

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

Universidad de Burgos



**SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA
BASADO EN LA SUPERCONDUTIVIDAD PARA LA
ESTABILIZACIÓN DE UNA MICROGRID POR
CONEXIÓN Y DESCONEXIÓN DE CARGAS, SMES**

**ANEJO Nº 8: ESTUDIO DE COMPATIBILIDAD
ELECTROMAGNÉTICA**

**GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y
AUTOMÁTICA**

AUTOR:

RUBÉN ARCE DOMINGO

TUTOR:

CARMELO LOBO DE LA SERNA

JUNIO DE 2019



ANEJO 8: ESTUDIO DE COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA..... 2

1. INTRODUCCIÓN	2
2. PERTURBACIONES PRESENTES EN EL SISTEMA.....	3
2.1. Campo magnético	3
2.2. Inyección de armónicos	4
2.3. Perturbaciones debidas a los componentes electrónicos.....	4
2.4. Perturbaciones por control SPWM	6
2.5. Perturbaciones presentes en la PCB de control	6
2.6. Interferencias debidas al error de modo común y modo diferencial.....	7
2.7. MODO COMÚN DENTRO DEL RECTIFICADOR.....	9
3. NORMATIVA DE APLICACIÓN	9
4. BIBLIOGRAFÍA	10

Índice de ilustraciones y tablas

Ilustración 1: Armónicos inyectados en la microgrid	4
Ilustración 2: Modelos de componentes pasivos reales	5
Ilustración 3: Esquema de la colocación de los LISN.....	8
Ilustración 4: Topología eléctrica de un LISN	8
Ilustración 5: Topología de un filtro para cumplir la normativa electromagnética	9



ANEJO 8: ESTUDIO DE COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA

1. INTRODUCCIÓN

Decimos que un sistema electrónico presenta EMC (electromagnetic compatibility) cuando puede trabajar de forma aceptable en un ambiente sin producir interferencias no tolerables por los equipos instalados a su alrededor.

Es necesario realizar el estudio de compatibilidad electromagnética aplicado al sistema de estabilización basado en la superconductividad por dos grandes motivos:

1. Nos encontramos ante un dispositivo de elevada potencia conectado a la red de distribución, como tal, este será susceptible de inyectar armónicos indeseados en la microgrid que pretende estabilizar.
Será necesario comprobar si la intensidad inyectada cumple o no con la normativa pertinente.
2. La estabilización es llevada a cabo mediante la absorción de los picos de tensión en una bobina de un material superconductor.
El almacenamiento de dicha energía es por lo tanto en forma de campo magnético, lo que supone una fuente de perturbaciones para todo dispositivo que lo rodee.

En los convertidores CA/CC se tiende a un incremento en la frecuencia de conmutación, así como una disminución de los tiempos de subida y bajada, ambos factores contribuyen a un aumento de las interferencias electromagnéticas asociadas.

Por otro lado, si no se tomaran estas medidas de reducir los tiempos de las conmutaciones, las pérdidas asociadas a ellos serían muy elevadas.

Podemos clasificar en dos las interferencias asociadas a los convertidores CA/CC:

- Interferencias por conducción
 - Entre el convertidor CA/CC y la red de distribución.
 - Dentro del convertidor CA/CC.
- Interferencias por radiación

Los límites de la inyección de armónicos o del factor de potencia vienen recogidos en la normativa **IEC61000-3-2**.



2. PERTURBACIONES PRESENTES EN EL SISTEMA

Como se ha mencionado con anterioridad nos encontramos ante una fuente de interferencias de gran alcance. Se procede a enumerar la influencia de cada una de ellas:

- El campo magnético asociado a la bobina de material superconductor.
- La elevada energía capaz de devolver a la red y por consiguiente los armónicos de corriente inyectados en la microgrid.
- Las perturbaciones asociadas a los elementos pasivos del sistema, cableado y transformadores.
- Transitorios causados por la conmutación de los IGBT's.
- Tensión de modo común y modo diferencial

Se va a detallar la influencia de cada uno de ellos en el conjunto del sistema.

