

Comparación de filtros sintonizados y desintonizados

Armando Llamas
Miembro, IEEE
allamas@campus.mty.itesm.mx

Jorge A. De Los Reyes
Miembro, IEEE

Jesús A. Baez
Miembro, IEEE

Salvador Acevedo
Miembro, IEEE

Departamento de Ingeniería Eléctrica
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey
Campus Monterrey, Monterrey, NL 64849

Resumen: Se describe la configuración de un filtro pasivo LC serie, se presenta un caso industrial que requiere de corrección de factor de potencia empleando filtros, se describen los filtros sintonizados y los desintonizados y se comparan entre sí.

Palabras clave: filtros pasivos, filtros sintonizados, filtros desintonizados, armónicas, factor de potencia.

I. Introducción. Tanto la necesidad de hacer un uso más eficiente de la energía como la de tener un mejor control en los procesos han dado lugar al empleo cotidiano de cargas que toman corriente con distorsión. A este tipo de cargas se les conoce como cargas no lineales y se sabe bien que para mejorar el factor de potencia en estas cargas se requiere de filtros. Existen filtros

activos y filtros pasivos. Este artículo se concentra en los filtros pasivos. La configuración más común de un filtro de armónicas consiste en la combinación serie de un reactor y un capacitor. La Figura 1 muestra un filtro de 480 V, 60 Hz, y 70 kVAr, en la fotografía se aprecia el interruptor termomagnético, el reactor con núcleo de hierro y el banco de capacitores, el diagrama ilustra la conexión de estos componentes.

Estos filtros se conectan en paralelo con la carga a la cual se le desea corregir el factor de potencia y filtrarle armónicas. Las cargas industriales típicas que requieren filtros son controles de frecuencia variable (“adjustable frequency drives o AFDs”), controles de máquinas de CD (“DC drives”), rectificadores, hornos de inducción, y UPSs. La armónica que se presenta con mayor magnitud y con mayor frecuencia en este tipo de cargas es la quinta.

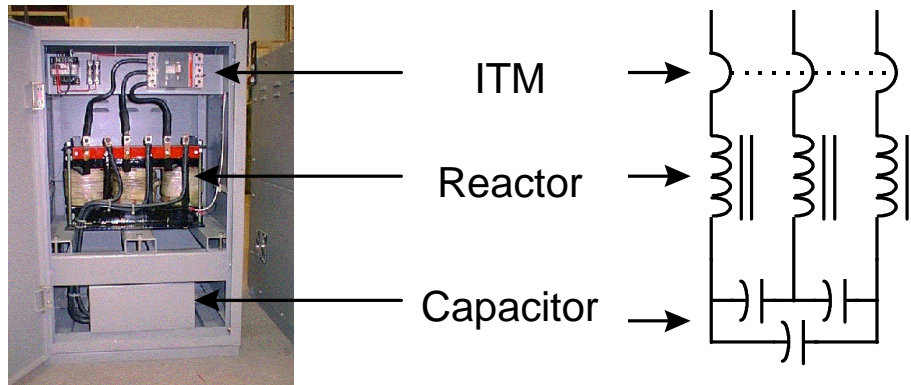


Figura 1 Filtro de armónicas

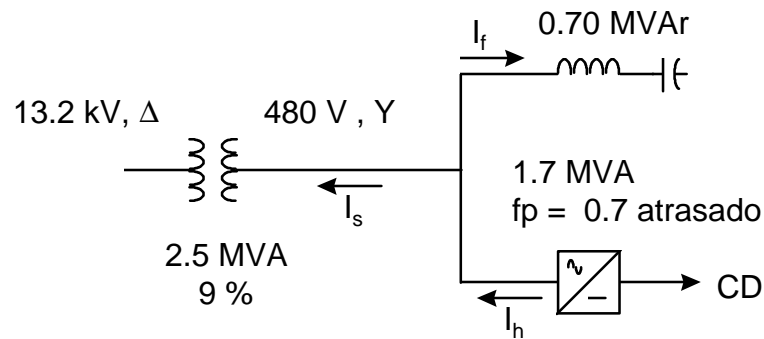


Figura 2. Diagrama unifilar de instalación con filtro de armónicas

II. Ejemplo industrial. La Figura 2 ilustra una instalación en la que un transformador de 13.2 kV Δ / 480 V Y, 2.5 MVA alimenta a 1700 kVA de rectificadores cuyo factor de potencia es 0.70 atrasado y a un filtro de 700 kVAR. El factor de potencia de la carga combinada, rectificadores y filtro es 0.92 atrasado.

