

Síntesis de Circuitos para Mediciones de Emisiones Conducidas en Sistemas Complejos

Julio G. Zola ^{#1}, Federico G. D'Angiolo ^{#2}, Pablo Marino Belcaguy ^{#3}

[#] Dto. De Electrónica, Facultad de Ingeniería UBA
Paseo Colón 850 (1063) CABA Argentina

¹ jzola@fi.uba.ar

² federicogd2009@gmail.com

³ pablo.marino.belcaguy@gmail.com

Resumen— En muchas ocasiones se necesita medir el nivel de emisiones conducidas en un sistema electrónico complejo. Realizar esta tarea, por ejemplo en un sistema cuando se encuentra en operación, no es recomendable ya que si dichas emisiones sobrepasan los máximos previstos, generarán problemas en el funcionamiento. La solución en estos casos es construir un circuito que represente lo mejor posible el comportamiento del sistema para realizar la medición en tierra. Este circuito se denomina Circuito Equivalente para medición de Emisiones Conducidas. Según las variaciones que existan dentro del sistema, este equivalente tendrá numerosos cambios. En este trabajo se analiza diseñar un mínimo número de estos circuitos que permitan resultados confiables al medir los niveles de emisiones conducidas. El estudio que se realiza puede aplicarse en forma genérica a cualquier sistema donde resulte de importancia el análisis de interferencia electromagnética, como por ejemplo, equipos de comunicaciones, sistemas motorizados, etc.

Abstract— Often it needs to measure the level of conducted emissions in a complex electronic system. For example, in a system when it is in operation, this measurement is not recommended because if such emissions exceed the permissible maximum levels they will generate a wrong operation. The solution in these cases is to build a circuit that fits as best as possible the real electronic behavior and to measure such emissions on earth. This circuit is called Equivalent Circuit for measuring Conducted Emissions. According to the different parameters in the system, the equivalent circuit will have many changes. This work focused on design a minimum number of these circuits that can be achieved in order to obtain the correct levels of measured conducted emissions. The study performed can be applied to any system where the analysis of electromagnetic interference is very important, such as communications equipment, motor systems, etc.

I. INTRODUCCIÓN

En muchos sistemas electrónicos complejos, existen dispositivos semiconductores que conmutan, produciendo de esta forma corrientes indeseadas que se propagan a través del conexionado. El sistema electrónico que se trata como ejemplo en este trabajo contiene convertidores de tensión continua a continua (DC-DC) los cuales generan emisiones conducidas (CE) que se propagan por todo el sistema a través de diferentes caminos o buses. Dado que estos buses conectan distintos bloques circuitales que se encuentran en el sistema, dichas emisiones pueden generar un mal funcionamiento de uno o varios de estos bloques, provocando así un deterioro general en su operatividad.

Este hecho hace que no resulte recomendable medir las CE con el sistema en operación. En un sistema complejo, si los niveles de CE superasen los máximos permitidos, podría

provocar serios inconvenientes en su funcionamiento. De allí el buscar realizar la medición “en tierra” (no operativo), reemplazando parte del sistema electrónico por un circuito equivalente que represente lo más fielmente posible su comportamiento ante cada bloque generador de las CE y permita predecir la respuesta real del sistema completo.

El sistema bajo estudio tiene distintos circuitos que contienen componentes pasivos y activos. Dado que sus parámetros varían con la frecuencia, se buscará reemplazarlos por una red pasiva equivalente que presente igual impedancia en la zona de trabajo. Es decir, el circuito sintetizado con el que se los reemplazará para evaluar la incidencia de las CE estará compuesto por resistencias, inductores y capacitores. Esto permite un análisis más rápido y simple sobre los niveles de CE.

II. CONCEPTOS BÁSICOS

Antes de entrar en el desarrollo del trabajo, resulta conveniente resumir algunos conceptos básicos sobre compatibilidad electromagnética [1], [2].

