El Mito de las Conexiones de Masa, Tierra y Chasis

Artículo cedido por Cemdal

CEMDAL
www.cemdal.com

Por Francesc Daura Luna, Ingeniero Industrial, experto en compatibilidad electromagnética. Director de CEMDAL

Cuando un diseñador de hardware dibuja un esquema electrónico, normalmente tiende a dibujar, por sencillez, las conexiones de masa de su circuito con el típico símbolo de T invertida (). Mejorando la esquematización de las masas, en equipos algo complejos, se llega a clasificar las masas por su funcionalidad como: masa digital, masa analógica, masa de potencia, tierra, chasis, armario o caja metálica, dibujando estas masas con sus conocidos símbolos diferenciados (Figura 1). Pero aunque esta diferenciación ya supone una mejora en la intención de acometer un buen diseño de la arquitectura del conexionado de las masas, no es suficiente, al no poder esquematizar de una forma física como se deben conectar estas masas en los puntos críticos. En estos puntos críticos se debería esquematizar en detalle su trazado físico, en las pistas del circuito impreso, en los cables del sistema, en la toma de tierra al chasis o armario o caja metálica y en su conexionado físico hacia otros equipos externos del sistema. Normalmente en los esquemas no queda bien determinada la arquitectura física de las conexiones de masa, éstas quedan confusas y esta confusión contribuye al mito de que las conexiones de las masas son "misteriosas" o "mágicas". No es fácil de entender intuitivamente estas conexiones, no existe una definición simple, o un modelo o análisis y aparecen muchos factores incontrolados que afectan a su buen funcionamiento. ¿Qué es la masa o tierra entonces?: para el diseñador del circuito es la referencia de tensión del circuito o camino de retorno de las corrientes. Para el diseñador del sistema es el armario, chasis o rack y para el electricista es la conexión de masa de seguridad o la conexión a tierra.

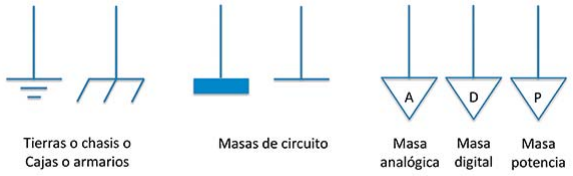


Figura 1 : Símbolos típicos para varios tipos de masas y tierras

Al no quedar determinada exactamente la arquitectura de las conexiones de masa, se puede provocar muchos problemas de compatibilidad electromagnética (CEM) que fácilmente podrían evitarse, si desde el inicio del diseño se tuvieran en cuenta las implicaciones electromagnéticas de estas conexiones. La masa es el retorno de todas las señales para cerrar los todos circuitos. La masa debe estar bien diseñada para evitar problemas de CEM. Cada señal debe tener su retorno bien diseñado y el diseñador debe conocer por donde pasa cada uno de los retornos. La caja, el chasis, el blindaje o el armario no deben ser nunca el retorno de las señales, evitándose que circulen corrientes a su través. La razón es que no se puede asegurar tener una baja impedancia en ellos para tener un buen retorno de corriente. La caja, el chasis, el blindaje o el armario deben actuar solo como apantallamiento para los campos electromagnéticos internos y externos. El diseñador de hardware debería añadir un esquema específico para determinar el diseño de la arquitectura del conexionado de las masas en el equipo. Ello facilitaría luego el buen diseño del trazado de los circuitos impresos y del cableado.

Tendencias

Durante las décadas de los años 70's y 80's, la electrónica cambió radicalmente al pasar del uso de los circuitos analógicos al uso masivo de los circuitos digitales. El cambio no ha parado y día a día los equipos electrónicos tienden a tener mayor complejidad, miniaturización y menores distancias entre componentes. En muchos equipos hay una mezcla de sistemas digitales con sistemas analógicos y de potencia que obliga a gestionar sus conexiones de masa correctamente para evitar problemas de CEM.

Al mismo tiempo ha aumentado enormemente la velocidad de procesado y de las comunicaciones, así como su mayor nivel de integración. Los circuitos integrados van reduciendo sus dimensiones internas y esta reducción de dimensiones conlleva menores distancias internas y con ello mayor intensidad de campo eléctrico interno (E). Para disminuir esta intensidad de campo, que podría ser destructiva, es necesario disminuir la tensión de alimentación de los CIs.: Valores típicos: 5V, 3V3, 3V, 2V85, 2V5, 1V8, 1V2 y, ... bajando. Al disminuir la tensión de alimentación, disminuye el margen de ruido y con ello la inmunidad a las interferencias electromagnéticas (EMI). El aumento de frecuencia de los procesadores y la disminución de los tiempos de subida y bajada en las conmutaciones digitales aumentan las emisiones electromagnéticas. Con todo ello también se tiende a tener más problemas de integridad en la alimentación y en las señales. La reducción de costes ha contribuido al uso más frecuente de circuitos impresos de 4 o más capas en lugar de los típicos de 2 capas de los años 80's. Pero este cambio no necesariamente soluciona del todo el buen funcionamiento de la distribución de la masa. El mantenimiento de la antigua metodología de diseño de las conexiones de las masas, sin tener en cuenta estas tendencias, contribuye a tener más problemas de CEM y a aumentar la confusión que a veces se tiene en el funcionamiento de las masas.

