

Comité de Estudio B4 - Alta Tensión en Corriente Continua y Electrónica de Potencia

**IMPLEMENTACIÓN DE ALGORITMOS DE CONTROL EN FAPS Y SU COMPARACIÓN
CON FAPSH**

V.F. CORASANITI*
IITREE-LAT FI-UNLP
Argentina

M.B. BARBIERI
IITREE-LAT FI-UNLP
Argentina

P.L. ARNERA
IITREE-LAT FI-UNLP
Argentina

M.I. VALLA
LEICI FI-UNLP
Argentina

Resumen – En este trabajo se presenta la implementación de un lazo de control realimentado, aplicado a dos topologías de Filtros Activos de Potencia para la compensación de potencia reactiva, armónicas y desbalances de carga en el nivel de media tensión (MT) de un sistema de distribución de energía. Se considera como algoritmo de control, la aplicación de la teoría $d-q$ y la realización de la medición de la corriente a compensar en el sistema y no en la carga, estableciendo un lazo de control realimentado (feedback), en lugar de una simple compensación por avanacción (feedforward). Se analizan dos topologías con filtros activos de potencia conectados en 13,8 kV. Una topología activa pura denominada Filtro Activo de Potencia Shunt “FAPS” y otra híbrida denominada Filtro Activo de Potencia Shunt Híbrido “FAPSH”. Esta última propuesta utiliza el banco de capacitores existente, transformado en un filtro pasivo, para construir un filtro híbrido en el que la compensación complementaría la realiza un filtro activo. Ambas topologías presentan muy buen comportamiento en condiciones de estado estacionario y transitorio.

Palabras clave: Distribución de Energía – Compensación de Reactivo – Distorsión Armónica – Calidad de la Energía – Filtros Activos de Potencia – Algoritmo de Control. Lazo de Control.

1 INTRODUCCIÓN

Las cargas y los equipamientos no lineales en el lado del consumidor y las fuentes de energía renovables en el lado de la generación están estableciendo la necesidad de la electrónica de potencia como una interfaz esencial en sistemas eléctricos para mejorar la Calidad de la Energía [1][2]. La distorsión de la tensión, debido a las corrientes armónicas, se ha convertido en un gran problema para las empresas de energía en los niveles de distribución. Frecuentemente las empresas encuentran problemas relacionados con las armónicas, tales como pérdidas elevadas en transformadores y líneas, potencia reactiva y problemas de resonancia, pérdida de eficiencia del equipamiento de distribución, interacción armónica entre la empresa y las cargas, reducción de la estabilidad del sistema y de los márgenes de operación seguros [1][3].

El uso de compensación tradicional con bancos de capacitores y filtros pasivos facilita la propagación armónica. Esto es, la amplificación de tensión armónica debido al fenómeno de resonancia entre los capacitores shunt y las inductancias de la línea. En los últimos años se está prestando mayor atención a diferentes soluciones activas [4]-[7]. Se han desarrollado varias investigaciones tendientes a mejorar la Calidad de Energía [8]-[10]. Entre todas las alternativas de compensación, la topología híbrida, con filtros activos y pasivos, resulta muy atractiva en sistemas de distribución de energía donde alguna compensación pasiva ya está instalada [6][11].

En este trabajo se considera la utilización de un algoritmo de control diferente aplicado al diseño de dos topologías de filtros activos presentadas en [12], para solucionar un problema particular de un sistema de

distribución de energía. La reconfiguración del sistema impone nuevas restricciones en diferentes subestaciones de distribución (SD). Se han realizado estudios de armónicas considerando la configuración futura de la red, verificando las distorsiones de tensión en la barra de 13,8 kV del sistema y las condiciones de funcionamiento de los bancos de capacitores [13]. En este trabajo, se propone como algoritmo de control el marco de referencia sincrónico (d-q) y un sistema de control realimentado (feedback), en lugar de la teoría (p-q) y sistema de control por avance (feedforward) utilizados en [12]. Se presentan dos topologías activas conectadas en el nivel de MT de la SD para solucionar el problema de compensación de potencia reactiva, armónicas y desbalances.

2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

En el futuro, los requerimientos de mejora de los perfiles de tensión en el nivel de 13,8 kV establecen la necesidad de nuevas compensaciones en las diferentes SD [13]. Las cargas de las diferentes SD son principalmente cargas residenciales y comerciales, con lo cual es muy difícil identificar las fuentes de armónicas. Por lo tanto, es necesario construir un modelo basado en las mediciones de campo.

