

EMI/RFI por Sistemas de Respaldo Eléctrico en Telecomunicaciones

Ing. Cesar Ruiz
Ing. Eduardo González

Resumen—Este documento trata de ofrecer una visión general de las emisiones EMI/RFI en dispositivos de Respaldo de Energía Eléctrica y su influencia en equipos de telecomunicaciones. La Interferencia Electromagnética (EMI), también es referida como Interferencia de Radio Frecuencia, cuando se limita al rango de 150 KHz a 100 MHz. Ambas consisten en la emisión de señales no deseadas, produciendo contaminación electromagnética. La disciplina de ingeniería dedicada al estudio de EMI/RFI se denomina Compatibilidad Electromagnética (EMC), que se encarga de determinar el grado de pulción electromagnética que un sistema puede emitir sin repercutir negativamente en otros sistemas. La Comisión Internacional Electrotécnica (IEC por sus siglas en inglés), en su grupo CISPR, subcomité H e I, trabaja por la estandarización de los límites EMI/RFI en equipos de telecomunicaciones. Los Sistemas de Respaldo de Energía presentan diversas fuentes de EMI/RFI, especialmente los sistemas compuestos de Rectificadores Controlados (SCR), transistores IGBT y fuentes de conmutación HF. Existen varias técnicas de mitigación de estas interferencias, y es necesario conocer el origen de dichas emisiones para poder realizar la supresión y/o filtrado satisfactoriamente.

Palabras Clave—EMI, RFI, Ruido, SCR, IGBT, Transistor, Interferencia, Radio Frecuencia, Filtros

I. INTRODUCCIÓN

A medida que los Sistemas de Respaldo de Energía han evolucionado, se ha incrementado el uso de técnicas de control de voltaje que son propensos a emitir radiación electromagnética (EMI/RFI) de forma indeseada. Estas emisiones pueden afectar el funcionamiento correcto de otros sistemas y dispositivos asociados, tanto del propio SRE como de los componentes que se surten de este.

La disciplina de ingeniería dedicada al tratamiento del fenómeno EMI/RFI es conocida como Compatibilidad Electromagnética, y trata tanto la emisión como la tolerancia a las interferencias. Se dice entonces que un dispositivo es compatible electromagnéticamente si sus emisiones ofrecen niveles bajos de interferencia a otros dispositivos y sistemas. En el caso de SRE, éste será compatible siempre y cuando sus emisiones no afecten el correcto funcionamiento de los equipos que se surten de este.

Generalmente, se considera que la interferencia electromagnética (EMI) y la interferencia por radio frecuencia (RFI) son un mismo concepto, sin embargo, RFI constituye un subconjunto de EMI. El rango de frecuencias de las emisiones RFI es desde 150 KHz hasta 100 MHz, mientras que el rango de emisiones EMI se expande hasta varios Gigahertz.

II. BASES TEÓRICAS

A. Clasificación de las señales de interferencia

Con la finalidad de identificar y precisar las fuentes de EMI/RFI, es necesario clasificarlas desde tres puntos de vista:

- por el contenido frecuencial
- por el carácter de la interferencia
- por el modo de transmisión

1) *Clasificación de EMI/RFI según el contenido frecuencial*: La ubicación dentro del espectro electromagnético y el ancho de banda que las emisiones EMI/RFI presentan son dos de los parámetros más revisados para la clasificación según el contenido frecuencial. En cuanto a la ubicación, generalmente se clasifica en un rango entre 0 y 1000 MHz. La figura 1 permite visualizar esta ubicación. El rango de 1,25 a 150 KHz generalmente no es de interés para los ingenieros de EMC, aunque recientemente, esto ha cambiado[1]. Desde 0,15 a 30 MHz, se le denomina HF, y corresponde a las emisiones RFI que generalmente se realizan de forma conducida, a diferencia de las emisiones radiadas, ubicadas en el rango de 30 a 1000 MHz. Entre las emisiones radiadas y las emisiones conducidas existen diferencias sustanciales en su tratamiento.

Para completar la clasificación, se revisa el ancho espectral de las señales, y se distingue entre señales de banda angosta y señales de banda ancha. Este parámetro es de suma importancia para la solución de problemas, aunado a la aplicación adecuada de niveles de emisión estándar.

a) *Señales de banda angosta*: Corresponde a un espectro donde los componentes están ubicados en frecuencias discretas, con una dispersión muy angosta. Normalmente, los dispositivos que producen señales de HF como una necesidad operacional crearán señales de espectro angosto.

b) *Señales de banda ancha*: En este caso, el espectro de la señal es continuo y esparcido ampliamente. Son clasificadas como *incoherentes* y *coherentes*. Se dice que una señal es coherente si las componentes del espectro son relacionadas entre sí en frecuencia y en algunos casos, basado también en amplitud y fase, a diferencia de una señal incoherente, donde las relaciones son básicamente aleatorias. Las emisiones de equipos basados en semiconductores tienen características de un tren de pulso, que pueden ser calificadas como señales de banda ancha y coherentes[1].