I) Interferencia electromagnética – EMI -: Es la emisión de energía electromagnética que degrada o perjudica la calidad de una señal.

II) Compatibilidad electromagnética – EMC -: Es la habilidad de un sistema de no causar EMI a otros equipos, pero al mismo tiempo este sistema ha de ser insensible a las emisiones que pueden causar otros sistemas.

Esto nos indica por un lado, que existe un equipo “culpable” encargado de emitir las interferencias y por otro lado, que existe un equipo “víctima” quien recibe las interferencias. Esto se puede esquematizar de la forma indicada en la Fig.1.

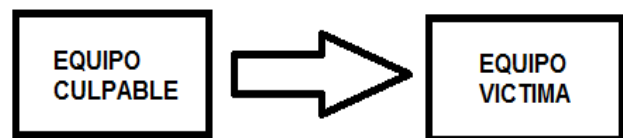


Fig. 1 Emisor y receptor de las EMI.

En este caso, se toma como equipo emisor a un convertidor DC-DC, pero en general los circuitos electrónicos de potencia trabajan en conmutación. Los dispositivos que producen esta conmutación suelen ser diodos, transistores de potencia, SCR, etc. Cuando dichos componentes se encuentran en su modo de operación conectan y desconectan niveles elevados de corrientes y tensiones. Estos cambios en los niveles de tensión y corriente se

pueden describir matemáticamente a través de sus derivadas temporales, es decir: dv/dt y di/dt [3]. Este efecto produce señales eléctricas no deseadas que afectan a otros equipos electrónicos. Estas señales no deseadas dan lugar a las EMI.

A modo de ejemplo se muestra en la Fig. 2 un convertor DC-DC básico, tipo flyback en el que se ponen en evidencia las corrientes y tensiones que tienen mayor contribución a las CE [4]. Al conmutar el transistor se producen corrientes que tienen un alto contenido armónico. La corriente en el transformador evoluciona linealmente con la tensión aplicada en sus bornes, por lo tanto esta tensión también contribuirá al espectro, agregando componentes armónicas.

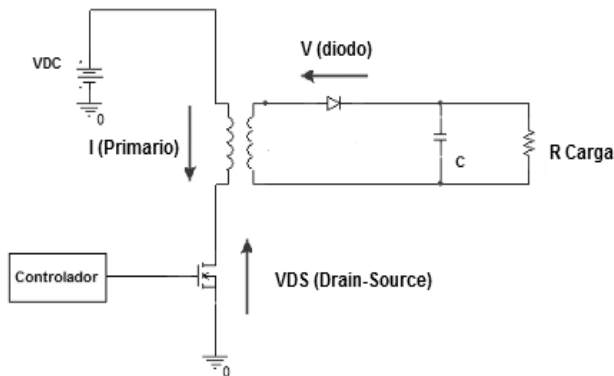


Fig. 2 Circuito flyback.

En la Fig. 3 se muestran las formas de ondas de las tensiones y corriente indicadas en este circuito básico y que se pondrán en evidencia en un diseño real. Cabe destacar que en las conmutaciones se producen efectos de mayor orden armónico debido a las capacidades parásitas de los semiconductores.

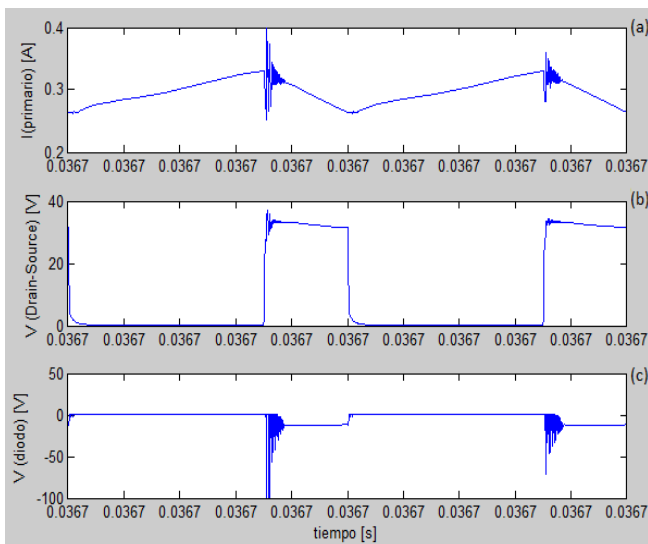


Fig 3. (a) Corriente en el primario del transformador. (b) Tensión drain-source. (c) Tensión en el diodo.

