



FICHA TÉCNICA

Comparativo de reactores aplicados en filtros de armónicas

Núcleo de Aire vs Núcleo de Hierro

Para sistemas en media tensión (desde 2.4 KV hasta 34.5 KV), los filtros de armónicos son diseñados, especificados y fabricados por lo general con núcleo de aire o núcleo de hierro. La razón de elegir uno por encima del otro, radica en la experiencia, familiaridad, la interpretación (en algunas ocasiones incorrecta) o alguna buena razón técnica que se tenga con el tipo de reactor. Este documento presenta las diferencias y beneficios existentes entre ambos tipos para ayudar a seleccionar correctamente el tipo de reactor que mejor se ajuste a la aplicación.

Preliminar

La *Figura 1* muestra las características típicas de un reactor con núcleo de hierro y núcleo de aire utilizado en los filtros de armónicas. El reactor con núcleo de hierro consta típicamente de un bobinado de cobre enrollado alrededor de un núcleo de hierro que tiene una cavidad por la cual circula aire libremente. El número de arrollamientos, área y longitud de la cavidad, determina la inductancia del reactor. Debido a la alta permeabilidad del hierro, el campo magnético es confinado al núcleo alcanzando el valor de diseño de la inductancia del reactor con un número bajo de arrollamientos.

Este tipo de reactores puede ser usado directamente en líneas de distribución o en conexiones puestas a tierra. Al emplearse en líneas, se deben montar sobre aisladores tipo poste y la diferencia de voltaje entre el núcleo y el arrollamiento debe ser el mínimo posible. Cuando es conectado en circuitos a tierra, la clase de aislamiento del equipo debe ser diseñado tomando como referencia el voltaje entre líneas.

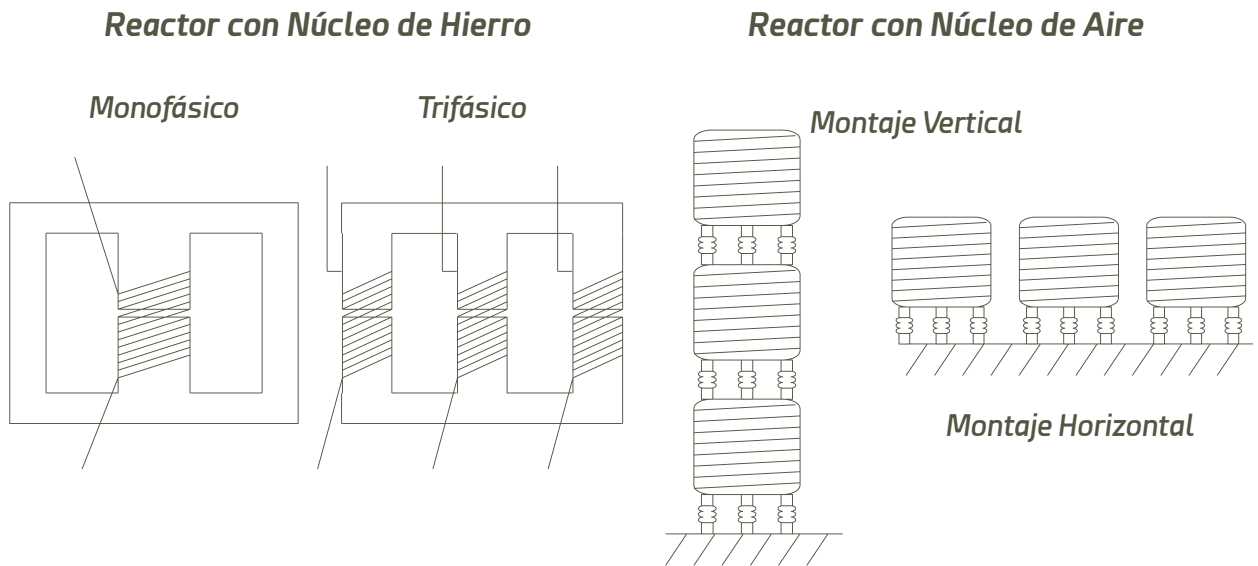
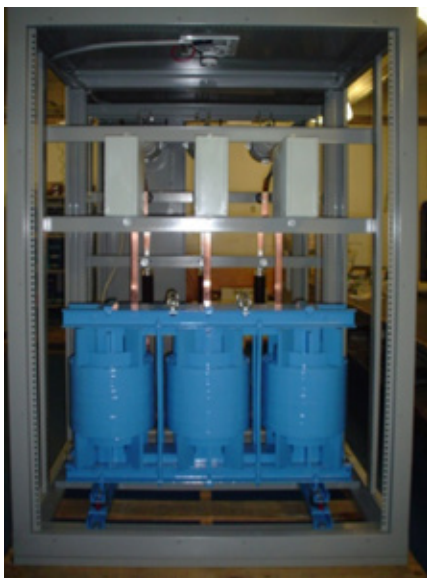


Figura 1. Diseño típico para un reactor con núcleo de hierro y núcleo de aire.

