

Recomendaciones para el diseño de circuitos impresos de potencia

Jaime López Sánchez¹

Fernando A. Rojas²

César L. Trujillo R.³

Javier A. Guacaneme⁴

RESUMEN

Es común observar que muchos diseñadores de PCB (Printed Circuit Board) al generar un circuito impreso de potencia, no consideran factores como la disposición de los elementos, referencias de tierra, componentes de corriente continua (DC) y componentes de corriente alterna (AC) de las señales actuantes o la dimensión de los caminos. Consideraciones que al no darles la relevancia necesaria conllevan a fenómenos como la interferencia electromagnética (EMI), inestabilidad y reducción del tiempo de vida del circuito. En el presente artículo se mencionan algunas recomendaciones para tener en cuenta en el correcto diseño de un PCB de potencia.

Palabras Clave: Circuito, Impreso, Lazo, Camino, Potencia.

ABSTRACT

Commonly you can see that many of PCB designers (Printed Circuit Board) when generating a power's printed circuit, they don't consider factors like the disposition of the elements, ground's references, components DC and AC of operating signals or dimension of traces. These considerations could be entail phenomena like electromagnetic interference (EMI), instability and reduction of life's time of circuit. In the present paper are mentioned some recommendations for the right design of power's PCB.

Key words: Circuit, Printed, Loop, Trace, Power.

I. INTRODUCCIÓN

En el proceso de diseño de PCBs es fundamental conocer de manera detallada el funcionamiento del circuito, teniendo en cuenta la naturaleza de las señales (control, componentes AC y DC de potencia), con el fin de elaborar el plano de distribución de elementos de forma tal que cumpla con los requerimientos funcionales de los circuitos de potencia. Regularmente las herramientas de software para el diseño de circuitos impresos brindan la posibilidad de generar una auto-ruta, considerando las tierras como la misma señal y las conecta sin diferenciar los tipos de señales que funcionan a través de ciertos caminos, por otro lado esta opción del software no tiene en cuenta de manera estricta las dimensiones óptimas como longitud y ancho de caminos.

Un diseño no riguroso del PCB ocasiona problemas como: interferencia electromagnética (EMI) irradiada, EMI conducida, inestabilidad del circuito de potencia, ineficiencia y reducción del tiempo de vida operacional. Las dos formas de EMI son establecidas por entes reguladores tales como UL, IEC, entre otros [1], y es necesario superar estas rigurosas pruebas de EMI antes de que los equipos de potencia (fuentes de alimentación conmutadas, UPS, y soportes de potencia en general) puedan ser comercializados. Los factores restantes afectan la operación básica del producto y por ende la satisfacción del cliente.

II. LAZOS DE CORRIENTE

En los circuitos impresos es posible identificar trayectorias que portan corrientes con comportamientos pulsantes, sobrepicos y componentes de alta frecuencia, estas características contribuyen en gran medida con la EMI, y es indispensable que el diseñador de PCB preste atención a los lazos que transportan estas corrientes; por lo tanto es apropiado que estos sean los primeros caminos que se incorporen al diseño del impreso. En segundo lugar deben ser dispuestas las trayectorias que conducen las señales de control. Como ejemplo de los lazos a identificar, en la Figura 1 se muestra un circuito de una fuente conmutada de potencia.

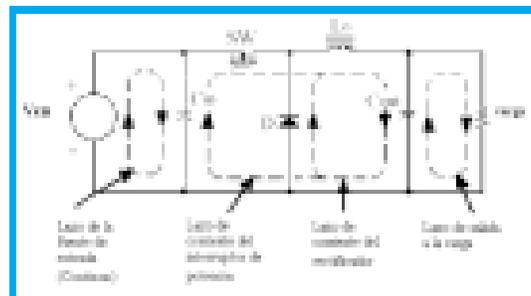


Figura 1. Convertidor Directo.