La Fig. 1 muestra el circuito unifilar del modelo de sistema adoptado para analizar la SD en estudio. Un modelo digital trifásico de la red es implementado utilizando MATLAB/Simulink Power System Blockset (PSB). El sistema es representado como una fuente de tensión ideal de 132 kV conectada a tres transformadores de similares características, 132/34,5/13,8 kV y 15/10/15 MVA. El sistema es modelado por una impedancia equivalente que representa la potencia de cortocircuito en 13,8 kV, la cual es de aproximadamente 200 MVA. No existen cargas en el nivel de 34,5 kV. Todos los transformadores están conectados en paralelo en 13,8 kV donde se conectan los bancos de capacitores y las cargas. Debido al grupo de conexión de los transformadores, los cuales son (Y/Y/D), no existen registros de tensiones y corrientes de secuencia cero y además, las mediciones realizadas, muestran que las corrientes de cargas no presentan componentes de frecuencia fundamental de secuencia negativa. Entonces, se utiliza un modelo balanceado de red para la SD en estudio. También se consideran los alimentadores de salida a las cargas.

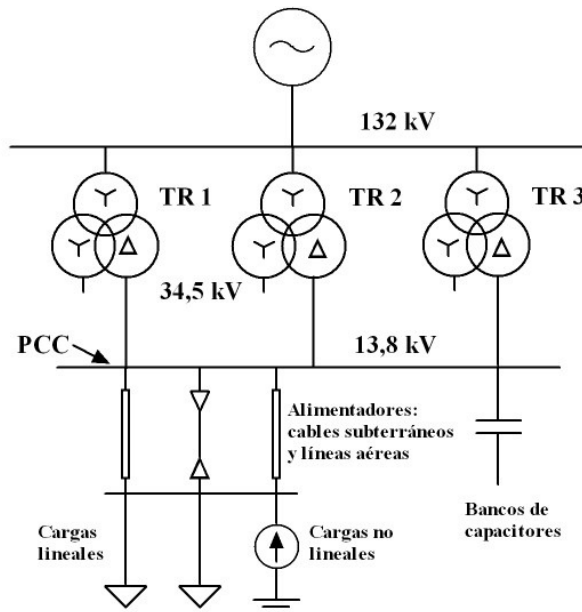


Fig. 1. Diagrama unifilar del modelo de sistema.

La potencia activa y reactiva demandada a la frecuencia fundamental es representada por un modelo de impedancia constante y la carga no lineal correspondiente a las armónicas es representada a través de fuentes de corriente sinusoidales con amplitudes y frecuencias correspondientes a cada armónica.

Basados en estudios de flujos de carga y armónicas realizados en el sistema [13], la potencia total de demanda en 13,8 kV considerada en este modelo es 29,3 MVA con un $\cos \varphi = 0.8$. Los valores picos de las corrientes armónicas y el THD_1 , son mostrados en la Tabla I.

TABLA I. CORRIENTES ARMÓNICAS

i_h	i_5 (A)	i_7 (A)	i_{11} (A)	i_{13} (A)	THD_1 (%)
Valores picos	74,9	54	24,5	18,7	5,4

La compensación de potencia reactiva de 9,6 MVar resultará en un $\cos \phi = 0,94$ en la barra de 13,8 kV del sistema, el cual es el objetivo del compensador propuesto. La compensación de las corrientes reactivas con bancos de capacitores de 4,8 MVar establece resonancias paralelo las cuales incrementan las armónicas a niveles inaceptables [13]. En la Tabla II se resumen las tensiones armónicas y el THD_U para todos los casos conjuntamente con los límites permitidos establecidos por la normativa Argentina [14] y el IEEE [15]. Para los casos de $Q_C = 4,8$ MVar y $Q_C = 9,6$ MVar, las tensiones armónicas de orden 5^{ta} y 7^{ma} y el THD_U superan los límites permitidos, con lo cual debe considerarse una compensación diferente.

TABLA II. RESULTADOS DE LAS TENSIONES ARMÓNICAS

Tensiones armónicas	Q_C (0 MVar)	Q_C (4,8 MVar)	Q_C (9,6 MVar)	Límites ENRE	Límites IEEE
U_5 (%)	3,29	5,47	<u>8,88</u>	6	3
U_7 (%)	3,32	<u>7,48</u>	3,61	5	3
U_{11} (%)	2,37	2,30	0,86	3,5	3
U_{13} (%)	2,14	1,42	0,56	3	3
THD_U (%)	5,66	<u>9,65</u>	<u>9,64</u>	8	5

3 FILTRO ACTIVO PURO

Una de las topologías más populares empleadas para la compensación de armónicas es el Filtro Activo de Potencia Shunt (FAPS) [6][16]. La estructura general de un FAPS se presenta en la Fig. 2.