Razones para Conectar un Equipo a Tierra

Cuando un equipo está conectado a la red eléctrica, la mayoría de las razones para conectar la masa del equipo a la toma de tierra están relacionadas con la seguridad humana, la protección del equipo, las interferencias electromagnéticas y la seguridad contra el fuego, pero la más importante es la seguridad humana. Conectar la masa del equipo a tierra es positivo porque puede:

1. Dar un bajo potencial en la superficie externa de los equipos (armarios, cajas, blindajes o chasis)

2. Tener una baja impedancia para las corrientes de fuga.
3. Limitar la diferencia de tensión entre dos equipos conectados entre si.
4. Limitar la subida de tensión hasta un cierto límite durante el periodo de una avería eléctrica.
5. Limitar la tensión a través de los aislamientos y limitar la probabilidad del salto del arco.
6. Dar un medio para detectar un fallo en la distribución de la energía eléctrica.
7. Tener una impedancia "conocida" a tierra para desviar energía electromagnética interferente.
8. Tener un plano de masa de baja impedancia para la instalación de antenas, por ejemplo.
9. Formar parte del blindaje de campo eléctrico del equipo, como referencia.
10. Desviar corrientes de modo común debidas a bucles de masa.
11. Aportar un camino seguro para el flujo transitorio de la corriente a tierra (por ejemplo, de los rayos)
12. Reducir la propagación de corriente y tensión a lo largo de una línea de transmisión (por ejemplo, un cable de telecomunicaciones).
13. Reducir la tensión entre la línea de telecomunicaciones y la tierra local.
14. Circular suficiente corriente para el disparo del circuito automático diferencial, en caso de una derivación de energía a tierra (o fuga de corriente a tierra).
15. Seguridad: Prevención del riesgo de descarga eléctrica para las personas, debido a descargas atmosféricas o a cortocircuitos entre líneas de red eléctrica y el armario o caja metálica del equipo.
16. Camino de retorno de las corrientes de las señales
17. Reducción de EMI en el equipo debidas a campos EM, a impedancias comunes u otras formas de acoplamiento de EMI.

El chasis, caja o armario debe conectarse obligatoriamente a tierra si el equipo está conectado a la red eléctrica. En la mayoría de los casos, el circuito de masa debe ser conectado al chasis con una conexión de baja inductancia en el área de E/S de la placa de circuito impreso. La mejor forma de comprender esto es considerar la masa del circuito como un generador de ruido (como resultado de una impedancia de masa finita y de las corrientes que fluyen de la masa del circuito). Este ruido de fondo provocará una alta frecuencia de ruido de modo común en los cables y su consiguiente radiación. Si el circuito de masa se conecta al chasis en el área de las entradas y salidas (E/S), este ruido de la corriente se desvía al chasis, y no fluirá hacia fuera en los cables. Esta conexión de masa al chasis debe tener una conexión con una inductancia muy baja con el fin de desviar el ruido de alta frecuencia. Esto generalmente requiere múltiples conexiones, de corta longitud en el área de E/S del circuito. Estas conexiones son también una ventaja con respecto a la inmunidad electromagnética y los transitorios de las corrientes de ruido de alta frecuencia inducidas en los cables, de fuentes externas, que se desviarán al chasis (y a tierra), en lugar de fluir hacia el circuito interno.

Tipos de Conexionado de la Masa

Una vez ya analizadas las razones de la conexión a tierra, veamos más internamente el conexionado de las masas en los equipos. En un equipo, todos los puntos de masa individuales deben conectarse entre sí. Existen varios tipos de conexionado de los diferentes puntos de masa de los circuitos, para reducir sus impedancias y con ello las interferencias electromagnéticas (EMI). Una primera clasificación de estos tipos es: masa centralizada con conexión en serie (margarita), masa centralizada con conexión en paralelo (estrella) y masa distribuida (multipunto).

La figura 2(a) muestra el esquema de una masa centralizada con conexión en serie o margarita. La tensión medida entre dos puntos de una masa por la que circula una corriente considerable (pueden ser picos de corriente debidos a las conmutaciones digitales), puede llegar a cientos de milivoltios. Si esta tensión supera aproximadamente los 300 mVpp (tensión pico-pico), puede provocar una emisión radiada excesiva que sobrepase los límites de las normas y debe ser reducida. La conexión en serie es la más problemática desde el punto de vista de la CEM. Las impedancias mostradas en la figura 2(a) representan la impedancia de los conductores de masa. En la misma figura se muestra que los puntos A, B y C no están a potencial cero o de masa. Las ecuaciones correspondientes demuestran que las caídas de tensión debido a las corrientes de cada circuito y las impedancias serie aumentan el potencial de cada uno de los puntos. Ésta es la conexión más simple y por ello es la más utilizada. Pero solo debe usarse en circuitos con bajas frecuencias y con bajos valores de corriente. El punto A es el más inestable y está afectado por las variaciones de corriente de los circuitos 1, 2 y 3, debido a las impedancias comunes. En CEM, a este efecto se le llama acoplamiento por impedancias comunes.