Es posible identificar en orden los lazos que aportan en mayor medida al fenómeno EMI, así: lazo de corriente del interruptor de potencia, lazo de corriente del rectificador, lazo de la fuente de entrada y lazo de salida a la carga. Tanto el primer lazo como el último constan de componentes DC y AC por la naturaleza de la fuente de alimentación y son precisamente las componentes de energía alterna las que aportan en mayor medida EMI, cuando una trayectoria es lo suficientemente larga, la interferencia es radiada hacia el ambiente; es común encontrar en

¹ Miembro Grupo de Investigación LIFAE, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

² Miembro Grupo de Investigación LIFAE, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

³ Miembro Grupo de Investigación LIFAE, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

⁴ Codirector Grupo de Investigación LIFAE, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Cuanto más baja es la frecuencia en la que un lazo irradia, mayor es la energía que se escapa al ambiente.

los circuitos, filtros de estas componentes AC, regularmente son condensadores ubicados en los lazos respectivos que logran minimizar el efecto de la alta frecuencia. Los lazos de corriente del interruptor y del rectificador son DC pulsantes, con formas de onda en ocasiones trapezoidales y presentan picos de magnitud significativa, luego es más apropiado considerarlas como enteramente AC.

En muchas aplicaciones de circuitos de potencia se conmutan interruptores a alta frecuencia, tal es el caso de los sistemas que trabajan con PWM. En el proceso de conmutación es posible que se presenten dos modos de funcionamiento según la aplicación, uno es el modo-discontinuo, el cual se presenta cuando los elementos magnéticos, regularmente en las etapas de salida, descargan totalmente la energía magnética almacenada antes de que el interruptor se encienda de nuevo. El segundo es el modo-continuo y ocurre cuando cierta energía residual, permanece aún en el elemento magnético al encenderse el interruptor de nuevo en el ciclo siguiente; estas conmutaciones resultan en transiciones muy altas de corriente (di/dt), pues el flujo de señal al final de cada periodo es rápidamente interrumpido. Existen también variaciones importantes de tensión (dv/dt), esto crea impulsos periodicos de potencia que son ricos en componentes de alta frecuencia [1].

Volviendo al ejemplo ilustrado en la Figura 1, el lazo del interruptor de potencia de entrada comprende el condensador de la entrada (Cen), la bobina primaria del transformador (o el inductor), el interruptor, y retorna a través de la tierra al condensador de la entrada. El lazo del rectificador comprende la bobina secundaria del transformador, el rectificador, el condensador del filtro de la salida (Csal), y retorna a través de la tierra al transformador o al inductor. Estos dos lazos poseen elevados niveles de ruido y por ello hay un condensador de filtro que abarca ambos lazos, en el ejemplo se presenta este caso porque los condensadores son la única fuente local de la corriente de alta frecuencia que necesita la fuente de alimentación conmutada. Los lazos de corriente de la entrada y de la salida se pueden ver en promedio como lazos de corriente de baja frecuencia, que cargan o descargan los condensadores del filtro de la entrada y de la salida respectivamente [1].

Para el diseño del PCB, el lazo del interruptor de potencia y del rectificador deben presentar un lazo en forma de una muy pequeña circunferencia, la cual a su vez esta compuesta por caminos anchos y de corta longitud. Primero, la circunferencia del lazo controla la cantidad de energía de RF que se puede irradiar en frecuencias bajas, donde existe una cantidad significativa de energía conducida del espectro de RF. Haciendo la circunferencia del lazo tan corta como sea posible, se evita el proporcionar una antena eficiente para estas bajas frecuencias de ruido. Las componentes de la frecuencia de ruido son llevadas

en el caso de una fuente de potencia conmutada cerca de 100 veces la frecuencia de la conmutación y después cae en un índice de -20 a -40 dB por década. Cuanto más baja es la frecuencia en la que un lazo irradia, mayor es la energía que se escapa al ambiente.

Para el circuito de ejemplo ilustrado en la Figura 1 otro aspecto importante resulta en que el ancho de los caminos usados dentro de los lazos de alta corriente, permiten determinar la cantidad de caída de voltaje que aparecerá alrededor del lazo; esta caída de voltaje, cuando se produce por corrientes altas, también genera radiación RF. Luego una recomendación importante para el diseño del PCB implica utilizar caminos tan anchos como sea posible ya que de esta manera proveen una mayor disipación de calor para dispositivos de potencia, y aún mas importante, la inductancia y la resistencia de una trayectoria resultan inversamente proporcionales al ancho. El ancho de los caminos también logra que la inductancia disminuya, luego la respuesta en frecuencia del lazo también disminuye, por ende las componentes de RF son reducidas significativamente.

