

Instrumentación Electrónica

Tema 3

INTERFERENCIAS

Universidad de Burgos. Area de Tecnología Electrónica.

Ignacio Moreno Velasco

Versión 6.1

Octubre 2006

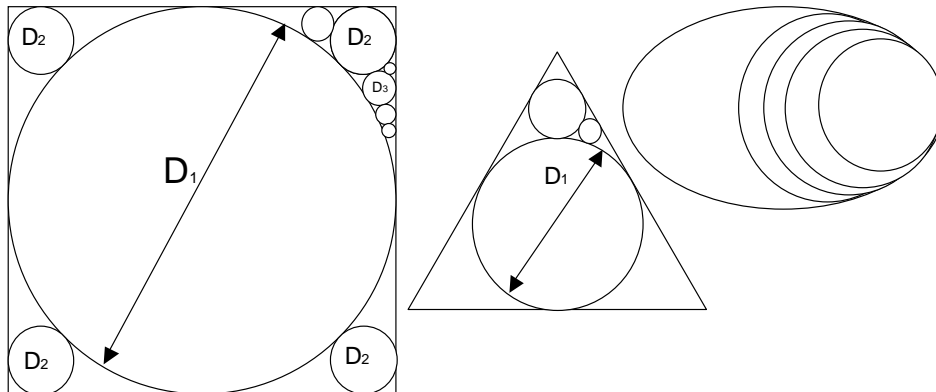
INDICE

3.- INTERFERENCIAS	3
3.1.- CONCEPTOS PREVIOS	3
3.1.1.- <i>descomposición de una señal en Series de fourier</i>	3
3.1.2.- <i>Función de transferencia de un cuadripolo</i>	5
3.2.- TIPOS DE INTERFERENCIAS	6
3.2.1.- <i>Tipos de señal según su referencia a masa</i>	6
3.2.1.1.- Señal flotante.....	7
3.2.1.2.- Fuentes de señal referidas a masa	7
3.2.2.- <i>Mecanismos de acoplamiento</i>	8
3.2.2.1.- Acoplamiento conductivo.....	8
3.2.3.- <i>Acoplamiento capacitivo:</i>	11
3.2.3.1.- Soluciones:	12
3.2.4.- <i>Acoplamiento inductivo:</i>	14
3.2.4.1.- Soluciones	14
3.2.5.- <i>Acoplamiento electromagnético: Interferencias radiadas</i>	17
3.2.5.1.- Disminución del efecto antena	18
3.2.5.2.- Ejemplo: Reducción de interferencias en la medida de temperatura con el circuito integrado AD590	19
3.2.5.3.- Fuentes de Interferencias RF	21
3.3.- CONCLUSIONES.....	21
3.3.1.- <i>Puesta a masa</i>	21
3.3.1.1.- Puntual en serie	21
3.3.1.2.- Puntual paralelo.....	21
3.3.1.3.- Múltiple	22
3.3.2.- <i>Mazos de cables:</i>	22
3.3.3.- <i>Chasis</i>	22
3.3.4.- <i>Resumen</i>	23

3.- Interferencias

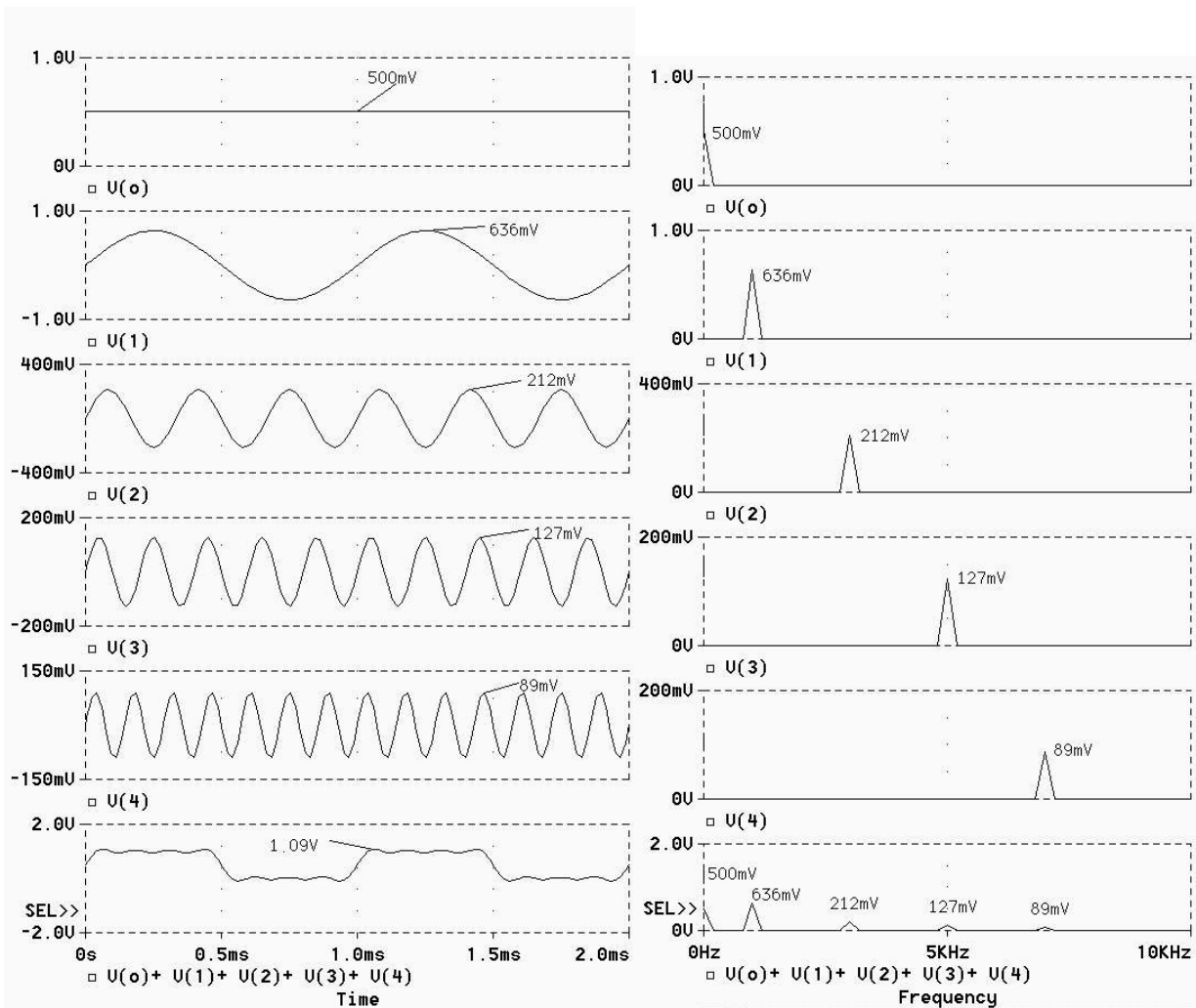
3.1.- CONCEPTOS PREVIOS

3.1.1.- descomposición de una señal en Series de fourier



Para entender el concepto, estableceremos una analogía con las figuras geométricas:

ANALOGÍA ENTRE LAS FIGURAS GEOMÉTRICAS Y LAS SEÑALES PERIÓDICAS	
FIGURAS GEOMÉTRICAS	SEÑALES PERIÓDICAS
Cualquier figura geométrica puede dibujarse a base de añadir circunferencias en su interior.	Una señal periódica puede expresarse como la suma de una serie de señales sinusoidales (armónicos).
El tamaño de la figura viene dado por el diámetro de la circunferencia principal.	La frecuencia de la señal viene dada por la senoide llamada armónico fundamental de igual frecuencia que la señal original.
Si queremos reconstruir la figura con más resolución utilizaremos más circunferencias D_2, D_3, \dots, D_n	Si queremos reconstruir la señal con más resolución debemos considerar más armónicos.
Podríamos describir la figura geométrica expresando la posición y radio de estas circunferencias.	Podríamos describir la señal original si expresamos la frecuencia, fase y amplitud de cada uno de esos armónicos.