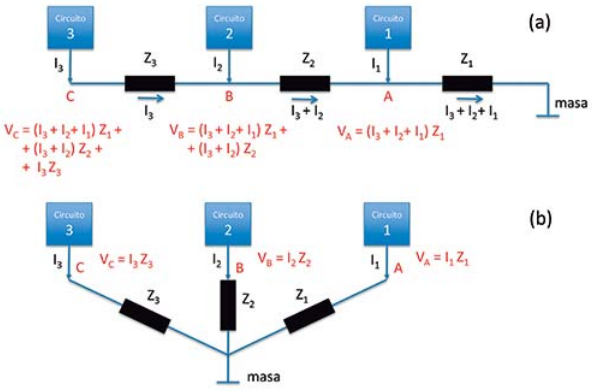


Figura 2: Tipos de conexionado de masa centralizada: a) conexión en serie o margarita. b) conexión en paralelo o estrella.

La figura 2(b) muestra el esquema de la masa centralizada con conexión en paralelo o estrella. Esta conexión elimina los problemas debidos a la impedancia común en el circuito de masa, pero físicamente necesita mayor longitud de conexionado. Otras desventajas son que la impedancia de una masa individual puede ser muy alta y que las líneas de masa pueden ser generadoras de interferencias (EMI). Este tipo de conexión es el más deseable a bajas frecuencias gracias a que no hay acoplamiento en modo común. Las tensiones de cada uno de los puntos A, B y C no se ven afectadas por las variaciones de corriente de los demás circuitos y solo varían debido a la corriente y a la impedancia del camino de masa correspondiente a cada punto. Este tipo de conexión es algo engorroso de llevar a cabo, pero es aconsejable en equipos con muchos puntos de masa a conectar. Otra limitación es que no es bueno para altas frecuencias debido a su mayor inductancia.

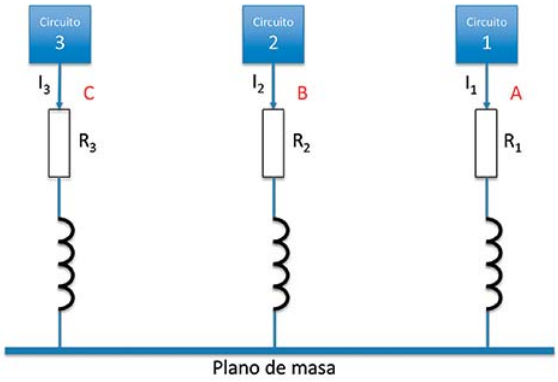


Figura 3: Masa distribuida o multipunto. Utilización de un plano de masa para realizar las conexiones de masa

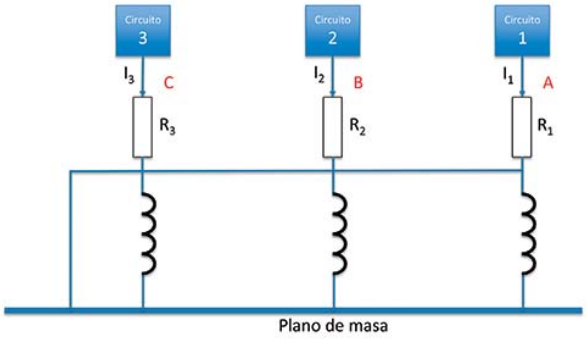


Figura 5 : Conexión de masa híbrida que se comporta como de masa multipunto a bajas frecuencias y como masa de simple punto a altas frecuencias.

Se aconseja que la longitud de las conexiones de masa sea menor a 1/20 de la longitud de onda de la mayor frecuencia de las señales circulantes, para mantener baja la impedancia y la radiación.

La figura 3 muestra el esquema de una masa distribuida o multipunto. En esta conexión, la impedancia de masa se minimiza usando un plano de masa, de baja inductancia e impedancia con varios circuitos conectados a él mediante pistas muy cortas. El sistema de masa distribuida o multipunto se usa a altas frecuencias para minimizar al máximo la impedancia de masa. En circuitos de muy alta frecuencia, la longitud de estas pistas debe ser menor a 2 cm. Incrementando el grosor del plano de masa no se varía la impedancia a alta frecuencia, debido a que la corriente sólo circula por la superficie a causa del efecto superficial o "skin". Debido a este efecto "skin", las corrientes de alta frecuencia solo pueden penetrar en el metal con una profundidad muy pequeña. Por ello, a altas frecuencias, las corrientes no pueden aprovechar toda su sección. Por ejemplo, como comparación, a 1 kHz la penetración es de 2,09 mm, a 1 MHz es de 0,066 mm y a 1 GHz de 0,0021 mm. Por ello, a alta frecuencia, las superficies superior e inferior de un plano actúan como conductores separados.