2) *Clasificación de EMI/RFI según el carácter de la interferencia*: Esta clasificación se puede hacer con el uso de un concepto muy útil conocido como Potencial de Ruido, que permite calificar un sistema según la ecuación 1, donde las

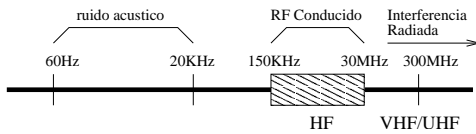


Fig. 1. Rangos de EMI/RFI

variables N, S y T se definen de acuerdo a las secciones II-A.2.a, II-A.2.b y II-A.2.c en este apartado. La tabla I lista algunos dispositivos con sus ponderaciones de acuerdo al potencial de ruido, y se descubre que los dispositivos con SCR son los de mayor peso.

$$\gamma = (2N + 5S + T)^2 \quad (1)$$

TABLA I

ALGUNOS VALORES DE PONDERACIÓN SEGÚN LA ECUACIÓN 1. TOMADO DE LA TABLA 3.2 DE [1]

Equipamiento	N	S	T	γ
Convertidores	4	4	3	900
SCR Power Supply	3	5	1	900
Contactores	1	4	1	529
SMPS	3	3	1	484
Inversores	2	3	2	441

a) *Señales del tipo Ruido (N)*: La frecuencia de repetición de la interferencia es sumamente alta en comparación con la frecuencia de línea, la amplitud de voltaje es menor que el voltaje pico de línea y se presenta de manera mas o menos permanente. Las fuentes de poder en modo conmutado son emisores de este tipo de interferencia.

b) *Señales de caracter impulsivo (S)*: Consisten en impulsos con picos negativos y positivos de gran amplitud superpuestos en el voltaje de línea. Tiene muy corta duración, pero su ciclo de repetición es bajo, comparable a la frecuencia de trabajo y pueden presentarse de forma sincrónica o asincrónicamente. El tiempo de subida y bajada es muy corto. Los switches, relays y semiconductores tales como los diodos y los SCRs son los que predominan en este tipo de emisiones.

c) *Señales de caracter transitorio (T)*: Presentan períodos comparables desde unos pocos períodos de la frecuencia de trabajo (50Hz, 60Hz, 400Hz, etc.) a algunos pocos segundos. Este tipo de señales son típicos en conmutación de alta potencia.

3) *Clasificación de EMI/RFI según el modo de transmisión*: Existe básicamente dos modos de transmisión; por conducción y por radiación. Las emisiones por debajo de los 30 MHz se consideran por conducción, y a mayores frecuencias, se consideran por radiación. En estudios de EMC, son más tratados los casos de emisión por conducción, debido a que cuando se disminuyen las emisiones de este tipo, automáticamente se reducen las de origen radiado[2]; sin embargo, existe un amplio estudio de técnicas para evitar la propagación de señales por apantallado o Jaula de Faraday.

En el caso de emisión por conducción, se distinguen dos casos de estudio: en modo común y en modo diferencial.

a) *Emisión por conducción en modo común*: Las señales están presentes de manera paralela en algunos o en todas las líneas de alimentación en estudio, con respecto a la referencia de 0 Volts.

b) *Emisión por conducción en modo diferencial*: También llamado en modo serie, son las señales que existen entre dos o más líneas de alimentación.

B. Medición de las emisiones EMI/RFI

1) *Unidad de medida en EMC*: Aun cuando se está tratando problemas de emisión de RF, ya sean por conducción o por radiación, no se emplea la potencia como unidad de medida; más bien se usa el volt, y se emplea la referencia de $1\mu\text{V}$, calibrado en decibeles. Así,

$$U_{m(dB\mu V)} = 20 \log \left(\frac{U_m}{1 \times 10^{-6} V} \right) \quad (2)$$

Significa entonces que $1\mu\text{V} = 10^{-6}\text{V} = 0\text{dB}\mu\text{V}$. Adicionalmente, se puede relacionar fácilmente la potencia en dBm con el voltaje en $\text{dB}\mu\text{V}$ por,

$$P_{dBm} = U_{m(dB\mu V)} - 90 - 10 \log R \quad (3)$$

donde R es la resistencia implicada en el circuito.

2) *Puente de estabilización de impedancias*: Para realizar mediciones, es necesario intercalar un circuito que "capture" las señales EMI/RFI y que a su vez produzca muy poco efecto en el funcionamiento del sistema. A partir de allí, se tomará una salida hacia una equipo de prueba especializado. El puente de estabilización de impedancia, conocido como LISN (Line Impedance Stabilization Network), consiste en un circuito que se intercala entre la alimentación de energía y el dispositivo en prueba. La figura 2 presenta un esquema básico de LISN, para impedancia de prueba en 50Ω . Observe que cualquier

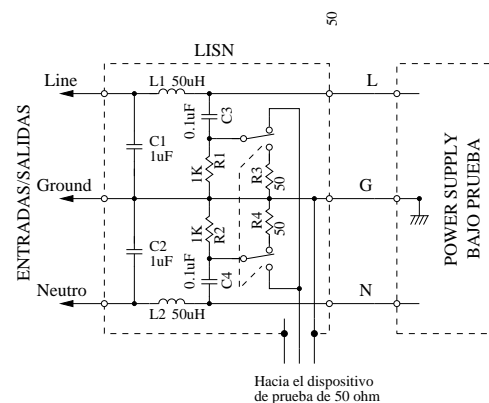


Fig. 2. Esquema básico de LISN

interferencia generada en la entrada del equipo en prueba será desviada hacia los condensadores C3 y C4, gracias a que en comparación, L1 y L2 ofrecen muy alta impedancia a estas señales. La línea que no esté bajo prueba será terminada con C3-R3 ó C4-R4. Este circuito es bidireccional, lo que significa que el punto de prueba puede ser una salida o una entrada de la fuente de poder en estudio, y está diseñado para cargas cercanas a los 100A. La figura 3 muestra un puente LISN estándar, muy común en los laboratorios de medición de EMI/RFI.



