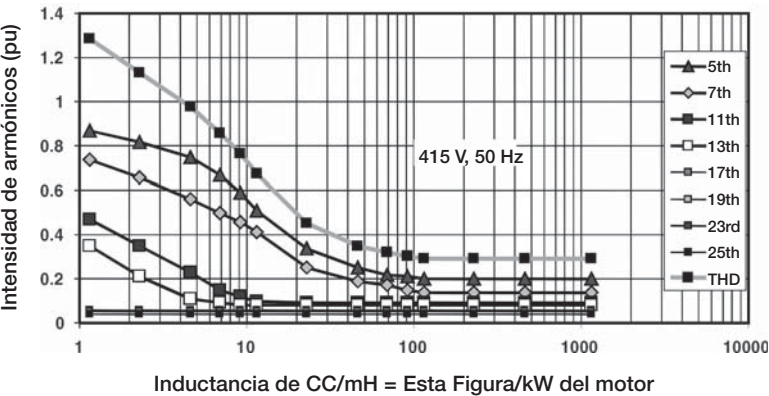


Figura 7.7 Intensidad de armónicos como función de la inductancia de CC

La distorsión de tensión con una cierta distorsión de intensidad depende del coeficiente de cortocircuito R_{sc} de la alimentación. Cuanto mayor sea el coeficiente, menor será la distorsión de tensión. Ello puede apreciarse en la Figura 7.8.

6

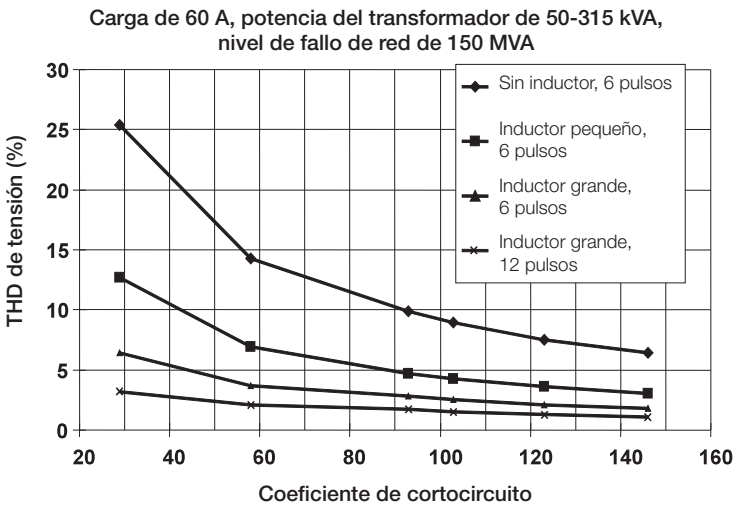


Figura 7.8 Tensión THD frente a tipo de accionamiento de CA y tamaño de transformador

La Figura 7.9 introduce un nomograma simple para estimar las tensiones de armónicos. En el siguiente gráfico, a la derecha, seleccione los kilovatios del motor y los kVA del transformador y desplácese horizontalmente hasta la línea diagonal, desde la que seguirá en dirección ascendente, y deténgase en la curva válida para su aplicación. Desplácese a la izquierda hacia el eje y lea la distorsión total de tensión de armónicos.