Representación temporal y frecuencial (solo del módulo) de una señal “cuadrada”

El desarrollo en series de Fourier nos proporciona la amplitud, frecuencia y fase de los componentes espectrales (armónicos) que componen las señales periódicas.

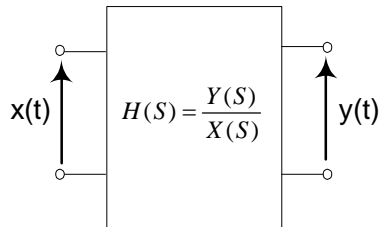
Harmónico o armónico.

En una onda periódica, cualquiera de sus componentes sinusoidales, cuya frecuencia sea un múltiplo entero de la frecuencia fundamental.

Armónico fundamental: El de frecuencia más baja de todos los componentes sinusoidales de una onda periódica. *(Real Academia Española © Todos los derechos reservados)*

3.1.2.- Función de transferencia de un cuadripolo

En nuestro caso el cuadripolo será habitualmente un circuito amplificador y/o filtro



Donde S = frecuencia angular compleja = $j\omega$

$$Y(S) = X(S) \cdot H(S)$$

$$y(t) = L^{-1}\{X(S) \cdot H(S)\}$$

Donde $H(S) \equiv$ Función de transferencia del circuito; es función de la frecuencia. Nos dá una idea de cómo trata el circuito a cada uno de los armónicos en que puede expresarse la señal de entrada.

$$H(S) = \frac{a_m S^m + a_{m-1} S^{m-1} + \dots + a_1 S^1 + a_0}{b_m S^m + b_{m-1} S^{m-1} + \dots + b_1 S^1 + b_0}$$

DISTORSIÓN: Cualquier circuito electrónico trata de distinta forma (atenúa o amplifica) a los armónicos de las señales que entran según su frecuencia.

Sustituyendo $S = j\omega$ en la función de transferencia del circuito obtenemos una función compleja. Esta función puede descomponerse en una expresión para el módulo y otra para la fase.

La manera mas común de realizar el estudio del efecto de un filtro sobre la señal de entrada consiste en recurrir al espectro de dicha señal, es decir, descomponer la señal de entrada en una escala de amplitudes y fases respecto de la frecuencia, matemáticamente mediante series de Fourier o en el laboratorio con un aparato llamado analizador de espectros.

3.2.- TIPOS DE INTERFERENCIAS

- Consideraremos **Interferencias** a las señales de origen externo a nuestro sistema presentes en su salida.
- Consideraremos **ruido** a las señales generadas por los elementos del propio circuito: resistencias, amplificadores operacionales, etc.

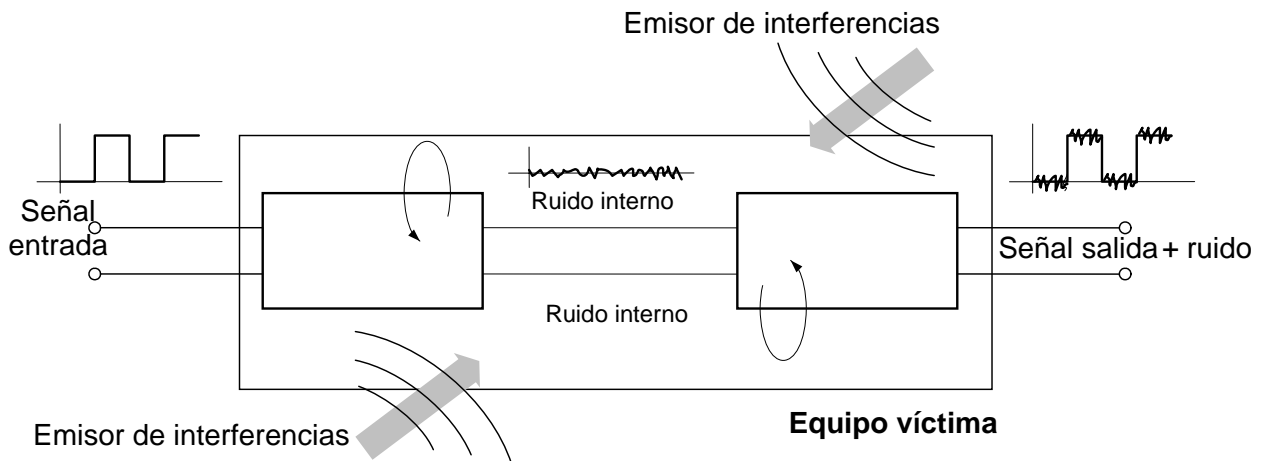
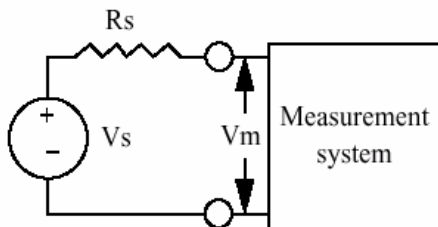


Imagen: “Instrumentación Electrónica”. Miguel A. Pérez y otros. Ed. Thomson

3.2.1.- Tipos de señal según su referencia a masa

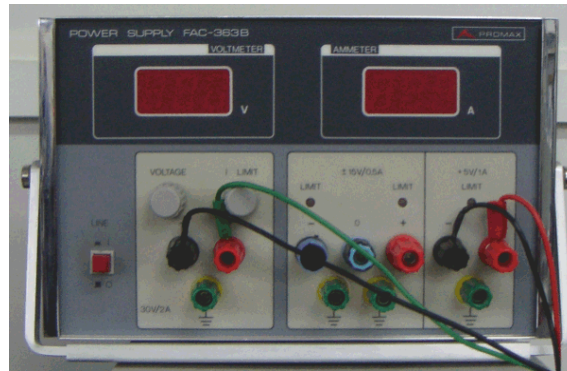
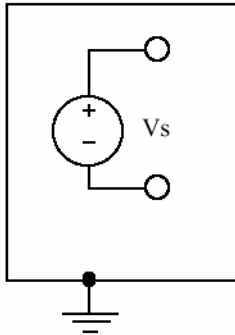


Antes de conectar las señales a las entradas hay que determinar si la fuente de señal es flotante o está referida a masa.

3.2.1.1.- Señal flotante

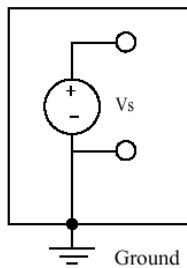
No está conectada de ninguna forma a la masa del sistema ni a la tierra de la instalación, sólo tiene un punto de referencia aislado.

Ejemplos: Salidas de transformador, dispositivos alimentados por batería, salidas opto-aisladas, amplificadores de aislamiento, termopares, instrumentos con salidas aisladas.



Ejemplo:
fuente de
alimentación
PROMAX del
laboratorio.

3.2.1.2.- Fuentes de señal referidas a masa



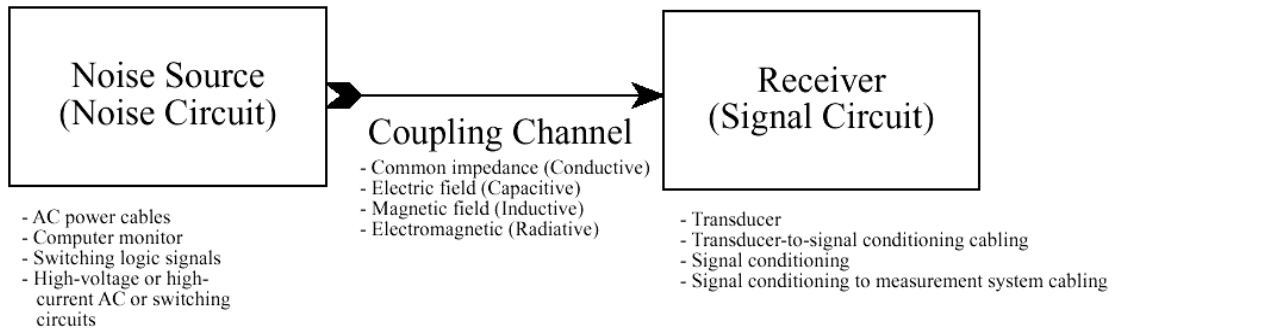
Está conectado de alguna forma a la masa del sistema y en la mayoría de los casos a la tierra de la instalación. Por lo tanto tiene un punto de masa común con el sistema de medida.

