

Soluciones a los problemas de las interferencias

Artículo cedido por Cemdal



www.cemdal.com



Autor: Francesc Daura Luna, Ingeniero Industrial. Director de la Consultoría CEMDAL, Representante de Austria Mikro Systeme (ams AG) para España y Portugal. www.cemdal.com
fdaura@cemdal.com

¿Alguna vez te has preguntado por qué tu ordenador portátil, tu teléfono o incluso tu calculadora tienen una etiqueta con el Marcado CE donde se declara la conformidad de la Directiva de compatibilidad electromagnética? ¿Por qué la UE exige el cumplimiento de estas Directivas? La razón es sencilla de entender. Todo se reduce a los dispositivos electrónicos donde hay circuitos digitales que conmutan a alta velocidad. En un circuito digital, sus conmutaciones más rápidas tienen frecuencias muy superiores a los 10 kHz y por ello se convierte en un transmisor de interferencias electromagnéticas (EMI) que pueden afectar a otros equipos vecinos y a las telecomunicaciones. La Directiva de compatibilidad electromagnética (CEM) tiene como objetivo principal proteger el espectro radioeléctrico, para evitar que las telecomunicaciones queden afectadas por las EMI de los equipos electrónicos. La Directiva de CEM vigente es la 2004/108/UE y en abril de 2016 será sustituida por la 2014/30/UE.

Un buen ejemplo de como comprobar que cualquier pequeño producto electrónico genera EMI es usar el control remoto de la TV junto a una radio de bolsillo de OM (Onda Media). Sintonizamos la radio en una frecuencia sin emisoras en la banda

de OM, donde se puede oír solo ruido. Con el control remoto de la TV presionamos uno de los botones. El tren de impulsos digitales que se escucha en la radio, en forma de un mayor ruido, es debido a la corriente conmutada debida al consumo del LED emisor de infrarrojos del mando. A medida que se presionan los demás botones, se obtienen diferentes ruidos pulsantes. Así, se comprueba que una radio barata de bolsillo de OM es una herramienta útil para encontrar fuentes de EMI. Veamos seguidamente como operar para solucionar problemas de EMI en equipos e instalaciones.

Metodología

Ante un problema de EMI en una instalación o en un equipo debemos seguir una metodología para poder solucionar el problema. El proceso de investigación para resolver los problemas de EMI es casi idéntico al enfoque utilizado en otros tipos de problemas.

Podemos dividir este enfoque en seis pasos básicos. Es importante seguir los pasos como se indica, sin cambiar la secuencia ni saltarse ningún punto:

1. Reunir la información básica.
2. Desarrollar un plan de actuación.

3. Seleccionar las herramientas adecuadas.
4. Investigar el problema.
5. Seleccionar las soluciones.
6. Verificar el rendimiento de las soluciones.

Veámoslo en mayor detalle seguidamente:

1. Reunir la información básica

Este es el paso más importante en la investigación de problemas de EMI. Al principio, se sabe poco sobre el funcionamiento y las características de los equipos afectados. Si se tiene más información significativa, la investigación será más fácil. Una reunión coordinada entre todas las partes afectadas suele ser un buen primer paso. Por supuesto, la mejor información se obtiene al hacer las preguntas correctas y tomar notas detalladas durante la reunión de los equipos afectados. Es común que los diferentes afectados no estén de acuerdo entre sí, sobre todo si ya se han formado opiniones preliminares. Se debe establecer una base común de conocimiento sobre el problema, manteniendo una mente abierta e instando a todas las partes a hacer lo mismo. Lo que puede parecer información no relacionada puede convertirse en una clave importante para la identificación correcta del problema de EMI.

La figura 1 contiene una lista de preguntas importantes que ayudarán a seguir el enfoque correcto en la búsqueda de la solución. Se puede dirigir algunas preguntas a una persona específica y luego a varias personas más. El operador del equipo o la instalación con problemas pasa más tiempo con el mal funcionamiento del equipo que cualquier otra persona, por lo que este operador tendrá más detalles del problema.

2. Desarrollar un plan de actuación

Utilizar la información recopilada en la reunión para determinar si la investigación se centrará en las emisiones radiadas (el espacio dentro y fuera de la instalación) o en las emisiones conducidas (dentro de la

- ¿Qué tipo de equipo ha tenido el problema de EMI?
- ¿Qué hace el equipo (o no hace) durante el mal funcionamiento?
- ¿Cuándo comenzó el mal funcionamiento del equipo?
- ¿Cuándo ocurren los fallos de funcionamiento? (Fechas y horarios específicos ayudan a identificar un patrón de mal funcionamiento, que puede ser clave para identificar las fuentes de EMI)
- ¿Cuánto duran los fallos de funcionamiento?
- ¿Qué medidas se toman cuando se producen los fallos de funcionamiento?
- ¿Se ha detectado un mal funcionamiento inexplicable con otros tipos de equipos?
- ¿Se tiene y está disponible un registro del mal funcionamiento del equipo?
- ¿Qué tipos de equipos se han instalado en la instalación desde que el equipo falló por primera vez?
- ¿Está la instalación actualmente en proceso de remodelación o construcción?
- ¿Qué tipos de sistemas de comunicación interna se utilizan en este centro?
- ¿Qué tipos de vehículos entran y salen de esta instalación?
- ¿Cómo se comunican estos vehículos con la instalación?
- ¿Qué tipos de operaciones se están produciendo en las instalaciones vecinas?
- ¿Han ocurrido otros problemas de EMI en este centro? Si es así, describir su naturaleza y la forma en que se resolvieron.
- ¿Se han hecho modificaciones de cableado y puesta a tierra en el área del equipo con mal funcionamiento?

