

Introducción a la compatibilidad electromagnética

Lluís Ferrer i Arnau

UPC Departament d'Enginyeria Electrònica. C. Colom,1 08222 TERRASSA (Barcelona) Spain

e-mail: ferrer@eel.upc.es, Telf. 93.739.80.14

Resumen

El objetivo de este trabajo es hacer una pequeña introducción a la compatibilidad electromagnética. Este es un tema que en mi opinión se trata poco o nada dentro de los temarios de las titulaciones técnicas y en cambio es un tema que cada vez cobra mayor importancia en el mundo industrial. Últimamente ha habido un gran aumento de los equipos electrónicos tanto industriales como domésticos (fuentes de EMI) y para que puedan convivir en armonía se tienen que cumplir un mínimo de normas tanto de generación de perturbaciones como de inmunidad frente a ellas. Esto básicamente es la compatibilidad electromagnética.

1. Introducción

Para empezar se dará la definición de lo que es la EMC y las EMI:

La compatibilidad electromagnética es la habilidad de un sistema de no causar interferencias electromagnéticas a otros equipos, pero al mismo tiempo ha de ser insensible a las emisiones que pueden causar otros sistemas.

Por otra parte, se puede definir una interferencia electromagnética (EMI) como la emisión de energía electromagnética que degrada o perjudica la calidad de una señal o el funcionamiento de un sistema.

En la figura 1 se representa el esquema básico de los elementos que intervienen en un problema de EMC. Hay que remarcar que solo se habla de interferencia siempre y cuando se provoque un mal funcionamiento en el receptor.

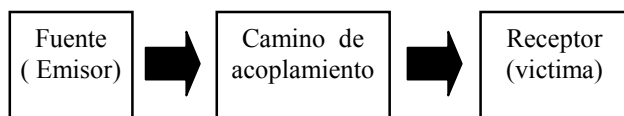


Fig. 1. Elementos básicos de un problema de EMC.

Se puede deducir que las tres vías para eliminar las interferencias serán:

- Suprimir la emisión en la fuente.
- Hacer el camino de acoplamiento poco efectivo.
- Hacer el receptor menos sensible a las emisiones.

La mejor solución es la primera aunque no siempre es posible identificar la fuente de la perturbación y algunas veces no es posible eliminarlas ya que son señales activas del sistema, como por ejemplo el clock de un sistema digital. En estos casos solo se puede actuar sobre el camino de acoplamiento o haciendo la víctima más inmune.

Entre las principales causas por las que la compatibilidad electromagnética cada vez cobra más interés se pueden remarcar las siguientes:

- Aumento de los equipos electrónicos tanto en la industria como en el hogar (Fuentes de EMI).
- Equipos más grandes y más complejos.
- Aumento de sistemas de telecomunicación (radio, móviles, etc.).
- Disminución del margen de ruido de los sistemas digitales (disminución de la tensión de trabajo).
- Aumento de la frecuencia de trabajo de los equipos.

2. Fuentes de EMI

Existen dos tipos de fuentes de interferencias electromagnéticas, las que se pueden considerar como fuentes de EMIs naturales y fuentes de EMIs que aparecen debido a la acción del hombre.

Como fuentes de EMIs naturales se encuentran los relámpagos que pueden llegar a ofrecer descargas de hasta 10 KV o efectos solares que afectan a la ionosfera.

Como fuentes de EMIs debido a la acción del hombre se encuentran:

- Las descargas electrostáticas.
- Sistemas eléctricos y electrónicos.
- Elementos de telecomunicaciones.
- Pulsos electromagnéticos (explosión nuclear, corrientes de 10 kA.)

3. Mecanismos de propagación de las EMI.

Según el medio de propagación (Fig. 2) que utilice la perturbación o interferencia electromagnética para perjudicar el funcionamiento de un equipo o la calidad de una señal, se puede establecer una clasificación de EMI como EMI conducidas, EMI de acoplamiento capacitivo o inductivo y EMI radiadas.