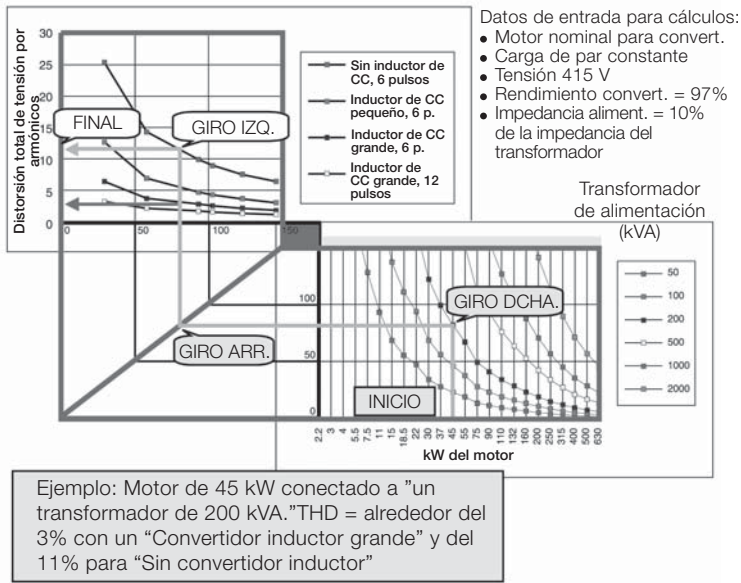


Figura 7.9 Nomograma de distorsión total por armónicos

Los resultados de las pruebas de laboratorio con unidades de accionamiento de distintos fabricantes se muestran en la Figura 7.10. El convertidor A con un inductor de CC grande tiene la menor distorsión de intensidad de armónicos, y los convertidores sin inductor tienen la mayor distorsión.

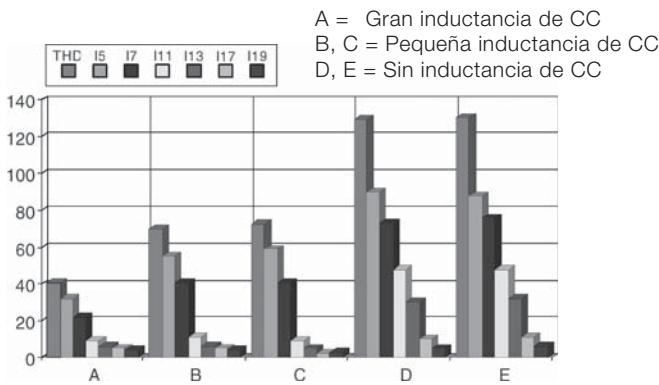


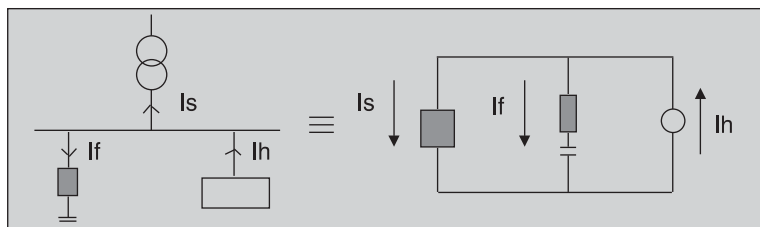
Figura 7.10 Intensidad de armónicos con distintas inductancias de CC

Capítulo 8 - Otros métodos para la reducción de armónicos

El filtrado es un método para la reducción de armónicos en una planta industrial cuando se ha aumentado gradualmente la distorsión por armónicos o como una solución total en una nueva planta. Hay dos métodos básicos: filtros activos y pasivos.

8.1 Filtro pasivo de una sola rama ajustada

El principio de un filtro pasivo de rama ajustada se muestra en la Figura 8.1. Este filtro debería aplicarse en el componente armónico menor cuando existe una generación de armónicos significativa en el sistema. Para sistemas que suministran principalmente una carga industrial probablemente sea el quinto armónico. Por encima de la frecuencia ajustada los armónicos se absorben, pero por debajo de ella quizá se amplifiquen.



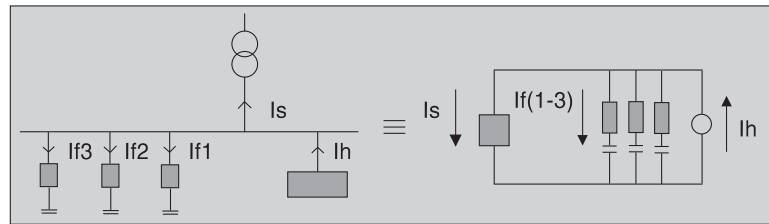
- Desajuste - Una sola frecuencia de ajuste
- Armónicos absorbidos por encima de la frecuencia ajustada
- Posible amplificación de armónicos por debajo de ésta
- Reducción de armónicos limitada por KVAR y la red

Figura 8.1 Filtro pasivo de una sola rama ajustada

Este tipo de filtro consta de un inductor en serie con un banco de condensadores y la mejor ubicación para el filtro pasivo es cerca de las cargas generadoras de armónicos. Esta solución no suele emplearse para nuevas instalaciones.