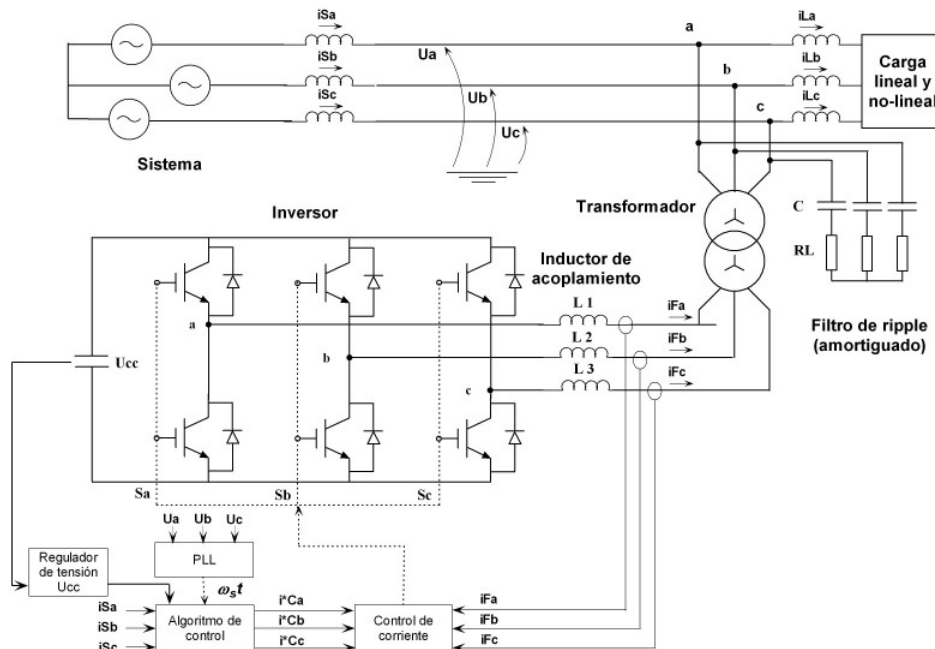


Fig. 2. Estructura general del FAPS.

Las corrientes armónicas son completamente provistas por el FAPS, mientras que la compensación de potencia reactiva es limitada a 9,6 MVar, poniendo un límite a la corriente inyectada por el FAPS. El mismo consiste de un Inversor Fuente de Tensión Trifásico Controlado en Corriente (IFTCC) conectado a la red a través de un inductor de acoplamiento y un transformador. Además, las frecuencias de conmutación o ripple producidas por el inversor son ulteriormente filtradas con un filtro paralelo pasa altos, conectado a la salida del transformador del FAPS, en 13,8 kV. Las referencias de corriente del IFTCC son generadas por el sistema de control basado en el marco de referencia sincrónico con la secuencia positiva de la frecuencia fundamental de la tensión del sistema (d-q) [5]. El lado de CC del inversor es construido con un capacitor de valor apropiado y el filtro activo puede aumentar y regular la tensión de CC en el capacitor sin ninguna fuente de energía externa.

El sistema de control mide las corrientes trifásicas del sistema (i_{Sa} , i_{Sb} , i_{Sc}), las tensiones trifásicas (U_a , U_b , U_c) y la tensión de CC del inversor para construir las referencias para el IFTCC.

Primero, las corrientes trifásicas del sistema (i_{Sa} , i_{Sb} , i_{Sc}) son transformadas en las componentes activa (i_d) y reactiva (i_q) utilizando una transformación a un sistema rotante sincrónico con la tensión de secuencia positiva de la frecuencia fundamental del sistema [5].

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \\ i_o \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \cdot \begin{bmatrix} \sin(\omega_s t) & \sin(\omega_s t - \frac{2 \cdot \pi}{3}) & \sin(\omega_s t + \frac{2 \cdot \pi}{3}) \\ \cos(\omega_s t) & \cos(\omega_s t - \frac{2 \cdot \pi}{3}) & \cos(\omega_s t + \frac{2 \cdot \pi}{3}) \\ 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_{Sa} \\ i_{Sb} \\ i_{Sc} \end{bmatrix} \quad (1)$$

donde $\omega_s t$ es el ángulo de fase de la componente de secuencia positiva de la frecuencia fundamental de la tensión del sistema, la cual es provista por un PLL.

El sistema bajo estudio es un sistema de tres hilos donde la secuencia cero puede ser despreciada, entonces solo se consideran i_d e i_q . Las corrientes activas y reactivas pueden ser también descompuestas en sus valores de CC y CA. El valor medio de las corrientes activas y reactivas (i_{dCC} e i_{qCC}) son las componentes fundamentales de las corrientes activas y reactivas, mientras que las componentes de CA de ambas corrientes (i_{dCA} e i_{qCA}) corresponden a la contribución de las componentes armónicas a las corrientes activa y reactiva y las componentes de secuencia negativa de las corrientes de carga. Es deseable que el sistema sólo abastezca el valor de CC de la corriente activa (i_{dCC}) mientras que la propia componente de CA de la corriente activa (i_{dCA}) y toda o parte de la corriente reactiva (i_q), sea abastecida por el FAPS. Luego, las corrientes instantáneas activa y reactiva son filtradas con el fin de separar ambas componentes y generar las corrientes de referencia correctas al IFTCC, (i_d^*) e (i_q^*).