- **Ejemplos:**

- Tarjetas de adquisición de datos, siempre que el ordenador esté debidamente conectado a tierra.
- Salidas de instrumentos con salidas no aisladas.
- Dispositivos conectados a la red eléctrica del edificio.

La diferencia de potencial entre dos instrumentos conectados a la misma red de distribución se sitúa típicamente entre 1mV y 100 mV. Puede ser mayor si las conexiones no son buenas.

3.2.2.- Mecanismos de acoplamiento

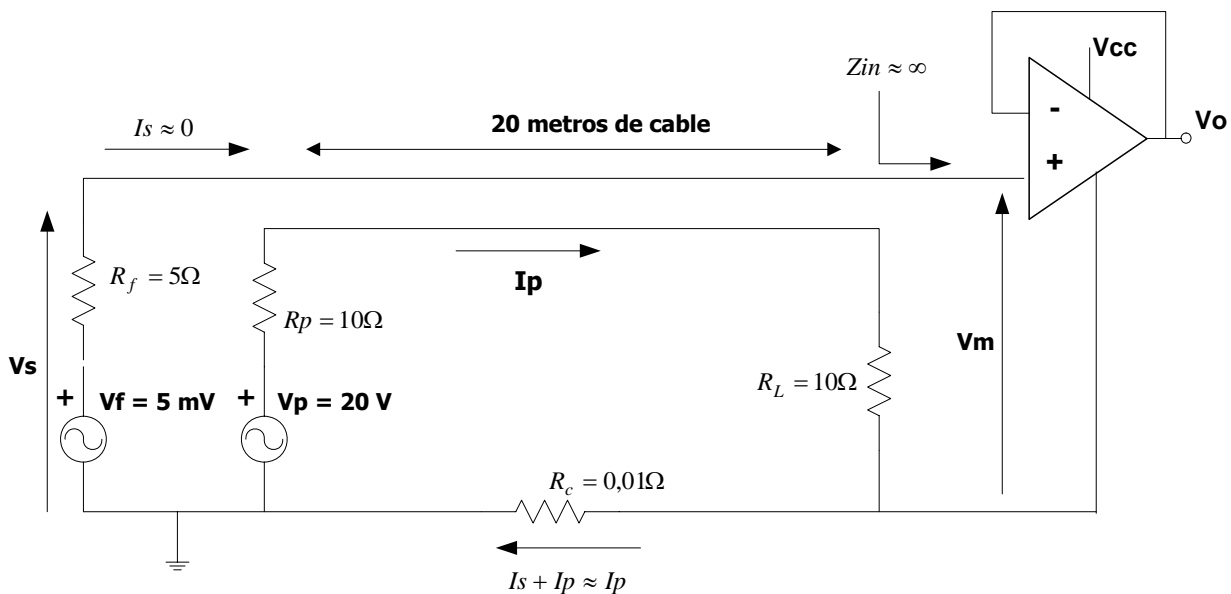


Según el mecanismo de acoplamiento, las interferencias se dividen en: Acoplamiento conductivo (impedancia común), acoplamiento capacitivo, inductivo, radiado (Electromagnético).

3.2.2.1.- Acoplamiento conductivo

IMPEDANCIA COMÚN

El acoplamiento conductivo es debido a que la impedancia de los conductores es finita (no cero.)



Circuito de potencia y de señal comparten la línea de retorno a masa. Rc representa la resistencia de los 20 metros de cable: $V_m = V_f - I_s R_f - I_p R_c$ veamos que pasa con cada término de la expresión:

- V_f : Señal útil procedente p.ej de un sensor.
- $I_s R_f$: Caída de tensión en la impedancia de salida de la fuente (valor bajo) de señal.

Despreciable si la impedancia de entrada del amplificador es elevada.

- $I_p R_c$: Interferencia conductiva del circuito de potencia.

Dando valores:

$$V_m = 5 \text{ mV} - (0 \text{ A} \cdot 5 \Omega) - (1 \text{ A} \cdot 0,01 \Omega) = 5 \text{ mV} - 10 \text{ mV} = -5 \text{ mV}$$

Problema:

- El error es superior a la propia magnitud medida. (Error absoluto = $-5 \text{ mV} - 5 \text{ mV} = -10 \text{ mV}$)

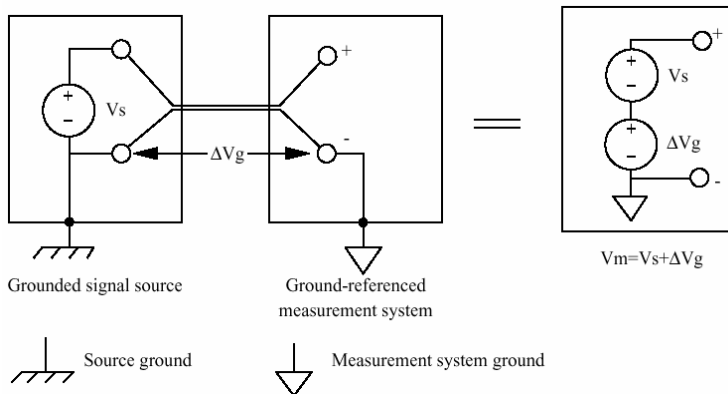
Solución:

- Proporcionar caminos de retorno a masa separados para el circuito de potencia y el de señal.

PROPUESTO: Dibujar un sistema con el mismo problema en el que el circuito de potencia sea una fuente como la del laboratorio.

BUCLES DE TIERRA

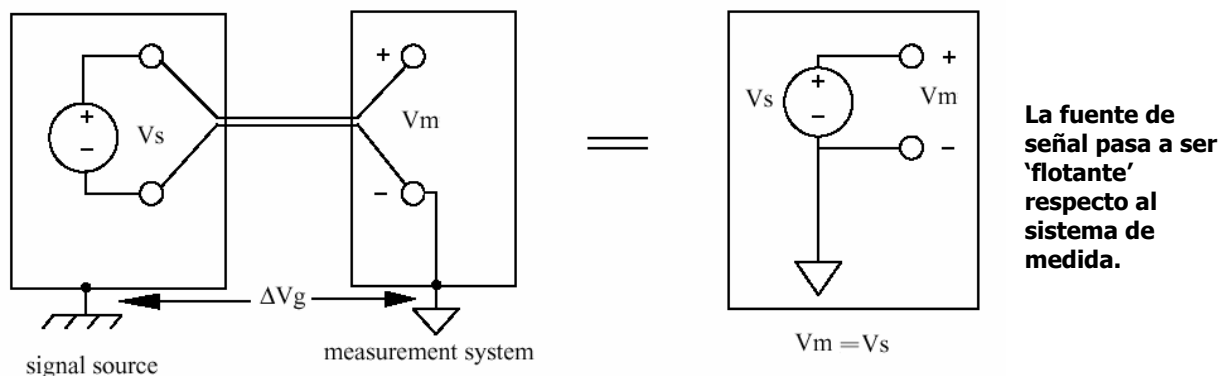
Diferencia de potencial entre tomas de tierra separadas. En entornos industriales puede ser de 1 ó 2 V.