- Las EMI conducidas se propagan a través de cables ya sean de alimentación, señal o tierra, y su contenido frecuencial nunca superará los 30 MHz..
- Las EMI propagadas por acoplamiento capacitivo se producen por efecto de campo eléctrico. Su principal fuente son los puntos donde haya grandes variaciones de tensión respecto al tiempo.
- Las EMI propagadas por acoplamiento inductivo se producen por efecto de campo magnético. Su principal

fuentes son los bucles de intensidad que presentan grandes derivadas respecto al tiempo.

- Las EMI radiadas son debidas a la generación de ondas electromagnéticas. Se consideran radiadas y no acopladas cuando la distancia entre fuente y victima es superior a la mitad de la longitud de onda de la interferencia.

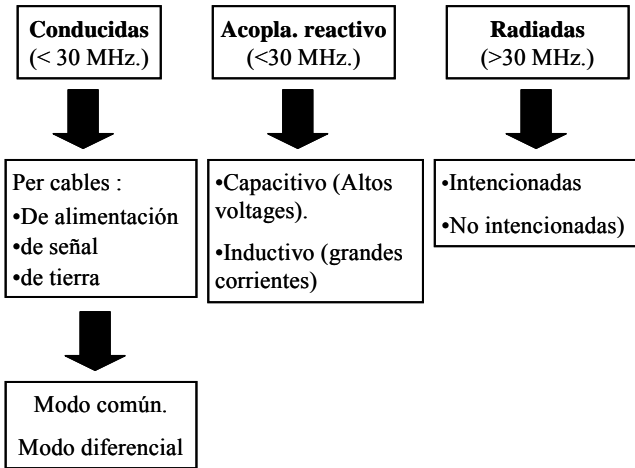


Fig. 2. Tipos de propagación de las EMI

4. EMI Conducidas

Las EMI conducidas pueden aparecer en modo diferencial fig. 3. (cuando se propagan solo por conductores activos del sistema), o en modo común fig. 4. (son las que se propagan por los conductores activos y el tierra del sistema).

Las interferencias en modo diferencial principalmente son debidas bucles de corriente que presentan grandes di/dt.

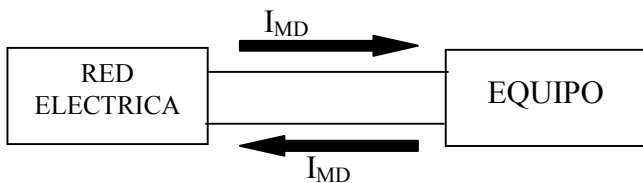


fig. 3. EMI en modo diferencial.

Las interferencias en modo común se propagan principalmente por acoplamientos capacitivos, por lo cual los puntos de interés son aquellos en los que se presentes grandes dv/dt.

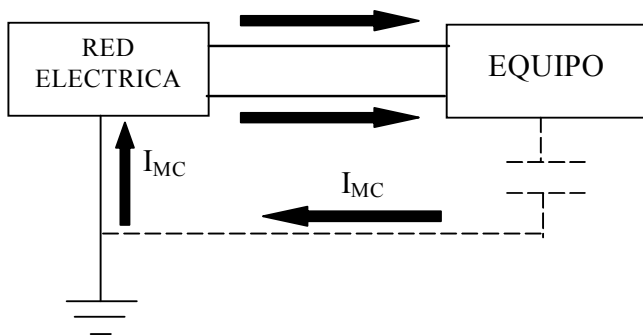


Fig. 4. EMI en modo común.

En la fig. 5 se puede observar a titulo de ejemplo una forma correcta de conectar diferentes circuitos a una misma fuente

de alimentación. De esta forma se evita que las interferencias producidas por un circuito afecten a los demás, ya que no comparten caminos de alimentación.

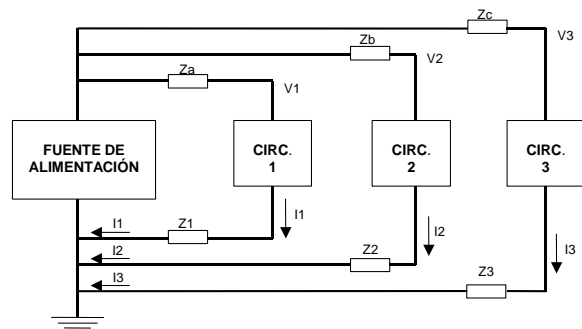


Fig. 5. Ejemplo de una buena conexión de diferentes circuitos a una misma alimentación.