$$\begin{bmatrix} i_{dCA} \\ i_{qCA} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} i_{dCC} \\ i_{qCC} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Estas componentes de corriente son amplificadas por una ganancia K_I para obtener las referencias del inversor de potencia. Además de proporcionar las corrientes armónicas, el sistema de control debe mantener la tensión de CC del IFTCC para garantizar su operación exacta. El control de tensión de CC (U_{CC}) es obtenido controlando i_d tal como se muestra en la Fig. 3, donde se presenta el diagrama en bloques del sistema de control. Respecto a la componente de corriente reactiva, el control implementado compensa las componentes de CA (i_{qCA}) más una parte de su valor medio (i_{qCC}), correspondiente a $Q_{m\acute{a}x} = 9,6$ MVar, determinado por el limite denominado $i_{qCCm\acute{a}x}$. Luego las referencias de corriente en el plano [a-b-c], son

$$\begin{bmatrix} i_{ca}^* \\ i_{cb}^* \\ i_{cc}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin(\omega_s t) & \cos(\omega_s t) \\ \sin(\omega_s t - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\omega_s t - \frac{2\pi}{3}) \\ \sin(\omega_s t + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\omega_s t + \frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_d^* \\ i_q^* \end{bmatrix} \quad (3)$$

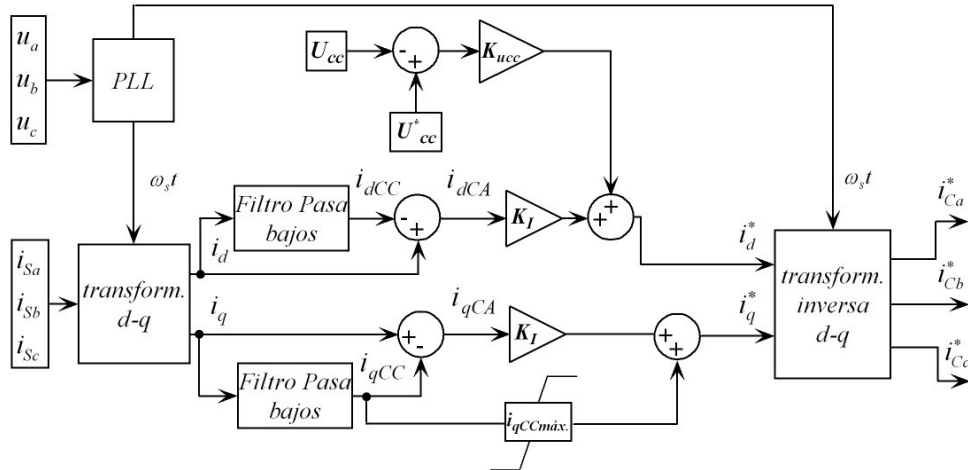


Fig. 3. Diagrama en bloques del control del FAPS.

Las corrientes de fase del inversor (i_{Fa} , i_{Fb} , i_{Fc}) son comparadas, una por una, con las corrientes de referencia (i_{Ca}^* , i_{Cb}^* , i_{Cc}^*) a través de tres comparadores por histéresis, determinando las señales de disparo del inversor. Las corrientes de fase del inversor son muestreadas a una frecuencia fija con el propósito de limitar la máxima frecuencia de conmutación. El control por histéresis con frecuencia limitada constituye un control de corriente simple, rápido y robusto. Los parámetros de diseño del FAPS son resumidos en la Tabla III.

TABLA III. PARÁMETROS DE DISEÑO DEL FAPS

Inversor		Filtro de ripple (amortiguado)		Transformador	
U _{cc} (V)	6500	R (ohm)	30	S (MVA)	15
C (uF)	7500	C (uF)	3,53	U ₁ / U ₂ (kV)	2,3 / 13,8
L (mH)	0,75	L (mH)	3,18	X (%)	10
----	----	f _c (Hz)	1500	L _{2.3kV} (mH)	0,112

4 FILTRO HIBRIDO SHUNT-SHUNT

La estructura general de un Filtro Activo de Potencia Shunt Híbrido (FAPSH) se presenta en la Fig. 4. El mismo se forma conectando un filtro pasivo en paralelo con la misma estructura general del FAPS mostrado en la Fig. 2. Esta topología tiene la ventaja de utilizar el banco de capacitores ya instalado en la SD analizada. Éste es modificado transformándolo en un filtro pasivo con el fin de evitar posibles resonancias. De este modo 4,8 MVAR son compensados por el filtro pasivo y una menor corriente es provista por el FAPS. El FAPS también abastece aquellas armónicas que no son provistas por el filtro pasivo.