8.2 Filtro pasivo de múltiples ramas ajustadas

El principio de este filtro se muestra en la Figura 8.2. Tiene varias ramas ajustadas a dos o más componentes armónicos que deberían ser las frecuencias de armónicos significativas menores en el sistema. El filtro múltiple tiene mejor absorción de armónicos que el sistema de una rama.



- Capacitivo por debajo frec. ajustada/Inductivo por encima
- Mejor absorción de armónicos
- Consideraciones de diseño para armónicos de amplificación por filtro
- Limitado por KVAR y la red

Figura 8.2 Filtro pasivo de múltiples ramas ajustadas

Los filtros pasivos de múltiples ramas se suelen emplear en grandes instalaciones de accionamientos de CC en las que un transformador dedicado alimenta a toda la instalación.

8.3 Filtro activo externo

Un filtro pasivo ajustado introduce nuevas resonancias que pueden provocar problemas por armónicos adicionales. Las nuevas tecnologías de electrónica de potencia brindan productos que pueden controlar la distorsión por armónicos con control activo. Estos filtros activos, véase la Figura 8.3, proporcionan compensación para los componentes armónicos en el sistema de utilidad basada en la generación de armónicos existente en cualquier momento.

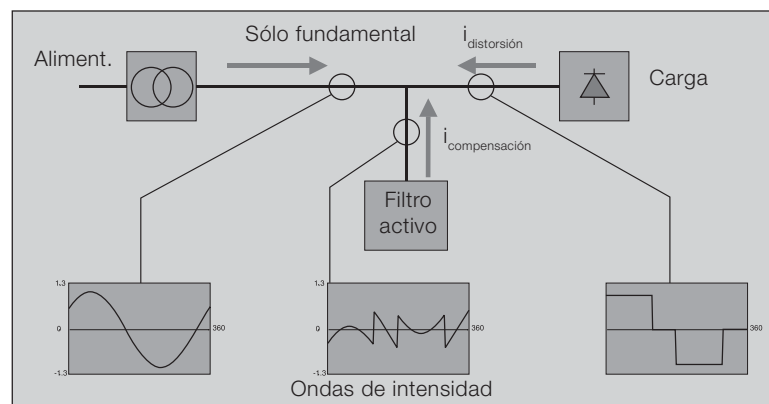


Figura 8.3 Diagrama del principio del filtro activo externo

El filtro activo compensa los armónicos generados por cargas no lineales generando los mismos componentes armónicos en la fase opuesta como se muestra en la Figura 8.4. Los filtros activos externos son los más adecuados para varios convertidores pequeños. Son relativamente caros en comparación con otros métodos.

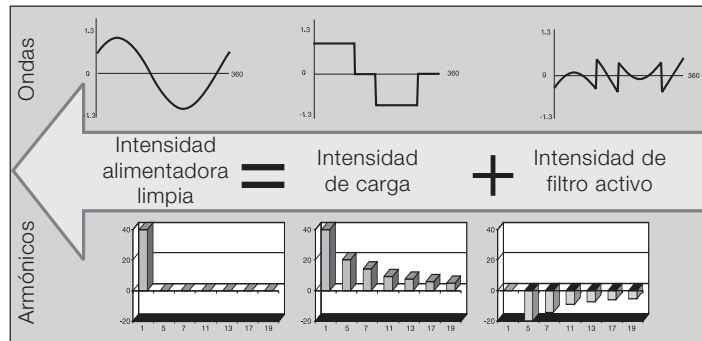


Figura 8.4 Ondas y armónicos del filtro activo externo

Capítulo 9 - Resumen de la atenuación de armónicos

Existen muchas opciones para la atenuación de armónicos dentro del sistema de accionamiento o de forma externa. Todos tienen ventajas y desventajas e implicaciones en cuanto al coste. La mejor solución dependerá de la carga total, de la alimentación al emplazamiento y de la distorsión.

En las tablas siguientes se comparan las distintas acciones internas con el sistema básico sin inductor. El contenido de armónicos se facilita con una carga del 100%. Los costes son válidos para convertidores pequeños. Para varios convertidores la solución de 12 pulsos es mucho más barata.

9.1 Rectificador de 6 pulsos sin inductor

Coste de fabricación del 100%
Componentes de intensidad de armónicos típicos.

