

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN FILTRO SUPRESOR DE ARMÓNICOS PARA LA LÍNEA ELÉCTRICA

Blancas Núñez Jorge
 Centro Nacional de Metrología, División de Apoyo Tecnológico
 Km. 4,5 Carretera a Los Cués Municipio El Marqués Querétaro Qro. México C.P. 76000
jblancas@cenam.mx Tel 01(442) 211-05-65

Resumen: Se presenta el diseño y construcción de un filtro supresor de armónicos, como una solución propuesta a los laboratorios de metrología de alta exactitud. Se han obtenido excelentes resultados en el uso de este filtro con sistemas complejos tales como el sistema primario de tensión eléctrica, el Efecto Josephson, donde se han disminuido las fuentes de ruido que afectan al sistema que son conducidas por la línea eléctrica de alimentación.

1. INTRODUCCIÓN

Los laboratorios de mediciones de alta exactitud, como los laboratorios de metrología, requieren para un correcto funcionamiento de sus instrumentos, de una línea eléctrica de calidad; esta calidad de línea se puede medir con base en el contenido de los armónicos presentes en la tensión eléctrica. Una medida representativa de la calidad de la línea eléctrica es la Distorsión Armónica Total (THD)¹.

Las recomendaciones internacionales para la calidad de línea eléctrica indican que: Para laboratorios de metrología (general), THD debe ser menor al 5%. Para laboratorios primarios de metrología eléctrica, THD debe ser menor al 3%.^{[1][2]}

1.1 La Distorsión Armónica

De acuerdo con el teorema de Fourier, cualquier señal periódica y continua se puede descomponer en una suma infinita de ondas senoidales de frecuencias, múltiplos de la señal fundamental; estas frecuencias son conocidas como frecuencias armónicas, y son producidas por todo tipo de cargas no lineales que están conectadas a la línea de alimentación eléctrica [2].

Los principales efectos de los armónicos en la línea eléctrica son: uso ineficiente de la energía, fallas aleatorias de los equipos (sin causa aparente), envejecimiento prematuro de componentes, sobrecalentamiento, disparo de alarmas, pérdida de la secuencia en equipos programables, etc. además del invaluable tiempo perdido al repetir las mediciones cuando las lecturas son inestables.

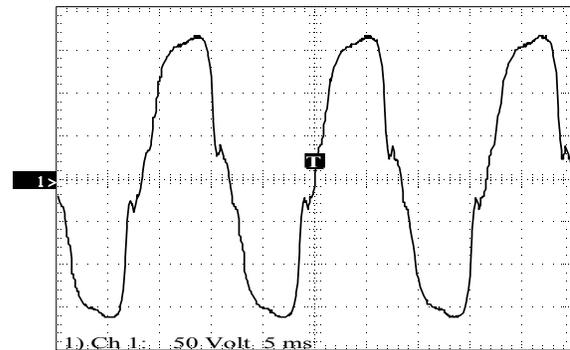


Fig. 1 Línea eléctrica con armónicos, a la entrada del filtro. Escala horizontal 5 ms por cuadro, escala vertical 50 volts por cuadro.

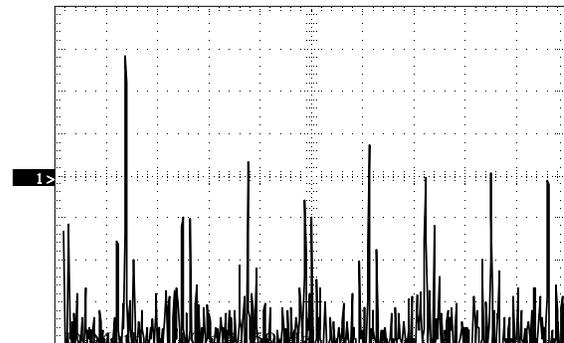


Fig. 2 Espectro de la señal de la figura 1. Escala horizontal 50 Hertz por cuadro, escala vertical 10 dB por cuadro.

Las figuras 1 y 2 son ejemplo de una línea de alimentación eléctrica con una distorsión armónica total de **13%**, muy por arriba de las recomendaciones para línea eléctrica para laboratorios.

2. DISEÑO DEL FILTRO

2.1 Circuito propuesto

Está basado en el uso de filtros pasivos analógicos, dado que alimentará en este caso, una carga máxima de 600 W; cabe señalar que los armónicos de mayor amplitud presentes en la línea son el tercero y el quinto, por esto se optó por hacer un filtrado especial a dichos armónicos.