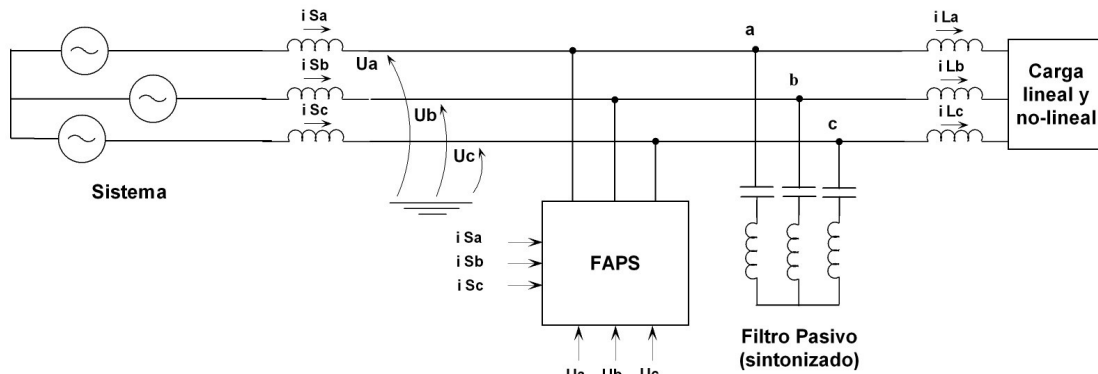


Fig. 4. Estructura general del FAPSH implementado.

El diseño del filtro activo es el mismo que el presentado anteriormente para la topología activa pura. En esta topología, en el sistema de control de la Fig. 3, se modifica el valor de $i_{qCCmáx}$ correspondiente a $Q_{máx} = 4,8$ MVAR. Dado que el FAPS funciona con una corriente más baja, una capacidad menor es requerida para mantener el mismo valor de ripple de la tensión de CC. El FAPS y el transformador de conexión son diseñados para una potencia menor, tal como se muestra en la Tabla IV.

El filtro pasivo consiste de un filtro simple LC sintonizado a la 5^a armónica y 4,8 MVAR de potencia reactiva, diseñado según [3]. En la Tabla IV se presentan los parámetros de diseño del FAPSH y del filtro pasivo. Aquellos del filtro de ripple son los mismos que los que se presentaron en la Tabla III.

TABLA IV. PARÁMETROS DE DISEÑO DEL FAPSH

Inversor		Transformador		Filtro pasivo (sintonizado)			
U _{cc} (V)	6500	S (MVA)	10	Q (MVAR)	4,8	C (uF)	80,2
C (uF)	3000	U ₁ /U ₂ (kV)	2,3/13,8	f _s (Hz)	250	L (mH)	5,05
L (mH)	0,75	X (%)	10	R (ohm)	0,17	Q	45
		L _{2.3kV} (mH)	0,168				

En la Tabla V se presenta una comparación de los componentes y potencias requeridos por ambas topologías FAPS y FAPSH presentadas e implementadas en este trabajo. La Tabla muestra claramente que la solución híbrida reduce notablemente la corriente de diseño del inversor y la potencia del transformador de potencia. Como consecuencia, resulta un capacitor de menor valor en el lado de CC del inversor. La solución híbrida es más económica que la activa pura, considerando especialmente que los capacitores del filtro pasivo se encuentran instalados en la red.

TABLA V. RESUMEN DE COMPONENTES

Componentes		FAPS	FAPSH	
Inversor	Capacidad de los IGBT	$S = \sqrt{3} / 2 \cdot U_{CC} \cdot I_{pico}$ (MVA)	26,5	15,5
		I_{pico} = Corriente pico en 2.3 kV (A)	4700	2750
	Capacitor de CC	U_{CC} = Tensión de continua (V)	6500	6500
		C (uF)	7500	3000
Inductor de acoplamiento		si	si	
Transformador de conexión (MVA)		1 x 15	1 x 10	
Filtro Pasivo (MVar)		no	1 x 4,8	
Filtro de ripple		si	si	

5 EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO

Las dos topologías de filtros propuestas para compensar la SD bajo estudio son evaluadas y comparadas utilizando MATLAB/Simulink Power System Blockset (PSB) y los resultados son presentados en esta sección. La SD y los filtros son simulados para diferentes condiciones de carga.

5.1 Demanda máxima

Primero se considera la compensación de estado estacionario. Las dos topologías implementadas se comparan en lo que respecta a las tensiones de fase y corrientes de línea en la barra de 13,8 kV de la SD (aguas arriba de la instalación de los filtros).

Los resultados para el estado estacionario de demanda máxima de 29,3 MVA con un $\cos \phi = 0,8$ y con la compensación de los 9,6 MVar de potencia reactiva y armónicas, son presentados en las Figs. 5 y 6, para ambas topologías FAPS y FAPSH.

