

# Cómo evitar interferencias complementarias

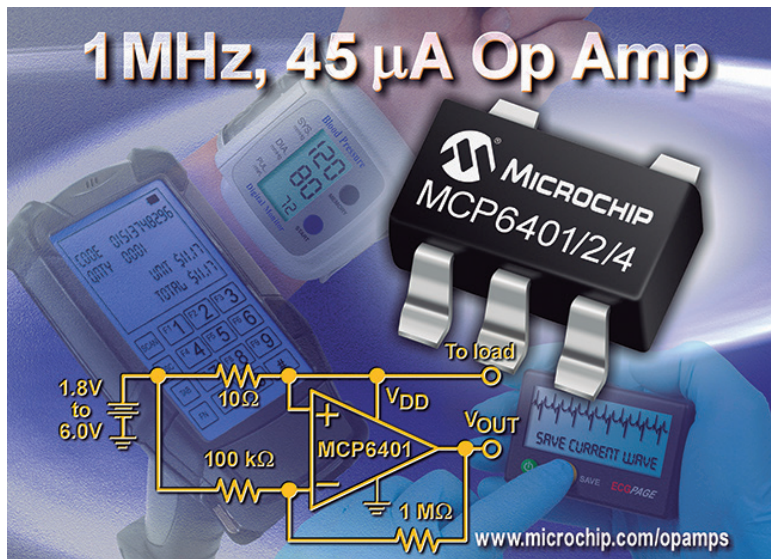
Artículo cedido por Microchip



**MICROCHIP**

[www.microchip.com](http://www.microchip.com)

Autor: Dragos-George Ducu, Ingeniero de Arquitecturas y Aplicaciones, Microchip Technology



## Formas de evitar interferencias electromagnéticas en circuitos amplificadores

Dado que las interferencias electromagnéticas (EMI) pueden afectar a la mayoría de dispositivos electrónicos, incluyendo a equipos médicos y de aviación, los dispositivos modernos incorporan filtros de EMI para asegurar su correcto funcionamiento en entornos adversos debido a las EMI. Se suele utilizar un filtro de EMI para eliminar las interferencias conducidas que están presentes en cualquier línea de alimentación o señal.

Se pueden utilizar para eliminar la interferencia generada por el propio dispositivo, así como para eliminar las interferencias generadas por otros equipos, para mejorar la inmunidad de un dispositivo a las señales de EMI presentes en su entorno electromagnético.

La impedancia de un filtro de EMI tiene un componente altamente reactivo. Esto significa que el filtro proporciona una resistencia mucho más elevada a señales de alta frecuencia. Esta alta impedancia atenúa o reduce la intensidad de estas señales, de tal manera que afectan menos a otros dispositivos. Los filtros de EMI están formados por componentes discretos en su mayoría; sin embargo, la última tendencia consiste en integrar filtros de EMI en el circuito integrado. Por ejemplo, Microchip Technology

ha empezado a diseñar amplificadores operacionales y otros dispositivos lineales con filtros de EMI de entrada. Así, la familia MCP642x cuenta con una protección mejorada para reducir cualquier EMI procedente de fuentes externas, como líneas de alimentación, estaciones de radio y comunicaciones móviles.

## Mecanismos de acoplamiento

La clasificación más importante de EMI para los diseñadores electrónicos y de sistemas es el mecanismo de acoplamiento. Se producen acoplamientos inductivos cuando una fuente de EMI tiene la misma masa que la víctima de EMI. Cualquier corriente producida por la fuente de EMI se introduce en la conexión a masa y genera una tensión parásita a la entrada de la víctima de EMI.

Las señales de alta frecuencia y alta  $di/dt$  a la salida de la fuente de EMI se acoplarán con mayor eficiencia que la víctima de EMI porque el plano de masa aparece como una inductancia para estas señales. Si existe una ruta de realimentación entre estos dos circuitos, las señales parásitas pueden provocar oscilaciones. Para detenerlo se deberían separar las conexiones a masa de ambos circuitos, impidiendo así una impedancia común.