Figura 1. Lista de preguntas importantes que ayudarán a seguir el enfoque correcto en la búsqueda de la solución.

- **Cuándo y dónde empezar la investigación**
- **Las herramientas que se van a utilizar**
- **Un conocimiento básico de cómo se comporta el mal funcionamiento del equipo**
- **Los tipos de mediciones que realizarán**
- **Puntos de medición dentro y fuera de las instalaciones**
- **La progresión lógica de las mediciones**
- **Cuántas y cuánto tiempo de cada tipo de medición**
- **Como se van a capturar y almacenar datos**
- **Conexión de las herramientas al sistema eléctrico de la instalación para capturar los datos**
- **Requisitos de alimentación de los equipos de medición**
- **Requisitos de seguridad**
- **Quién debería estar disponible durante la investigación para ayudar**

Figura 2. Lista de elementos que se deben incluir en el plan de actuación.

instalación). Si no se obtiene suficiente información para determinar esto, no debemos preocuparnos. La mayoría de los problemas de EMI se asocian con entornos radiados, por lo que la mayor probabilidad es que se deberá empezar a investigar por las emisiones radiadas. Si es posible, se debe obtener los esquemas de la instalación o equipo. La figura 2 enumera los elementos que se deben incluir en el plan de actuación.

3. Seleccionar las herramientas adecuadas

Para detectar las emisiones radiadas los investigadores suelen comenzar utilizando una radio de bolsillo de OM. Luego se pueden usar medidores de intensidad de campo de RF, analizadores de espectro y antenas especializadas. Para las emisiones conducidas, es posible que se tenga que utilizar una red de adaptación de impedancias (LISN) si está disponible o sondas de tensión junto con un analizador de espectro y, en algunos casos, monitores de línea de red y osciloscopios. En las instalaciones es mejor usar equipos portátiles.

La mayoría de las antenas están diseñadas específicamente para medir bien los campos eléctricos o magnéticos radiados. Lo más usual es medir las emisiones radiadas de campos eléctricos debido a que muchos problemas de EMI son el resultado de las emisiones radiadas que ocurren en el campo lejano. En el campo lejano, con respecto a la distancia, el campo eléctrico es 377 veces más fuerte

que el campo magnético. Cuando se producen las emisiones en el campo cercano (donde la intensidad de campo es, con respecto a la distancia, comparable), puede que se tenga que medir los campos magnéticos con antenas de bucle. Las sondas de corriente de alta frecuencia (como mínimo deben llegar a los 250 MHz, aunque pueden llegar a los 2 GHz) miden las emisiones conducidas en los cables de alimentación o de señal.

4. Investigar el problema

La localización de las fuentes de EMI de un problema de CEM puede parecer difícil, incluso para los investigadores experimentados. Pero un buen trabajo durante los pasos del proceso de recopilación de información suele revelar las pistas necesarias para encontrar las fuentes. A medida que la investigación avanza, las pistas adicionales se harán evidentes y, en el mejor de los casos, harán evidentes varias causas posibles. En la mayoría de los casos, se debe comenzar por el equipo afectado. Hay algunas medidas simples que se pueden realizar para determinar si las emisiones radiadas o conducidas (o una combinación) están causando el problema. Por ejemplo, se puede insertar un sistema de alimentación ininterrumpida (SAI) con una batería cargada entre el origen de la fuente de alimentación y el equipo. No mover el equipo afectado de la ubicación en la que funciona mal. Si el equipo continúa funcionando mal, entonces es que reacciona a las emisiones radiadas.

Si no funciona mal, la causa son las emisiones conducidas a través de la red eléctrica generadas por algún equipo cercano en la instalación.

Otro factor clave es ver cómo opera el equipo afectado. Existen muchos tipos de equipos electrónicos que contienen monitores, pantallas y medidores que pueden indicar cuándo y cómo la fuente de EMI las afecta. Por ejemplo, si se observa estos dispositivos y se pueden correlacionar las observaciones con el ruido detectado por una radio de OM, nos podremos familiarizar con los sonidos de las emisiones radiadas recibidas por la radio.