Fundamental	5°	7°	11°	13°	17°	19°
100%	63%	54%	10%	6,1%	6,7%	4,8%

9.2 Rectificador de 6 pulsos con inductor

Coste de fabricación del 120%. Reactancia de CA y CC añadida
Componentes de intensidad de armónicos típicos.

Fundamental	5°	7°	11°	13°	17°	19°
100%	30%	12%	8,9%	5,6%	4,4%	4,1%

9.3 Rectificador de 12 pulsos con transformador polycon

Coste de fabricación del 200%
Componentes de intensidad de armónicos típicos.

Fundamental	5°	7°	11°	13°	17°	19°
100%	11%	5,8%	6,2%	4,7%	1,7%	1,4%

9.4 Rectificador de 12 pulsos con transformador de bobinado doble

Coste de fabricación del 210%
Componentes de intensidad de armónicos típicos.

Fundamental	5°	7°	11°	13°	17°	19°
100%	3,6%	2,6%	7,5%	5,2%	1,2%	1,3%

9.5 Rectificador de 24 pulsos con dos transformadores de doble secundario

Coste de fabricación del 250%
Componentes de intensidad de armónicos típicos.

Fundamental	5°	7°	11°	13°	17°	19°
100%	4,0%	2,7%	1,0%	0,7%	1,4%	1,4%

9.6 Rectificador de IGBT activo

Coste de fabricación del 250%. No es significativo si aún así se requiere frenado eléctrico.
Componentes de intensidad de armónicos típicos.

Fundamental	5°	7°	11°	13°	17°	19°
100%	2,6%	3,4%	3,0%	0,1%	2,1%	2,2%

Capítulo 10 - Definiciones

S: Potencia aparente

P: Potencia activa

Q: Potencia reactiva

Rsc: El coeficiente de cortocircuito se define como la potencia de cortocircuito de la alimentación en el PCC y la potencia nominal aparente del equipo bajo consideración.
 $Rsc = Ss / Sn$.

ω_1 : Frecuencia angular del componente fundamental $\omega_1 = 2\pi \cdot f_1$, con f_1 como la frecuencia fundamental (por ejemplo 50 Hz o 60 Hz).

n: Valor entero $n = 2, 3, \dots \infty$. Las frecuencias de armónicos se definen como $\omega_n = n \cdot \omega_1$.

I_n : Valor eficaz del componente armónico n:th de la intensidad de red.

Z_n : Impedancia a frecuencia $n \cdot \omega_1$.

%Un: Componente de la tensión de armónicos como un porcentaje de la tensión fundamental (de red).

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1}$$

THD: La Distorsión total por armónicos en la intensidad de entrada se define como:

donde I_1 es el valor eficaz de la intensidad de frecuencia fundamental. La THD en la tensión puede calcularse de forma similar.

$$THD = \frac{\sqrt{20^2 + 14.3^2 + 9.1^2 + 7.7^2 + 5.9^2 + 5.3^2 + 4.4^2 + 4^2}}{100}$$

$$THD = 29\%$$

Este es un ejemplo para los 25 componentes armónicos menores con los valores teóricos:

$$PWHd = \sqrt{\sum_{n=14}^{40} n \left(\frac{I_n}{I_1} \right)^2}$$

PWHD: La distorsión por armónicos parcial ponderada se define como:

PCC: El Punto de acoplamiento común se define en este texto como un punto de alimentación de la utilidad que puede ser común para el equipo en cuestión y para otros equipos. Existen diversas definiciones del PCC en distintas normas e incluso más interpretaciones de estas definiciones en las publicaciones. La definición que se ha seleccionado aquí es la más coherente técnicamente.

PF: Factor de potencia definido como $PF = P/S$ (potencia/voltio-amperio) = $I_1 / I_s * DPF$ (Con intensidad sinusoidal PF equivalente a DPF).

DPF: Factor de potencia de desplazamiento definido como $\cos\phi_1$, donde ϕ_1 es el ángulo de fase entre la intensidad de frecuencia fundamental obtenida por el equipo y el componente de frecuencia fundamental de la tensión de alimentación.