Fig. 3. Puente LISN estándar

3) *Instrumentos de medición EMI/RFI:* Para la detección de interferencias en la salida del puente LISN se utilizan receptores especializados. Existen varios tipos de receptores con distintas técnicas de detección, tales como detector de pico, *slide-back*, promedio, valor eficaz (RMS) y detectores *quasi-peak*. El menos utilizado de ellos es el de valor eficaz, debido a la gran dependencia de esta medición con respecto a formas de onda senoidales[1]. La mayoría de los estándares establecen los valores máximos permitidos de emisión EMI/RFI con parámetros basados en detección *quasi-peak*.

Los estándares especifican las características principales de los detectores dependiendo del área de trabajo que se esté estudiando. En general, el CISPR establece los siguientes requerimientos para las mediciones en el rango HF como sigue[1]:

- 1) Filtro pasabanda: Ancho de banda en 6dB = 9KHz
- 2) Constante de tiempo
 - Constante de carga igual a 1ms
 - Constante de descarga igual a 100ms
 - Constante de tiempo en el retardo del display igual a 160ms
- 3) Máxima deflexión o máxima medición
 - Circuitos antes del detector = 30dB
 - Amplificador DC entre el detector y el circuito de display = 12dB
- 4) Precisión en la medición de señal senoidal = ± 2 dB

Para el caso de equipos de telecomunicaciones, el rango de frecuencia de los receptores deberán ser mayor, llegando hasta 1GHz.

a) *Medición de emisiones radiadas:* Las emisiones EMI/RFI por radiación electromagnética se miden tomando muestras alrededor del dispositivo de prueba. Los estándares especifican los parámetros a tomar en cuenta, tales como las distancias de colocación del sensor (entre 3 y 10 metros) y las características de las antenas. Se usan cámaras de medición semi-anecoicas[4], con un plano de tierra, antenas dipolo especiales haciendo girar el objeto de la prueba los 360°, tomando medidas cada cierta cantidad de grados.

C. EMI/RFI en Semiconductores

La principal fuente de EMI/RFI en sistemas de respaldo eléctrico proviene de los dispositivos semiconductores. Los

interruptores manuales y de seguridad son elementos que también generan pulsos generadores de espurias, pero estos son activados a muy largo plazo.

Cada dispositivo semiconductor involucrado en la conmutación de corrientes y voltaje, tales como BJT de potencia, rectificadores, SCR, IGBT y MOSFET de potencia, tienen un esquema de encendido y apagado particular. En el caso de los rectificadores y los SCR, son similares en el apagado. Sin embargo, la generación de espurias tiene un origen común: el carácter impulsivo de los picos de corriente y de voltaje que suceden en la conmutación. En la figura 4 se puede observar el esquema de conmutación para rectificadores (y SCR en el apagado). En la sección (2) del dibujo, se observa el

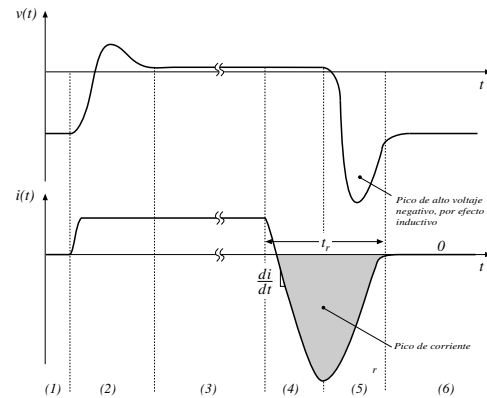


Fig. 4. Encendido y apagado de un rectificador (diodo)

encendido del diodo. El cambio brusco de voltaje se inicia en este segmento, y luego del pico se estabiliza en un tiempo muy corto. Este pico de voltaje es el generador de emisiones EMI de banda ancha. En la etapa de apagado es donde se produce la mayor cantidad de emisiones espurias. En el período (4) comienza el apagado, pero no es hasta el final (justo en el pico negativo de corriente) donde el voltaje en reverso comienza a establecerse, no sin antes presentar un pico que se deriva de los componentes reactivos asociados al circuito de conmutación. Este pico de voltaje negativo, de alto voltaje representa un transitorio de espectro muy amplio.

El encendido de los SCRs difiere del encendido de rectificadores. La diferencia hace que los SCRs produzcan mas y mayores componentes espectrales en el encendido que en el apagado, mientras que se mantiene igual que los diodos en el apagado.

En la figura 5 se muestra las formas de onda en la conmutación de transistores BJT de potencia. En el período (2) se inicia el encendido del transistor, la corriente de colector sube bruscamente un tiempo despues, al inicio del período (3). Este cambio se produce en un período mucho más corto que en los rectificadores y SCRs. EL apagado se inicia en el período (6), pero es luego de un tiempo llamado *storage time*, al inicio del período (7), cuando la corriente de colector cae bruscamente, en un tiempo de entre 10ns a 100 μ s. Debido a que los tiempos son considerablemente cortos en comparación con el caso de los diodos y SCR, el ancho espectral de las emisiones EMI/RFI son mas amplias.

