

Ventajas del uso de filtros para corrección de factor de potencia

Jesús A. Baez
Miembro, IEEE

Armando Llamas
Miembro, IEEE

Jorge de los Reyes
Miembro, IEEE

Salvador Acevedo
Miembro, IEEE

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

Resumen: Se describen las ventajas de corrección del factor de potencia empleando filtros en lugar de bancos de capacitores. Los filtros tienen las siguientes ventajas:

- a) evitan resonancia paralelo,
- b) evitan resonancia serie,
- c) limitan la corriente de energización de los capacitores,
- d) atenúan los disturbios en voltaje ocasionados por la conexión de capacitores,
- e) Atenúan la magnificación ocasionada por conexión de bancos de capacitores en media tensión.

Palabras clave: *filtros, calidad de energía eléctrica, factor de potencia, armónicas.*

I. INTRODUCCIÓN

Las cargas no lineales en sistemas eléctricos producen distorsión en las corrientes y en los voltajes [1]-[2]. Existen diversas prácticas para limitar el flujo de armónicas del equipo que las genera hacia donde la presencia de éstas es indeseable o para disminuirlas a niveles aceptables [3]-[4].

En este artículo se describen las ventajas de emplear filtros en lugar de bancos de capacitores. Las gráficas presentadas fueron obtenidas mediante mediciones de campo y simulaciones empleando el programa EMTP [5]. Un filtro de armónicas utilizado para corregir el factor de potencia tiene un doble propósito:

A la frecuencia fundamental (60 Hz) proporciona los VAR para corregir el factor de potencia de desplazamiento y a las frecuencias superiores a la de sintonía proporciona una trayectoria de baja impedancia para ciertas armónicas producidas por las cargas, lo cual se traduce en un mejor factor de potencia de distorsión y por lo tanto en un mejor factor de potencia total.

Los filtros considerados en este artículo consisten en la conexión serie de un capacitor y un reactor. Este tipo de filtros permiten la corrección del factor de potencia de desplazamiento sin exhibir resonancia en presencia de cargas no lineales. Absorben una parte de la distorsión armónica presente en la carga, dependiendo de los VA del filtro y los VA de corto circuito en el punto de instalación. La instalación de filtros presenta las **ventajas** descritas en este artículo con respecto a la instalación de bancos de capacitores.

II. DESCRIPCIÓN DE VENTAJAS

A. *Evitan que se presente el fenómeno de resonancia paralelo.*

La conexión de capacitores para corregir el factor de potencia produce una frecuencia de resonancia. Aquellas armónicas producidas por la carga cuya frecuencia sea cercana a esta frecuencia de resonancia se verán amplificadas, lo cual se traduce en un bajo factor de potencia de distorsión y en una mayor distorsión de voltaje interfiriendo con la correcta operación del equipo sensible (computadoras, PLC's, equipo basado en microcontrolador, etc.).

La Figura 1 muestra el circuito equivalente simplificado que puede utilizarse para analizar el comportamiento del sistema cuando se conectan bancos de capacitores y filtros para corregir el factor de potencia en instalaciones con cargas no lineales.

La Figura 2 muestra el voltaje al neutro y la corriente de línea medidos en terminales

de un transformador que alimenta a una carga no lineal. La Figura 2a presenta las mediciones efectuadas cuando se conectó un banco de capacitores, mientras que la Figura 2b muestra las mediciones al conectar un filtro de armónicas. Obsérvese como se disminuye la distorsión de corriente y voltaje con la conexión del filtro.