III. Descripción de los filtros sintonizados y desintonizados. Existen dos tipos de filtros LC serie, como se indica a continuación:

- sintonizados o de absorción
- desintonizados o de rechazo.

Ambos filtros permiten corregir el factor de potencia en presencia de distorsión armónica, ambos filtros absorben distorsión armónica evitando que ésta se vaya hacia otras cargas o hacia la compañía suministradora, los sintonizados absorben más distorsión de ahí el segundo nombre, de absorción. Sin embargo, como ya veremos, los desintonizados también absorben una cantidad importante de distorsión armónica, de ahí que a los autores no les guste el segundo nombre que se les da, de rechazo.

La reactancia del reactor empleado en un filtro está dada por

$$X_L = \frac{X_C}{h_f^2} = \frac{kV_{LL}^2}{h_f^2 \times MVAR}$$

donde:

X_L es la reactancia del reactor en Ω ,

X_C es la reactancia del capacitor en Ω ,
 h_f es la armónica de sintonía del filtro,
 kV_{LL} es el voltaje entre líneas,
MVAR es la potencia que el capacitor aporta al voltaje kV_{LL}

Un filtro sintonizado tiene una sintonía ligeramente por debajo de la armónica que se desea filtrar, mientras que un filtro desintonizado tiene una sintonía bastante más por debajo de esa armónica. Como ya se mencionó, en la mayoría de las cargas industriales la armónica que se presenta con mayor magnitud es la quinta. Utilizando la armónica quinta como ejemplo, tendríamos las siguientes armónicas de sintonía:

Tabla 1 Armónicas de sintonía

sintonizado	4.7
desintonizado	3.8

IV. Factor de amplificación. Este factor resulta de la división de la magnitud de la corriente que se va a la alimentación entre la corriente que inyecta la carga no lineal, de acuerdo con la notación de la Figura 2, el factor de amplificación está dado por

$$a = \frac{I_s}{I_h} = \left[1 + \frac{MVAR \times h_f^2 \times h^2}{MVA_{sc} \times (h^2 - h_f^2)} \right]^{-1},$$

el factor de amplificación nos indica cuántos amperes de la armónica h se van hacia la compañía suministradora por cada ampere de armónica h generado por la carga no lineal, MVA_{sc} es la potencia aparente de corto circuito en

el punto de instalación. El factor de amplificación es el inverso del factor de atenuación de [1]. En [2] se presentan dos gráficas del factor de amplificación; pero no se presenta ecuación alguna.

V. Comparación. Considerando los datos del sistema de la Figura 2, la Figura 3 muestra los factores de amplificación de un filtro de 4.7 y de 3.8, ambos con capacitores de 700 kVAr a 480 V entre líneas. El filtro sintonizado deja pasar 20% de quinta armónica mientras que el otro deja pasar 50%. Puesto de otra manera, el filtro de 4.7 absorbe 80% de la quinta armónica, mientras que el de 3.8 absorbe 50%. Debido a que el filtro de 3.8 absorbe 50%, el autor no está de acuerdo con el nombre rechazo, pues da la idea de no absorción.