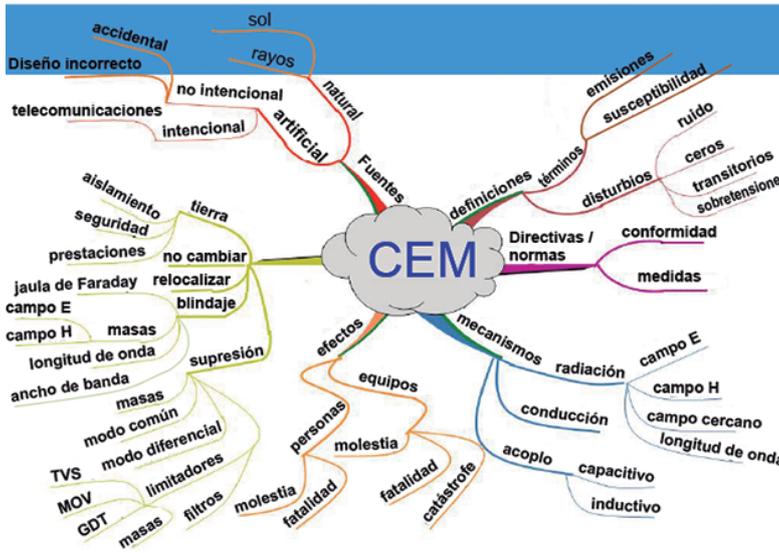
Se puede hacer lo mismo con las emisiones captadas con un analizador de espectro. Sin embargo, puede ser necesario pasar varias horas para familiarizarse con el equipo antes de descubrir una correlación. Si los casos son esporádicos, podría ser que la fuente fuera una pieza cercana utilizada con poca frecuencia. Si los problemas son periódicos, una pieza del equipo de uso normal puede ser la culpable.

Los radiadores intencionales, tales como los transmisores de radiodifusión, generan emisiones para un propósito específico. Los radiadores no intencionales generan emisiones como un subproducto de sus operaciones normales o anormales. Una vez reunidos los datos de la investigación se deben buscar patrones de comportamiento. Las frecuencias de los componentes medidas con un analizador de espectros proporcionarán pistas útiles. El conocimiento de las frecuencias de funcionamiento de las estaciones de radiodifusión cercanas y las frecuencias de funcionamiento de los diversos dispositivos en la instalación ayudará a determinar qué dispositivos pueden ser sospechosos de dar problemas de EMI. Esto le llevará a las posibles soluciones para resolverlos.

5. Seleccionar las soluciones

Al elegir una solución para cada problema, hemos de considerar cuidadosamente las operaciones de la instalación, el entorno electromagnético, donde debe operar el equipo y el funcionamiento del equipo afectado. También se debe evaluar la seguridad, el costo, la instalación, el mantenimiento, la estética, y el ren-

Figura 3. Mapa de la problemática de la compatibilidad electro-magnética.



dimiento de la posible solución. ¿Qué se puede hacer para minimizar el impacto de las EMI en los equipos? Es una cuestión de niveles. ¿Qué nivel de EMI determina lo mucho o poco que tenemos que minimizarlas? Cuando el problema de EMI aparece en un equipo o instalación en el lugar de uso, no se tienen como referencia los niveles propuestos por las normas, al contrario de lo que ocurre cuando se está en la fase de diseño. Las soluciones más comunes a los problemas de EMI incluyen mejoras en los blindajes, en los filtros y algunas técnicas de puesta a tierra.

El filtrado se utiliza comúnmente para resolver los problemas de emisiones por conducción. Se pueden utilizar choques en modo común eficazmente en las líneas de datos y en los cables de alimentación.

Los blindajes se pueden utilizar para resolver problemas de emisiones radiadas. La corrección de los problemas de conexión a tierra puede reducir tanto las emisiones radiadas, como las conducidas en función de las circunstancias del problema de EMI.

Trenzando sistemáticamente todos los cables no apantallados se reduce las EMI de baja frecuencia (hasta unos 100 kHz) gracias a los pares conductores (señal y retorno), que al estar juntos restan las EMI en modo común, al afectar a la vez a los dos conductores. Pero antes de aplicar estas soluciones, se debe hacer un esfuerzo inicial para reducir los niveles de emisión, a partir de las fuentes de EMI. Siempre es más eficaz.

6. Verificar el rendimiento de las soluciones

Si es necesario, la verificación oficial en un laboratorio debería tener lugar después de que se hayan aplicado las soluciones a las instalaciones y los equipos y estos hayan regresado a la normalidad. Incluir las mediciones "después de" en un informe final. Con el informe final ya completado, se puede dar por solucionado el problema.

Los problemas de EMI

En los problemas de EMI hay básicamente dos aspectos a considerar: emisión y susceptibilidad y en ambos casos: conducida y radiada. Una mirada más cercana a estos aspectos dará pistas sobre cómo proceder. Los problemas descubiertos durante las pruebas de CEM son definitivos, con frecuencias específicas y niveles concretos. Los problemas descubiertos en el lugar de uso del equipo son mucho más difíciles de determinar, ya que la causa del problema puede no ser obvia. En este caso, será necesario identificar la causa antes de adoptar medidas correctoras eficaces. Veamos un resumen de estos cuatro aspectos básicos, la forma en que se producen y cuando se producen.