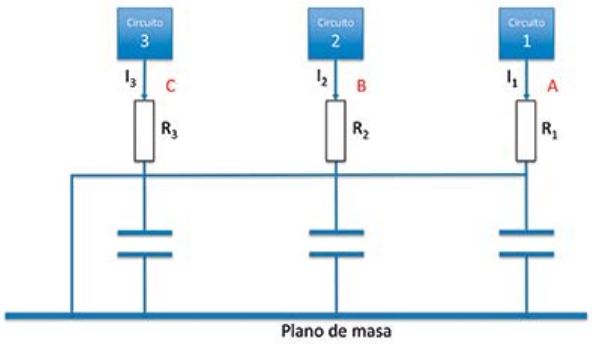
Un buen plano de masa de referencia es una gran superficie conductora que tiene alta conductividad en un amplio margen de frecuencias, llegando a la mayor frecuencia de interés. Idealmente, además tiene una superficie equipotencial. Este plano de masa debe ser fácilmente accesible y cercano a los circuitos que lo usan como referencia. La gran superficie implica que su auto-inductancia parcial es pequeña, de forma que la caída de tensión a su través debida a la variación del tiempo de sus corrientes es pequeña (V = -L di/dt). Asimismo, la impedancia de un buen plano de masa también es pequeña. El nivel de ruido necesario para tener problemas de EMI es cercano a tres órdenes de magnitud menor al requerido para tener un problema de integridad de la señal. Por ello debemos reducir al máximo la inductancia de la masa usando planos o mallas de masa (en caso de circuitos impresos de 2 capas).

A frecuencias por debajo de 1 MHz, es preferible usar la masa centralizada (punto único). Entre 1 y 10 MHz puede usarse una masa centralizada, siempre que la pista de masa más larga sea menor a 1/20 de la longitud de onda. En caso contrario debe usarse una masa distribuida. Por encima de los 10 MHz, el sistema de masa multipunto o distribuida es el mejor. De forma práctica puede usarse una combinación de métodos de conexión de masas serie-paralelo que sea fácil, teniendo en cuenta las consideraciones electromagnéticas. La idea consiste en conectar en serie circuitos con propiedades electromagnéticas similares y conectarlos a un punto de referencia único, donde las distintas masas se unen.

Cuando las frecuencias de las señales se extienden alrededor de los 100 kHz, una solución práctica puede ser usar una arquitectura de masa híbrida. Una masa híbrida tiene un comportamiento distinto dependiendo de la frecuencia. La figura 4 presenta una masa híbrida que actúa como masa de simple punto a bajas frecuencias y como masa multipunto a altas frecuencias. En la práctica puede ser buena para conectar un lado de la pantalla de un cable blindado a masa y el otro lado conectarlo a masa directamente. La figura 5 muestra otro tipo de masa híbrida, menos habitual, que se comporta como masa multipunto a bajas frecuencias y como masa de simple punto a altas frecuencias. Puede usarse cuando debemos conectar varios armarios a tierra, por seguridad, pero es deseable tener una masa de simple punto para los circuitos. Las inductancias a masa son caminos de masa de seguridad a 50 Hz, pero son como un filtro a más alta frecuencia. El valor aconsejado es de unos 25 μH para tener una baja impedancia a 50 Hz y mucha mayor impedancia a mayores frecuencias.

Si no se pueden evitar los bucles de masa debido a la configuración del equipo, los bucles de masa se pueden romper completamente según los condicionantes de los circuitos, gracias a varias técnicas. Se puede añadir un transformador de aislamiento, o un optoaislador, o un acoplamiento capacitivo con dos condensadores (en la señal y en el retorno), o un amplificador operacional aislado o un driver aislado y receptor de línea o un relé.

Figura 4 : Conexión de masa híbrida que se comporta como de masa de simple punto a bajas frecuencias y como masa multipunto a altas frecuencias



Los bucles de masa también se pueden romper parcialmente usando un choque en modo común (balún) o un amplificador diferencial o un amplificador de instrumentación balanceado o un driver-receptor de línea.