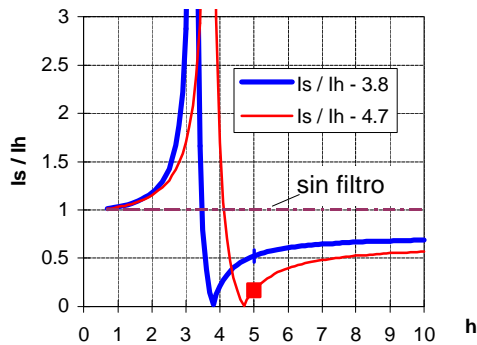


Figura 3. Factores de amplificación

Desde el punto de vista de atenuación de quinta armónica, el comportamiento del filtro de 4.7 es superior al de 3.8. Sin embargo, para que los capacitores del filtro de 4.7 operen satisfactoriamente, el voltaje nominal de éstos debe ser superior a 480 V, digamos de 600 V. Debido a la dificultad para conseguir estas celdas, en algunas ocasiones se utilizan celdas de 480 V conectadas en Y, lo que resulta en un banco de 831 V. En el banco desintonizado tampoco se pueden emplear capacitores de 480 V, generalmente se emplean celdas de 525 V. La gran diferencia entre voltaje nominal del banco de capacitores y el voltaje nominal del bus contribuye a que los filtros sintonizados sean más caros que los desintonizados. Otro factor que contribuye al mayor costo de los filtros sintonizados es que los reactores llevarán una mayor corriente rms que los reactores de un filtro desintonizado.

Además del precio, otra ventaja de los filtros desintonizados es que son más difíciles de

sobrecargar que los sintonizados. Si el voltaje de la compañía suministradora tiene alta distorsión de quinta armónica, el filtro sintonizado drena más corriente que el filtro desintonizado. Si en la planta se instala más carga con distorsión, el filtro sintonizado absorberá más carga que el otro. Los autores han encontrado algunas instalaciones en las cuales los filtros sintonizados salen de operación con frecuencia, debido a que las protecciones de sobrecarga los desconectan. De tal manera que la desventaja inicial de menor absorción de un filtro desintonizado se vuelve una ventaja, pues esto da lugar a una menor posibilidad de sobrecarga, es por esto que los filtros sintonizados se hacen a la medida y requieren mayor protección y conocimientos para su correcta aplicación. La Tabla 2 resume estos puntos.

Tabla 2. Comparación de ventajas y desventajas

	sintonizado	desintonizado
mayor absorción	✓	
menor precio		✓
menor posibilidad de sobrecarga		✓

VI. Conclusiones. Los filtros desintonizados absorben una buena porción de la distorsión armónica, en el caso presentado un 50% de la quinta armónica. Los filtros sintonizados absorben más; pero requieren de mayor cuidado durante su diseño e instalación. Tanto el filtro sintonizado como el desintonizado tienen aplicación dependiendo de la instalación en particular, de tal manera que no es posible afirmar que uno es superior al otro.

VII. Bibliografía

[1] Syed M. Peeran and Creg W. P. Cascadden, "Application, design, and specification of harmonic filters for variable frequency drives," IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 31, no. 4 July /August 1995..

[2] Mark F. McGranaghan, David Mueller, "Designing harmonic filters for adjustable-speed drives to comply with IEEE 519 harmonic limits,"

IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 35, no. 2 March/April 1999.

VIII. Biografías



A. R. Llamas (M'89) nació en la Ciudad de México. Es Ingeniero Electricista (1983) y obtuvo la Maestría en Ingeniería (1985) en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), en Monterrey, México. En 1992 recibió el grado de Doctorado (Ph. D.) de Virginia Polytechnic Institute

and State University. Desde 1993 labora como profesor del Departamento de Ing. Eléctrica del ITESM donde destaca como consultor en el área de calidad de energía eléctrica.



J. A. de los Reyes (M'95) nació en La Piedad, Michoacán, México. Es Ingeniero Mecánico Electricista (1993) y tiene el grado de Maestro Ingeniería (1996) del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), en Monterrey, México. Es profesor de cátedra del mismo instituto

desde 1997 y es consultor independiente asesorando a diversas empresas en el área de uso eficiente y calidad de energía eléctrica.



S. Acevedo (M'89) nació en la Ciudad de Oaxaca, México. Obtuvo los grados de Ingeniero Electricista (1985), Maestría en Ingeniería (1987) y Maestría en Ciencias (1993) en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), en Monterrey, México. Recibió el grado de

Doctorado (Ph. D.) de The University of British Columbia (UBC), en Vancouver, Canadá en 1998. Desde 1987 ha laborado como profesor del ITESM, siendo Director del Departamento de Ing. Eléctrica de 1991 a 1994.



J. A. Baez (M'95) nació en Monterrey, NL, México. Es Ingeniero Mecánico Electricista (1987), Maestro en Ingeniería (1990) y Maestro en Ciencias (1995) del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), en Monterrey, México. Desde 1991 es profesor

consultor del Departamento de Ing. Eléctrica del ITESM. Su área primordial de interés es el uso eficiente y calidad de energía eléctrica.