La figura 3 presenta un mapa general de la problemática de la CEM. Durante el proceso de diseño y desarrollo de un nuevo equipo electrónico, todo técnico involucrado en el proceso de conformidad con la CEM estará involucrado en la solución de problemas de EMI, dondequiera que

puedan surgir. Frecuentemente, los problemas se descubren durante las pruebas de CEM, más bien tarde en el ciclo de desarrollo del producto. Si se llega tarde siempre implica mayores costos de desarrollo, mayores costos unitarios en producción y retrasos en la planificación. Lo mejor y más adecuado es realizar pruebas preliminares de pre-evaluación del equipo durante la etapa de diseño. Realizando estas pruebas de pre-evaluación se pueden descubrir problemas de EMI con suficiente antelación de forma que se pueden aplicar las acciones correctivas en el momento oportuno, idealmente a nivel de tarjeta de circuito impreso (TCI), con menores costos de desarrollo. Muchas veces sucede que el entorno electromagnético donde el equipo finalmente debe funcionar es más severo que el propuesto por las normas de CEM seleccionadas para comprobar el equipo. Esto puede suponer un problema, al aparecer problemas de EMI cuando el cliente ya está usando el nuevo equipo. Estos problemas pueden ser debidos a unas débiles prestaciones electromagnéticas del equipo o a una incorrecta instalación. Esta situación se debe evitar para no incurrir en altos costos al aplicar la solución y para no perder la imagen de buena empresa ante nuestro cliente. Es por ello importante aplicar las normas de CEM según el entorno electromagnético más o menos severo donde deberá trabajar el equipo o instalación.

En cada una de estas situaciones puede ocurrir una gran variedad de problemas. Pueden haber múltiples problemas a un mismo tiempo y por lo general hay más de una solución para cada problema. Teniendo en cuenta la amplia gama de problemas, puede parecer que las soluciones a los problemas de EMI se pueden encontrar por azar y acertar o fallar es solo cuestión de tener suerte. Nada más lejos de la realidad. Se puede formular un método razonable para minimizar los problemas de EMI. Nunca se puede asegurar que una solución va a ser infalible, pero con un buen método, se pueden solucionar muchos problemas.

Los transitorios y las ondas continuas pueden causar problemas. Los transitorios tienden a crear errores digitales mientras que las ondas continuas tienden a causar errores en las

entradas de las señales analógicas. Las emisiones tienden a provenir de circuitos de baja impedancia, como controladores de salidas y la conmutación de circuitos de potencia y afectan a los circuitos de alta impedancia, que tienden a ser susceptibles, como los amplificadores operacionales y los circuitos de retroalimentación en los reguladores de tensión.

Todos los problemas de EMI tienen tres elementos comunes: como mínimo, siempre hay una fuente de EMI, un receptor de EMI y un camino de acoplamiento que une la fuente al receptor. Por lo general, no es posible eliminar la fuente o el receptor, por lo que solo queda atacar el camino de acoplamiento. La figura 4 muestra algunas posibilidades. Dependiendo del problema, la fuente o el receptor (o ambos) pueden ser evidentes, pero a veces es más difícil ser identificados. Como fuentes de EMI podemos tener: microcontroladores, controladores de vídeo, circuitos digitales en general, fuentes conmutadas, cargas inductivas, motores, descargas electrostáticas, radiotransmisores, calentadores de RF, perturbaciones eléctricas en la red y rayos. Como caminos de acoplamiento podemos encontrar: campos radiados, diafonía capacitiva, diafonía inductiva y acoplamiento conducido por líneas de señal, por la alimentación o por la masa. Como receptores de EMI podemos tener: microcontroladores, circuitos digitales y circuitos analógicos.

Podemos usar un conjunto de variables en la identificación de los parámetros clave para la solución de problemas: Frecuencia - Amplitud - Tiempo - Impedancia - Dimensiones. Una vez que la fuente y el receptor se han identificado (quizás tentativamente), los próximos pasos son identificar estas variables:

Frecuencia: identificar las frecuencias con problemas es el primer paso para la solución de los problemas. Todas las medidas correctivas dependen de esta información. Los resultados de las pruebas de CEM proporcionarán esta información. Pero en el lugar de uso puede que se deba adivinar. Es conveniente estimar el ancho de banda de las señales sospechosas.

Amplitud: ¿cuál es la amplitud relativa a las expectativas? ¿Es un problema leve, en cuyo caso unas correcciones leves pueden ser sufi-

cientes? ¿O se requerirán mayores esfuerzos?

Tiempo: puede tener varios aspectos. El problema, ¿es continuo o esporádico?. Durante las pruebas de CEM los problemas de EMI pueden aparecer durante un estado operativo particular del equipo. Si aparecen en el lugar de uso, puede ser en un momento determinado del día o del año.

Impedancia: es un factor a considerar en las entradas y salidas y en el diseño de los filtros.

Dimensiones: dependiendo de las frecuencias de los problemas, las antenas sospechosas se pueden encontrar en la longitud máxima de cada abertura, en la longitud de los cables o de la caja.

Los problemas de EMI que surgen en el lugar de uso son casi siempre más difíciles de corregir que los problemas en el laboratorio de pruebas de CEM. En un laboratorio de pruebas, los fallos se identifican específicamente con instrumentos calibrados y se puede evaluar fácilmente la eficacia de las soluciones. En el lugar de uso, el origen del problema es a menudo desconocido y además puede ser intermitente. El fallo puede ocurrir a veces aparentemente al azar y puede no haber una fuente de EMI evidente. Así que el problema principal es averiguar qué causó el fallo para luego corregir el problema, para estar seguros de que el problema se ha solucionado.