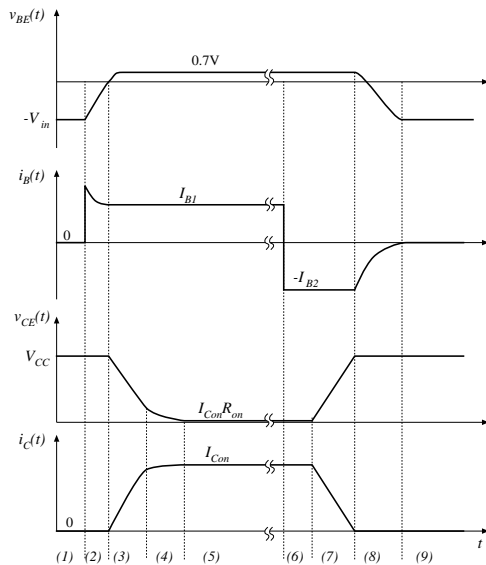


Fig. 5. Encendido y apagado de un transistor de potencia BJT

1) *Algunas técnicas de mitigación:* La supresión de las emisiones EMI/RFI se puede separar en tres pasos: mitigación en el origen, filtrado y aislamiento por Jaula de Faraday.

La mitigación en el origen consiste en disminuir los niveles de ruido en el punto donde se generan, el filtrado se realiza ya en las etapas de entrada y salida de la fuente de poder, y el aislamiento por Jaula de Faraday consiste en el apantallado de las áreas propensas a la emisión de EMI/RFI por radiación, sino el apantallado de todo el conjunto.

a) *Mitigación en el origen:* Las emisiones de espurias en el apagado de rectificadores y SCRs se pueden mitigar con el uso de *snubbers RC*, que consisten en circuitos RC conectados en paralelo con el semiconductor. Para el caso de SCRs, donde las emisiones son mas fuertes en el encendido, resultan menos eficientes. Los valores sugeridos para el snubber se especifican generalmente en los documentos técnicos de los fabricantes de semiconductores.

La mayor parte de las emisiones en modo diferencial pueden ser mitigadas mediante filtros LC, en diversas configuraciones (véase sección II-C.1.b). Sin embargo, gran parte de esas emisiones pasan a modo común debido a "escapes" que se producen en los disipadores de calor de los semiconductores de potencia, y las pantallas propias de los transformadores hacia la tierra (o el chasis metálico, caja, etc.).

Un buen ejemplo para revisar estos conceptos es mediante el estudio de una fuente conmutada, como el de la figura 7. El espectro de los modos común y modo diferencial de este circuito simulado en PSPICE se pueden observar en la figura 6¹.

Observe las capacitancias CP1, CP2, CP3, CP4 y CP5. Ellos estan presentes de forma parásita, en las juntas entre el disipador de calor y los transistores (MOSFET, IGBT, etc) de conmutación, entre el primario y la carcasa del transformador HF, entre la placa de disipación del puente de diodos y el metal de disipación, y en algunos casos, entre las líneas del

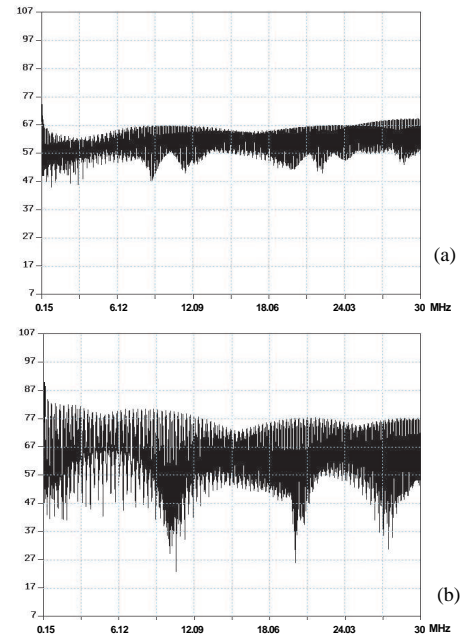


Fig. 6. Espectro de EMI/RFI en modo común (a) y en modo diferencial (b) producto de la simulación del circuito de la figura 7

polo negativo (que generalmente son de mayor área e invaden gran parte de los espacios libres del circuito impreso) y el chasis.

Considere por ejemplo el ciclo de corrientes parásitas que fluyen desde el punto de alto voltaje A, en el transistor de conmutación. Este voltaje puede alcanzar valores tan altos como 600V a una frecuencia de conmutación de 30 KHz. Debido a los cambios bruscos, se generan armónicos que se extienden a varios MHz. La capacitancia CP1 permitirá la "fuga" de elementos propios de estos picos de alto voltaje y armónicos y serán dirigidos hacia el plano de tierra (chasis). El décimo armónico de la frecuencia de conmutación será de 300KHz, frecuencia que está dentro de las regulaciones. Si se asume que la operación es basada en ondas cuadradas, la amplitud de este armónico será de 20dB debajo de 600V, ó 60V. Asumiendo que la capacitancia parásita CP1 es de 30pF, una corriente de 3.4mA fluirá en el chasis a 300KHz.²

La intención de los condensadores C1 y C2 es ofrecer baja impedancia a estas corrientes parásitas y regresarlas a la alimentación. El valor de los condensadores C1 y C2 están especificados en regulaciones de seguridad, debido a que compromete el aislamiento entre el chasis y las líneas de alto voltaje (en este caso, 120V a 240V); basado en esto, podemos suponer que estos condensadores son de 0,01μF.