2.1. Campo magnético

El sistema de estabilización está basado en una bobina de un material superconductor, el Nb-Sb, con este componente conseguimos que la resistencia asociada a la inductancia quede reducida drásticamente y podamos almacenar de manera permanente dicha energía.

El mayor inconveniente de este sistema es que para ello se ha de generar un campo magnético muy elevado. Calculando la fuerza magnética que tiene la bobina obtendremos la capacidad de esta para ser fuente de interferencias.

Los 2 MT de campo magnético son elevados, pero se encuentran reclusos en el núcleo magnético y aislados del resto del sistema. Se ha demostrado que la exposición a campos magnéticos durante tiempo prolongado es perjudicial para la salud tanto mental como física de las personas.

La bobina por lo tanto irá protegida por una campana frente a campos electromagnéticos.

Desde el punto de vista de la compatibilidad electromagnética no supondrá inconvenientes pero se ha de tener precaución con el personal de mantenimiento.



2.2. Inyección de armónicos

La microgrid para la que se ha creado el sistema de estabilización es de 1200 Vef. La energía que es capaz de absorber debida a las sobretensiones es de 1MJ. Esto se traduce en una corriente por la bobina de 2000A. Los cálculos llevados a cabo se encuentran recogidos en el anejo 3 de la memoria.

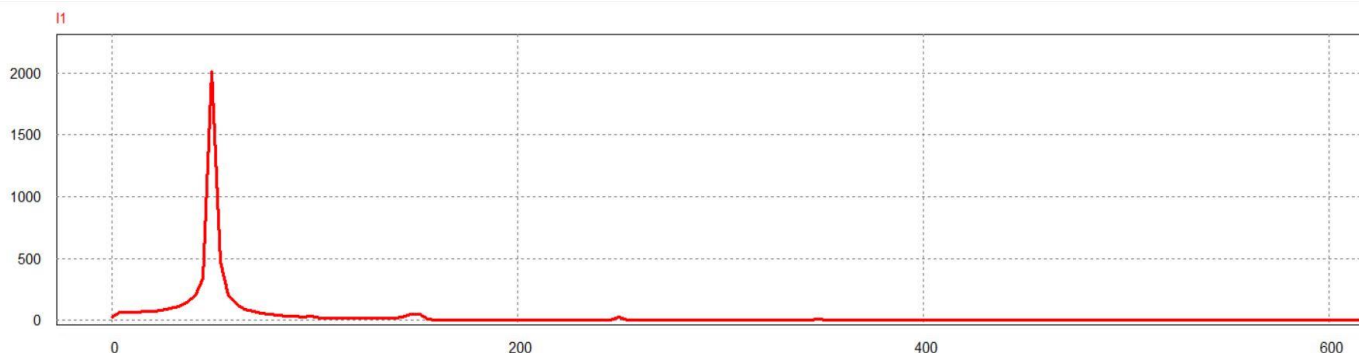


Ilustración 1: Armónicos inyectados en la microgrid (PSIM)

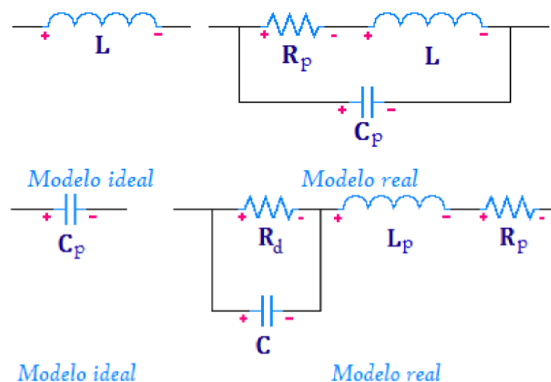
Cuando se produce una caída de tensión en la microgrid la energía almacenada en la bobina en forma de campo magnético es devuelta a la red de distribución. Este proceso conlleva cierta inyección de armónicos, para comprobar la influencia de estos se ha llevado a cabo un desarrollo de Fourier de corriente por una de las fases.