## Factor de rechazo

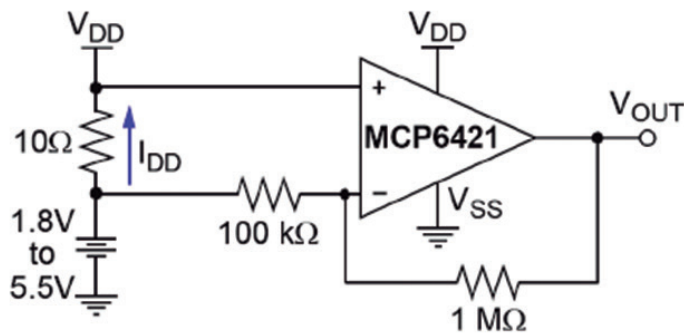
La respuesta primaria de un amplificador operacional a una EMI de RF es una tensión de error de offset o una variación de la tensión de offset. Este error se refleja a la salida del amplificador operacional y provoca una degradación de las prestaciones del sistema. La variación de la tensión de offset se debe a una conversión no lineal de las EMI de CA en una señal de CC. El comportamiento no lineal aparece porque las uniones p-n internas, que forman diodos y rectifican las señales EMI, generalmente en las entradas de los diodos ESD. La señal de error provocada por las EMI se superpone a la tensión de offset de CC existente.

El parámetro que describe la robustez frente a EMI de un amplificador operacional es el factor de rechazo de interferencias electromagnéticas (electromagnetic interference rejection ratio, EMIRR). Este factor describe cuantitativamente el efecto de una señal de interferencia de RF sobre las prestaciones de un amplificador operacional. Los nuevos dispositivos con filtros pasivos internos han mejorado el EMIRR respecto a los dispositivos más antiguos sin filtros internos. Esto significa que, con unas buenas técnicas de trazado de la placa, la compatibilidad electromagnética (EMC) será mejor.

## Sensores de corriente

El rango de entrada en modo común de los amplificadores operacionales MCP6421/2/4, que llega hasta 0,3V por encima de ambos carriles de alimentación, se puede utilizar en aplicaciones de sensado de corriente en el lado de alto y bajo potencial (high-side y low-side, respectivamente). La baja corriente de reposo ayuda a prolongar la autonomía de la batería y la salida entre carriles permite detectar corrientes reducidas. La Figura 1 muestra un circuito sensor de corriente de la batería en el lado de alto potencial.

La resistencia de 10 Ω se ha dimensionado para reducir las pérdidas de potencia. La corriente de la batería (IDD) que atraviesa la resistencia de 10



$$I_{DD} = \frac{V_{DD} - V_{OUT}}{(10V/V) \cdot (10\Omega)}$$

Figura 1. Sensado de la corriente de la batería mediante un sensor de corriente de batería en el lado de alto potencial (high-side).

$\Omega$  provoca que su terminal superior sea más negativo que su terminal inferior. Esto mantiene la tensión de entrada en modo común del amplificador operacional por debajo de VDD, es decir, dentro del rango permitido.

La salida del amplificador operacional también estará por debajo de VDD, dentro de su especificación de oscilación de tensión de salida máxima. A menudo se utiliza el sensado de corriente de bajo consumo, incluso para aplicaciones en el automóvil. Debido a las señales parásitas, un amplificador operacional que no haya sido mejorado para EMI puede proporcionar un valor incorrecto de la corriente de salida.

La forma tradicional de reducir las señales parásitas de RF, o de evitar que entren en la etapa de entrada del amplificador operacional, consiste en emplear un filtro paso bajo cercano a la entrada. Para el amplificador operacional inversor de la Figura 2, el condensador C del filtro se sitúa entre dos resistencias de igual valor.

Obsérvese que no se puede conectar directamente C a la entrada inversora del amplificador operacional porque podría provocar inestabilidad. Para reducir las pérdidas de señal, el ancho de banda del filtro debería ser como mínimo 20 o 30 veces superior al ancho de banda de la señal.

Para el amplificador operacional no inversor de la Figura 3, el condensador C puede conectarse directamente a la entrada del amplificador operacional, tal como se muestra, y una resistencia de entrada con un valor R proporciona

la frecuencia de corte que el amplificador operacional inversor.

En ambos casos, se deben utilizar condensadores de tipo chip con una baja inductancia. El condensador debe estar libre de pérdidas resistivas o de problemas de coeficiente de tensión. Se puede emplear un núcleo de ferrita en lugar de la resistencia. Sin embargo, la impedancia del núcleo de ferrita no está bien controlada, es no lineal y generalmente no supera los 100  $\Omega$  entre 10 y 100 MHz. Esto exige un condensador de un valor elevado para atenuar las frecuencias más bajas.