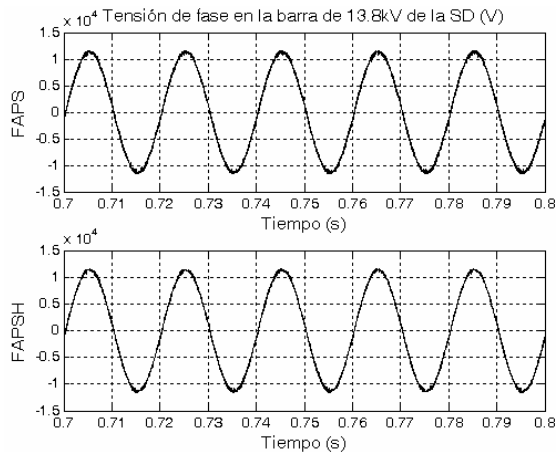


Fig. 5-(a)

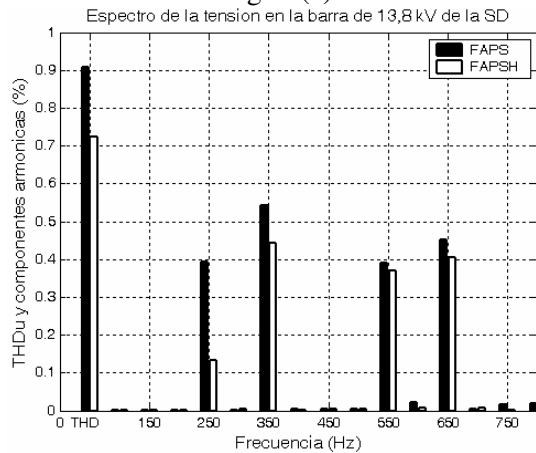


Fig. 5-(b)

Fig. 5. 100 % de carga. Tensiones en 13,8 kV. - (a) Formas de onda. - (b) Armónicas y THDU.

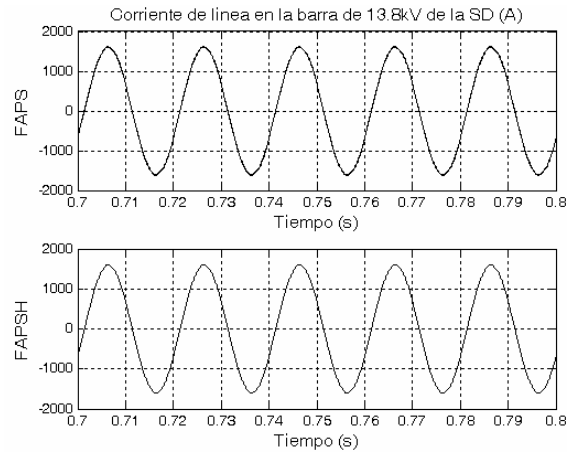


Fig. 6-(a)

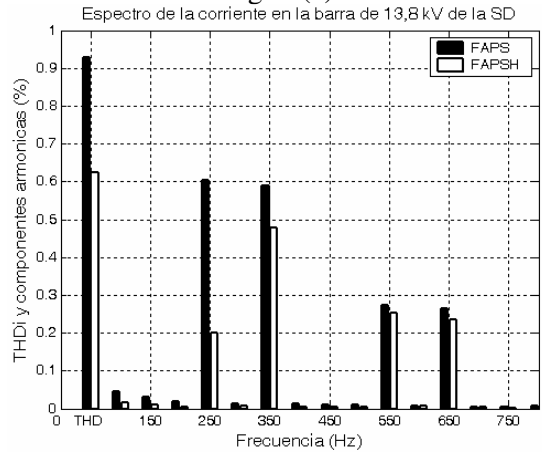


Fig. 6-(b)

Fig. 6. 100 % de carga. Corrientes en 13,8 kV. - (a) Formas de onda. - (b) Armónicas y THDI.

La Fig. 5-(a) muestra las formas de onda de las tensiones de fase en la barra de 13,8 kV, mientras que la Fig. 5-(b) presenta las componentes armónicas conjuntamente con el THD_U . Los mismos resultados correspondientes a las corrientes de línea en dicha barra son presentados en las Figs. 6-(a) y 6-(b). En ambos casos, las componentes armónicas son expresadas como un porcentaje del valor de la componente fundamental de 50 Hz. y los valores de THD_U y THD_I han sido calculados teniendo en cuenta hasta la armónica de orden 50^{ta}. Los resultados de las Figs. 5 y 6 muestran un decrecimiento de las armónicas de tensión y corriente y por ende de los THD_U y THD_I con respecto al caso de compensación con bancos de capacitores. Esto es confirmado en la Tabla VI en la cual se resumen los resultados de ambas compensaciones. Con el fin de tener en cuenta la distorsión de alta frecuencia en la tensión de línea, producida por la conmutación del inversor, se calculan los THD_U para ambas topologías hasta la armónica de orden 12 kHz, y los mismos se incrementan a 1,95 %.