A. Mecanismos de transmisión de las EMI

Las EMI pueden transmitirse de dos formas [2]:

- I) Por radiación: Las señales se transmiten por el espacio.
- II) Por conducción: Las señales se transmiten a través de conductores. Estos conductores pueden ser los que se dirigen a tierra, a la fuente de energía, etc. Es decir, las CE son señales generadas sin intención por el equipo bajo prueba, que regresan a la fuente de alimentación a través del

conexionado [5]. Se incluye en las CE los acoplamientos reactivos o emisiones de campos cercanos.

Las CE están comprendidas en un rango de frecuencias hasta 30MHz, mientras que las EMI por radiación se encuentran por encima de esta frecuencia.

Las CE, al propagarse a través del cableado se pueden transmitir de dos formas: en *modo diferencial* o en *modo común*. En el primer caso las señales viajan en sentido opuesto entre dos líneas que llegan a un mismo bloque – Fig. 4a -. En el segundo, se propagan en el mismo sentido, retornando a tierra (0V) a través de las capacitancias parásitas del sistema – Fig. 4b -.

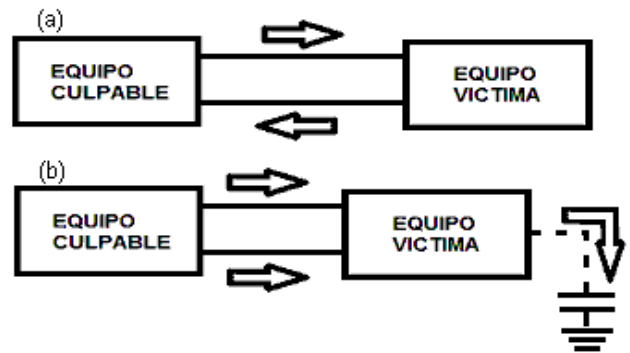


Fig. 4 Propagación de CE. (a) Modo diferencial. (b) Modo común.

B. Unidad de medición de las EMI

Cuando se realizan los análisis de EMI, se emplea unidades de medida en corriente y/o tensión tales como las indicadas en (1) [6].

$$dB\mu A = 20 \cdot \log\left(\frac{I_1}{1\mu A}\right) \quad (1)$$

$$dB\mu V = 20 \cdot \log\left(\frac{V_1}{1\mu V}\right)$$

La corriente (o tensión) a tratar, se encuentra referenciada a $1\mu A$ (ó $1\mu V$). Estas unidades se utilizan para las emisiones por conducción (así como $dB\mu V/m$ para las radiadas).

III. MEDICIÓN DE LAS CE MEDIANTE UN CIRCUITO EQUIVALENTE (CEEC)

Para medir las CE es necesario realizar un circuito equivalente del sistema, analizando la impedancia que presenta al equipo culpable o emisor. Esto es, se debe realizar en este caso una estimación de la impedancia de cada bloque que compone al sistema y luego sintetizar esto en un circuito, que servirá para medir las CE con el sistema en tierra o no operativo. En general, la impedancia que presenta el sistema no es constante con la frecuencia, es decir los componentes que lo conforman varían su valor de impedancia en un amplio rango de frecuencias. Esto nos lleva a pensar que el circuito de medición equivalente debe estar compuesto necesariamente por elementos tales como inductores y capacitores.