La emisión y la susceptibilidad

La emisión excesiva de los equipos eléctricos y electrónicos se detecta casi exclusivamente durante las pruebas de CEM y es la prueba que más usualmente se falla. En las normas, los límites se establecen para evitar que las EMI afecten a los posibles receptores sensibles y cercanos. En los equipos domésticos, usualmente las emisiones son demasiado bajas como para representar una amenaza en la cercanía de un equipo electrónico ordinario si éste lleva el Marcado CE. En consecuencia, los problemas de emisiones raramente se encuentran en el lugar de uso.

En cambio, en equipos industriales, la conmutación de grandes cargas inductivas puede afectar a otros equipos en el lugar de uso. Pero estos

problemas a veces no se descubren durante las pruebas de CEM porque muchas veces es difícil reproducir en el laboratorio las cargas reales. Ésta es otra razón de la incertidumbre en el lugar de uso.

La susceptibilidad a las emisiones de EMI que entran en el equipo, en oposición a las EMI que salen del equipo es lo contrario a las emisiones de EMI y, como tales, las soluciones son en gran medida recíprocas.

EMI radiadas y conducidas

Las EMI pueden entrar o salir del equipo por conducción (a través de un cable de datos o de alimentación) o por radiación (a través del equipo o a través de un cable de datos o de alimentación). Para entender porque radia un equipo, primero tenemos que entender que es lo que facilita la radiación. La radiación efectiva requiere una antena adecuada para recibir o transmitir, lo que necesita un elemento metálico con una longitud que sea una fracción significativa de la longitud de onda de la EMI. Así, lo primero es establecer la longitud de onda de la señal EMI (onda sospechosa continua):

$$\lambda = 300 / f$$

donde:

- f: frecuencia en MHz
- λ: longitud de onda en metros.

Para las señales digitales o transitorias, se debe usar el ancho de banda del impulso, que se estima según la fórmula:

$$AB = 0,5 / tr$$

FUENTES DE EMI	ACOPLOS	RECEPTORES DE EMI
Microcontroladores	Radiación electromagnética	Circuitos digitales
Controladores de vídeo	Campos electromagnéticos	Microcontroladores
Descargas electrostáticas	Diafonía capacitiva	Circuitos analógicos
Radiotransmisores	Diafonía inductiva	Receptores de RF
Calentadores de RF	Conducidas por líneas de señal	Circuitos de realimentación
Perturbaciones de red	Conducidas por líneas de alimentación	Circuitos de "reset"
Rayos	Conducción por la masa	
Circuitos digitales	Conducción por la tierra	
Conmutación cargas inductivas		
Fuentes conmutadas		

Figura 4. Ejemplos de fuentes, acoplos y receptores de EMI .

FRECUENCIA	1/20	1/4	1/2
1 MHz	15 metros	75 metros	150 metros
10 MHz	1,5 metros	7,5 metros	15 metros
30 MHz	50 cm	2,5 metros	5 metros
100 MHz	15 cm	75 cm	1,5 metros
300 MHz	5 cm	25 cm	50 cm
1 GHz	1,5 cm	7,5 cm	15 cm

Figura 5. Dimensiones representativas en función de la frecuencia.

donde:

- AB: ancho de banda,
- tr (rise time) = tiempo de subida de la señal digital o transitoria,

Como ejemplo, una descarga electrostática (ESD), tiene un tiempo de subida de 1 ns, proporcionando un ancho de banda de aproximadamente 300 MHz ($\lambda = 1$ metro).

Una vez determinada la longitud de onda de la EMI, debemos buscar elementos metálicos con una longitud superior a aproximadamente $\lambda/20$. En realidad, aparecen resonancias en $\lambda/4$ o $\lambda/2$, donde la radiación es casi óptima. Así cualquier cosa metálica que se acerque a $\lambda/4$ puede ser significativa.

Esto se aplica a antenas dipolo (como cables), a las ranuras (aberturas en cajas metálicas) que actúan como antenas y bucles (cables internos y pistas en el circuito impreso). La figura 5 da algunas dimensiones representativas en función de la frecuencia.

La conclusión es que las frecuencias bajas no irradian de manera eficaz, ya que hay pocos elementos metálicos suficientemente grandes como para comportarse como una buena antena. En los 30 MHz, donde empiezan las pruebas de emisión radiada, los únicos elementos metálicos buenos para servir como antenas eficaces son los cables. Las dimensiones de la caja, siendo mucho más pequeñas, no se convierten en una antena a tener en cuenta hasta alrededor de los 300 MHz ($\lambda = 1$ metro, $\lambda/4 = 25$ cm).

En cambio, las altas frecuencias no conducen bien, debido a la inductancia de los cables, por lo que las emisiones conducidas son en gran medida un problema de baja frecuencia. En general, las frecuencias de EMI radiadas tienden a ser unos de pocos cientos de MHz, lo que pone los cables como principales sospechosos. Cuando se sobrepasan los límites de

las emisiones radiadas en las pruebas en el laboratorio en el margen de frecuencias por debajo de los 200-300 MHz, los problemas de EMI son debidos a los cables.

Cuando el margen de frecuencias con sobrepaso de los límites está por encima de los 200-300 MHz, entonces los problemas de EMI son debidos a las TCI.