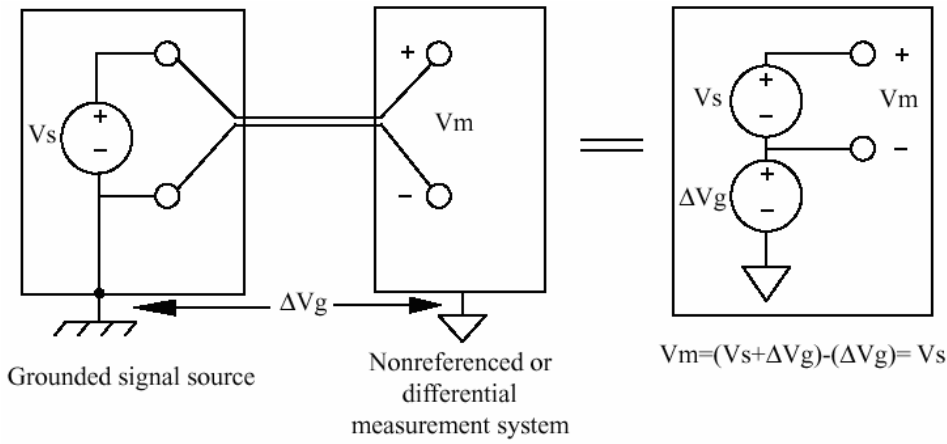
Problema:

- El valor medido incluye la diferencia de potencial entre las tomas de tierra de ambos sistemas.

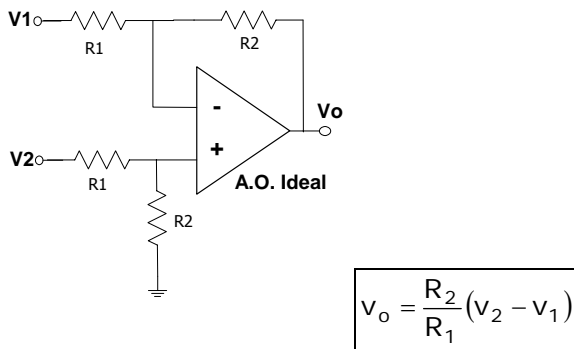
Solución 1: romper el bucle en la fuente de señal (no suele poder hacerse)



Solución 2: Medida diferencial



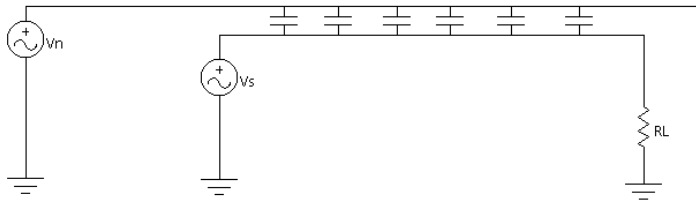
Podríamos usar un Amplificador diferencial como el que sigue:



PROPUESTO: Conectar el amplificador diferencial al circuito y comprobar la expresión de V_m .

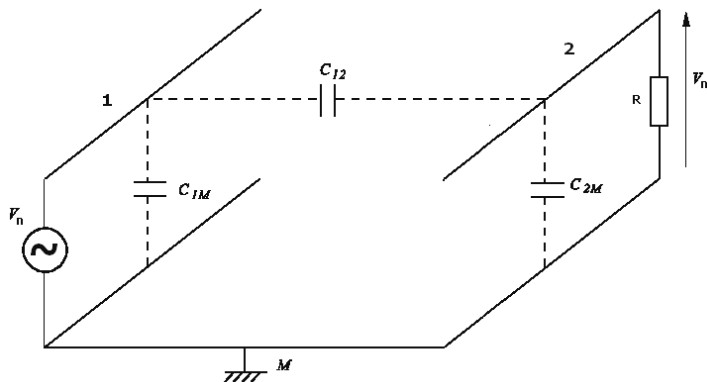
3.2.3.- Acoplamiento capacitivo:

Debidas a un campo eléctrico \vec{E} **variando** en las proximidades de un conductor de señal.

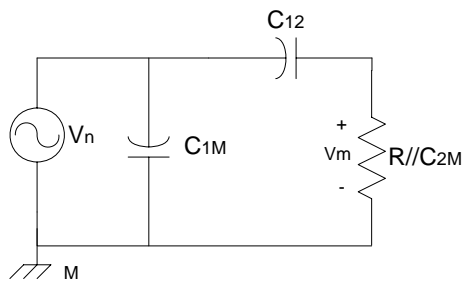


Si entre dos conductores existe una diferencia de potencial, se establece entre ellos un campo eléctrico. Si este campo es variable, se produce una interferencia capacitiva entre ambos.

Supongamos el siguiente circuito 1 acoplado capacitivamente con el circuito 2:



El circuito equivalente será:



V_n = Tensión que provoca la interferencia capacitiva.

R representa la impedancia del circuito afectado por la interferencia.

Resolvemos mediante un simple divisor de tensión:

$$V_m = V_n \frac{R // C_{2M}}{(R // C_{2M}) + \frac{1}{C_{12}S}} \quad \text{Ecuación 1} \quad C_{1M} \text{ no influye en el circuito 2}$$

$$\text{donde } R // C_{2M} = \frac{R \cdot \frac{1}{C_{2M}S}}{R + \frac{1}{C_{2M}S}} = \frac{R}{RC_{2M}S + 1} \quad \text{Sustituyendo este resultado en la **ecuación 1** y operando:}$$

$$V_m = V_n \frac{RC_{12}S}{R(C_{2M} + C_{12})S + 1} \quad \text{Sustituyendo } S = j\omega$$

$$V_m = V_n \frac{RC_{12}j\omega}{R(C_{2M} + C_{12})j\omega + 1} \quad \text{Ecuación 2}$$

CONCLUSIONES:

- Si R es muy pequeña, y como C_{2M} y C_{12} también lo son, podemos considerar $R(C_{2M} + C_{12})j\omega \ll 1$ y por lo tanto aproximar la **ecuación 2**.

$$V_m \approx V_n RC_{12}j\omega$$

Si la impedancia de nuestro circuito es muy baja, la interferencia aumenta de forma proporcional con la frecuencia.

- Si R es grande, la Ec. 2 podemos aproximarla: $R(C_{2M} + C_{12})j\omega \gg 1$ y por lo tanto aproximar la Ec. 2:

$$V_m \approx V_n \frac{C_{12}}{C_{2M} + C_{12}}$$

Si la impedancia de nuestro circuito es muy alta, la interferencia es independiente de la frecuencia y mayor que en el caso anterior.

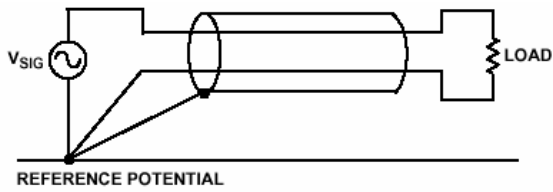
3.2.3.1.- Soluciones:

- Aumentar distancia entre conductores; sobretodo de los que portan señales de alta frecuencia; y más si nuestro circuito es de alta impedancia (i.e. R_L alta).
- Apantallar los conductores:

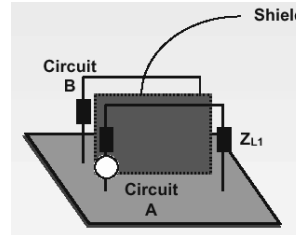
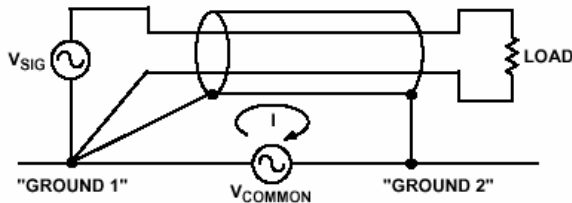
APANTALLAMIENTO PARA CIRCUITOS DE BAJA FRECUENCIA

Consiste en rodear los conductores con una malla conductora.