A este tipo de circuito se lo denomina comúnmente Line Impedance Stabilization Network (LISN). Sin embargo, la LISN, de acuerdo a su definición debe poseer dos características: que la impedancia en función de la frecuencia sea constante [7] y que pueda aislar al sistema

bajo prueba [8]. Como la primera condición no se cumple en este caso, resulta más conveniente denominarlo circuito equivalente del sistema (CEEC), aunque a los fines prácticos se denomine indistintamente de uno u otro modo.

La medición de CE se realiza conectando al CEEC el equipo emisor de CE, representado como una fuente de corriente espuria en la Fig. 5. El medidor de CE es por ejemplo un analizador de espectro.

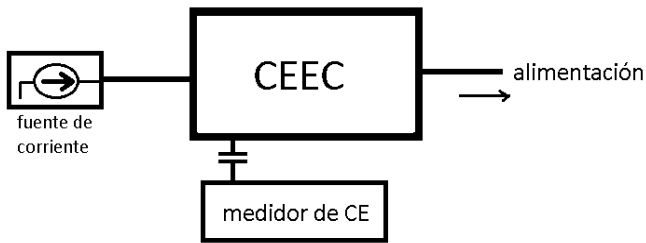


Fig. 5 Banco de medición para CE.

Para saber si el sistema cumple con los niveles máximos permitidos de CE, se utilizan máscaras. Las máscaras son gráficas que indican los máximos niveles de emisiones permitidos dentro del rango determinado de frecuencias de funcionamiento. Para el caso de los convertidores DC-DC, que son para el ejemplo de este trabajo los equipos culpables de las CE, su fabricante facilita máscaras que indican los niveles máximos emitidos por el DC-DC en función de la frecuencia.

IV. COMPORTAMIENTO DEL CEEC PARA LA MEDICIÓN DE CE

En base a lo explicado, el esquema general para la medición de CE, es el indicado en la Fig. 6, donde, el Equipo Culpable es el equipo que genera las CE (en este caso, un DC-DC) [9], [10], [11].

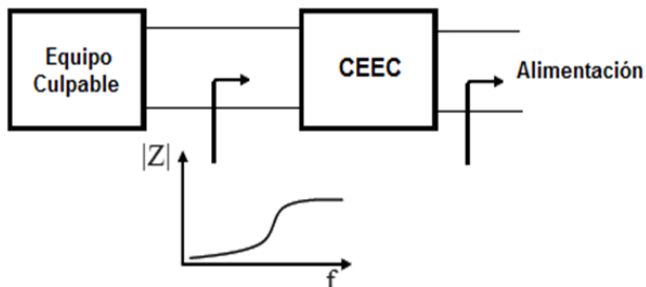


Fig. 6. Diagrama en bloques de la ubicación del CEEC.

Se puede observar que el CEEC presenta al equipo culpable una impedancia variable con la frecuencia, representativa del sistema para una dada condición de funcionamiento. Dado que la impedancia vista por el equipo culpable variará a su vez para cada frecuencia dada, debido a las distintas condiciones de funcionamiento en que pueda operar el sistema, se deben realizar distintos circuitos CEEC que representen lo mejor posible a dicha impedancia.

Por ejemplo, la Fig. 7 muestra un esquema genérico de un sistema complejo, compuesto por un importante número de convertidores DC-DC idénticos que alimentan a otros circuitos. Dichos DC-DC reciben a su vez la tensión continua a través de una línea o bus que alimenta a otros bloques funcionales. Como puede observarse, para cada uno de los DC-DC la longitud del cableado hacia la alimentación y resto del circuito varían. Ello implicaría

tener que diseñar diferentes CEEC para cada ubicación de los DC-DC, que son los bloques culpables de las CE.