Los Retornos de las Señales Digitales

Otro aspecto conceptual de las masas que entre los diseñadores de hardware, a veces, provoca confusión es acerca de cómo y por dónde circulan los retornos de las corrientes de las señales digitales, y cuál es la fuente de las corrientes de estas señales. Las típicas preguntas que los diseñadores se hacen son: ¿Es mejor tener una pista de señal digital trazada junto al plano de masa o trazada junto al plano de alimentación?. ¿Qué sucede con una pista de señal trazada entre un plano de alimentación y un plano de masa?. ¿Sería mejor tener una pista de señal trazada entre dos planos de masa, o posiblemente entre dos planos de alimentación? Para responder a todas estas preguntas hay que tener en cuenta dos cosas: el origen de la corriente y el camino de retorno que toma la corriente hacia la fuente de señal. La masa no es un sumidero de corriente. La corriente sale de un fuente de señal por una pista y debe volver (de alguna manera) a su fuente. Esto parece básico, pero se olvida a menudo, y es la causa de problemas de compatibilidad electromagnética.

En primer lugar, se debe aclarar que una puerta lógica nunca es la fuente de la corriente ya que solo actúa como interruptor. Las fuentes de corriente real son el condensador de desacoplamiento cercano a la puerta y la capacidad de la pista de carga (salida). Sólo es importante el transitorio de corriente debido a la conmutación de cambio lógico. La circulación de la corriente transitoria no depende de la existencia de una carga al final de la línea. La capacidad de la pista de salida existe, en su mayor parte, entre la pista y el plano de masa más cercano. ¿Cuál es entonces el camino de retorno de la corriente?. La vía de retorno de la corriente depende de la configuración de la pista, Puede ser una pista "microstrip" (pista encima del plano de masa) o una pista "stripline" (pista entre dos planos). También depende de cual es el plano o planos adyacentes de alimentación o masa y de cual es la transición lógica (de 0 a 1 ó de 1 a 0). Hay 10 casos diferentes a considerar:

1. Pista junto al plano de masa ("microstrip"), transición lógica de 0 a 1. La fuente de la corriente es el condensador de desacoplo y el retorno pasa por el plano de masa. Figura 6, líneas rojas.
2. Pista junto al plano de masa ("microstrip"), transición lógica de lógica 1 a 0. La fuente de la corriente es la capacidad parásita entre la pista de salida y el plano de masa más la capacidad de la carga. El retorno pasa por el plano de masa. Figura 6, líneas verdes.
3. Pista junto al plano de alimentación ("microstrip"), transición lógica de 0 a 1. La fuente de la corriente es la capacidad parásita entre la pista de salida y el plano de alimentación más la capacidad de la carga. Figura 7, líneas rojas.
4. Pista junto al plano de alimentación ("microstrip"), transición de lógica 1 a 0. La fuente de la corriente es el condensador de desacoplo y el retorno pasa por el plano de alimentación. Figura 7, líneas verdes.
5. Pista entre los planos de masa y alimentación ("stripline"), transición lógica de 0 a 1. La fuente de la corriente es el condensador de desacoplo (líneas sólidas) más la capacidad parásita entre la pista de salida y el plano de alimentación (líneas discontinuas). El retorno de la corriente pasa por los planos de alimentación y de masa. Figura 8.
6. Pista entre los planos de masa y alimentación ("stripline"), transición lógica de 1 a 0. La fuente de la corriente es el condensador de desacoplo (líneas sólidas) más la capacidad parásita entre la pista de salida y el plano de masa. El retorno de la corriente pasa por los planos de alimentación y de masa. Figura 9.
7. Pista entre dos planos de masa ("stripline"), transición lógica de 0 a 1. La fuente de la corriente es el condensador de desacoplo y el retorno se reparte por igual por los dos planos de masa. Similar a la figura 6, líneas rojas.
8. Pista entre dos planos de masa ("stripline"), transición lógica de 1 a 0. La fuente de la corriente es la capacidad parásita entre la pista de salida

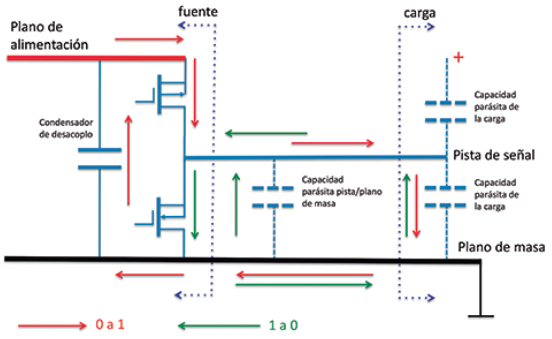


Figura 6 : Caminos de retorno de la corriente para una pista "microstrip" sobre el plano de masa. Caso 1: transición lógica de 0 a 1. La fuente de la corriente es el condensador de desacoplo y el retorno pasa por el plano de masa (líneas rojas). Caso 2: transición lógica de lógica 1 a 0. La fuente de la corriente es la capacidad parásita entre la pista de salida y el plano de masa más la capacidad de la carga. El retorno pasa por el plano de masa (líneas verdes.)