Si la mayoría de las corrientes parásitas fluyen en los condensadores C1 y C2, existirá en estos una tensión de 180mV. El circuito L1, L2, Ct y Rt forma un divisor de tensión entre el punto D y el punto de masa en la red LISN, lo que producirá un voltaje en los terminales que salen hacia el receptor de EMI/RFI. Si el voltaje detectado por el receptor es de 250μV (48dBμV), entonces los inductores L1 y L2 deberían ofrecer una atenuación de al menos 50dB en esta

¹Tomado de la figura 5.6 de la página 159 de [5]

²Estos datos son obtenidos del ejemplo 3.7 de la página 1.37 de [2]

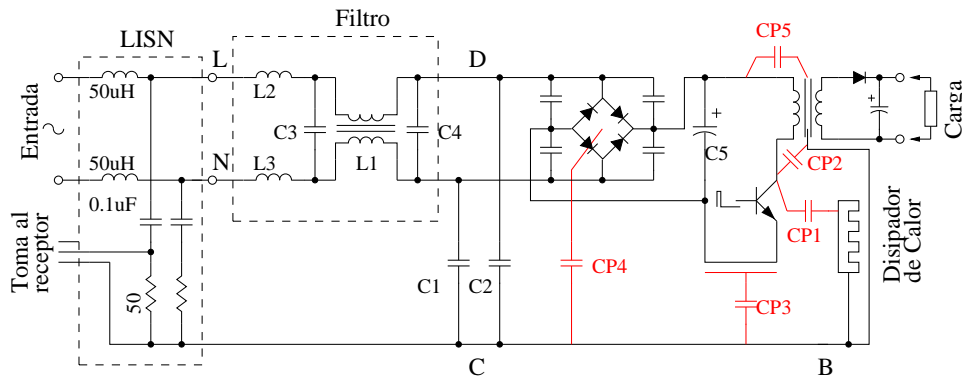


Fig. 7. Ejemplo de una SMPS basado en convertidor tipo Flyback

frecuencia armónica; una tarea casi imposible para un inductor que deberá ofrecer baja impedancia al suministro eléctrico.

En este caso, donde la mitigación se hace difícil basado solo en los condensadores C1 y C2, se puede realizar técnicas alternas que desvíen las EMI/RFI provenientes de las capacitancias parásitas de nuevo hacia la alimentación, pero en la sección DC, a continuación del rectificador. Esto se logra, unificando la masa de disipación y las bases del transformador y tomando una salida hacia la línea DC luego de aislar mediante choques de RF, como se puede observar en el esquema 8.

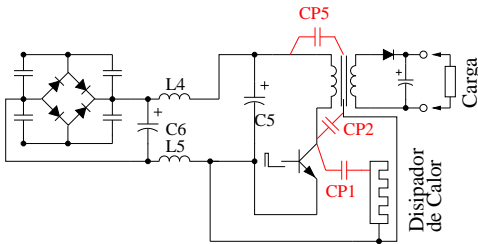


Fig. 8. Ejemplo de una SMPS basado en convertidor tipo Flyback con corrientes parásitas desviadas a DC

b) *Mitigación mediante filtros:* Una vez disminuido hasta lo posible las emisiones EMI/RFI desde su origen, es necesario agregar filtros en las entradas y salidas de los dispositivos generadores de ruido, y así, reducir aun mas las emisiones. Existen una gran variedad de configuraciones para una sola fase, como se pueden observar en la figura 9. También hay una variedad de configuraciones para dos fases, que permiten filtrar EMI/RFI en modo común y en modo diferencial; en la figura 10 se observa uno de ellos. El diseño de filtros para EMI/RFI se diferencia a los filtros utilizados en telecomunicaciones por el hecho de que es desconocida la impedancia de los equipos instalados; deben ser diseñados de manera que puedan realizar su trabajo en un rango razonable de impedancias. La ecuación 4[1] representa las pérdidas por inserción de un filtro LC para carga resistiva y su gráfica, para $10\Omega \leq R \leq 80\Omega$, $20\text{KHz} \leq f \leq 400\text{KHz}$, $L=10\mu\text{H}$, $C=1\mu\text{F}$ y $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = 316\text{KHz}$, se observa en la figura 11.

$$IL_R(\omega) = \sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)^2 + \frac{(\omega L)^2}{R_1^2}} \quad (4)$$

Observe que para valores de R mayores de 30Ω en 400MHz

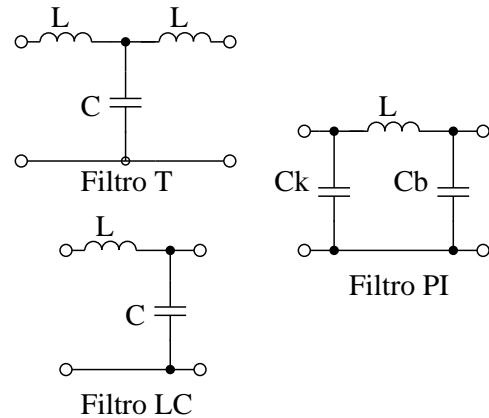


Fig. 9. Varias configuraciones de filtros de una sola fase

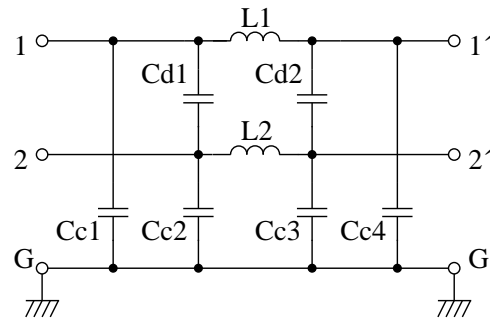


Fig. 10. Filtro de configuración PI de dos fases

(aproximadamente) el filtro pasa de atenuación a amplificación³ a medida que se aumenta la frecuencia a cerca de 300KHz . Este es un ejemplo de filtro mal diseñado. Para cargas inductivas, esta situación se complica. Para el caso de cargas capacitivas, la frecuencia de resonancia disminuye y así, la frecuencia de corte se incrementa.