El reactor con núcleo de aire consiste de un embobinado de aluminio o cobre montados sobre una estructura de aluminio. Esta estructura es típicamente aislada (flotante) mediante aisladores tipo poste que ayuda a reducir los requerimientos de aislamiento y costo. La inductancia es determinada principalmente por el número de vueltas, altura y diámetro del reactor, siendo éste generalmente grande y con mayor número de vueltas o arrollamientos para lograr la misma inductancia comparándolo con su homólogo en núcleo de hierro.

Puesto que no existe hierro, la pérdida del campo magnético en el núcleo es considerablemente mayor y debe ser tomado en cuenta durante las primeras etapas del diseño del filtro.

El tipo de reactor empleado determinará finalmente el diseño del filtro de armónicas. En la *Figura 2* se muestra cómo el tipo de reactor empleado cambia el diseño y características típicas del filtro. Los reactores con núcleo de aire se asocian por lo general con el montaje en estructura con bancos de capacitores y empleados principalmente en subestaciones. Reactores con núcleo de hierro se montan generalmente dentro de gabinetes diseñados tanto para uso interior o exterior.



*Reactor de Filtro
con Núcleo de Hierro*



*Reactor de Filtro
con Núcleo de Aire*

Desempeño del filtro

Características

La pregunta típica siempre es sobre que tipo de reactor presenta el mejor desempeño para un filtro de armónicas. La *Tabla 1* nos ayuda a responder esta pregunta. Dicha tabla muestra que ambos tienen beneficios y desventajas. Como características principales que inciden sobre los filtros de armónicas podemos mencionar la pérdida del campo magnético, la saturación, el valor de la corriente armónica y los requerimientos de espacio.

Pérdidas magnéticas en el núcleo

Los reactores construidos con núcleo de aire tienen pérdidas de campo magnético considerables. Estos campos pueden interferir con otros equipos en sistemas de potencia produciendo corrientes de Eddy (causantes de calentamiento) en las cercanías con la estructura de acero. Esto puede ser riesgoso para la salud de personas que usan equipo médico sensible como los marcapasos para el corazón.

Estos problemas pueden ser reducidos e incluso eliminados proporcionando un claro magnético adecuado y suficiente alrededor del reactor.

Donde realmente sea indispensable el utilizar los reactores de núcleo de aire, se pueden usar placas de aluminio de 3/8" alrededor del reactor (techo, piso y a los lados) para reducir la inducción del campo magnético. Las corrientes de Eddy se pueden reducir cuidando que haya un adecuado espaciamiento (separando efectivamente la trayectoria de las corrientes). En cualquier caso, la solución de inducción provocada por las pérdidas de campo magnético puede incrementar el costo de la instalación.

El fabricante del filtro de armónicas debe ser consultado e informado de la posible presencia de cuerpos conductores en la cercanía de donde se pretenden instalar los reactores, puesto que pueden tener un efecto nocivo en la inductancia de los mismos.

Reactores para filtros de armónicas

Núcleo de Hierro	Núcleo de Aire
Puede saturarse	No se satura
Bajas pérdidas magnéticas	Altas pérdidas magnéticas
Compacto, pequeño espacio requerido	Requerimientos de espacio más grande
El núcleo debe ser diseñado para el pico de corriente armónica (suma de corrientes individuales) y el arrollamiento del embobinado debe ser diseñado para la corriente RMS	El bobinado debe ser diseñado únicamente para la corriente RMS
Peso significativamente mayor	Menor peso
Alta probabilidad de ruido audible en caso de una mala construcción	Baja probabilidad de ruido en caso de una mala construcción
Comparación de proveedores más difícil	Fácil comparación de proveedores
Bajo número de arrollamientos en el devanado	Alto número de arrollamientos en el devanado
Fácil montaje en gabinete	Difícil montaje en gabinete (ocasionado por la circulación de corrientes de Eddy causado por las pérdidas magnéticas en el núcleo)

Tabla 1. Comparación del reactor con núcleo de hierro vs núcleo de aire.

Saturación

La saturación es un problema inherente en los reactores con núcleo de hierro. La cantidad o densidad del flujo magnético que un reactor con núcleo de hierro puede soportar es limitado y depende del área de sección transversal. El tamaño de dicha área define la mayor densidad de flujo que el reactor puede transportar. Esta densidad de flujo está directamente relacionada al pico de corriente que el reactor puede soportar, el cual puede ser tan grande como el pico fundamental de corriente más la suma de los picos individuales de las corrientes armónicas. Este caso se presenta en pocas ocasiones pero puede tomarse como base para un diseño del reactor muy conservador.