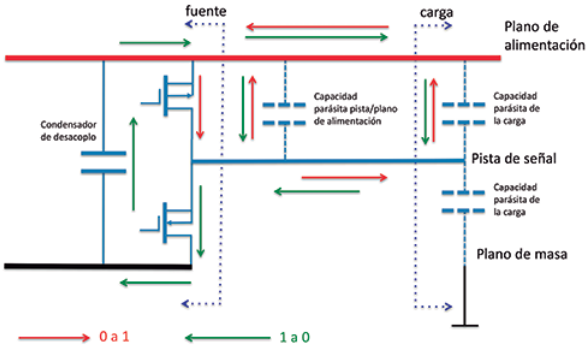


Figura 7 : Caminos de retorno de la corriente para una pista "microstrip" entre los planos de masa y alimentación. Caso 3: transición lógica de 0 a 1. La fuente de la corriente es la capacidad parásita entre la pista de salida y el plano de alimentación más la capacidad de la carga (líneas rojas). Caso 4: transición de lógica 1 a 0. La fuente de la corriente es el condensador de desacoplo y el retorno pasa por el plano de alimentación (líneas verdes).

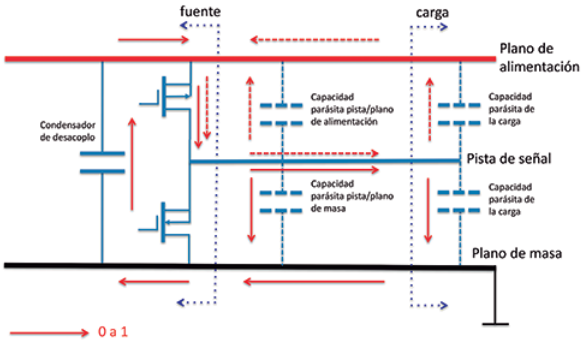


Figura 8 : Camino de retorno de la corriente para una pista "stripline" entre los planos de masa y alimentación. Caso 5: transición lógica de 0 a 1. La fuente de la corriente es el condensador de desacoplo (líneas sólidas) más la capacidad parásita entre la pista de salida y el plano de alimentación (líneas discontinuas). El retorno de la corriente pasa por los planos de alimentación y de masa.

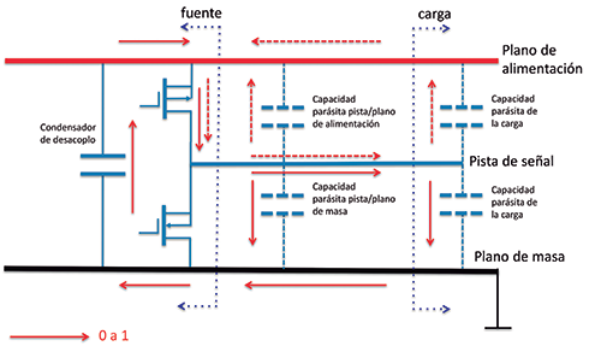


Figura 9 : Camino de retorno de la corriente para una pista "stripline" entre los planos de masa y alimentación. Caso 6: transición lógica de 1 a 0. La fuente de la corriente es el condensador de desacoplo (líneas sólidas) más la capacidad parásita entre la pista de salida y el plano de masa (líneas discontinuas). El retorno de la corriente pasa por los planos de alimentación y de masa.

y los planos de masa y el retorno se reparte por igual por los dos planos de masa. Similar a la figura 7, líneas verdes.

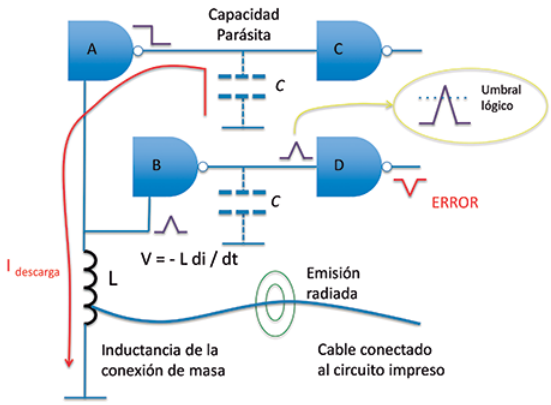
9. Pista entre dos planos de alimentación ("stripline"), transición lógica de 0 a 1. La fuente de la corriente es la capacidad parásita entre la pista de salida y los planos de alimentación y el retorno se reparte por igual por los dos planos de alimentación. Similar a la figura 8.

10. Pista entre dos planos de alimentación ("stripline"), transición lógica de 1 a 0. La fuente de la corriente es el condensador de desacoplo y el retorno se reparte por igual por los dos planos de alimentación. Similar a la figura 9.