Las bajas frecuencias, tales como las generadas por las fuentes conmutadas y los motores, tienden a dominar por debajo de los 30 MHz. Sin duda pueden haber problemas de emisiones radiadas por debajo de los 30 MHz y problemas de emisiones conducidas mayores a los 30 MHz. Las normas militares y de automoción requieren pruebas con una considerable superposición de frecuencias, pero no sucede lo mismo en las normas comerciales, en las que usualmente las pruebas de emisiones conducidas van de 9 kHz (o 150 kHz) a 30 MHz. Y las pruebas de emisiones radiadas empiezan en los 30 MHz y terminan en 1 GHz, llegando en algunos casos a los 6 GHz.

Identificando la fuente de EMI

Para identificar la fuente de EMI en una instalación es bueno utilizar algunas técnicas de solución de problemas con sentido común. En primer lugar, caminar por la instalación. ¿Se ve algo nuevo o cambiado? ¿Alguien se ha olvidado de cerrar una puerta de un armario con equipos de potencia dentro? Luego podemos usar una radio de OM y empezar a escuchar el ruido en el entorno conforme vamos caminando. Cuanto más fuerte es el ruido, más cerca está de la fuente de EMI.

Lo primero es identificar la causa del problema. Buscar las posibles causas en la cercanía, a nivel externo de la instalación, las posibilidades más comunes son las fuentes de RF como radiotransmisores cercanos de mano o radiotransmisores en vehículos y transmisores de radio/TV comerciales y de emergencia. A nivel interno de la instalación, buscar calentadores de RF, soldadores de arco y radiotransmisores portátiles. Si hay perturbaciones en la red de alimentación: buscar equipos pesados, grandes motores, etc., comunes en instalaciones in-

dustriales. A menudo también se encuentran en los edificios de oficinas comerciales (ascensores y aparatos de aire acondicionado, por ejemplo).

Dependiendo de la zona geográfica y la temporada, la caída de rayos puede ser otro factor a considerar. Las descargas electrostáticas pueden ser un problema cuando la humedad es baja, sobre todo en invierno, con la calefacción en marcha. También puede haber generadores de electricidad estática dentro de la instalación, tales como cintas transportadoras y papel o película de plástico laminado.

En casos extremos, las ESD por debajo del umbral de la sensación humana (alrededor de 2 kV) también pueden causar anomalías en los equipos.

Forzando el fallo

En el lugar de uso, es casi imposible solucionar el problema si no se puede evaluar si la acción correctiva ha sido efectiva. Para ello, es vital ser capaz de forzar el fallo, lo que requiere algún equipo externo. Con pistolas de ESD se pueden aplicar descargas directamente sobre el equipo, aceptando un cierto riesgo de daño, y esto puede ser especialmente problemático en el lugar de uso, ya que el equipo puede estar en funcionamiento.

Si la ESD es una posibilidad de fallo, se debe probar con extrema precaución, empezando por descargas indirectas si es posible, seguido de ESD por contacto directo, pero con bajo nivel (1-2 kV). Los sensores de ESD baratos son útiles para detectar posibles fuentes de ESD. Aunque es un procedimiento muy rudimentario pero barato, se pueden aplicar ESD usando un encendedor piezoeléctrico de cocina.

Pero no se tiene control del nivel de tensión de la descarga y solo sirve para descargas sin contacto.

Puede utilizarse un radiotransmisor portátil para identificar puntos sospechosos de EMI de radio. El campo E puede ser estimado con la fórmula:

$$E = \frac{\sqrt{30 \cdot P \cdot g}}{D}$$

donde:

- E es el campo eléctrico en V/m
- P la potencia emitida en W

- g es la ganancia de la antena
- D es la distancia en metros entre el radiotransmisor y el punto donde deseamos tener el campo E .

Por ejemplo, un radiotransmisor de 27 MHz de $P = 5$ W, genera un campo E de 12 V/m a una distancia D de 1 metro. En el caso de un teléfono móvil 3G (830 MHz – 1,8 GHz) de $P = 400$ mW genera un campo $E = 3,5$ V/m a 1 metro de distancia.

Se puede empezar irradiando cerca de los cables. Las entradas de sensores analógicos son más vulnerables, seguidas por los cables de alimentación. Las bandas de radio más comunes funcionan entre 150 y 450 MHz. Mantener la antena en paralelo a los cables, comenzando a una distancia de unos dos metros y acercándonos hasta que se observa un fallo. A continuación, proceder sobre la propia envolvente del equipo, repitiendo el procedimiento.

Las perturbaciones en la red de alimentación son difíciles de simular en el lugar de uso, debido a las restricciones en la operatividad de la instalación. Si se tiene acceso a un generador de transitorios, se puede proceder del mismo modo como se haría en el laboratorio de CEM. Pero la inyección de un transitorio puede afectar negativamente a los equipos cercanos que comparten la misma fuente de alimentación. Un monitor de la calidad de la red puede ser útil para identificar los efectos transitorios. Se conecta a la red eléctrica y se deja funcionando durante el tiempo suficiente para observar un fallo.