Un ejemplo de una disposición para los lazos del interruptor y del rectificador en un convertor directo se muestran en la Figura 2.

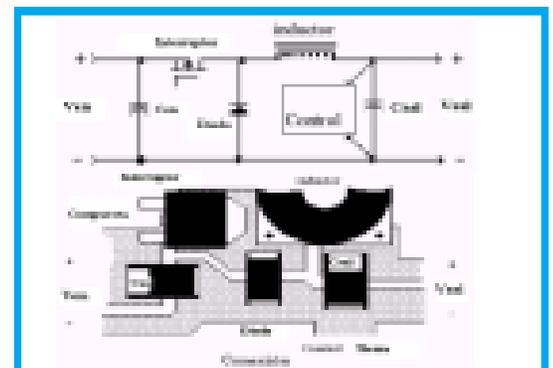


Figura 2. Disposición para los lazos del interruptor y del rectificador en un convertor directo.

III. TIERRAS

Las tierras dentro de un circuito de potencia se deben considerar por separado, teniendo en cuenta los lazos de alta corriente discutidos anteriormente. Las tierras son especialmente importantes debido a que representan los retornos de corriente, así como el punto de potencial con respecto al cual se referencian el resto de las señales. Estas constan de componentes DC y AC, las cuales son conducidas entre varios puntos del sistema de tierras físico. Hay secciones del sistema de tierra que se deben considerar por separado una de otra. Si estas tierras se interconectan incorrectamente, el circuito conmutado de potencia puede llegar a ser inestable.

Hay tres tierras que se deben tener en cuenta en los circuitos de potencia conmutados:

1. La tierra de entrada de alta corriente
2. La tierra de salida de alta corriente
3. La tierra del circuito de control.

La Figura 3 muestra la disposición de las tierras para un convertidor directo.

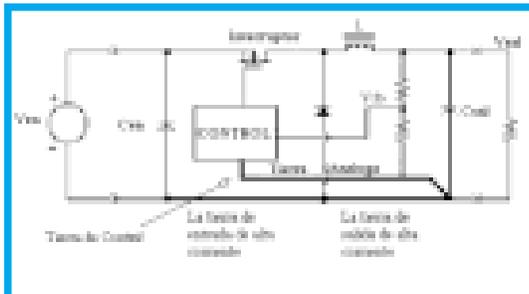


Figura 3. Tierras en un convertidor directo.

Se puede notar claramente que la conexión de la tierra de control a la tierra del sistema es muy específica. El propósito principal de los controladores es regular un valor exacto de voltaje a la salida, para hacer esto se debe conectar un amplificador de error de alta ganancia directamente al condensador del filtro de salida. De esta manera, los voltajes de ruido de los lazos de alta corriente no se suman a las señales de senseo de bajo nivel. También, el controlador necesita detectar una señal pequeña a través de un resistor de senseo, con el fin de manejar la compuerta o base de un interruptor de potencia.

Si los pines del circuito integrado (IC) del controlador están separados análogamente, estos deben ser ruteados por separado al lado de la tierra del resistor que sensea la corriente. Si el circuito integrado del controlador no tiene pines de tierra separados, entonces el camino entre el IC y el extremo de tierra del resistor que sensea la corriente, deben estar en corto circuito.

Otra buena práctica para reducir EMI irradiada es poner áreas grandes del plano de tierra en el lado opuesto del PCB, y alrededor de estas, caminos de alta corriente. Los planos de tierra actúan como protectores electrostáticos para algunos tipos de energía RF radiada. Estas grandes áreas de conductor atrapan la EMI irradiada y las disipa dentro de las corrientes de Eddy creadas por la energía RF [1].