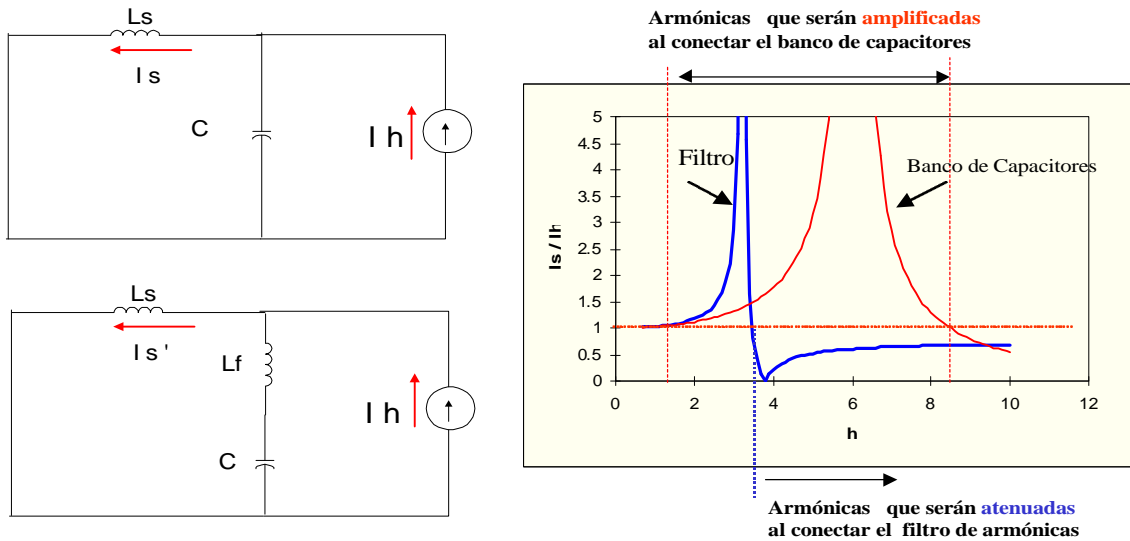


Figura 1. Efecto de la conexión de bancos de capacitores y filtros en la amplificación de las armónicas

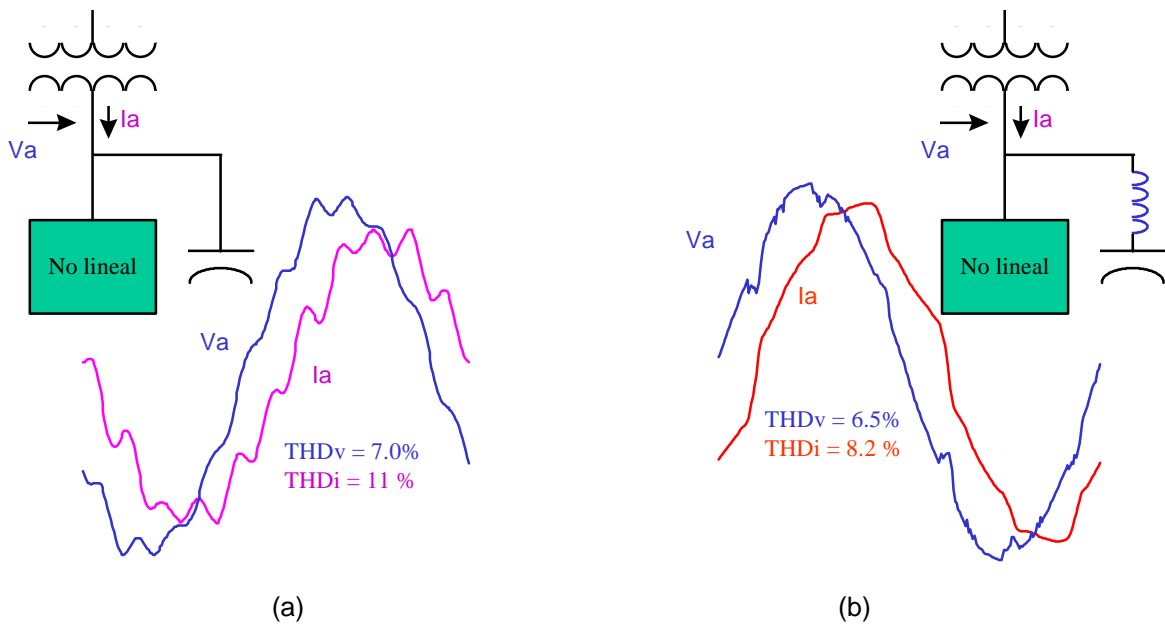


Figura 2. Efecto de conectar filtro de rechazo en la distorsión de voltaje y corriente

B. Evitan que se presente el fenómeno de resonancia serie.

Si el voltaje de alimentación de la compañía suministradora presenta distorsión (V_h), y la combinación serie de la inductancia del sistema y transformador (L_s) con el capacitor (C) presenta una impedancia baja a una de las armónicas existentes en el voltaje primario, se presentarán corrientes elevadas que se traducirán en una elevada distorsión en el voltaje

La Figura 3 muestra el efecto de conectar un banco de capacitores en un sistema en el cual se tiene un suministro con una distorsión de voltaje (quinta armónica) considerable.