Los amplificadores de instrumentación de precisión son especialmente sensibles a los errores de offset de CC debido a la presencia de EMI y RFI en modo común. Esto es muy similar al problema experimentado por los am-

plificadores operacionales y, al igual que para éstos, la sensibilidad a EMI y RFI es más acusada con dispositivos amplificadores de entrada de baja potencia.

Las salidas de amplificador también deben protegerse frente a EMI y RFI, sobre todo si existen grandes longitudes de cable, que actúan como antenas. La señales de RF recibidas en una línea de salida se reacoplan a la entrada de amplificador, donde se rectifican y aparecen de nuevo a la salida como una variación del offset.

La respuesta más habitual del amplificador operacional frente a EMI es una variación de la tensión de offset CC que aparece a la salida del amplificador operacional. La conversión de una señal EMI de alta frecuencia en CC es el resultado de un comportamiento no lineal de los diodos internos, formados por las uniones p-n de silicio dentro del dispositivo, especialmente en el diodo ESD.

Este comportamiento se denomina rectificación porque una señal CA se convierte en CC. La rectificación de la señal de RF genera una pequeña tensión CC en la circuitería del amplificador operacional. Cuanto se produce esta rectificación en la ruta de señal del amplificador operacional, el efecto se amplifica y aparece como un offset de CC a la salida del amplificador operacional. Este efecto es indeseable porque se añade al error de offset.

### Consejos y trucos

El EMI en modo normal se propaga mediante antenas de bucle que se

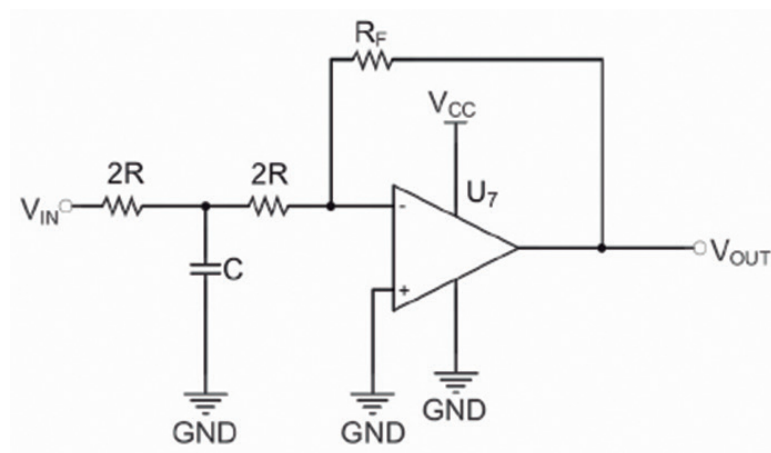


Figura 2. Amplificador inversor con filtro externo de EMI.

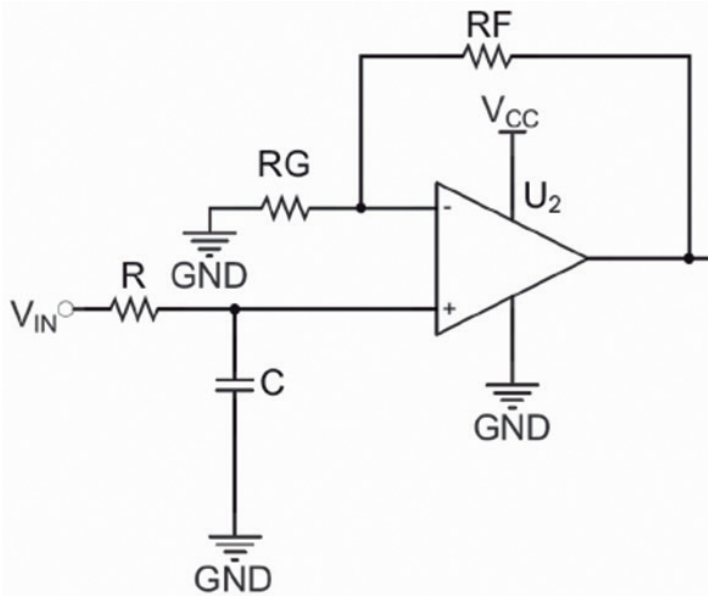


Figura 3. Amplificador operacional no inversor con filtro externo de EMI.

desarrollan accidentalmente dentro de los circuitos. La cantidad de corriente, la frecuencia de EMI y la superficie del bucle determinan la efectividad de la antena. La corriente inducida de EMI es proporcional a la superficie del bucle. La mayoría de EMI en modo común se genera a partir de EMI en modo normal con acoplamiento capacitivo (conducidas). Cuanto mayor es la frecuencia de la señal parásita, mayor es el acoplamiento entre conductores adyacentes en la placa. Por tanto, los conductores adyacentes pueden actuar como antenas.