Otra gran dificultad en el diseño de filtros EMI/RFI en SRE es la magnitud de las corrientes que se manejan. En general, el valor de la inductancia está limitado por la ecuación 5[1],

$$L_{max} = \frac{\Delta V_{max}}{2\pi f I_{max}} \quad (5)$$

donde I_{max} es la corriente máxima de trabajo, f es la frecuen-

³recuerde que $IL_R(\omega)$ representa pérdidas

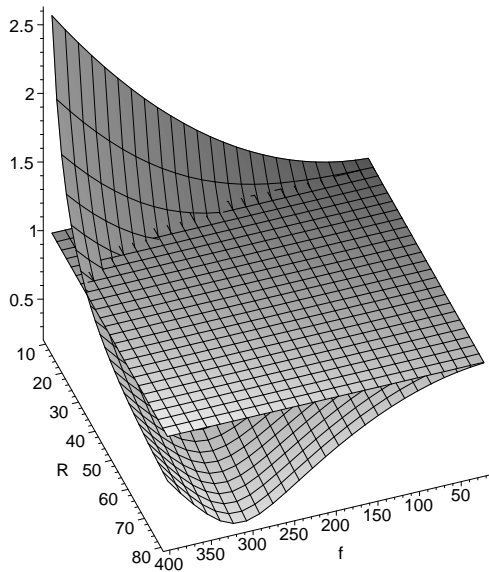


Fig. 11. Gráfica de la ecuación 4 para $10\Omega \leq R \leq 80\Omega$, $20\text{KHz} \leq f \leq 400\text{KHz}$, $L=10\mu\text{H}$ y $C=1\mu\text{F}$

cia de línea y ΔV_{max} es la caída de tensión máxima permitida en el inductor.

Un tipo especial de inductor es muy utilizado en los supresores EMI/RFI y se denomina *common-core* o *compensated chokes*. Este consiste de dos arrollados idénticos colocados en un mismo núcleo. Cada arrollado es el inductor de filtros de dos fases (observe el filtro de la figura 7). Están colocados de tal forma, que el campo magnético de la suma de las corrientes de línea (Φ_m) y de las corrientes del ruido diferencial (Φ_d) se cancelen entre sí.

III. ESTÁNDARES DE COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA ASOCIADOS A TELECOM

El CISPR22 es el estándar más referenciado por los fabricantes de Sistemas de Respaldo Eléctrico para telecomunicaciones en más de 22 países. Se deriva del trabajo del subcomité H e I de CISPR (Comite International Special des Perturbations Radioelectriques). Este estándar (substituto del estándar VDE 0871) describe los métodos de prueba de emisiones y límites de prueba para Information Technology Equipment, IET tales como computadoras, maquinas de oficina o equipo de telecomunicaciones conectados a una red principal de potencia de bajo voltaje (<600V). Esta, no aplica a equipos cuya función principal es la transmisión o recepción de radio como definida por las regulaciones de la ITU. El objeto del estándar es establecer requerimientos uniformes para niveles de perturbación radiados y conducidos del equipo cubierto por el estándar. Los límites de perturbación son establecidos para equipos clase A y clase B. Métodos de medición, condiciones de operación, e interpretación de resultados son dirigidos a cada uno de estos. El equipo clase A es intentado para instalación comercial y el equipo clase B es utilizado en ambiente domestico.

La tabla II indica los límites establecidos por este estandar. Otro estandar muy nombrado es el EN55022, principalmente en la comunidad europea. La tabla III muestra una lista de

algunos de los estándares relacionados con EMI/RFI, EMC y Sistemas de Comunicaciones.

El estandar que establece las técnicas de medición es el CISPR16. Este estándar incluye básicamente:

- Técnicas de Medición para emisión e inmunidad (Para Radioreceptores y equipo IET)
- Instrumentación para medición y especificaciones de sitios de prueba y calibraciones
- Análisis estadístico de la data obtenida, incluyendo análisis de incertidumbre de las mediciones

Está estructurado según lo siguiente:

- Part 1 (Measurement Instruments)
- Part 2 (Measurement Methods)
- Part 3 (Technical Reports)
- Part 4 (Measurement Uncert.)-New

Uno de los estándares actuales de EMC que todo equipo de Potencia para telecomunicaciones (Telecom Power Equipment) debe cumplir en el mercado Europeo es el estándar EN 300 386-2. El estándar cubre ambas partes: Emisión e Inmunidad, y es utilizado para todo equipo a ser usado en un Red de Telecomunicaciones. El equipo contenido en el alcance es:

- Switching equipment
- Non-radio transmission equipment and ancillary equipment
- Power supply equipment
- Supervisory equipment

Los equipos incluidos como fuentes de poder son:

- Central power plant
- End of suite power supplies
- Uninterruptible power supplies
- Stabilized AC power supplies
- And other dedicated telecommunication network power supplies

IV. EFECTOS DE LAS EMISIONES EMI/RFI EN EQUIPOS DE TELECOMUNICACIONES

La mayoría de los equipos de respaldo eléctrico están constituidos por un cargador y en algunos casos, como los UPS comerciales, de un convertidor DC/AC. En las distintas configuraciones estarán presentes fuentes de EMI/RFI cuyo origen está en los puentes rectificadores. En el caso de los cargadores basados en Regulador Magnético o Transformador Ferroresonante, esta será la única fuente de EMI/RFI. En el caso de los cargadores basados en SCRs, estos rectificadores serán controlados, presentando mayores índices de emisión.