TABLA VI. RESULTADOS DE POTENCIAS Y DISTORSIONES

Topología	P (MW)	Q (MVar)	$U_{1 \text{ fase}}$ (kV rms)	THD_U (%)	$I_{1 \text{ línea}}$ (A rms)	THD_I (%)	Cos ϕ
FAPS	25,8	8,9	8061	0,92	1130	0,91	0,94
FAPSH	25,8	9	8060	0,74	1130	0,61	0,94

5.2 Aumento de demanda

Las Figs. 7 y 8 muestran las formas de onda de la tensión y la corriente de una de las fases mostrando el transitorio de aumento de carga del 50 % al 100 %, en $t = 0,5$ s. Se observa que la calidad de las formas de onda para ambos estados de carga es similar y el transitorio de aumento de carga es prácticamente imperceptible en la tensión de línea.

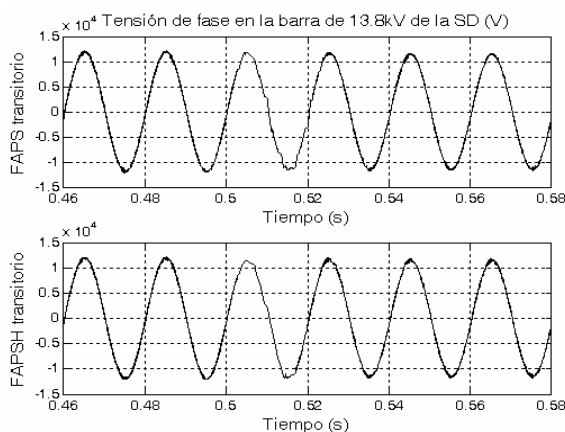


Fig. 7. Aumento de carga del 50 al 100 %.
Tensiones en 13,8 kV.

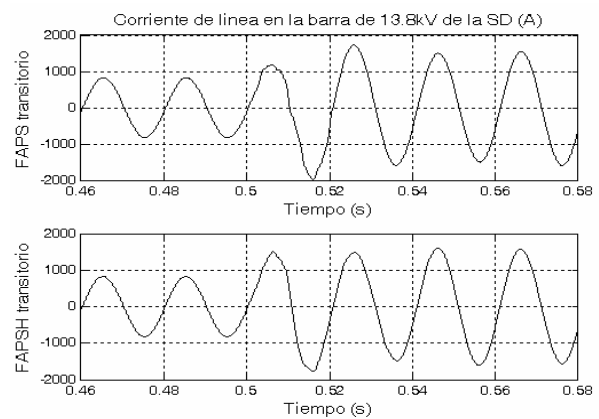


Fig. 8. Aumento de carga del 50 al 100 %.
Corrientes en 13,8 kV.

5.3 Desbalances de carga

En este punto se evalúan los efectos de los desbalances de las corrientes de carga. Aunque en las mediciones previas no fueron detectados problemas de desbalances de carga, se realizaron simulaciones para evaluar el comportamiento de los filtros en la compensación de la secuencia negativa de frecuencia fundamental. Cierta desbalance de carga es caracterizado por un 7 % de secuencia negativa en la corriente de carga (relación de la corriente de secuencia negativa a la corriente de secuencia positiva).

Las corrientes de cada fase en la barra de 13,8 kV de la SD se presentan en las Figs. 9 y 10 para la topología FAPS y FAPSH, respectivamente. En el caso de la topología FAPSH el filtro pasivo estaba conectado. Luego en ambos casos el FAPS se conecta en $t = 0,2$ s. Ambas figuras muestran como las corrientes distorsionadas y desbalanceadas se convierten casi en sinusoidales y balanceadas luego que el FAPS es conectado en ambas topologías. El desbalance inicial en la tensión del 1 % es reducido aproximadamente al 0.1 % en ambos casos y el desbalance de corriente del 7 % al 0,7 %.

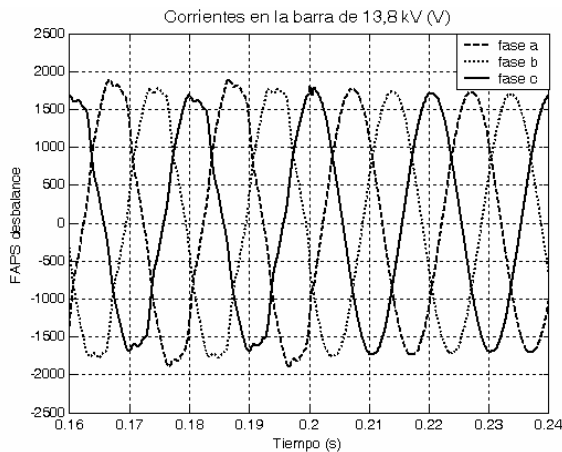


Fig. 9. FAPS. Compensación de desbalance.