Índice

5º armónico 7

A

ABB 6
alimentación para soldadura 8
alimentación pública 12
antiparalelo 20
Área Económica Europea 12
armónico teórico 10
arrancador de motor 8
atenuación 5, 26
autoridad de alimentación 14

B

bus de CC común 19

C

cable de alimentación 9, 18
cálculo 5, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 23
cálculo de distorsión 5, 6
carga del convertidor 6
carga no lineal 6, 8, 15, 16
coeficiente de corrección 10
coeficiente de cortocircuito 22, 28
compatibilidad electromagnética (EMC) 22
componente armónico 7, 19, 22, 24, 25, 28
condensador de CC 18
convertidor 6, 9, 10, 12, 18, 20, 21
convertidores de velocidad variable 8
coste de fabricación 26, 27

D

dispositivo electrónico 8
distorsión por armónicos 6, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 19, 23, 25, 28
distorsión total de demanda 15
distorsión total de intensidad 11
distorsión total de tensión 11
distorsión total por armónicos 10, 15, 23, 28
distribución de potencia 6

E

efecto 5, 6, 8, 17, 18, 21, 22
efecto de la conmutación 10
entrada de potencia 12
Etiquetaje CE 12
evaluación de armónicos 16

F

factor de potencia 16, 20, 29
factor de potencia de desplazamiento 20, 29
fenómenos de armónicos 6, 7
filtrado 17, 18, 21, 24
filtrado externo 17
filtro activo 5, 24, 25
filtro de paso bajo 18
filtro pasivo 24, 25
filtro pasivo de múltiples ramas 5, 24, 25
filtro pasivo de rama ajustada 24
frecuencia 9, 12, 13, 14, 19, 24, 28, 29
frecuencia fundamental 7, 28, 29
fuente 6, 8, 9, 21
fuente de alimentación ininterrumpida 8

I

iluminación electrónica 8
impedancia de cortocircuito 9
impedancia de fuente 4, 9
inductancia 17, 18, 22, 23
inductor 5, 18, 21, 22, 23, 24, 26
inductor de CA 21
instalación 9, 12, 14, 15, 19, 24, 25
instalación del consumidor 14
instalación industrial 12
intensidad de CC 18
intensidad de red 6, 18, 21
intensidad rectangular 7
intensidades de armónicos 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 20, 21, 22, 23, 26, 27
interrupción de conmutación 20
interruptor 8

L

límite de armónicos 12, 13, 14, 15, 16
límite de compatibilidad 12, 13

M

medición 8
modificación estructural 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23
modo de rectificación 20
modo regenerativo 20

N

nomograma de distorsión 23
norma 12, 13, 14, 15, 18, 20, 29
norma de producto EMC 12
Norma Nacional Americana 14

O

ordenador 8

P

pantalla electrónica 8
PHD 12
potencia activa 14, 28
potencia aparente 28
potencia de cortocircuito 9, 14, 16, 17, 28
potencia reactiva 21, 28
prueba de laboratorio 23
puente IGBT 20, 21
punto de acoplamiento común 15, 29
PWHD 14, 28

R

rectificador 5, 6, 7, 10, 17, 18, 19, 20, 26, 27
rectificador conmutado por fase 20
rectificador de 6 pulsos 7, 10, 18, 19, 20
rectificador de 12 pulsos 10, 18, 19, 20
rectificador de 24 pulsos 18, 19
rectificador trifásico de 6 pulsos 7
reducción de armónicos 17, 24, 25

S

sistema de accionamiento de potencia 12
sobrecalentamiento 8
sobrepasar de tensión 21

T

TDD 15
tensión 6, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23
tensión de alimentación 6, 21, 29
tensión de armónicos 10, 23, 28
THD 12, 14, 22, 23, 28
tiristor 17, 19, 20
transformador de alimentación 9, 18
transformador de bobinado doble 19
transformador de red 6
transformador de triple bobinado 19

Contacte con nosotros

Para obtener más información, póngase en contacto con su representante local de ABB o visite:

www.abb.es

www.abb.com/drivespartners

© Copyright 2014 ABB. Todos los derechos reservados.
Las especificaciones están sujetas a cambio sin previo aviso.

3BFE64328930 REV D ES 3.9.2014

Power and productivity
for a better world™