A partir de los casos anteriores se concluye que no hay ninguna diferencia en absoluto para la corriente de retorno de la pista de salida si el plano de referencia es el plano de alimentación o el de masa. En todos los casos, la corriente vuelve directamente a su fuente a través de un pequeño bucle. En ninguno de los casos la corriente sale de su camino o circula a través de un gran bucle para poder regresar a su fuente de señal. La respuesta a todas las preguntas iniciales de este apartado es que todas las configuraciones son igualmente aceptables. No obstante, una pista "stripline" siempre será mejor que una pista "microstrip", ya que la corriente circula por dos bucles de corriente. En un bucle la mitad de la corriente fluye en un sentido y en el otro bucle, la otra mitad de la corriente fluye en sentido contrario. Por ello, la radiación de los dos bucles se cancela. Además, los dos planos apantallan las corrientes, reduciendo la radiación todavía más. De todo esto también se concluye que en el trazado de los planos de masa y de alimentación, debemos extender su superficie por igual porque electromagnéticamente se comportan de forma similar. Por ello nunca debemos "trocear" ni el plano de masa ni el plano de alimentación. Cuanto más sólidos sean mejor será su comportamiento electromagnético y menores problemas de CEM tendremos. El plano de referencia de masa debe ser continuo, sobre todo debajo de las pistas más críticas.

Cuando se necesita usar vías, éstas deben situarse cerca de condensadores de desacoplo. El camino de retorno de una señal de alta frecuencia con menor impedancia es el plano directamente adyacente debajo de la pista de la señal. Las corrientes de retorno siempre fluirán en el plano más cercano.

Figura 10 : El ruido de masa se crea cuando la salida de la puerta A conmuta de 1 a 0.



Efectos de la Inductancia de la Masa

La figura 10 ilustra los efectos de la inductancia sobre un circuito digital, en la que las puertas A y B pertenecen al mismo circuito integrado y por ello comparten la misma conexión de masa en su encapsulado. Las dos puertas gobiernan la entrada de las puertas C y D, respectivamente. La pista de masa entre las puertas A y B tiene una pequeña inductancia L, intrínseca a su conexionado y cada salida tiene una pequeña capacidad parásita C a masa. Si la salida de A cambia de 1 a 0, la carga de C provoca un pico de corriente que absorbe A. El camino de retorno de este pico pasa por la inductancia L y debido a ello, L genera un pico de tensión en el terminal de masa debido a la ley de Lenz $v = -L\, di/dt$. La salida de B, la cual debería estar a 0, también recibe el pico de tensión porque la salida no puede ser más baja que el nivel de masa de la puerta. Por ello, la puerta D recibe un pico que puede llegar a sobrepasar su umbral lógico y con ello puede generar un "glitch" erróneo en su salida. Al mismo tiempo, si tenemos un cable conectado al circuito, referenciado a masa, puede actuar como antena y este pico de tensión generado por la conmutación puede generar emisión por radiación electromagnética. Cada señal tiene su retorno: las corrientes siempre vuelven a su fuente para cerrar el circuito. Las corrientes siempre toman ¿el camino de menor distancia, resistencia o impedancia? A altas frecuencias, la corriente sigue el camino de menor inductancia, a través

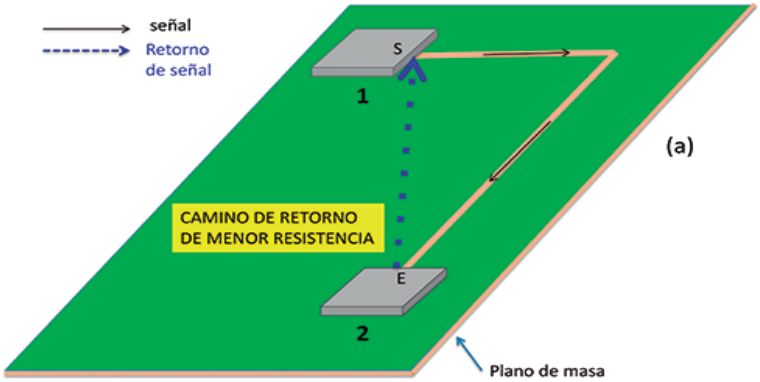


Figura 11 : a) retorno de corriente a BAJA frecuencia por el plano de masa: camino de menor resistencia

Figura 11 : b) retorno de corriente a ALTA frecuencia por el plano de masa: camino de menor impedancia