5. EMI por acoplamiento capacitivo

Este acoplamiento también se llama diafonía capacitiva. El principio teórico se puede resumir de la siguiente manera: Si el campo electrico generado por una tensión fuente aplicada entre dos conductores atraviesa otro conductor cercano(victima) se inducirá en él una corriente parasita, la cual podra provocar a la vez una tensión parasita.

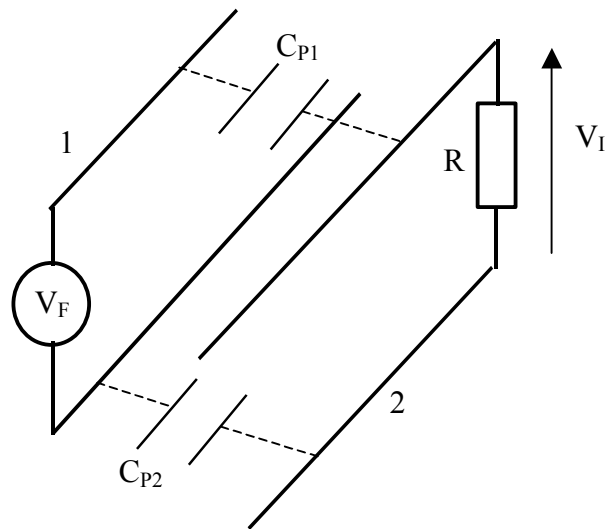


Fig. 6. Ejemplo de acoplamiento capacitivo.

En la fig. 6. se puede ver un ejemplo de acoplamiento capacitivo. Si aplicamos una diferencia de potencial V_F al circuito 1 se inducirá una corriente parasita al circuito 2 que se cerrará a través de la resistencia R y las capacidades parasitas entre los conductores 1 y 2 (C_{P1} y C_{P2}). Aproximadamente el valor de la tensión inducida V_I vendrá dada por la expresion 1:

$$V_I = R \cdot C_T \cdot \frac{dV_F}{dt} \quad (1)$$

$$\frac{1}{C_T} \approx \frac{1}{C_{P1}} + \frac{1}{C_{P2}}$$

Se observa que la tensión inducida será mayor:

- Cuanto mayor sea la variación respecto al tiempo de V_F , o cuanto mayor sea su frecuencia.

- Cuanto menor sea la distancia entre el conductor fuente y el conductor victima.
- Cuanto mayor sea la longitud de los dos circuitos enfrentados. Este punto y el anterior se deducen de la formula de la capacidad de un condensador plano.

La forma de reducir la diafonía capacitiva es utilizar cables apantallados. Recordamos que el campo eléctrico no atraviesa una pantalla conductora.

6. EMI por acoplamiento inductivo

También se llama diafonía inductiva. Para que se produzca necesitamos un hilo conductor que lleve una corriente la cual creará un campo magnético y un espira o bucle victima en la que se generará una f.e.m. perturbadora. El principio teórico es la conocida ley de Faraday.

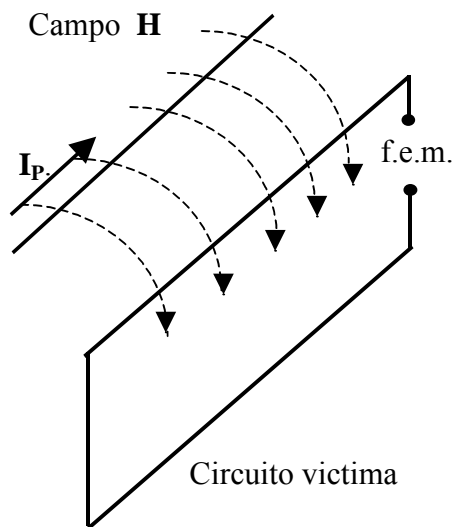


Fig. 7. Ejemplo de diafonía inductiva.