Puede utilizarse un relé para inyectar transitorios en la línea de alimentación: la bobina del relé se conecta en serie con el contacto normalmente cerrado. El relé no sabe si debe estar encendido o apagado, por lo que entra en un funcionamiento inestable cíclico. El relé genera gran cantidad de ruido en la línea de alimentación, tal vez demasiado, debido a los transitorios de tensión generados por las continuas desconexiones de su bobina.

Estrategia a nivel técnico

La estrategia a seguir a nivel técnico consta de 5 pasos:

1. Determinar las frecuencias de las EMI. El conocimiento de las fre-

cuencias ayudará a identificar las partes metálicas significativas. Recordar: las frecuencias por debajo de unos 30 MHz están a menudo relacionadas con la red eléctrica, convertidores de potencia y las emisiones conducidas. Por encima de los 30 MHz y 200 MHz, los problemas son por lo general debido a los cables. Por encima de aproximadamente 200-300 MHz, las cajas y las TCI conjuntamente pueden ser el origen del problema.

2. Minimizar el sistema. Retirar todos los cables que no sean necesarios y apagar todo lo innecesario. El objetivo es comenzar con solo algunas variables. Cuando los cables sean necesarios para hacer funcionar el equipo, puede ir bien el uso de ferritas, para minimizar los efectos de estos cables imprescindibles. Establecer un primer fallo de EMI como punto de partida, para comparar la eficacia de la mejora con el equipo no modificado. Uno a uno se debe ir solucionando cada fallo hasta comprobar que todo funciona bien.

3. Cuando todo funciona bien, retirar las ferritas y continuar añadiendo cables. Evaluar y corregir a medida que se avanza. Si la envolvente o caja del equipo no es conductora, se tendrá que actuar en las TCI, típicamente filtros y blindajes.

4. Si no se puede eliminar el problema mediante las mejoras en los cables o si el problema persiste incluso con un sistema mínimo, se debe a la caja. Si el equipo tiene una caja metálica, se deben blindar las uniones utilizando cinta de cobre conductora o envolviendo el equipo en papel de aluminio.

5. Cuando se han encontrado todas las soluciones a los distintos problemas de EMI, es el momento de ir quitando una a una cada mejora que se ha comprobado como innecesaria, hasta llegar al conjunto óptimo de mejoras imprescindibles.

Puede haber más de un problema y puede solucionarse con una combinación de soluciones. Por lo general es mejor empezar por atacar las frecuencias más bajas primero. A menudo los problemas con las frecuencias más altas disminuirán también al disminuir los armónicos de las señales con frecuencias más bajas. Como regla general, el diseño del equipo se realiza desde dentro hacia fuera y las soluciones se aplican

desde fuera hacia dentro. Cuando se descubre un problema de EMI durante las pruebas, por lo general se tiene menos opciones. Se prefiere evitar rediseñar la TCI, por lo que se intenta encontrar soluciones a nivel de caja. Por supuesto, si la caja no es conductora, este objetivo puede no ser realista, por lo que se tendrá que ir directamente a las correcciones internas rediseñando la TCI sin perder más tiempo.

Soluciones en los cables

Los cables son muy a menudo parte del problema de EMI. Si se tiene un cable blindado, la conexión de la pantalla del cable en el conector es sospechosa. La terminación de la pantalla del cable en el conector y el acoplamiento del conector al chasis de la envolvente metálica debe estar bien hecho o el cable tendrá pérdidas de radiación. La conexión de la pantalla (terminación) debe ser realizada a 360° en cada lado del cable. Las terminaciones tipo coleta ("pigtail") y en un único lado de conexión a masa no son aceptables. Se puede arreglar temporalmente usando cinta de cobre para cerrar las posibles brechas en la zona del conector. Si esto no es posible, se debe utilizar papel de aluminio para hacer un blindaje temporal sobre la pantalla, conectando la pantalla a la caja en cada extremo. No debemos olvidar asegurar que las superficies de contacto son totalmente conductoras, rascando la pintura si es necesario. Si el cable se filtra pero no es blindado, asegurarse de que el conjunto del filtro está bien conectado a la carcasa del conector

Figura 6. Efecto de las líneas de campo eléctrico sobre un cable blindado y un cable no blindado.

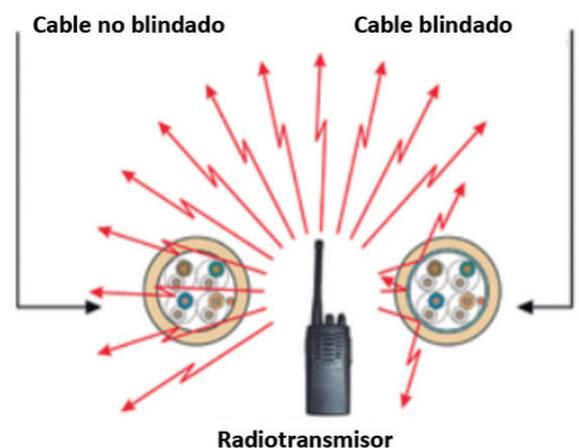
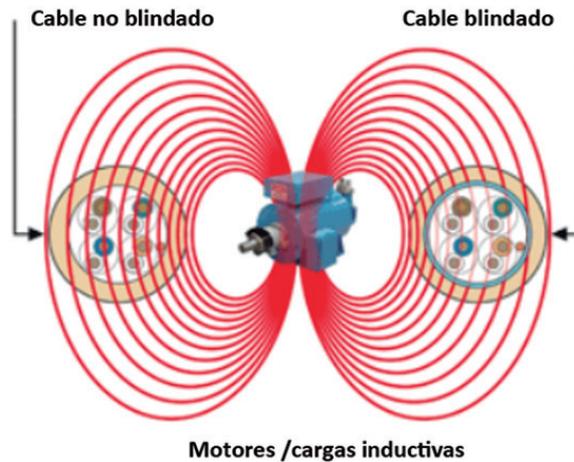