- Si la señal es de baja frecuencia, la malla se conecta a un único potencial constante.
- Si la señal es de alta frecuencia puede ser conveniente conectar ambos extremos.
- Si el potencial no fuera constante, se crearía un campo eléctrico variable y originaría otro acoplamiento capacitivo:

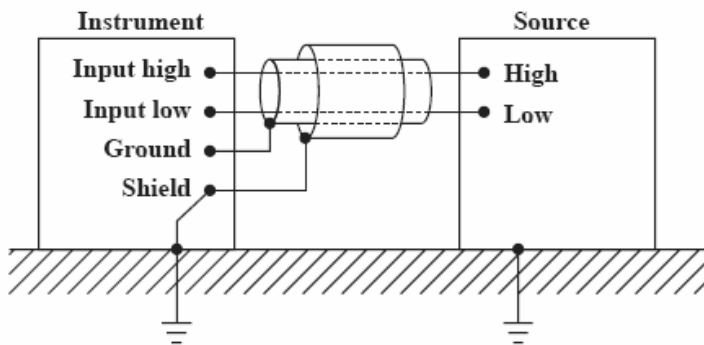


- Si conectaríamos ambos extremos, podríamos crear un bucle de tierra que circularía por la malla creando un campo eléctrico variable y por tanto una interferencia:



En el diseño de placas de circuito impreso se añaden capas de masa

PROPUESTO: Leer y comprender el texto que acompaña a la siguiente figura

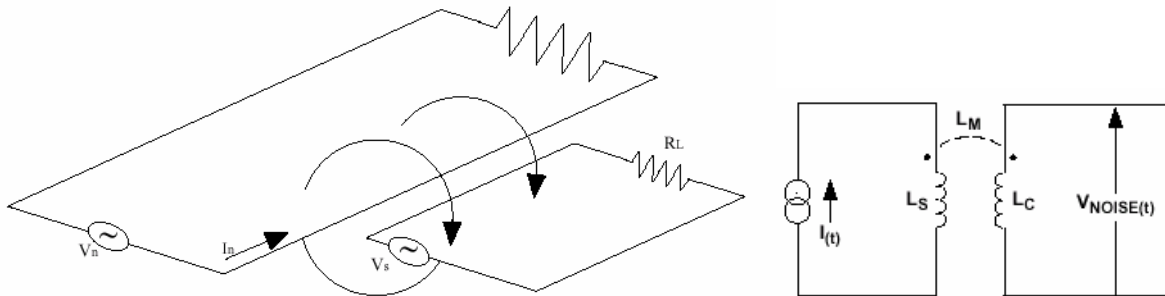


The maximum EMI protection for differential-measurement signal leads comes from surrounding the actual signal lines with a guard electrode tied to signal low, and surrounding that with a shield tied to ground.

Ref. "Configuring Your Data Acquisition or Test and Measurement System for Maximum Noise Immunity" By Dale Cigoy, Senior Application Engineer Keithley Instruments, Inc.

3.2.4.- Acoplamiento inductivo:

Son señales que se acoplan debido a campos magnéticos variables en el área encerrada por el circuito de señal (acoplamiento magnético).



La corriente del circuito interferente I(t) crea un flujo magnético que atraviesa el circuito de señal. Si este flujo es variable, se induce una tensión V_{NOISE(t)} sobre el circuito de señal. Esta tensión será tal que la corriente variable que cree provocará un flujo contrario.

$$V_{noise(t)} = L_M \frac{dI(t)}{dt} \quad \text{Ecuación 1}$$

L_M es la inductancia mutua entre ambos circuitos y solo depende de la geometría de los circuitos y no de las corrientes que circulan por ellos.

En el caso de una corriente de la forma $I(t) = I \cdot \text{sen } \omega t$, derivando en la **Ecuación 1** obtenemos:

$$V_{noise}(t) = L_M \cdot I \cdot \omega \cdot \cos \omega t \quad \text{Pasando a valores eficaces: } V_{noise}^{ef} = L_M \cdot I_{ef} \cdot \omega$$

Podemos deducir:

- La interferencia producida es mayor cuanto mayor sea la frecuencia de la señal interferente.
- La tensión inducida está desfasada respecto a la corriente interferente.

3.2.4.1.- Soluciones

Normalmente no se tiene control sobre los circuitos interferentes, por lo que las medidas adoptadas se restringen al circuito de señal. Veamos en qué términos de la ecuación podemos intervenir para reducir el valor de la interferencia:

Recordar que en la construcción de transformadores se aprovecha este efecto, por lo que se busca maximizar el acoplamiento en vez de disminuirlo.

REDUCIR LA INDUCTANCIA MUTUA L_M

Esto implica modificar la geometría de los circuitos:

- Reducir el area del circuito de señal. Por ejemplo utilizando par trenzado los flujos magnéticos se anulan.



- Aumentar la distancia entre el circuito interferente y el de señal (Especialmente de los de alta frecuencia).

REDUCIR EL FLUJO MAGNÉTICO

Reducir el area del circuito interferente por ejemplo trenzando el par.

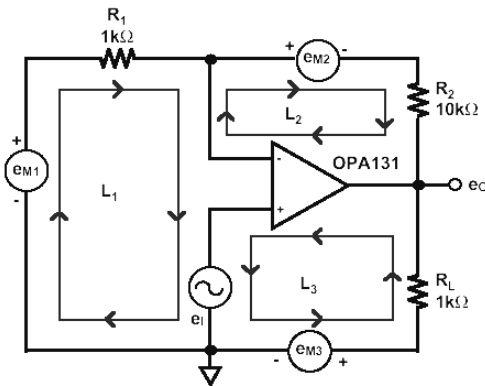
Apantallamiento magnético: Resulta difícil, ya que a baja frecuencia (50-60 Hz principales interferencias) las propiedades del apantallamiento magnético son pobres en la mayoría de metales. Para el acoplamiento magnético a bajas frecuencias únicamente los materiales ferromagnéticos ofrecen las propiedades necesarias con espesores aceptables. A altas frecuencias la respuesta magnética de los materiales ferromagnéticos empeora y un conductor como el cobre con poco grosor se convierte en una buena alternativa. Incluso la capa de cobre de un plano de masa en un circuito impreso se convierte en una buena pantalla magnética.

Ejemplo: Interferencia de un circuito de potencia

Corriente del circuito de potencia 2 A eficaces, frecuencia 50 Hz, $L_M=3\mu\text{H/m}$, longitud del cable 1m

$$V_n = L_m \cdot I_{ef} \cdot \omega = 1'88 \text{ mV}$$

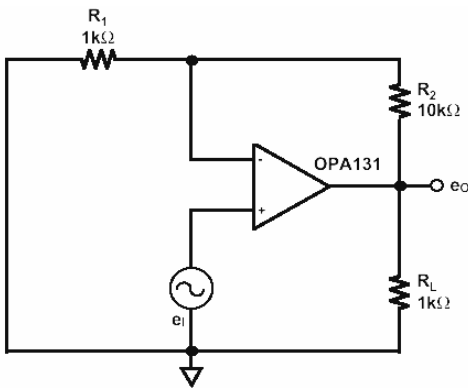
Problema resuelto: Interferencias en la configuración NO inversora del A.O.:



Busquemos la expresión de e_o en función de la señal útil y de las señales interferentes:

Para ello, el circuito se resuelve aplicando el principio de superposición con las 4 fuentes. Es decir, desactivamos alternativamente las otras 3 fuentes de tensión (i.e. cortocircuito).