La Figura 3a muestra el voltaje registrado previo a la conexión del capacitor. La Figura 3b muestra el voltaje y la corriente cuando se conecta solo el capacitor. Debido a la baja impedancia que presenta la combinación capacitor y transformador a la quinta armónica, estos elementos se comportan como un filtro visto desde media tensión. En la Figura 3c se muestra el efecto de agregar un reactor serie para disminuir la distorsión de corriente y voltaje.

C. Limitan la corriente de energización de los capacitores.

La conexión de un banco de capacitores trae como consecuencia una corriente de energización elevada, situación que se ve agravada cuando se conecta un banco que se encuentra eléctricamente cerca de uno o más bancos ya energizados. Esta corriente elevada, la cual puede alcanzar niveles de corto circuito, resulta peligrosa para quien acciona el interruptor y perjudicial para la vida de los interruptores y capacitores. El agregar reactores en serie con los bancos de capacitores reduce considerablemente estas sobrecorrientes. La Figura 4 muestra las corrientes de energización de dos bancos de capacitores en paralelo los cuales se van a energizar uno después de otro y permite la comparación de las corrientes de energización con reactor y sin reactor. La Figura 4a muestra la disminución en la corriente de energización al agregar el reactor. En la Figura 4b se muestra la corriente del segundo banco y se observa que la corriente de éste se limita en forma importante cuando se tienen reactores.

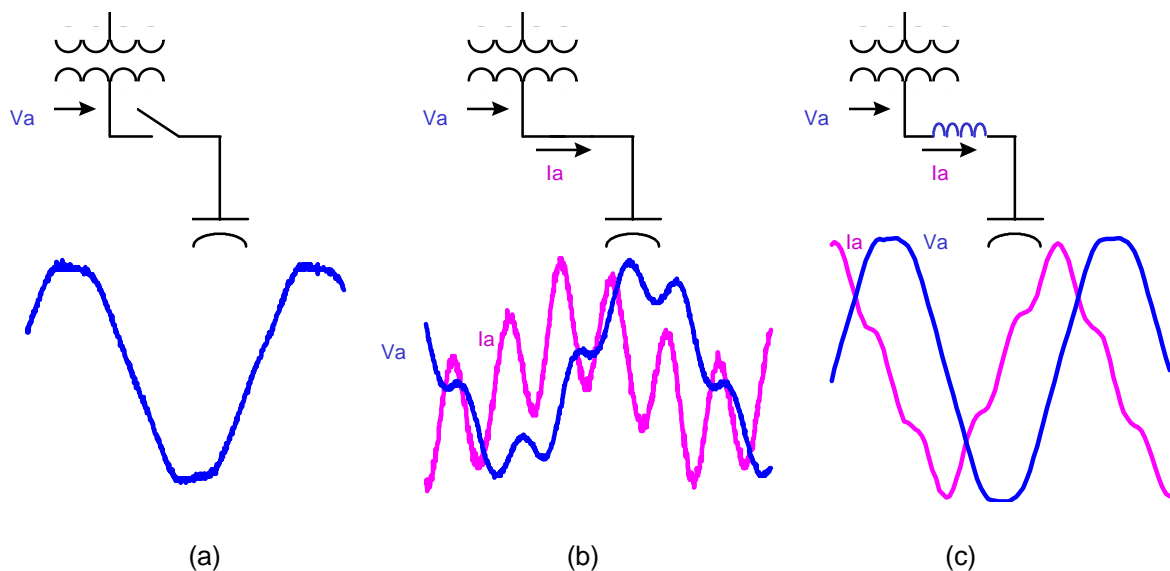


Figura 3. Efecto de conectar filtro de armónicas en la distorsión de voltaje en el capacitor