Diseños menos conservadores dan por hecho un factor coincidente, el cual define el pico de corriente como un porcentaje de la suma de los picos de corrientes más el pico de corriente fundamental. El punto aquí es que lo concerniente a la saturación en reactores con núcleo de hierro puede ser eliminado con un diseño apropiado del reactor.

Al especificar reactores con núcleo de hierro deben considerarse los siguientes puntos:

- El reactor con núcleo de hierro debe ser diseñado de tal manera que no se deberá saturar cuando el flujo de corrientes armónicas y de la corriente fundamental se suman completamente (con un factor coincidente de 1.0)
- La saturación debe ser definida como el punto donde se presenta un 10% de pérdidas en la inductancia
- El espectro de la corriente armónica debe justificar la regulación de voltaje, tolerancias en la manufactura de reactores y capacitores así como el crecimiento de la carga armónica

Si los puntos anteriores son especificados correctamente, la saturación no deberá presentarse en un reactor con núcleo de hierro.

Corriente armónica (RMS)

El valor de la corriente armónica es el vector resultante de la suma de las corrientes armónicas y es una preocupación en ambos tipos de reactores (núcleo de hierro y núcleo de aire). Este valor de corriente determina el área de la sección transversal del conductor a emplearse en el embobinado y debe ser especificado correctamente cuando se ordena el reactor.

La corriente debe ser una preocupación constante por el crecimiento presente y futuro de la carga armónica. Cuando se diseña un reactor, el espectro de la corriente se deberá especificar a partir de las armónicas de mayor orden dado que por el efecto piel causa un aumento significativo de la temperatura.

Requerimiento de espacio

El requerimiento de espacio se asocia comúnmente con los reactores con núcleo de aire debido a las pérdidas en el campo magnético. Estos campos pueden ser reducidos colocando una protección especialmente diseñada, sin embargo esto obviamente incrementa el costo del equipo. Si dicha protección es necesaria, ésta se deberá especificar cuando se ordene el reactor de tal manera que se refleje en la inductancia del reactor. Las siguientes prácticas son comúnmente seguidas cuando se emplean reactores con núcleo de aire:

- Cuidar que no se formen trayectorias cerradas con objetos metálicos (barras, malla de tierras, vigas en el techo, etc.) Estas deberán estar dentro del diámetro del reactor. Típicamente se deberá conservar un área de aproximadamente 365 cm x 365 cm (12x12 pies) alrededor del reactor, siempre y cuando se asuma que los reactores son montados uno sobre otro. Si el montaje de los reactores no es en una sola línea vertical, será necesaria una mayor área sobre el suelo.
- Se deberá tener un claro magnético de $\frac{1}{2}$ veces el diámetro del reactor a cualquier superficie metálica como partes de aluminio y secciones de acero.
- Si se detecta que se tienen partes metálicas debajo del reactor que puedan formar una trayectoria cerrada, se podrá utilizar un pedestal con el fin de elevar el reactor del nivel de suelo. Si no es posible esta práctica por tener limitantes de altura, se puede colocar una placa delgada de aluminio de 365 cm x 365 cm (12x12 pies) y un espesor de 9.52 mm ($\frac{3}{8}$ de pulgada) directamente bajo el reactor a manera de protección. Obviamente habrá que tomar en consideración el costo adicional que representaría dicha placa
- Si los efectos que pueden ocasionar los reactores a la salud es un factor de preocupación, se deberá consultar al fabricante del mismo para determinar la distancia mínima necesaria de claro magnético que se deberá respetar. Si esto no es posible, se puede tomar como una regla general el considerar $\frac{1}{2}$ veces el diámetro del reactor. Si se considera una pared o malla alrededor del equipo, esto no suministrará la protección requerida. Si se requiere tener menor efecto de inducción magnética, se puede considerar el otorgar más espacio o separación de los reactores o se puede suministrar una cortina de aluminio alrededor del reactor. Si se considera que personal operativo estarán en contacto con esta cortina de protección, se deberá considerar instalar una malla o pared adicional debido a la

excesiva temperatura que tendrá la cortina de aluminio que puede provocar serias quemaduras al calentarse por inducción

Conclusión

Ambos tipos de reactores, tanto con núcleo de hierro como con núcleo de aire, tienen beneficios y desventajas, pero cuando son apropiadamente diseñados, especificados y aplicados, su desempeño es muy equivalente.

En PQ Barcon contamos con la experiencia y herramientas digitales de diseño para proveer la mejor solución a sus necesidades.