del conductor de retorno. Y por tanto es el camino de menor impedancia. Veámoslo. La figura 11 presenta la diferencia de comportamiento de las corrientes de retorno en un plano de masa en función de su frecuencia, debido a la inductancia. La pista une la salida del circuito 1 con la entrada del circuito 2. Esta pista está trazada por encima de un plano de masa. En principio el plano de masa es macizo y permite la circulación de corrientes por cualquier parte de su superficie, al no tener ninguna ranura o áreas aisladas que se lo impida. Si la señal es de baja frecuencia, el camino de la corriente de retorno por el plano de masa circulará por el camino de menor resistencia (figura 11(a)) desde la masa del circuito 2 a la masa del circuito 1. Si la señal es de alta frecuencia el camino de la corriente de retorno por el plano de masa circulará por el camino de menor inductancia (menor impedancia) (figura 11(b)) desde la masa del circuito 2 a la masa del circuito 1. Para tener la menor inductancia, el camino de retorno discurre justamente por debajo de la pista de señal, coincidiendo además con el área mínima del bucle formado entre la pista de señal y su camino de retorno. El efecto de una ranura en el plano de masa debida a un agujero pasante en el circuito impreso o, simplemente, debida al área aislante de los "pads" demasiado juntos (figura 12) provoca demasiada desviación de la circulación natural de la corriente en el plano, aumentando la inductancia parcial y con ello la impedancia del plano de masa o de alimentación. Cualquier corriente de alta frecuencia que pasa a través de esta inductancia parcial generará una tensión a través de ella. Por sí sola esta estructura forma una antena radiante eficiente. Por lo tanto, o bien no debería haber ninguna división dentro del plano que añada esta inductancia parcial o se debe impedir que circulen corrientes de alta frecuencia a su alrededor, para evitar provocar problemas de EMI. Es mejor separar un poco los "pads" para permitir que las corrientes circulen a su través y con ello no aumente tanto la inductancia parcial. Esto es válido para conectores en línea, circuitos integrados con encapsulados DIL, agujeros pasantes, etc.

Proceso de Diseño de la Arquitectura de la Masa

En el proceso de diseño de la arquitectura de la masa primero se debe identificar y clasificar los circuitos por su tipo (analógico, digital, potencia, frecuencias, etc). Luego debemos definir las conexiones del chasis o caja o blindajes a la masa del circuito (refrigeradores, masa de RF, masa de potencia, etc). Definiremos los requerimientos de los retornos de masa a nivel de circuito impreso. Luego identificaremos los requisitos de aislamiento y las conexiones locales de masa. Después deberemos clasificar las masas por sus tipos e identificar los "casos especiales" y en los potenciales bucles de masa consideraremos la posibilidad de incorporar "medidas de aislamiento". El diseño correcto de un sistema mixto de alta velocidad (analógico / digital) sin usar una correcta conexión a masa es inviable. La naturaleza analógica del mundo físico y la creciente necesidad del aumento de velocidad de procesado de señales digitales necesita un diseño de las conexiones de masa muy cuidado. Cada día se exige más rendimiento de los dispositivos de señales mixtas como, por ejemplo, los DAC y ADC, aumentando su resolución, reducción en la escala de tensión de la señal y con ello, estos dispositivos han aumentado su susceptibilidad al ruido. Los retornos de los circuitos digitales y analógicos deben permanecer en el mismo potencial. Los retornos de masa de cargas de alta potencia (por ejemplo, solenoides, motores, relés, lámparas, etc) deben estar separados de todo lo anterior, incluso si terminan en el mismo terminal de salida de la misma fuente de alimentación. La figura 13 muestra un ejemplo de los usos de los planos de masa con sus "ventanas" o ranuras y sus aislamientos. En este ejemplo se ve claramente la separación funcional entre la parte digital, la analógica y la aislada galvánicamente. El choque de modo común del bus CAN no tiene plano de masa debajo suyo para así minimizar su capacidad parásita y obtener un mejor rendimiento del filtro. Entre la zona aislada y el resto solo debe haber los optoaisladores y no puede lógicamente trazarse ninguna pista entre las dos zonas. La zona analógica queda resguardada de las corrientes ruidosas de la zona digital.

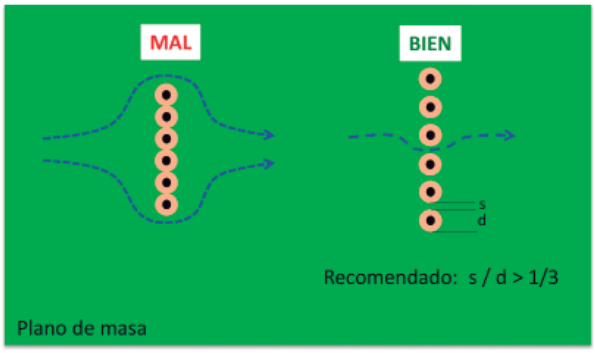


Figura 12: Los efectos de los cortes en el plano de masa pueden reducirse separando las islas para dar paso a las corrientes de retorno entre ellas.

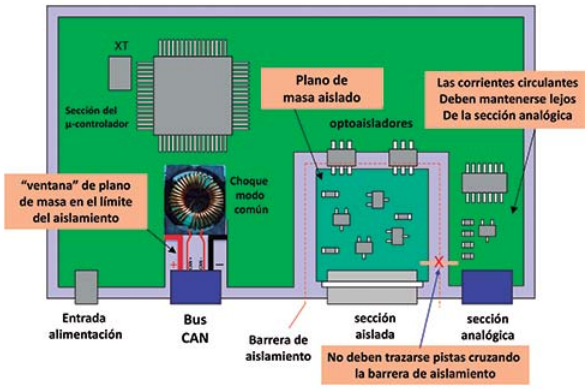


Figura 13 : Usos de los planos de masa, sus "ventanas" y sus aislamientos.