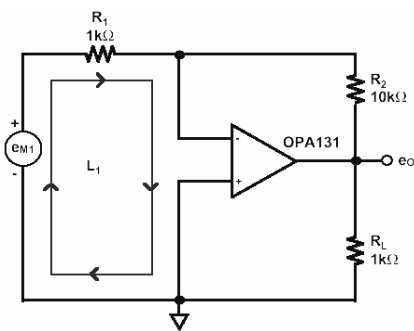
Salida debida a la fuente de señal:



Configuración NO inversora del A.O.

$$e_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot e_1$$

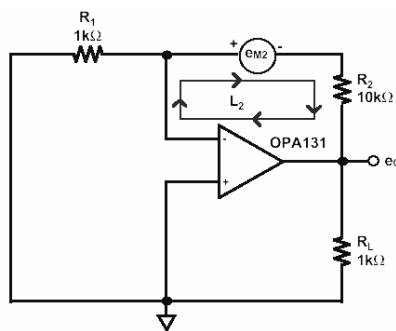
Interferencia de e_{M1} :



$$e_o = -e_{M1} \frac{R_2}{R_1}$$

(Configuración inversora del A.O.)

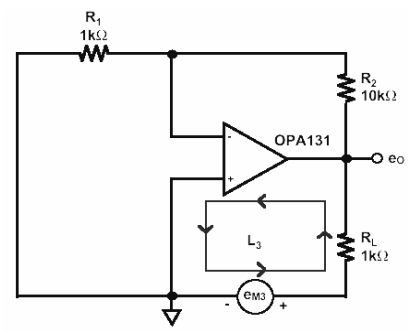
Interferencia de e_{M2} :



$$e_o = -e_{M2}$$

(R_1 se encuentra en cortocircuito virtual, y por tanto no circula corriente)

Interferencia de e_{M3} :



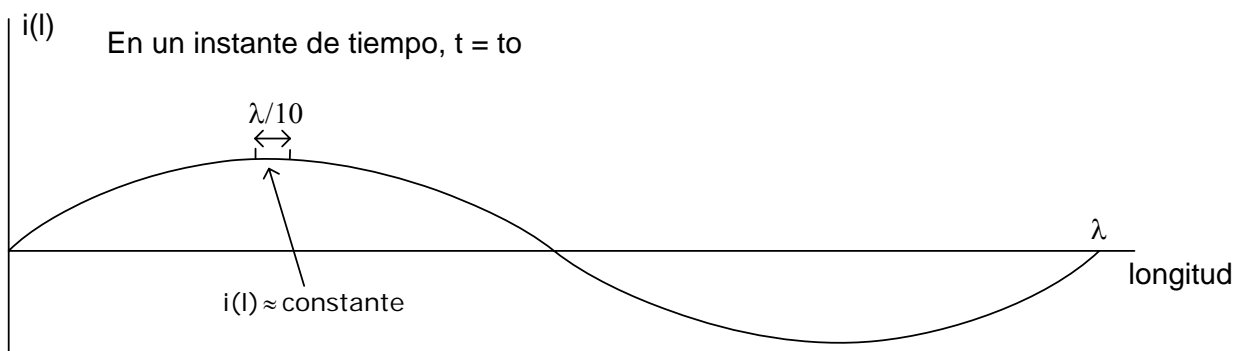
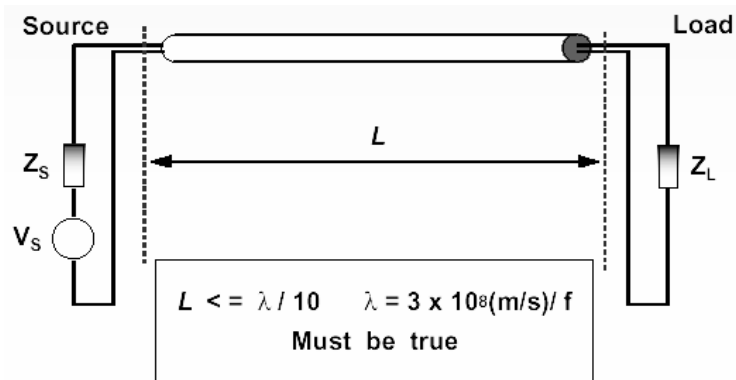
$$e_o = e_{M3}$$

CONCLUSIÓN:

$$e_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot e_1 - \frac{R_2}{R_1} e_{M1} - e_{M2} + e_{M3}$$

Mantener los conductores del circuito tan cercanos como se pueda para reducir el área de los bucles

3.2.5.- Acoplamiento electromagnético: Interferencias radiadas



Debido a la velocidad finita de propagación, la corriente que en un instante determinado existe en un cable no tiene el mismo valor en todos sus puntos. Esto provoca fenómenos de propagación y recepción de campos electromagnéticos; es el llamado “**efecto antena**”. Sin embargo, si la longitud del cable es pequeña respecto a la longitud de onda de la señal que transporta, esta onda puede considerarse cuasiestacionaria. Estaremos realizando lo que se denomina **aproximación a "baja frecuencia"** que permite modelar el sistema mediante resistencias, capacidades e inductancias en vez de tener que realizar un modelo de línea de transmisión.

Según esta aproximación, podemos considerar un circuito de **baja frecuencia** si $L \leq \lambda/10$

$$\lambda = \text{Longitud de onda} = c / f$$

$$c = \text{velocidad de la luz en el medio} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

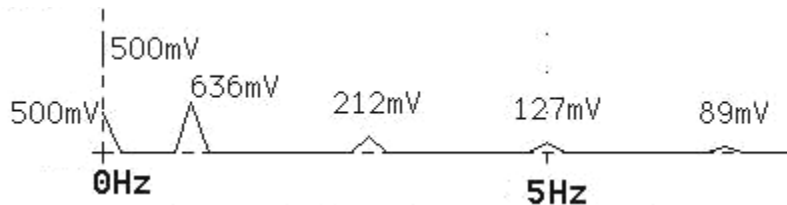
$$f = \text{frecuencia considerada}$$

De forma alternativa, podemos expresar: $L \leq c/10f$

Ejemplo: Pista de placa de circuito impreso con señal de reloj digital de 100 MHz y valores entre 0 y 3V

Busquemos la máxima longitud aconsejable de la pista. Como es sabido, una onda cuadrada normalizada (0-1V, ciclo de trabajo 50%, 1Hz) tiene los siguientes armónicos:

0'5V @ 0Hz 0'637 V @ 1Hz 0'212 V @ 3 Hz 0'127 V @ 5 Hz 0'09 V @ 7 Hz.



Si tenemos en cuenta el armónico fundamental de la señal cuadrada, tenemos:

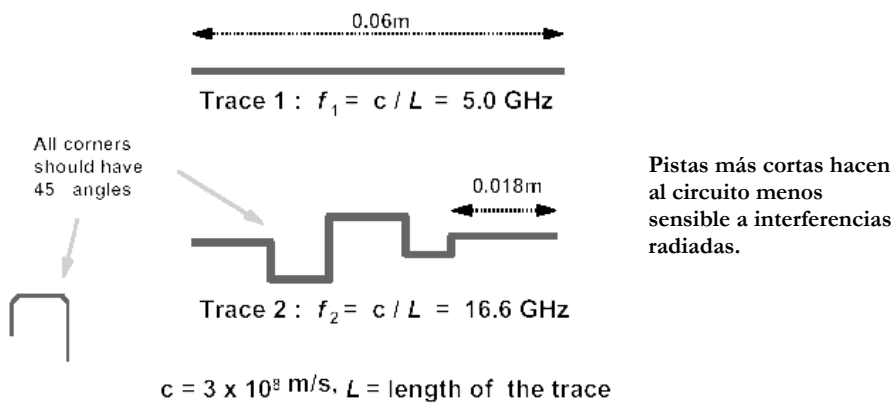
$$L \leq (c/f)/10 \leq (3 \cdot 10^8 / 100 \cdot 10^6) \cdot 10 \leq 30 \text{ cm.}$$