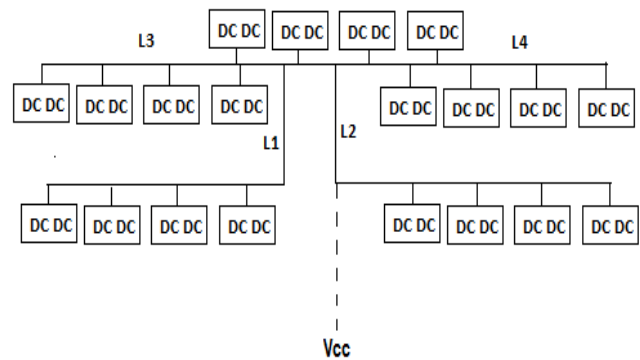


Fig. 7 Distribución de DC-DC en un sistema complejo.

Para simplificar este análisis, se propone la evaluación de dos casos extremos: uno de máxima impedancia y otro de mínima. El caso de máxima impedancia se debe en este caso al tendido del cableado más largo dentro del sistema, es decir, se supone que las CE se propagan a través de largas distancias. Por el contrario, en el caso de mínima impedancia se supone que las emisiones se propagan a través de un cableado más corto.

La distancia del cableado tendrá mucha influencia y traerá como consecuencia que, en el caso de máxima impedancia provocará una atenuación de las CE por la mayor extensión de cableado y por ende una disipación de potencia sobre este. Este hecho podría resultar perjudicial, debido por ejemplo a la sobre elevación de temperatura de funcionamiento sobre el bus. Por el contrario, para el caso de menor impedancia, es decir con menor longitud de cableado, la atenuación que sufrirán las CE será menor, lo que podría acarrear un mal funcionamiento de algunos bloques, si estas superasen los niveles máximos permitidos.

A. Ejemplo de obtención del CEEC

Se debe realizar una estimación de la impedancia de cada bloque que compone al sistema complejo y luego sintetizar esto en un circuito. Este circuito servirá para evaluar las CE.

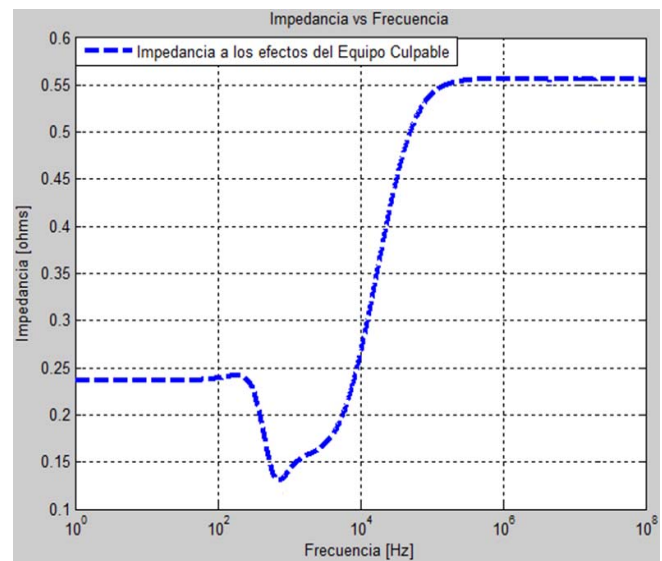


Fig. 8 Impedancia mínima que presenta el sistema.

En la Fig. 8 se muestra un ejemplo de gráfico de la estimación de la impedancia mínima equivalente en función de la frecuencia, propio de este sistema bajo análisis, vista desde un equipo emisor o culpable de las CE. Es decir, la impedancia que presenta el sistema bajo estudio, por ejemplo para su cableado de menor longitud.

Mediante esta gráfica y utilizando herramientas de síntesis de circuitos, se llega al esquema del CEEC indicado en la Fig. 9, el cual caracteriza al sistema real de manera similar, tal como se observa en la Fig. 10, donde se compara la variación de la impedancia del CEEC (curva sólida) con la gráfica de la Fig. 8 (curva punteada) [12].