En la ilustración 1 tenemos el FFT (Fast Fourier Transform) de la intensidad I_1 inyectada por el sistema de estabilización de la microgrid en la red de distribución. Una vez realizado el cálculo en el anejo 7 de simulaciones, la perturbación es del orden del 3% y por lo tanto es asumible. En este anejo se explica también el procedimiento de cálculo y la poca influencia de los armónicos inyectados.

2.3. Perturbaciones debidas a los componentes electrónicos

Este estudio de los componentes es necesario debido a que los dispositivos electrónicos empleados en la construcción de los convertidores CA/CC y el CC/CC no son ideales.

Esto se traduce en que los circuitos reales de las resistencias, condensadores o bobinas son los que se aprecian en la ilustración 2.

*Ilustración 2: Modelos de componentes pasivos reales (PSIM)*

- La energía disipada en las resistencias parásitas y a las corrientes de fuga hacen que los componentes como el condensador, que sirve de unión entre el rectificador y el circuito chopper, se caliente alterando sus características y reduciendo su vida útil.
- Otra fuente de interferencias es el hecho de que la impedancia compleja sea muy dependiente de la frecuencia de trabajo.

En el caso del condensador de unión vemos en la fórmula 2 que para bajas frecuencias se comporta como un condensador, pero que para altas frecuencias presenta el comportamiento de una bobina.

$$X_c = \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C} \quad (1)$$

Siendo j la expresión compleja, la ω la frecuencia angular y C el valor de la capacidad del condensador, expresado en faradios.

Debido a que la frecuencia de conmutación del estabilizador de tensiones es tan solo de 5000 Hz esto no supondrá un gran problema.

Igualmente, la influencia debida a esta fuente de perturbación será despreciable en su conjunto dentro del sistema.

- Otra fuente de perturbación son las originadas por los transformadores, estas interferencias son debidas a las bobinas que representan la autoinducción equivalente del flujo de dispersión. Al cerrarse a través del aire pueden perturbar a otros sistemas.



Además de esto, existe un flujo de energía entre ambos bobinados a través de la capacidad parásita existente entre ellos que supone otra fuente de perturbación.

Para evitar esto se tomarán las medidas de situar los transformadores alejados de los demás elementos susceptibles a distorsión.

2.4. Perturbaciones por control SPWM

El convertidor CA/CC se ha de tener en cuenta que se basa en la conmutación de 6 IGBT's siguiendo la secuencia que le viene impuesta por el algoritmo de control vectorial explicado en el anejo 6.

La modulación PWM es la principal responsable de la producción de interferencias dentro de la red de distribución. Los controladores PWM convencionales implementan una forma de onda trapezoidal, esto es debido a que las conmutaciones no son instantáneas, sino que tienen tiempos de subida y bajada pequeños pero finitos con una frecuencia de conmutación constante.

La forma de onda de la conmutación PWM y sus componentes de alta frecuencia pueden evaluarse añadiendo a la forma de onda trapezoidal un mantenedor de orden cero cuya frecuencia de muestreo sea la misma que la frecuencia de conmutación. De esta forma podemos reducir la distorsión debida a la tensión de modo común.

Esta conmutación se lleva a cabo a una frecuencia de 5kHz, lo que se considera baja frecuencia, y por lo tanto las perturbaciones asociadas a esta se transmitirán por conducción y no por radiación electromagnética.

Podemos afirmar entonces que el sistema es poco perjudicial para los equipos que lo rodean.

2.5. Perturbaciones presentes en la PCB de control

La PCB está compuesta de numerosos componentes pasivos que como se ha expuesto anteriormente son fuente de perturbación, además de esto se dan numerosos elementos que suponen interferencias dentro del sistema.