En la fig. 7. se presenta un ejemplo de diafonía inductiva. Según la ley de Faraday (2) la f.e.m. inducida en el bucle victima es proporcional a la variación respecto al tiempo del flujo de campo magnético que atraviesa lo atraviesa:

$$|E| = \left| \frac{d\Phi_B}{dt} \right| \quad (2)$$

Sabemos que el flujo magnético que atraviesa la espira y en consecuencia la f.e.m. será mayor cuanto mayor sea:

- El valor de la corriente I_p .
- El área del bucle victima.
- La distancia entre el cable perturbador y el bucle.

Por otra parte su derivada temporal será mayor cuanto mayor sea la frecuencia de la corriente generadora del campo magnético I_p

Formas de reducir el acoplamiento inductivo:

- Reduciendo el área del bucle victima y esto se puede conseguir trenzando el cable.
- Poner el máximo de juntos posibles el cable que lleva la corriente perturbadora y el cable de retorno de esta

corriente (la cual irá en sentido contrario). De esta forma se anulará el campo magnético que crea.

- Si el cable perturbador es perpendicular al bucle victima no habrá Φ_B que atraviese a este último y por lo tanto no se producirá en él perturbación.

7. Acoplamiento por radiación electromagnética

Los acoplamientos capacitivos e inductivos que hemos visto en las dos secciones anteriores también se llaman de campo cercano y el acoplamiento por radiación electromagnética se denomina de campo lejano. La frontera entre los dos campos es cuando la victima esta a una distancia igual o superior a $\lambda/2\pi$. Siendo λ la longitud de onda de la perturbación. **Lo que marca la diferencia es la distancia y la frecuencia.**

En campo próximo grandes dV/dt pueden provocar acoplamientos capacitivos y grandes di/dt acoplamientos inductivos y hay que estudiarlos por separado, pero en campo lejano el campo eléctrico y magnético van juntos en forma de radiación electromagnética y hay que estudiarla como tal.

En esta pequeña introducción a la CEM no se entrará en detalle en este tipo de acoplamiento.



Fig. 8. Ejemplo de acoplamiento radiado

En la figura 8 podemos ver un ejemplo de acoplamiento radiado. A altas frecuencias las interconexiones sirven de antenas para emitir energía radiada.

8. Medición de las EMI conducidas

Actualmente los dispositivos electrónicos tienen que cumplir unas normas que dictaminan los límites de las interferencias que pueden generar y de las que deben poder recibir sin dejar de funcionar correctamente (emisión e inmunidad). En Europa el organismo encargado de dictar estas normas es el CENELEC (Comité Europeo de Normalización Electrotécnica).

Las normas abarcan los cuatro problemas básicos de la compatibilidad electromagnética:

- Susceptibilidad radiada
- Emisiones radiadas
- Susceptibilidad conducida
- Emisiones conducidas

Está claro que hay que medir las perturbaciones, pero ¿CÓMO?.

El esquema básico para medir las perturbaciones conducidas se puede ver en la figura 9.

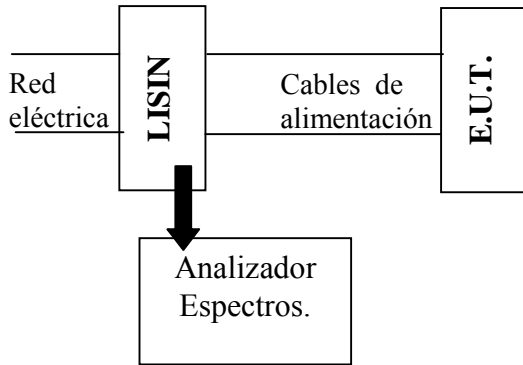


Fig. 9. Esquema básico de medida de EMI conducidas.

LISIN = Red estabilizadora de impedancia de línea. Sus misiones principales son dos:

- Proporcionar una impedancia definida en R.F. sobre el punto de medida.
- Aislar el equipo de pruebas de Interferencias provenientes de la red.

E.U.T. = Es el Equipo bajo test.

Analizador de espectros = Equipo de medida de las perturbaciones.