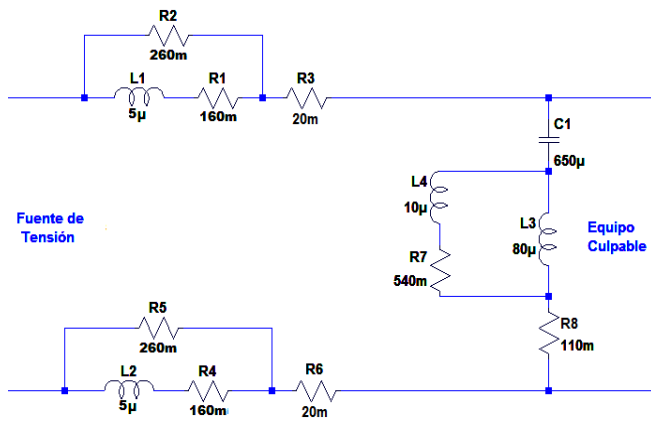


Fig. 9. CEEC de mínima impedancia.

El circuito CEEC trata de asemejarse lo mejor posible a la impedancia del sistema, pero esto es algo complejo de lograr ya que para obtener una variación similar el circuito equivalente debería ser de un orden mucho mayor, por las variaciones pronunciadas que presenta su impedancia.

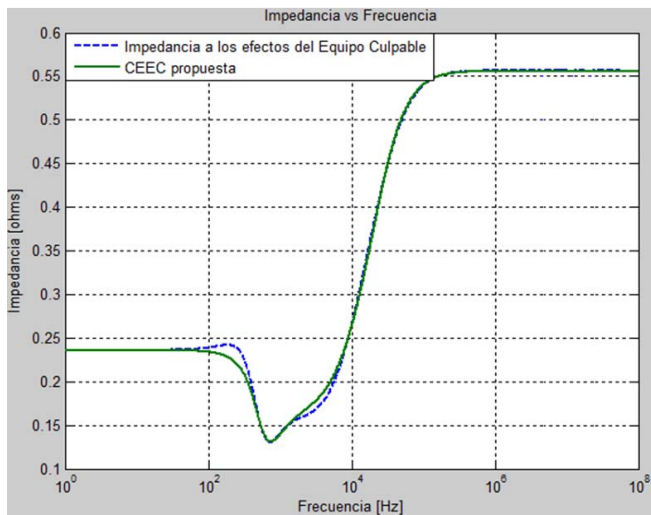


Fig. 10 Impedancia vs frecuencia para el CEEC de mínima impedancia.

Del mismo modo, puede hallarse la CEEC de máxima impedancia, partiendo de la gráfica de la impedancia vs frecuencia para los DC-DC más alejados de la línea principal.

B. Medición de las CE con el CEEC

La Fig. 11 muestra la medición de las CE de modo diferencial obtenidas utilizando los CEEC para mínima y máxima impedancia, para un DC-DC en un sistema

complejo como el de la Fig. 7 y de acuerdo con el esquema de la Fig. 5. La máscara de CE contra la que se comparan los valores corresponde a aquellos niveles máximos permitidos que no deben sobrepasarse. Puede observarse en este ejemplo, que el nivel de CE no supera a los niveles máximos en todo el rango de frecuencias de medición [13].

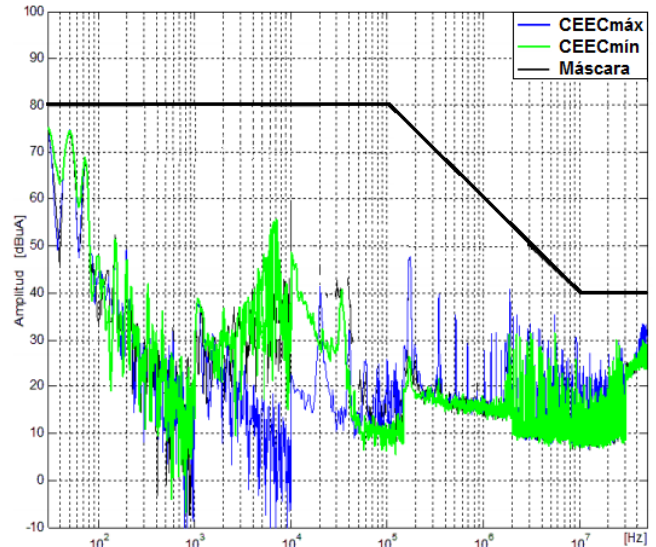


Fig. 11 CE medidas con CEEC de mínima y máxima impedancia.