- La longitud de las pistas del circuito impreso puede afectar gravemente a la estabilidad del sistema de acondicionamiento.



Para evitar la influencia del efecto antena se ha intentado reducir al máximo la longitud de las pistas dentro de la PCB de control y se ha buscado reducir el área que delimitan al menor posible, de igual modo, la frecuencia de conmutación es de 5kHz y por lo tanto la influencia de esta será despreciable en el sistema.

- Debido a que todos los elementos de control del sistema tienen la misma masa (tanto las fuentes de alimentación como toda la parte de acondicionamiento) se ha optado por establecer un plano de masa dentro de la PCB de tal forma que podamos evitar los bucles de masa y los posibles acoplamientos conductivos.

Además, para evitar el acoplamiento inductivo del cableado próximo entre sí se ha optado por utilizar par trenzado.

- De la misma forma, y para evitar el acoplamiento capacitivo, todos los cables de los sensores empleados irán apantallados tan solo en un punto de potencial constante, se ha decidido esto debido a que la señal de medida es de baja frecuencia, la correspondiente a la tensión de red, 50Hz.
- Por último, se ha tenido en cuenta que en los conectores macho y hembra de la PCB hacia los drivers alternen la masa entre medias de dos señales. Con esto conseguiremos evitar el eco o la diafonía de las señales entre sí.

2.6. Interferencias debidas al error de modo común y modo diferencial

Se ha de tener en cuenta que únicamente con colocar un radiador en los IGBT's que reduzca su resistencia térmica se están introduciendo capacidades parásitas asociadas. Esto supone que este condensador cree un ruido de modo común que se propaga a través del plano de masa del sistema.

En la misma línea, los esquemas eléctricos que aparecen en los planos no son los reales desde el punto de vista de la compatibilidad electromagnética. Las resistencias térmicas de los dispositivos semiconductores deberán ser obtenidas de forma experimental para poder disponer de las características exactas del circuito.



Para evaluar las interferencias asociadas al modo común será necesario emplear 3 LISNs (Line impedance stabilization network) o lo que es lo mismo un estabilizador de la impedancia asociada de la red. Cada LISN se colocará en un extremo con cada una de las fases de la red trifásica y por el otro con un analizador de espectros.

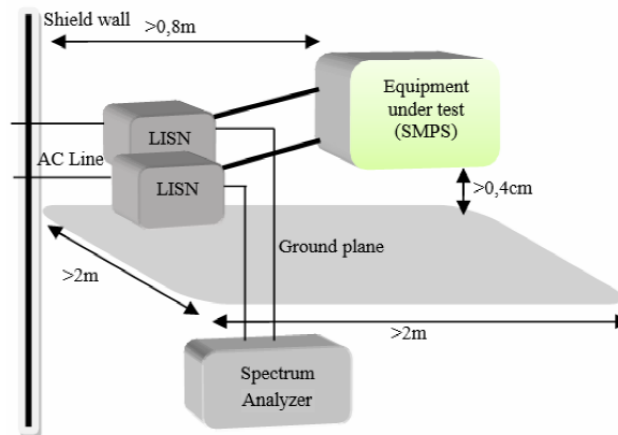


Ilustración 3: Esquema de la colocación de los LISN (EMI Reduction in Power Converters by Means of Periodic Switching Frequency Modulation)

Con este esquema descrito en la ilustración 3 se puede medir la influencia de las perturbaciones transmitidas por conducción en los convertidores CA/CC.

Este dispositivo LISN es capaz de aislar el equipo de medida del ruido asociado a la red de potencia. En la ilustración 4 podemos ver cómo sería el circuito eléctrico de este dispositivo en una red con una fase y un neutro.