Sin embargo considerando el 3er armónico (de frecuencia 500 MHz y amplitud 0'127V · 3) obtendríamos:

$$L \leq 6 \text{ cm}$$

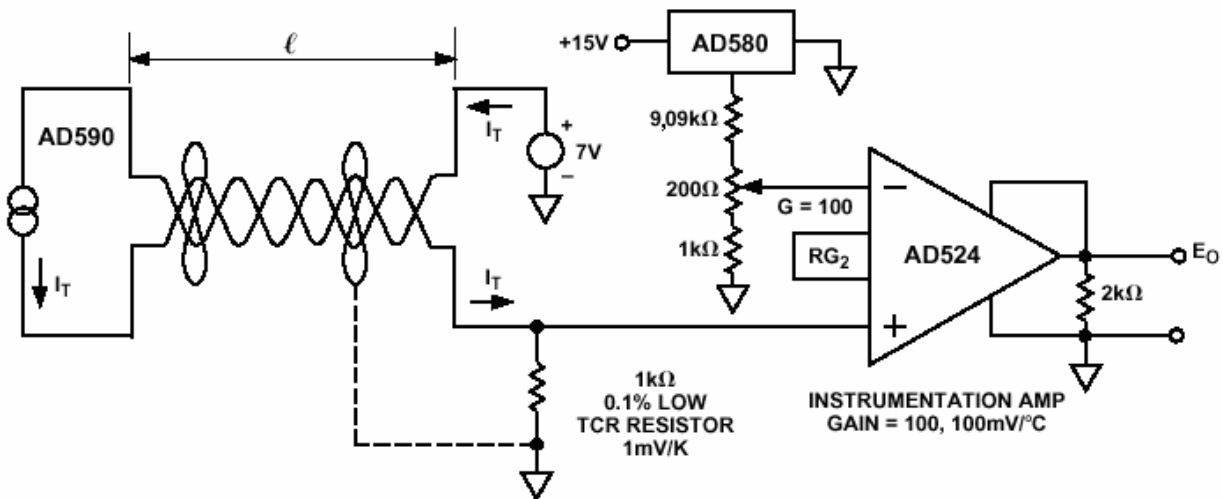
3.2.5.1.- Disminución del efecto antena

Ejemplo: Reducción del efecto antena acortando la longitud de la pista.



En la figura, una longitud de la pista de 6 cm corresponde con la longitud de onda (λ) de una señal de 5 GHz por lo que actuaría como una antena perfecta a esa frecuencia y sus múltiplos. Reduciendo la pista a longitudes máximas de 1'8 cm reducimos la longitud de onda (λ) a señales de 16'6 GHz y sus múltiplos. Además es conveniente que los cambios de sentido de las pistas se realicen con ángulos de 45°. Evitamos así el "efecto de puntas" que provocaría interferencias con pistas aledañas.

3.2.5.2.- Ejemplo: Reducción de interferencias en la medida de temperatura con el circuito integrado AD590



❗ OJO. La resistencia junto al AD580 debe ser de 9'09 K y no de 909 K

El AD-590 es un circuito integrado de dos terminales que alimentado entre +4 V y +30 V funciona como sensor de temperatura. Las fuentes de señal en tensión típicas tratadas hasta ahora se caracterizan por una impedancia de salida baja, no así este dispositivo, que se comporta como una fuente de corriente de alta impedancia proporcionando una corriente de 1 $\mu\text{A}/\text{K}$. Se calibra tallando por laser las resistencias de película delgada de forma que proporcione una salida de 298'2 μA a 298'2 K (25°C). Rango de -55°C a +150°C con una precisión de $\pm 1^\circ\text{C}$

- El AD580 es una referencia de tensión que proporciona una salida estable de 2'5 V. Mediante la red de resistencias, genera una tensión de offset de 273'2 mV que es restada de la tensión de la resistencia de precisión de 1 K.

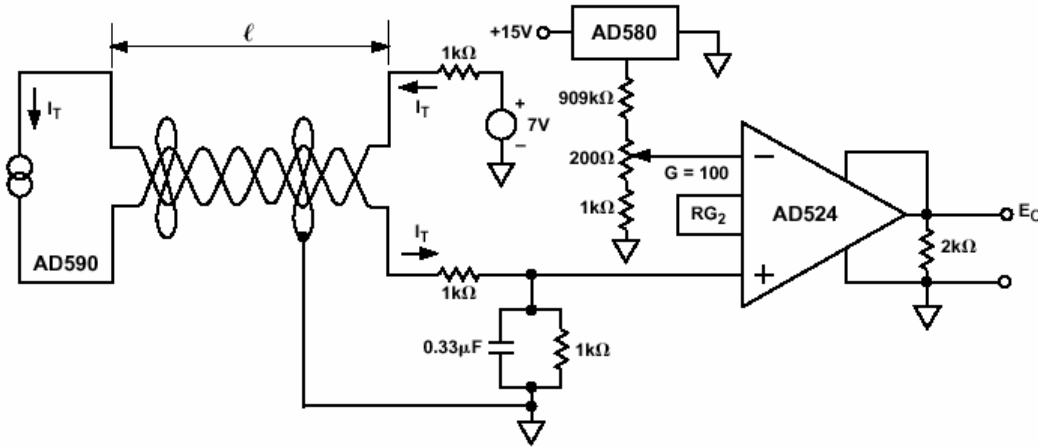
El AD524, es un amplificador de instrumentación. Para nuestro estudio es suficiente saber que su función de transferencia es en este caso $E_o = 100 \cdot (V_+ - V_-)$

✂ **PROPUESTO: Realizar la curva de calibración del sistema T^a - E_o para T^a entre 0 °C y 100 °C.**

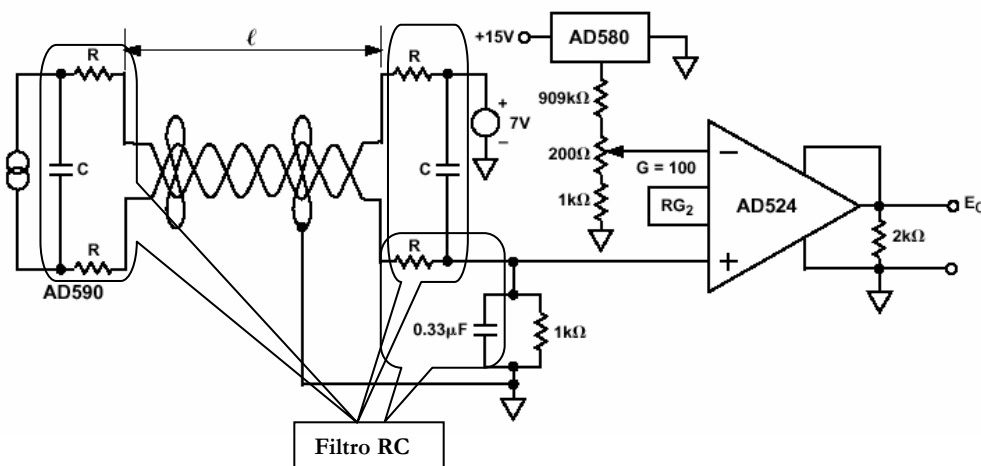
La energía RF (Radio Frecuencia) entra y se refleja en un sistema donde quiera que exista un desacoplamiento de impedancias o discontinuidad. Esto incluye las discontinuidades que existen en los extremos del trayecto de la señal, es decir el AD590 y el AD524. Para eliminar el efecto de esas discontinuidades, sería necesario un apantallamiento RF del circuito completo, encerrándolo por ejemplo en una caja metálica.

AÑADIR RESISTENCIAS EN SERIE

Para limitar las corrientes de ruido que atraviesan el cable, añadimos resistencias en serie con el AD590.



REDUCIR EFECTO DE LAS DISCONTINUIDADES:



Como eso no siempre es posible, en muchos sistemas es suficiente con proporcionar filtros RF implementados con elementos pasivos colocados en los puntos críticos. Es importante observar que el filtro no eliminará la energía RF absorbida, sino que únicamente la desviará.

En la figura siguiente se observa un filtro RC en cada extremo del cable. Éstos aseguran que las interferencias radiadas permanecen confinadas dentro del cable sin apenas afectar al circuito de medida.