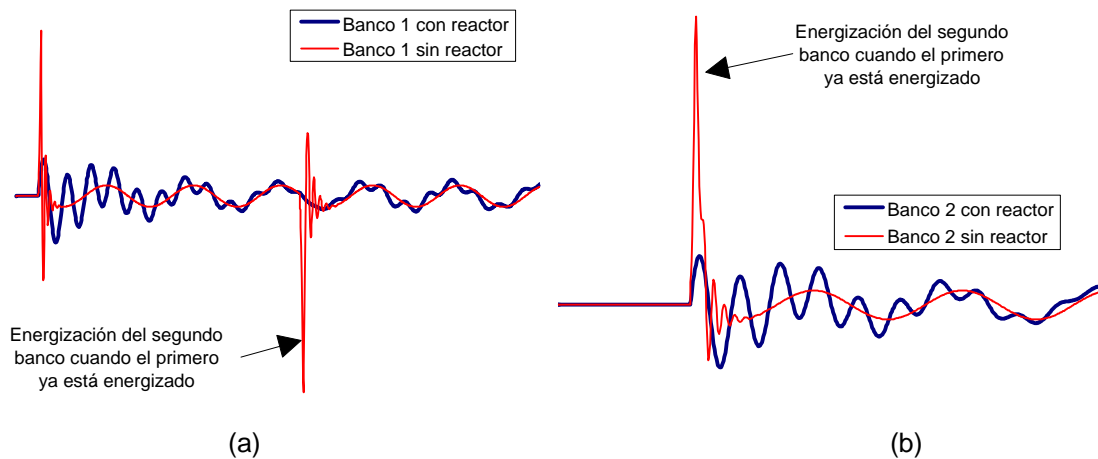


Figura 4. Efecto del reactor en la corriente de energización de los bancos de capacitores

D. Atenúan los disturbios en el voltaje ocasionados por la conexión de capacitores.

En la Figura 5 se ilustra la comparación de dos bancos de capacitores los cuales son energizados uno después del otro. La Figura 5a corresponde a la situación en donde no se tienen reactores conectados en serie con el capacitor y la Figura 5b corresponde a la situación en la cual se agregó un reactor al banco de capacitores.

E. Atenúan la magnificación ocasionada por conexión de bancos en media tensión.

Esta situación se presenta cuando se tienen bancos de capacitores en media

tensión y baja tensión. Esta situación es mas notoria cuando la frecuencia de resonancia de los dos bancos sea parecida. Cuando se conecta el banco de capacitores en media tensión se provoca un sobrevoltaje transitorio que se amplifica en el lado de baja tensión del transformador. La presencia de los reactores atenúa de manera considerable este sobrevoltaje. En la Figura 6a se muestra la amplificación del voltaje en el lado de baja tensión cuando se energiza el banco de capacitores de media tensión. En la Figura 6b se muestra el mismo esquema, pero ahora en lugar de banco de capacitores en baja tensión se tiene conectado un filtro.

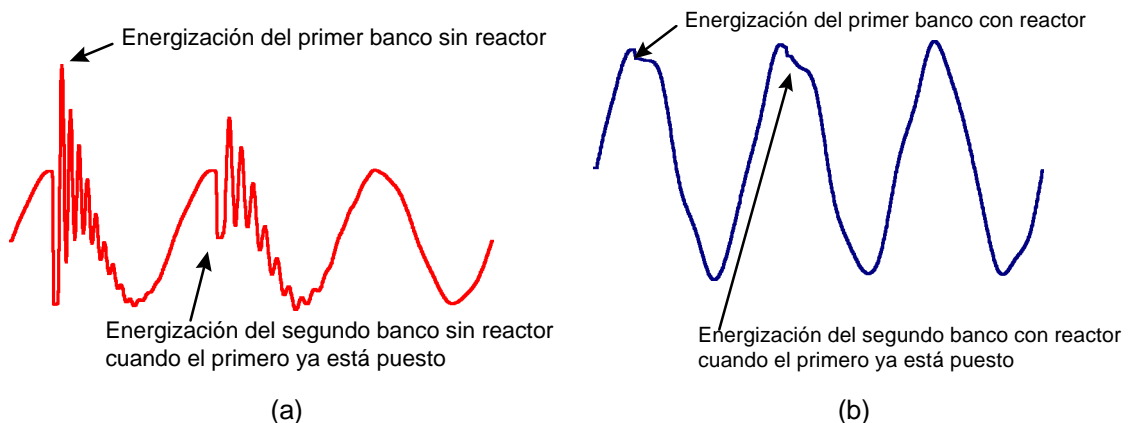


Figura 5. Efecto del reactor en los sobrevoltajes ocasionados por la conexión del banco