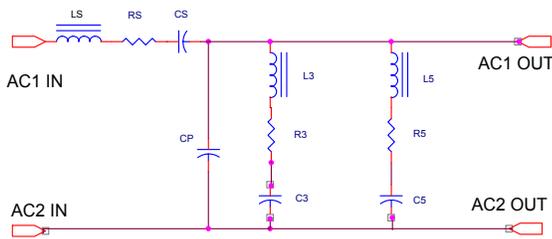


Fig. 3 Circuito propuesto Sin escala

En la figura 3 se observa: el inductor LS con su resistencia RS asociada (propia del devanado) y CS; el arreglo LS y CS forman un filtro pasabanda el cual se calcula a una frecuencia central de 60 Hz, frecuencia nominal de la línea eléctrica en México. El arreglo formado por el inductor L3 y el condensador C3, forman un filtro de rechazo de banda al tercer armónico, 180 Hz. El arreglo formado por el inductor L5 y el condensador C5 forman un filtro de rechazo de banda al quinto armónico, 300Hz. Finalmente los arreglos L3-C3 y L5-C5 si se evalúan a la frecuencia fundamental, presentarán una reactancia capacitiva en paralelo con CP, este arreglo junto con LS y CS forman un filtro pasabajo el cual se encargará de atenuar todos los componentes de alta frecuencia presentes en la línea eléctrica. El resultado final, como se observa en la figura 4, es que se tiene un filtro pasabanda a 60 Hz de tercer orden e incrustados en el un filtro de rechazo de banda de segundo orden de tercera armónica y un filtro de rechazo de banda de quinta armónica también de segundo orden.

2.2 Evaluación del filtro

La evaluación del filtro se realizó en dos etapas, la primera consistió en la simulación por computadora del circuito propuesto, la simulación se realizó utilizando el paquete llamado Spice de Intusoft, que es un paquete de simulación de

circuitos electrónicos. A la entrada del filtro se conectó un generador de onda cuadrada, a la salida del filtro se conectó una carga resistiva equivalente a la carga que manejaría el filtro, se observó que en la salida se obtenía una señal de forma senoidal con una distorsión de 1,5%.

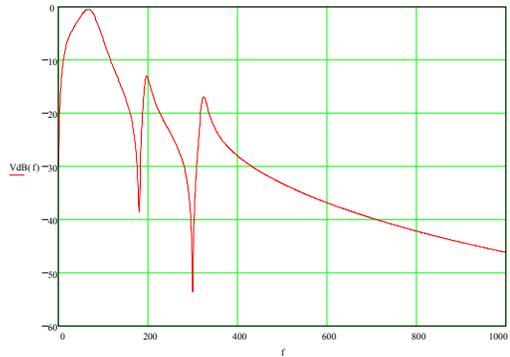


Fig. 4 Respuesta en frecuencia de simulación escala horizontal 200 Hz por división, escala vertical 10 dB por división

En la figura 4 se observa la respuesta en frecuencia del circuito propuesto, destacando el pico de paso de banda a 60 Hz, los picos de rechazo de banda al tercer y quinto armónico así como la atenuación a los componentes de alta frecuencia.

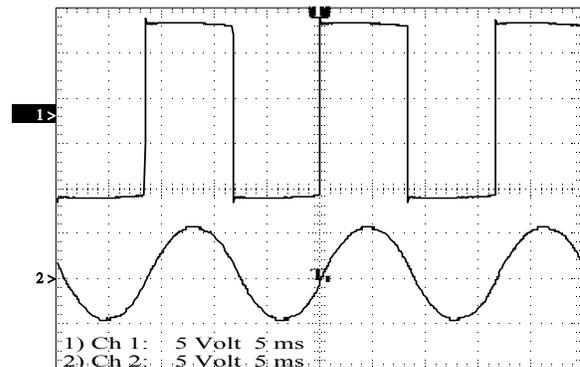


Fig. 5 Respuesta del filtro a una onda cuadrada de entrada y una carga resistiva a la salida. Escala horizontal 5mS por cuadro, escala vertical 5 volts por cuadro

La segunda etapa de la evaluación consistió en la prueba del circuito propuesto en el laboratorio, es decir se fabricaron las inductancias y se conectaron las capacitancias según el diagrama de la figura 3, inicialmente se realizó una prueba en baja potencia conectando a la entrada del filtro

un generador de funciones con una salida de pulso cuadrado bipolar y sin carga, se observó en la salida una señal de forma senoidal, esta prueba fue cualitativa, ver figura 5.

El filtro fue conectado a la línea eléctrica con que se cuenta en el laboratorio y se conectó a la salida del filtro inicialmente una carga resistiva de 500 watts, se observó a la salida una distorsión armónica de 2%. Posteriormente la carga se cambió y se conectaron como cargas una computadora de 300 watts, un osciloscopio de 60 watts y dos lámparas de 60 watts cada una, se midió a la salida una distorsión de 2,7%. Las mediciones de distorsión se realizaron utilizando para ello, un Analizador de Distorsión marca Hewlett Packard modelo 8903E

Finalmente el equipo fue instalado en el laboratorio de efecto Josephson con las siguientes cargas:

- Una fuente de polarización del sistema Josephson marca RMC modelo JBS500
- Una fuente de polarización del sistema Josephson marca RMC modelo JBS500
- UN osciloscopio Tektroniks modelo TAS465
- Un multímetro HP modelo 3458^a
- Un frecuencímetro marca EIP modelo 578B

Después de conectar estas cargas reales se realizaron 50 mediciones a lo largo del día de la distorsión armónica obteniéndose un valor máximo de 2,7%, lo cual es un valor que se encuentra dentro de las recomendaciones para una línea eléctrica utilizada en laboratorios de metrología eléctrica primaria.