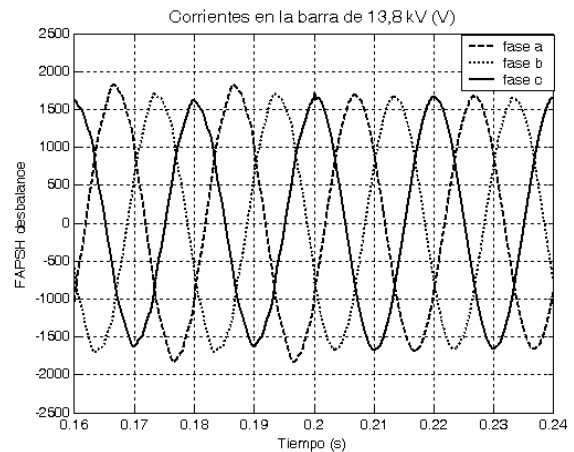


Fig. 10. FAPSH. Compensación de desbalance.

6 CONCLUSIONES

El diseño de dos topologías de filtros shunt, activo e híbrido, para compensar potencia reactiva, armónicas y desbalances en el nivel de media tensión de un sistema de distribución fueron presentados y comparados en este trabajo. Se utilizó un algoritmo más sencillo (marco de referencia sincrónico d-q) dentro de un sistema de control realimentado a diferencia de lo presentado anteriormente en [12]. La primera topología considera que toda la compensación es realizada con el filtro activo, la segunda utiliza un banco de capacitores existentes y construye la compensación complementaria con un filtro activo. Las dos topologías propuestas presentan muy buen funcionamiento. La última topología resulta en una solución más económica en particular cuando existe alguna compensación pasiva ya instalada en el sistema de distribución. La misma es de diseño bastante simple y presenta muy buen desempeño ya sea en condiciones de operación de estado estacionario como transitorio.

7 REFERENCIAS

- [1] Acha E., V.G. Agelidis, O. Anaya-Lara and T.J.E. Miller. *Power Electronic Control in Electrical Systems*. Newnes Power Engineering Series, 2002.
- [2] Arrillaga J., N.R. Watson and S. Chan. *Power System Quality Assessment*. Wiley & Sons, 2000.
- [3] Arrillaga J. and N. R. Watson. *Power System Harmonics*. Wiley & Sons Ltd, 2nd ed., 2003.
- [4] Hingorani N.G. and L. Gyugyi. *Understanding FACTS: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems*. Wiley-IEEE Press, 1999.
- [5] Akagi H., E. Watanabe and M. Aredes. *Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning*. IEEE Press Series on Power Engineering, 2007.
- [6] Akagi H., "Active Harmonic Filters", in *Proc. of the IEEE*, Vol. 93, No. 12, pp. 2128 – 2141, 2005.
- [7] Zhang C., Q. Chen, D. Li and Y. Zhao, "A Novel Power Quality Conditioner Applied to High Voltage Power Systems", in *Proceedings IEEE PES General Meeting Conf.*, 2006.
- [8] Singh B., K. Al-Haddad and A. Chandra, "A Review of Active Filters for Power Quality Improvement", *IEEE Trans. Industrial Electronics*, Vol. 46, No. 5, pp. 960-971, 1999.
- [9] Chen F., H. Cheung, L. Wang, T.Mander, W.Liu and R. Cheung, "Adaptive D-based Active Power Line Filter for Industrial and Commercial Power Distribution", in *Proc. IEEE PES GM Conf.*, 2007.
- [10] Huang A., S. Bhattacharya, M. Baran, B. Chen and C. Han, "Active Power Management of Electric Power System Using Emerging Power Electronics Technology", in *Proc. IEEE PES GM Conf.*, 2007.
- [11] S. Bhattacharya and D. Divan, "Active Filter Solutions for Utility Interface of Industrial Loads," in *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Pow. Elect., Drives and Energy Systems for Ind. Growth*, Vol.2, pp: 1078–1084, Jan. 1996.
- [12] Corasaniti V. F., M. Barbieri, P. Arnera y M. I. Valla, "Filtros Activos en la Compensación de Reactivo y Armónicas en Media Tensión de una Red de Distribución", *Décimo Segundo Encuentro Regional Iberoamericano del CIGRÉ, XII ERIAC*, Publicado en el CD del congreso, Comité de Estudio B4, CE B4.
- [13] Corasaniti V. F., M. Barbieri, P. Arnera and M. I. Valla, "Load characterization in Medium Voltage of an Electric Distribution Utility Related to Active Filters", in *Proceedings IEEE PES TDC Conf.*, 2006.
- [14] Resolución ENRE 184/00, Ente Nacional Regulador de la Electricidad, Base Metodológica para el Control de la Calidad del Producto Técnico. Etapa 2, 2000.
- [15] IEEE Standard 519-1992, IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems, 1992.
- [16] Corasaniti V. F., M. Barbieri, P. Arnera and M. I. Valla, "Reactive and Harmonics Compensation in a Medium Voltage Distribution Network With Active Filters", in *Proc. IEEE ISIE*, pp. 2510-2515, 2007.