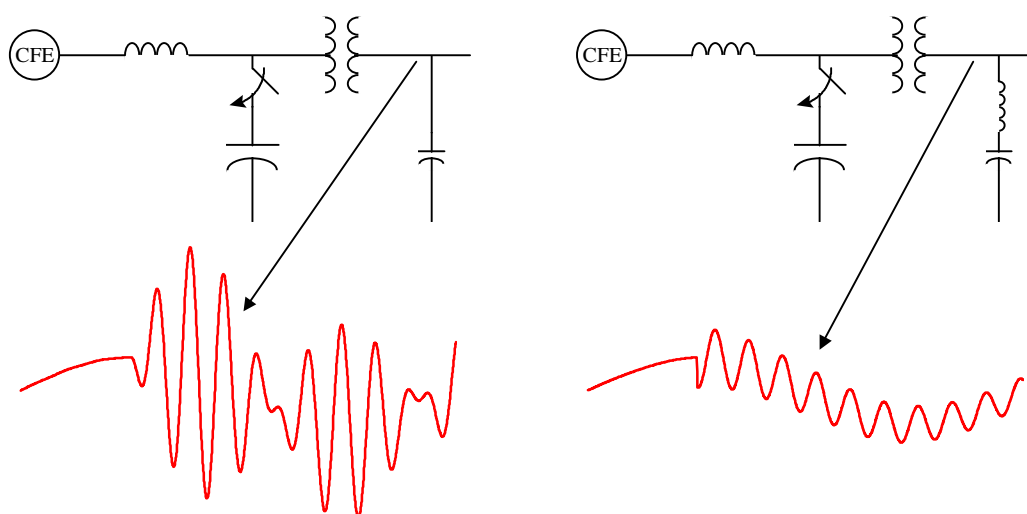


Figura 6. Efecto del reactor en la amplificación del sobrevoltaje provocado por la conexión de un banco de capacitores en media tensión.

III. CONCLUSIONES

La instalación de filtros en presencia de armónicas es un remedio práctico y económico para la corrección de factor de potencia. El incremento en costos debido a la inclusión de reactores se justifica al prevenir fallas en capacitores, al reducir la distorsión de voltajes y corrientes y a la disminución de pérdidas en transformadores y líneas de alimentación debidas a la atenuación de armónicas de orden superior.

Adicionalmente se tienen beneficios adicionales como la atenuación de las sobrecorrientes y sobrevoltajes ocasionados por maniobras de conexión de bancos de capacitores

Soluciones similares al caso presentado en este artículo se han desarrollado para varias industrias con un efectivo mejoramiento del factor de potencia y de la calidad de la energía eléctrica conllevando a un uso más eficiente de la energía eléctrica utilizada en los procesos de fabricación.

IV. BIBLIOGRAFIA

- [1] R. C. Dugan, D. T. Rzy, "Electric Power System Harmonics," *Design Guide*, McGraw-Edison Power Systems - Division of Cooper Industries., September 1987.
- [2] J. R. Linders, "Electric Wave Distortions: Their Hidden Costs and Containment," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. IA-15, No. 5, pp. 458-471, Sept/Oct. 1979.
- [3] J. F. Hibbard, Michael Z. Lowenstein, "Meeting IEEE 519-1992 Harmonic Limits," *TCI Power Quality Solutions*.
- [4] *IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants*. IEEE Std. 141-1993. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
- [5] Microtran Power Systems Analysis Corporation, *Microtran® Reference Manual*, Vancouver, BC, Canada, 1997.
- [6] J. de los Reyes, A. Llamas, "Armónicas de Sintonía y de Resonancia Paralelo," *Memorias de la Reunión de Verano de Potencia 97 del IEEE*, Acapulco, México, 1997.
- [7] G. Lemieux, "Power System Harmonic Resonance," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 26, No. 3, pp. 483-488, May/June 1990.