Un factor muy importante en el diseño del PCB para los circuitos de potencia conmutados, es la capacitancia de acople de los nodos de voltaje AC que se genera en los disipadores de calor, o en los planos de tierra próximos. El problema es significativo en diseños de agujero conductor (through-hole), y también se presenta en PBC de montajes superficiales. Esta dificultad es creada por los altos voltajes AC que aparecen en nodos específicos dentro del circuito de potencia, ejemplos de estos nodos son la conexión del drenador o colector del interruptor, el nodo AC conectado con el rectificador de la salida, y una red de snubber o clamp conectadas a estos nodos.

En usos de agujero conductor, el interruptor es típicamente un paquete con una lengüeta que se coloca al disipador con aislante de 5 milipulgadas (0,005 pulgadas, 0,13 milímetros) entre ellos. La lengüeta del drenador del interruptor tiene voltajes pico a pico AC de una a dos veces el voltaje de entrada. En muchas fuentes, el disipador es la misma puesta a tierra que proporciona una trayectoria para la energía capacitiva del circuito. Los fabricantes de aislantes suministran cojines que han embebido en aceite para reducir la capacitancia a la mitad.

El problema es menos significativo en montajes superficiales puesto que la capacitancia formada por el material grueso F4 de 0,062 pulgadas (1,6 milímetros) es mucho más pequeña. Pero como la meta es reducir la capacitancia parásita se deben crear estructuras especiales sobre el PCB, tal como la ubicación de señales susceptibles a un mismo lado del PBC, y no próximas al nodo ruidoso.

IV. CONSIDERACIONES DE SOLDADURA

Hay que tener especial cuidado en el momento de soldar los dispositivos al PCB evitando que se presenten fuertes gradientes de temperatura que afecten tanto la sensibilidad térmica de los componentes, así como generar daños en los caminos de interconexión de la tarjeta. Existen una serie de aspectos importantes que hay que tener en cuenta en el momento de iniciar la fase de soldadura tales como:

- Es necesario el precalentamiento del PCB antes de pasar a la fase de soldadura, esto se hace colocando el soldador sobre la superficie sin exceder el transitorio de temperatura que puede fundir el material de la tarjeta, de esta forma es preciso que la temperatura del componente y de la tarjeta este en un rango de 105° a 145°C [2], y mantener un delta de temperatura entre la fase de precalentamiento y la fase de soldadura no menor a 100°C dependiendo de la técnica de soldadura a utilizar.
- Tasa de calentamiento: para evitar los choques térmicos a los cuales son sensibles los componentes, la máxima tasa de calentamiento debe ser controlada a un cambio no mayor de 5°C/s.
- Tiempo hasta llegar al punto de fusión: es recomendable que se mantenga el soldador sobre la junta hasta alcanzar su punto de fusión, este tiempo depende del tipo de equipo utilizado, de las características químicas de la soldadura, del tamaño de la tarjeta y del componente, pero en general para alcanzar una temperatura de 180°C el tiempo esta en el rango de 10 a 150 segundos [2].
- El pico de temperatura de la junta durante el proceso de soldado determina la correcta alea-

Un factor muy importante en el diseño del PCB para los circuitos de potencia conmutados, es la capacitancia de acople de los nodos de voltaje AC que se genera en los disipadores de calor, o en los planos de tierra próximos.

Dentro de los aspectos que deben tener en cuenta, cabe incluir el acondicionamiento de capacitores en paralelo, técnica para aumentar o disminuir la resistencia y la capacitancia de un filtro capacitivo, con menores niveles de rizado de corriente y disminución del calentamiento interno.

ción entre la soldadura y el elemento. El máximo pico de temperatura está entre 215°C/220°C [2], dependiendo de las dimensiones de la tarjeta y no debe superar la temperatura máxima de operación del dispositivo.

- La tasa de enfriamiento después de la fusión es importante dado que un exceso en el gradiente de temperatura genera potenciales daños en el componente, y un rápido enfriamiento resultaría en un pequeño grano de soldadura no uniforme que aumentaría la resistencia total.