La forma de medición de las CE diferencial y común, se realiza siguiendo el esquema de la Fig. 12, donde se muestra la ubicación de las puntas de corriente para la medición.

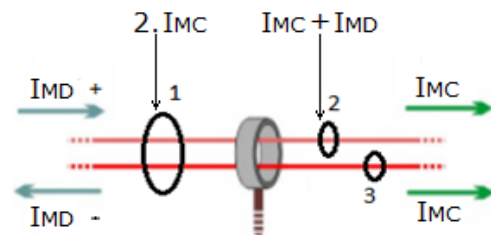


Fig. 12 Medición de las CE de modo diferencial y común.

Una vez evaluados los niveles de CE, para las condiciones de mínima y máxima impedancia, si superase en alguno de los casos los niveles máximos, se procede a tratar de atenuarlas por medio de filtros. Luego, teniendo caracterizado el filtro en conjunto con el sistema, se vuelven a crear otros CEEC conteniendo al filtro, de manera de poder observar los nuevos niveles de CE, hasta alcanzar los niveles deseados para un correcto funcionamiento.

V. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se describieron los pasos para el diseño de redes RLC que sean capaces de reproducir lo más fielmente posible el comportamiento de un sistema electrónico complejo (formado en este caso por varios DC-DC) ante las EMI conducidas, analizando dos condiciones extremas como son la mínima y máxima impedancia que presenta el sistema bajo estudio al bloque emisor de las CE. La simplificación a estos dos casos extremos, no solo reduce el número de CEEC a construir, sino también el número de procesos de medición a realizar, obteniéndose igualmente información concreta sobre los niveles de CE que se pueden presentar en el sistema.

REFERENCIAS

- [1] *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 1: General - Section 1: Application and interpretation of fundamental definitions and terms*, IEC TR 61000-1-1, 1992.
- [2] L. Ferrer Arnau, "Introducción a la compatibilidad electromagnética", UPC Departament d'Enginyeria Electrònica, Barcelona, Spain, 2012.
- [3] X. Pei, J. Xiong, Y. Kang and J. Chen, "Analysis and Suppression of Conducted EMI Emission in PWM inverter", IEEE International Electric Machines and Drives Conference, IEMDC03, 2003.
- [4] H. K. Patel, "Flyback Power Supply EMI Signature and Suppression Techniques", Joint International Conference on Power System Technology and IEEE Power India Conference, 2008.
- [5] L. A. Mallette and R. Adams, "An Introduction to EMI/EMC Test Requirements for Space Application", IEEE Aerospace Conference Proceedings, 1999.
- [6] C. Ruiz and E. González, "EMI/RFI por Sistemas de Respaldo Eléctrico en Telecomunicaciones", IEEE Aerospace Conference Proceedings, 1999.
- [7] C. Paul, *Introduction to Electromagnetic Compatibility*. 2nd ed., Wiley, 2006.
- [8] M. Moy, *Conducted Emissions Testing for Electromagnetic Compatibility*, Electrical Engineering Department, California State Polytechnic University, 2012.
- [9] *Electromagnetic Emission and Susceptibility Requirements for the Control of Electromagnetic Interference*, MIL-STD-461, 2013.
- [10] *Measurements of Electromagnetic Interference Characteristics*, MILSTD-462, 1999.
- [11] *Electromagnetic Compatibility Requirements for Space System*, MIL-STD-1541, 1987.
- [12] F. Kuo, *Network Analysis and Synthesis*. 2nd ed., Wiley, 1966.
- [13] *Space Engineering. Electromagnetic Compatibility*, ECSS-E-ST-20-07C, 2008.