Figura 7. Efecto de las líneas de campo magnético sobre un cable blindado y un cable no blindado .



en la caja metálica. Si no se tiene un recinto blindado, es probable que se tenga que rediseñar la TCI. La figura 6 muestra el efecto del campo eléctrico generado por un radiotransmisor sobre un cable no blindado y sobre un cable blindado en el que no entran las líneas de campo eléctrico. La figura 7 muestra el efecto del campo magnético generado por un radiotransmisor sobre un cable no blindado y sobre un cable blindado en el que no entran las líneas de campo magnético. Lo mismo es válido en el caso de cajas o envolventes metálicas bien apantalladas, cercanas en comportamiento a una jaula de Faraday, si se reduce convenientemente la longitud de las aberturas.

Soluciones en las envolventes

En las envolventes o cajas blindadas, lo principal a tener en cuenta son las aberturas y las penetraciones. Las penetraciones de los cables y conectores se han tratado anteriormente. Las aberturas incluyen las juntas de la caja, la ventilación y los visualizadores. Las penetraciones tienen problemas principalmente con las ESD y estos pueden ser localizados gracias a las pruebas de ESD. Las descargas en los conectores de plástico, interruptores, los bordes de los paneles e indicadores táctiles y visualizadores son las que pueden dar más problemas. Una descarga cerca de las ranuras puede afectar a los cables internos cercanos. El problema con las cajas de plástico es muy diferente. Como no hay metal donde se pueda aplicar la descarga, el arco sólo puede penetrar a través de las aberturas en

la caja. Las ESD pueden llegar a distancias sorprendentes para encontrar el metal. En general, la mejor solución es evitar que la descarga penetre en las partes internas.

Para evitar la emisión y susceptibilidad radiada, se deben cerrar las juntas y aberturas comenzando por la más grande y las más cercanas a los cables. Las pérdidas dependen de la longitud máxima de la abertura y no de su superficie. Para la susceptibilidad, se pueden comprobar las aberturas sospechosas con radiotransmisores portátiles. Para las emisiones, las sondas de campo cercano y un analizador de espectros ayudarán a identificar las fugas de campo. Dependiendo de la abertura, se puede cerrar con cinta de cobre con papel de aluminio. Para cerrar las aberturas de los ventiladores pueden necesitar ser cubiertas con pantallas conductoras o con posiblemente una lámina de aluminio perforada con pequeños agujeros con un diámetro de unos 3 a 4 mm. Si hay un número alto de aberturas sospechosas, puede ser mejor cerrar todas ellas, envolviendo la caja entera y después ir viendo una a una, mientras se evalúan los resultados. Si el visualizador tiene problemas de emisiones se puede usar un blindaje transparente.

Soluciones en las tarjetas

Si el equipo no tiene blindajes externos, la única opción es analizar la TCI y sus cables hacia el exterior. Puede utilizarse un radiotransmisor portátil para forzar los fallos, especialmente en los cables de alimentación y de datos. Las sondas de campo cercano y un analizador de espectro pueden ayudar a aislar el problema de emisiones, normalmente sintonizando en la frecuencia del problema y a continuación, moviendo la sonda alrededor de la TCI. Las sondas más pequeñas son más selectivas, pero menos sensibles. Las sondas de campo magnético funcionan mejor en las pistas y cables y las sondas de campo eléctrico funcionan mejor en los conectores no apantallados. La mayoría de los problemas de emisión y susceptibilidad se solucionan en los límites de la TCI y los cables, utilizando filtros, protectores de transitorios o su combinación. Si el problema son las emisiones, se tiene la opción adicional de filtrar la alimentación y las señales utilizando blindajes.

Conclusiones

Buscar la solución de cada problema de EMI es un proceso incierto, y por lo general necesita más de una iteración para un solo problema, por no hablar de los casos en los que existen múltiples problemas a la vez. Un enfoque metódico puede facilitar la resolución de los problemas. Es importante la reunión de la información básica sobre los problemas y el equipo o instalación, la preparación de un plan de actuación, la selección de herramientas adecuadas, la investigación del problema, la selección de las soluciones más convenientes y finalmente la verificación del rendimiento de las soluciones. Se debe ser muy metódico en todo el proceso. ☑

REFERENCIAS

- Kenneth Wyatt, Patrick G. Andre, Edward M. Nakauchi, "EMI Troubleshooting Cookbook for Product Designers", Scitech Publishing, 2014.
- Michel Mardiguan, "EMI Troubleshooting Techniques", McGraw-Hill Company, 2000.
- Daryl Gerke, and Bill Kimmel, "Basics of EMI Troubleshooting", In Compliance, March 2014.