V. CONSIDERACIONES ADICIONALES

Dentro de los aspectos que los diseñadores de PCB deben tener en cuenta, cabe incluir el acondicionamiento de capacitores en paralelo, la cual es una técnica para aumentar o disminuir según el caso, la resistencia y la capacitancia de un filtro capacitivo, con menores niveles de rizado de corriente y disminución del calentamiento interno. Cuando se emplean dispositivos en paralelo se debe garantizar que la energía que van a manejar sea distribuida equitativamente entre ellos, en el caso del de capacitores, si la impedancia no es idéntica en cada uno de los lazos, quien presente una menor impedancia sufrirá un mayor calentamiento debido a los picos de corriente. Una vez lograda la simetría entre los lazos del arreglo, es importante que los caminos en el circuito impreso sean lo mas cortos posible, de lo contrario podría perderse la simetría lograda o se crearían impedancias parásitas que en el peor de los casos aislarían los capacitores de la red. Esto hace que los pulsos de corriente de alta frecuencia generen mas EMI conducida, que seguramente escapara del arreglo y entraran al circuito externo.

Finalmente, para el apropiado dimensionamiento de los caminos en el diseño del PBC se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- El ancho de los caminos dependerá de la intensidad de corriente que vaya a circular por ellos. Se tendrá en cuenta que 0,8 mm pueden soportar, dependiendo del espesor del trayecto, alrededor de 2 amperios; 2 mm, unos 5 amperios; y 4,5 mm, unos 10 amperios [3].
- No es conveniente realizar trazados con ángulos de 90°, pero si es necesario efectuar un giro de este tipo en un camino, se debe hacer con dos ángulos de 135°; en el caso de necesitarse una bifurcación en un trayecto, se hace suavizando los ángulos con trazos cortos a cada lado hasta completar el giro.

- Entre trayectos próximos y entre caminos y puntos de soldadura en el PCB, es conveniente una distancia que depende de la diferencia de potencial que se prevé existirá entre ellas; como norma general, debe conservarse una distancia mínima de unos 0,8 mm.. Además los puntos de soldadura deben aproximarse a círculos cuyo diámetro sea el doble del ancho del camino en el que termina [4].

VI. CONCLUSIÓN

La realización de circuitos impresos de potencia merece especial atención, ya que un diseño que no tenga en cuenta los fenómenos asociados a las características expuestas anteriormente (lazos de corriente, tierras, dimensión de los caminos, puntos de soldadura, distribución de elementos, etc.) presentará muchos problemas tales como interferencia electromagnética (EMI), inestabilidad y reducción del tiempo de vida del circuito, fenómenos que van en detrimento de la eficiencia del equipo y por ende en la realización de un producto no apto para el mercado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MARTY BROWN (1999). Considerations in Designing the Printed Circuit Boards of Embedded Switching Power Supplies. USA. Fairchild semiconductor Corporation.
- [2] FAIRCHILD SEMICONDUCTOR. (2002). (TB334) Guidelines for Soldering Surface Mount Components to PC Boards. Application note 7528, pp.1-3.
- [3] HIGUERA R. D. (2002). Circuitos Impresos. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Tecnológico de Monterrey. Monterrey: Merrill ediciones.
- [4] JAUREGUI D. (2001). Hand-Soldering SO-8 MOSFETS. International Rectifier Application note DT 99-3, pp.1-2.

Jaime López Sánchez

Estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad Distrital "Francisco José de Caldas" Bogota, Colombia. Miembro Línea de Investigación en Fuentes Alternas de Energía LIFAE. jameslopez81@hotmail.com

Fernando Antonio Rojas Salamanca

Estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad Distrital "Francisco José de Caldas" Bogota, Colombia. Miembro Línea de Investigación en Fuentes Alternas de Energía LIFAE. fernandoarojass@hotmail.com

César Leonardo Trujillo Rodríguez

Ingeniero Electrónico, Universidad Distrital "Francisco José de Caldas" Bogota, Colombia. Miembro Línea de Investigación en Fuentes Alternas de Energía LIFAE. cltrujillo@udistrital.edu.co

Javier Antonio Guacaneme Moreno

Profesor Facultad de Ingeniería Universidad Distrital, Ingeniero Electrónico, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Candidato Magister en Ingeniería Eléctrica Universidad de los Andes. Codirector Línea de Investigación en Fuentes Alternas de Energía LIFAE. jguacaneme@udistrital.edu.co