En los sistemas donde es necesario respaldar a tensiones AC convencionales, como 120V, 220V, 240C, etc., se utilizan convertidores AC/DC, aumentando considerablemente las emisiones EMI/RFI, además de complicar la identificación de sus orígenes; esto debido a la combinación de cargador/convertidor.

Las grandes ventajas que ha traído el uso de fuentes conmutadas en los SRE ha incrementado aun mas la emisión de interferencia, debido a (a) aumento de semiconductores trabajando en transiciones bruscas, que generan transitorios

TABLA II
LÍMITES DE CISPR22

1. Límites de perturbación conducida en los puertos principales de equipos Clase A ITE ¹				
Frecuencia en MHz	Límites dB μ V			
	Quasi-peak		Average	
0.15 a 0.50	79		66	
0.50 a 30	73		60	
2. Límites de perturbación conducida en los puertos principales de equipos Clase B ITE ^{1,2}				
Frecuencia en MHz	Límites dB μ V			
	Quasi-peak		Average	
0.15 a 0.50	66 a 56		56 a 46	
0.50 a 5	56		46	
5 a 30	60		50	
3. Límites de Perturbación en modo común (Modo asimétrico) en los Puertos de Telecom en el rango de frecuencia de 0.15Mhz a 30Mhz para equipos clase A ^{2,3}				
Frecuencia en MHz	Límites de voltaje dB μ V		Límites de corrientedB μ V	
	Quasi-peak	Average	Quasi-peak	Average
0.15 a 0.5	97 a 87	84 a 74	53 a 43	40 a 30
0.50 a 30	87	74	43	30
4. Límites de Perturbación en modo común (Modo asimétrico) en los Puertos de Telecom en el rango de frecuencia de 0.15Mhz a 30Mhz para equipos clase B ^{2,3,4}				
Frecuencia en MHz	Límites de voltaje dB μ V		Límites de corrientedB μ V	
	Quasi-peak	Average	Quasi-peak	Average
0.15 a 0.5	84 a 74	74 a 64	40 a 30	30 a 20
0.50 a 30	74	64	30	20
5. Límites para perturbación Radiada para clase A ITE a una distancia de medida de 10m ^{5,6}				
Frecuencia en MHz	Límites Quasi-peak dB μ V			
30 a 230	40			
230 a 1000	47			
6. Límites para perturbación Radiada para clase B ITE a una distancia de medida de 10m				
30 a 230	30			
230 a 1000	37			

¹El límite inferior aplicará a transición de frecuencia

²El límite disminuye linealmente con el logaritmo de la frecuencia en el rango de 0.15MHz a 0.50 MHz

³Los límites de Perturbación y corriente son derivados del uso de una impedancia de estabilización de RED (Impedance stabilisation network, ISN) la cual presenta una impedancia en modo común de 150 Ω para puertos de Telecom bajo prueba

⁴Provisionalmente, una relación de 10dB sobre el rango de frecuencia de 6MHz a 30Mhz es permitida para servicios de alta velocidad los cuales tiene una densidad espectral significante en esta banda. Si embargo esta relación esta restringida a la perturbación de modo común convertida por el cable de la señal buscada

⁵Límite aplicara a la transición de frecuencia

⁶Previsiones adicionales pueden ser requeridas para casos donde ocurra interferencia común

TABLA III

ALGUNOS ESTÁNDARES DE INTERES PARA EMI/RFI, EMC Y TELECOM

Estándar	Description
CISPR	
EN55011	Limits and methods of measurements of electromagnetic disturbance characteristics of industrial, scientific and medical (ISM) radio-frequency equipment
EN55022	Limits and methods of measurements of radio disturbance characteristics of information technology equipment
IEC-61000	
EN 61000-4-6	Conducted disturbances induced by radio-frequency fields, Immunity test
Otros generales en EMC sobre Telecom	
EN 60945	Marine navigation and radio communication equipment and systems
ENV 55102-1	ISDN emission requirements
ENV 55102-2	ISDN immunity requirements
Estándares ETSI en EMC sobre Telecom	
ETS 300 279	Radio Equipment and Systems (RES), EMC standard for Private Land Mobile Radio (PMR), and ancillary equipment
ETS 300 329	ElectroMagnetic Compatibility (EMC) for Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT) Equipment
ETS 300 339	Generic ElectroMagnetic Compatibility (EMC) for radio equipment
ETS 300 342-1,2,3	ElectroMagnetic Compatibility (EMC) for European digital telecommunications systems (GSM 900 and DCS 1800)
ETS 300 385	ElectroMagnetic Compatibility (EMC) standard for digital fixed radio links and ancillary equipment with data rates at around 2 Mbits/s and above
ETS 300 445	ElectroMagnetic Compatibility (EMC) standard for wireless microphones and similar Radio Frequency (RF) audio link equipment
ETS 300 446	ElectroMagnetic Compatibility (EMC) standard for second generation Cordless Telephone (CT2) apparatus operation in the frequency band 864,1 MHz to 868,1 MHz
ETS 300 680-1,2	ElectroMagnetic Compatibility (EMC) standard for Citizens Band (CB) radio and ancillary equipment (speech and/or non-speech)
ETS 300 683	ElectroMagnetic Compatibility (EMC) for Short Range Devices (SRD) operating on frequencies between 9 kHz and 25 GHz
ETS 300 717	ElectroMagnetic Compatibility (EMC) for analogue cellular radio communications equipment
ETS 300 826	ElectroMagnetic Compatibility (EMC) standard for 2,4 GHz wideband transmission systems and High Performance Local Area Network (HIPERLAN) equipment

de alto voltaje, (b) la frecuencia de operación es en sí misma la principal fuente EMI/RFI, por estar dentro del rango de HF (c) el espaciamiento del ancho de banda espectral del ruido, debido a la alta presencia de señales cuadradas, (d) debido las altas frecuencias, se forman antenas no intencionales a lo largo de las líneas y cables conductores, que aumentan las emisiones radiadas.