Las pistas y el cableado de la placa que contengan corrientes de bucle pueden actuar como antenas y acoplar EMI y RFI hacia el interior o el exterior de los circuitos. Las líneas equilibradas y las pistas de señal de la placa equilibradas pueden ayudar a evitar que las EMI en modo común, bien sea conducidas o inducidas, se conviertan en una señal diferencial.

Si el circuito situado tras la línea muestra rechazo en modo común (CMR) a la frecuencia de EMI, la EMI en modo común quedará suprimida hasta el nivel de CMR disponible. La línea equilibrada está formada por dos conductores idénticos y separados, equidistantes entre sí, y con unas características dieléctricas tales que su impedancia es idéntica y la tensión y corriente de EMI es la misma para cada conductor.

En un circuito de línea no equilibrado, cada conductor no idéntico ve un entorno eléctrico diferente cuando se expone a EMI en modo común. La impedancia a masa de cada conductor es diferente y la tensión generada entre ellos también es diferente. Cuando la EMI llega al siguiente circuito en la línea, aparece como una tensión diferencial. Si se utiliza un circuito activo y tiene el ancho de banda suficiente, podría amplificar la EMI y pasarla a la ruta de señal que sigue.

Existe una capacidad entre dos conductores cualesquiera separados por un dieléctrico; el aire y el vacío, así como todos los aislantes sólidos o líquidos, son dieléctricos. Si hay un cambio de tensión en un conductor, se producirá un cambio de carga en el otro y un desplazamiento de corriente que circulará por el dieléctrico.

Si el flujo magnético que varía debido a la corriente que circula en un circuito se acopla en otro circuito, se generará un campo electromagnético en el segundo circuito. Esta inducción mutua puede ser una fuente problemática de ruido acoplado procedente de circuitos con valores elevados de  $di/dt$ .

Para eliminar o reducir el ruido provocado por la ruta de conducción compartida por impedancias o el ruido de impedancia común, primero hay que desacoplar los terminales de alimentación del amplificador operacional

a baja y alta frecuencia. Reduzca la impedancia común, elimine las rutas compartidas, utilice electrolíticos de baja impedancia (baja frecuencia) y derivaciones de baja inductancia (alta frecuencia), así como planos de masa y de alimentación, y optimice el diseño del sistema.

En aplicaciones en las que coincidan señales de bajo nivel y altos niveles de ruido de impedancia común, no es posible evitar interferencias y es posible que sea necesario cambiar la arquitectura del sistema. Entre los posibles cambios se encuentran la transmisión de señales en formato diferencial, amplificar las señales hasta niveles más elevados para mejorar la relación señal/ruido, convertir las señales en corrientes para transmisión y convertir señales directamente a formato digital.

La diafonía es la segunda forma de interferencia más común. En la cercanía de una fuente de ruido, la interferencia de un campo cercano no se transmite como una onda electromagnética y el término diafonía se podría aplicar tanto a señales acopladas de forma inductiva como capacitiva.

El ruido acoplado de forma capacitiva se podría reducir disminuyendo la capacidad acoplada (incrementando para ello la separación del conductor) pero se logra más fácilmente mediante apantallamiento. Un apantallamiento conductivo conectado a masa (conocido como pantalla de Faraday) entre la fuente de señal y el nodo afectado eliminará este ruido al desplazar la corriente directamente a masa.

Siempre es fundamental que la pantalla de Faraday esté conectada a masa. Un apantallamiento de circuito flotante o abierto casi siempre aumentará el ruido acoplado de forma capacitiva.

## Conclusión

La EMI es un problema real en la actualidad y puede afectar a la mayoría de dispositivos, entre ellos los equipos médicos y de aviación. Entre los dispositivos modernos se encuentran filtros de EMI para asegurar el correcto funcionamiento de los equipos en entornos adversos debido a las EMI.

Los amplificadores operacionales resistentes a EMI son más eficientes para rechazar EMI de alta frecuencia que los amplificadores operacionales estándar, pero éstos también pueden rechazar EMI mediante filtros externos. □