En la figura 10 se puede observar el esquema de una posible LISIN, podríamos decir que es un filtro pasa bajos en las dos direcciones.

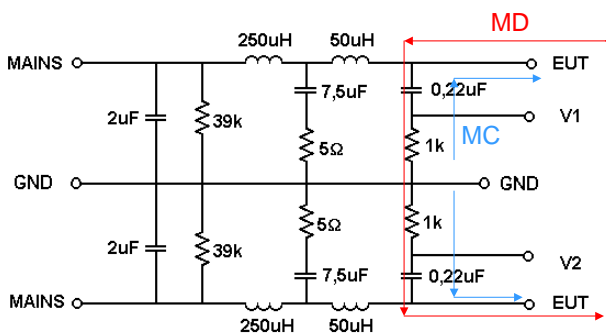


Fig. 10. Esquema de una LISIN

Los puntos V1 y V2 de la fig. 9 son los puntos de medida de las perturbaciones. La impedancia de estos puntos es de 50Ω para frecuencias altas, tal como puede verse en la figura 11.

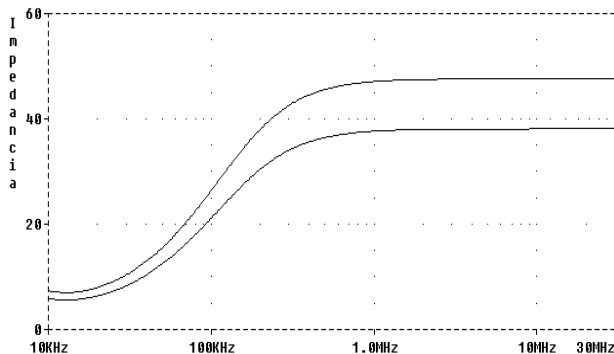


Fig. 11. Impedancia de la LISIN en función de la frecuencia

Se considera que puede haber perturbaciones conducidas hasta 30 MHz y se clasifican según la figura 12.

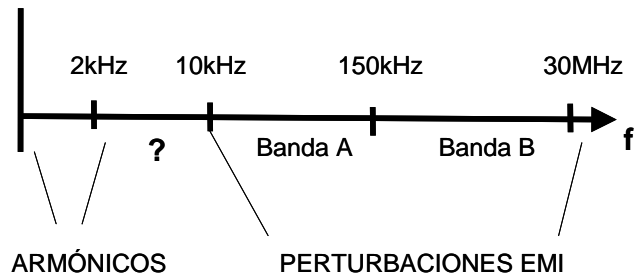


Fig. 12. Clasificación de las perturbaciones conducidas según su frecuencia.

9. Conclusiones

En este trabajo solo se ha pretendido hacer una pequeña introducción a la compatibilidad electromagnética. Este es un tema poco querido de los ingenieros debido a la complejidad de su estudio. Estas podrían ser algunas de sus exclamaciones típicas:

- ¡BASTANTE TRABAJO ES DISEÑAR UN SISTEMA PARA QUE DESPUÉS EN LA PUESTA EN PRACTICA NO FUNCIONE!.
- ¿Pero si teóricamente es correcto?
- A veces funciona y a veces no. Será ruido. Hay que poner mas condensadores.

Hay que decir a su favor que actualmente ya se empieza a pensar en la EMC en la fase de diseño y no solo cuando el equipo no funciona o no pasa la normativa. Este es mas que nada por cuestiones económicas. Es más barato hacer esto que tener que tirar todo un prototipo y empezar uno de nuevo por problemas de interferencias.

Si con este trabajo las interferencias electromagnéticas dejan de ser un poco menos tema de "brujería" y un poco mas ciencia, el autor se da por satisfecho.

Bibliografía

- "Interferencias electromagnética en sistemas electrónicos", Joseph Balcells. Ed. Marcombo
- "Parasitos y perturbaciones en Electrónica", Alain Charoy. Ed. Paraninfo.
- "EMC control y limitación de energia electromagnética", Tim Williams. Ed. Paraninfo.
- "Fundamentos de compatibilidad Electromagnética", Jose Luis Sebastián. Ed. Addison-Wesley