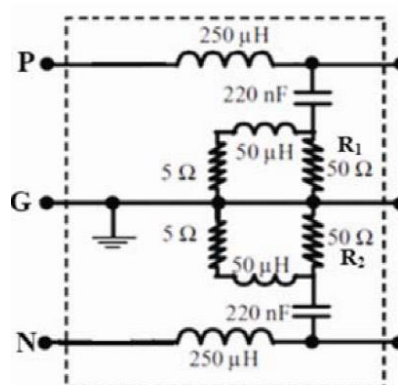


Ilustración 4: Topología eléctrica de un LISN (EMI Reduction in Power Converters by Means of Periodic Switching Frequency Modulation)

Esta ilustración 4 define la topología LISN recogida por el comité internacional de estándares de radio interferencias.



2.7. Modo común dentro del rectificador

Además de las interferencias de modo común entre la red de distribución y el rectificador se han de estudiar las que se generan en el interior del mismo sistema.

La normativa que regula dicha interferencia por conducción es la **EN-55022**. Para reducir dicha perturbación y poder cumplir con la normativa se ha de insertar filtros supresores, el inconveniente de estos es su elevado precio.

En la ilustración 5 vemos como es la estructura de este filtro que permite mejorar la compatibilidad electromagnética.

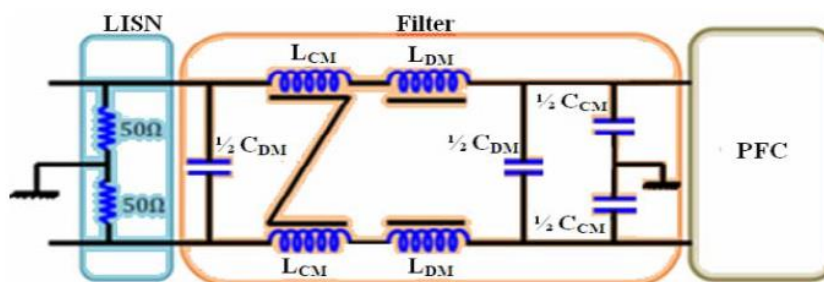


Ilustración 5: Topología de un filtro para cumplir la normativa electromagnética (EMI Reduction in Power Converters by Means of Periodic Switching Frequency Modulation)

Este tipo de filtros se han de colocar en la unión con tierra de los convertidores de potencia elevada. Con ello evitaremos la introducción de interferencias de alta frecuencia así como reduciremos las corrientes parásitas de modo común.

Las medidas de las frecuencias parásitas inyectadas se han llevado a cabo con el estándar **PN-EN 61800-3**. Esta normativa dictamina que se estudiarán los armónicos hasta el orden 25 en convertidores de media potencia y hasta el orden 40 para llevar a cabo el THD en alta potencia.

3. NORMATIVA DE APLICACIÓN

Una vez expuestas las posibles causas de fallo debido a incompatibilidad electromagnéticas y expuestas las medidas tomadas se procede a corroborar si la normativa permite la elaboración del proyecto técnico del sistema de estabilización.



El sistema de estabilización es un sistema que funciona junto con de la red eléctrica y por lo tanto generará perturbaciones conducidas en la red, es por ello por lo que se ha de cumplir la normativa recogida en la **UNE-EN 61000** que garantiza una correcta compatibilidad entre sistemas perturbadores y dispositivos susceptibles.

4. BIBLIOGRAFÍA

- [1].David González y Josep Balcells Conducted - EMI Reduction in Power Converters by Means of Periodic Switching Frequency Modulation
- [2].Normativa de compatibilidad electromagnética - IEC61000.
- [3]. Carmelo Lobo de la Serna, Apuntes de la asignatura de Integración de sistemas electrónicos - Tema 5: Compatibilidad electromagnética.
- [4]. Ignacio Moreno Velasco, Instrumentación Electromagnética – Tema 3: Interferencias.
- [5]. Mohamed Miloudi - Common And Differential Modes Of Conducted Electromagnetic Interference In Switching Power Converters