En sistemas de comunicaciones donde la frecuencia de trabajo está cerca o dentro del rango HF, se hace bastante crítico el control de EMI/RFI. Por ejemplo, los receptores de onda corta, que aún se utilizan intensivamente en la navegación y en las comunicaciones de respaldo en aeronaves y buques, deben tener gran sensibilidad en el receptor, y estos fácilmente

detectan las interferencias de las fuentes conmutadas que están suministrando la energía.

Los armónicos generados por fuentes conmutadas que trabajan en HF, pueden esparcirse hasta varios cientos de MHz, afectando en muchos casos, las frecuencias de IF en sistemas de comunicaciones inalámbricas.

El uso de UPS con salida de -48V ha sido muy utilizado principalmente en telefonía. Sin embargo, las telecomunicaciones ha estado pasando paulatinamente a la unificación de las redes de datos y las redes de telefonía digital; esto orienta a una simplificación del equipamiento de telecomunicaciones, basándose todo en redes IP. Las redes locales que soportan el protocolo IP son por excelencia, basadas en Ethernet y sus variantes (llegando hasta 20 Gbps). Esto hace que el mercado de los UPS cuya salida es de 120V y 220V AC sea muy grande.

En los últimos años, el problema de EMC se ha estado complicando con el advenimiento de la tecnología BPL (Broadband Power Line). Esta tecnología promete utilizar las líneas de suministro eléctrico tanto de distribución de HV como de LV para la comunicación de datos en banda ancha. Las frecuencias de trabajo de esta tecnología están en la banda de HF y trabajarán satisfactoriamente siempre y cuando la línea de comunicación se mantenga bajo estrictos niveles de EMI/RFI.

V. CONCLUSION

La combinación de alta frecuencia de conmutación (para aumentar la eficiencia de potencia, reduciéndose el tamaño de las fuentes de poder); redes de comunicaciones que aumenta la rata de transferencia no con el aumento de las frecuencias portadoras, sino con el mejoramiento de la codificación y compresión; el paso de sistemas de -48V a voltajes AC convencionales, que requiere el uso de convertidores; y la proliferación masiva de dispositivos sensibles a EMI/RFI, hacen que los estudios de EMC sobre UPS para telecomunicaciones sean de gran interés. Dada la complejidad del estudio de la contaminación electromagnética, cada día se hace más fuerte el uso de software para la simulación, encontrándose gran diversidad de estos en la internet. El número de estándares asociados a EMI/RFI y telecomunicaciones se incrementa de acuerdo al ingreso de nuevas tecnologías, que se sabe, se desarrollan muy rápidamente; esto conlleva a una gran complicación dada la diversidad de referencias, ya sean a nivel internacional como en cada región o país.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración prestada por el Prof. Francisco Guillén, tutor de la materia Sistemas de Respaldo Eléctrico, por el suministro de documentación e información académica clave para la culminación de esta investigación.

REFERENCIAS

- [1] Tihanyi, László, *Electromagnetic Compatibility*, 1ra Edición. Florida, USA: IEEE Press, 1995.
- [2] Billings, Keith H., *Switchingmode Power Supply Handbook*, 1ra Edición. USA: McGraw-Hill, 1989.

- [3] Zeddán, Ahmed; Auzizeau, Jean-Marc; Moulin, Fabienne; Gauthier, Frédéric; *EMC aspects of Power Line Telecommunication*. Disponibilidad: <http://hawk.iszf.irk.ru/URSI2002/GAabstracts/papers/p0772.pdf>
- [4] F. F. Li, *EMC of Power Suppliers for Telecommunications by Design - A Computational Approach*. UK: Manchester Metropolitan University.
- [5] Zhang, Michael Tao, *Electrical, Thermal, and EMI Designs of High-Density, Low-Profile Power Supplies*, Thesis Dissertation. Disponibilidad: <http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-173510281975580/>



Eduardo J. González M. Graduado de Ingeniero Electricista en la Universidad de Carabobo, en el año 2000. Actualmente cursante de la Maestría en Ingeniería Eléctrica área Telecomunicaciones. Principales tópicos de interés: Procesamiento Digital de Señales y Electrónica. Se desempeña como Administrador de Tecnologías de Información y Comunicaciones en la Unidad de Redes Telemáticas de la Universidad de Carabobo (RedUC) y ha realizado actividades de docencia en la Universidad Jose Antonio Páez en las materias Redes de Computadores y Organización del Computador. Trabaja activamente en el desarrollo de software para ingeniería eléctrica especialmente orientado a la plataforma GNU/Linux, con los lenguajes Java, Python y C/C++.



Cesar Ruiz Graduado de Ingeniero Electricista en la universidad de Carabobo, en el año 2001. Actualmente cursante de la Maestría en Ingeniería Eléctrica área Telecomunicaciones en la Universidad de Carabobo. Principales tópicos de interés: Mediciones de Potencia en Microondas y Sistemas de ondas Guiadas. Se desempeña como Ingeniero de Proyecto en el área de las Comunicaciones Móviles en el Unidad de Medios y Comunicaciones Eléctricas de la Universidad de Carabobo (UMCE) y ha realizado actividades de docencia en las materias de Teoría Electromagnética I y Laboratorio de Microondas I, en esta universidad.