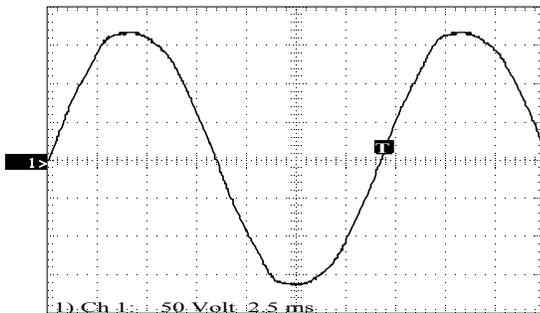


Fig. 6 Salida del filtro con carga real. Escala horizontal 2,5 ms por cuadro, escala vertical 50 volts por cuadro

La tensión de salida conectando estos instrumentos se observa en la figura 6, su espectro de frecuencias correspondiente se observa en la figura 7 en la figura 8 se observa el equipo terminado.

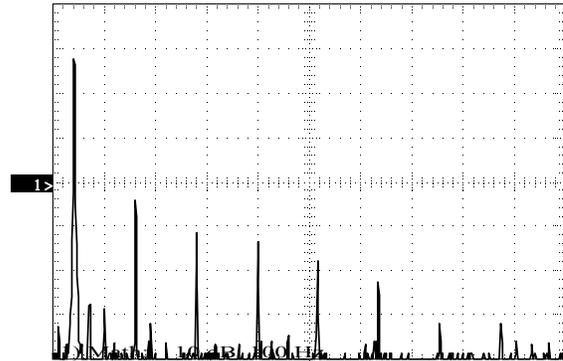


Fig. 7 Salida del filtro con carga real, espectro de frecuencias. Escala horizontal 100Hz por división, escala vertical 10 dB por división.

2.3 Comparación del filtro

Existen en el mercado filtros comerciales costosos para uso industrial, sin embargo ninguno garantiza una distorsión armónica total menor al 3% a su salida con cargas no lineales, este filtro se comparó contra un sistema comercial conocido como regenerador de línea obteniéndose con nuestro desarrollo una distorsión armónica menor, la prueba se realizó conectando la misma carga a ambos sistemas y alimentados de la misma línea de tensión, con el filtro desarrollado se midió una distorsión armónica del 2,7% y con el sistema comercial se midió una distorsión armónica del 3,5%

3 CONSTRUCCIÓN

La construcción del filtro implicó el cálculo y la fabricación de los inductores, los cuales están fabricados con acero al silicio de grano orientado, de acuerdo con los cálculos se requirió realizar un maquinado al laminado de acero al silicio de grano orientado, formando con el maquinado un entrehierro magnético, este entrehierro produce una disminución de la permeabilidad magnética del núcleo laminado del inductor y también, como es conocido, evita que el núcleo llegue a la saturación magnética.

Las capacitancias se realizaron mediante arreglos de condensadores en paralelo capaces de soportar la tensión de la línea eléctrica.

Una vez teniendo los elementos se procedió a realizar las interconexiones de los componentes electrónicos según el circuito de la figura 3.

Todo el circuito del filtro de armónicos se alojó en un gabinete metálico, debidamente aterrizado, de uso industrial.



Fig. 8 El filtro de armónicos equipo terminado

4.- RESULTADOS Y CONCLUSIONES

4.1 Resultados

- Con el empleo del filtro, se logró disminuir la distorsión armónica total del **13% al 2,7%**; siendo esta distorsión, menor al nivel recomendado para laboratorios primarios de metrología. Para obtener los resultados se utilizó carga real de instrumentos conectados al filtro de armónicos, estos son:

- ✓ Una fuente de polarización del sistema Josephson marca RMC modelo JBS500
- ✓ UN osciloscopio Tektroniks modelo TAS465
- ✓ Un multímetro HP modelo 3458 A
- ✓ Un frecuencímetro marca EIP modelo 578B

4.2 Conclusiones

- Se ha obtenido la experiencia necesaria para diseñar filtros supresores de armónicos pasivos de cualquier capacidad.
- El presente desarrollo, es susceptible de solucionar problemas de armónicos a nivel laboratorio para alimentar instrumentación delicada.
- Se logró solucionar el problema de armónicos en laboratorio originalmente planteado

REFERENCIAS

- [1] "Recommended Environments for Standards Laboratories" ISA RP 52.1 1976
- [2] H. Bachmair "Planning and Equipping Laboratories for Electrical Metrology " Bulletin OIML No 119 Jun 1990
- [3] Muhammad H. Rashid "Electrónica de Potencia Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones" 2ª Ed. Prentice Hall. 1995

ⁱ THD "Total Harmonic Sistorion" por sus siglas en inglés