Pueden ponerse resistencias tan altas como queramos mientras la tensión que alimenta al AD590 sea suficiente.

☞ Observar además el uso de cable trenzado y apantallado. La pantalla está conectada a un potencial constante. De esta forma, se consigue reducir el ruido en un factor de 2000 respecto al circuito sin protección. Esto nos permitiría utilizar cables por encima de 300 m sin pérdida de precisión.

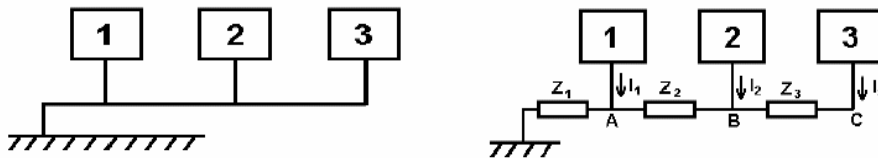
3.2.5.3.- Fuentes de Interferencias RF

Estaciones de radiodifusión (radio y TV)

3.3.- CONCLUSIONES

3.3.1.- Puesta a masa

3.3.1.1.- Puntual en serie



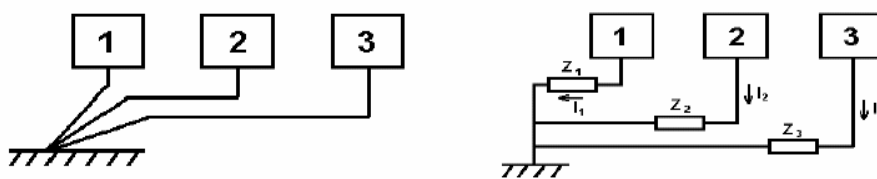
- Este tipo de conexión puede ser causa de interferencias conductivas.
- NO usar cuando los circuitos tienen consumos muy dispares

$$V_A = (I_1 + I_2 + I_3) \cdot Z_1$$

$$V_B = (I_1 + I_2 + I_3) \cdot Z_1 + (I_2 + I_3) \cdot Z_2$$

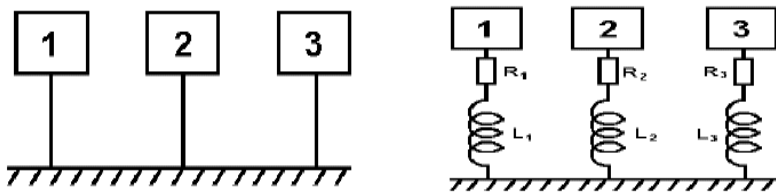
$$V_C = (I_1 + I_2 + I_3) \cdot Z_1 + (I_2 + I_3) \cdot Z_2 + I_3 \cdot Z_3$$

3.3.1.2.- Puntual paralelo



- Realización física más compleja.
- Existen impedancias de puesta a tierra individuales. $Z_3 > Z_2 > Z_1$
- Evita interferencia conductiva.
- Recomendable a baja frecuencia.

3.3.1.3.- Múltiple

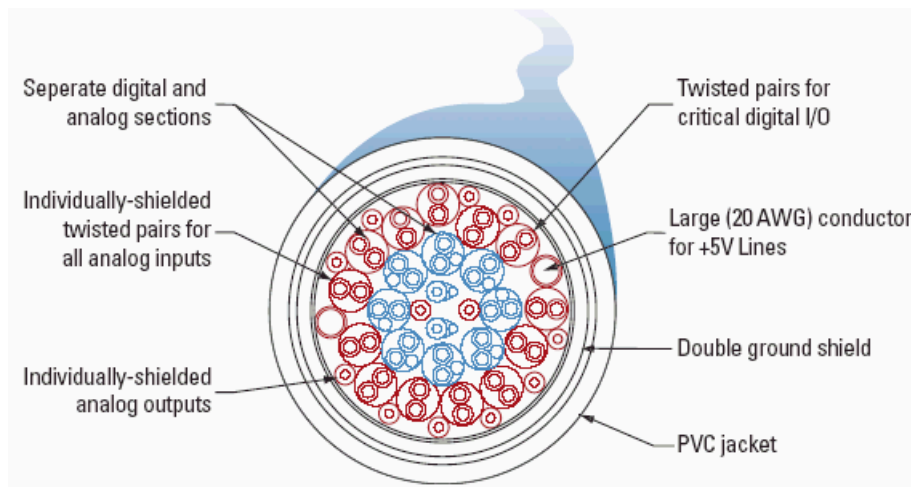


En circuitos de alta frecuencia (> 10 MHz) para reducir la impedancia de puesta a masa. Por ejemplo en placas de circuito impreso existen **planos de masa** para la conexión de los distintos dispositivos.

Para reducir la impedancia del plano de masa puede “metalizarse” su superficie.

3.3.2.- Mazos de cables:

- Separar cables de señal de cables de potencia, digitales y de alta frecuencia.
- En el cableado de filtros separar cables del primario y del secundario.
- No situar los cables con cargas inductivas como relés o motores junto a cables de señal digital.
- No tender el cable de tierra de protección junto a otros. Podrían verse interferidos causando problemas de modo común.



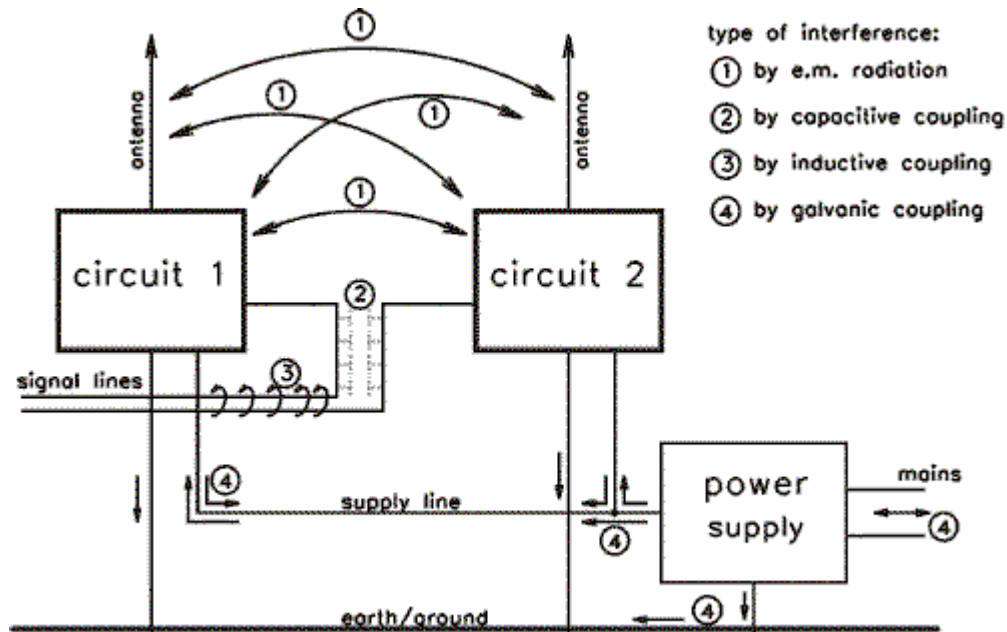
Cable SH68-68-EP de National Instruments®

3.3.3.- Chasis

- La carcasa metálica de los dispositivos puede actuar como pantalla EMI (Jaula de Faraday). En el caso de carcasas plásticas, es posible pintar su interior de una capa conductiva o pegar una lámina metálica.
- Cuando se necesitan agujeros para la entrada-salida de cables, ventilación, etc. es mejor varios agujeros pequeños que uno grande. La longitud de onda de las señales indeseables que se “cuelan” por los agujeros viene determinada por $\lambda = c/f$.
- El acoplamiento magnético y el radiado deben tratarse por separado. Para el acoplamiento magnético a bajas frecuencias únicamente los materiales ferromagnéticos ofrecen las propiedades necesarias con

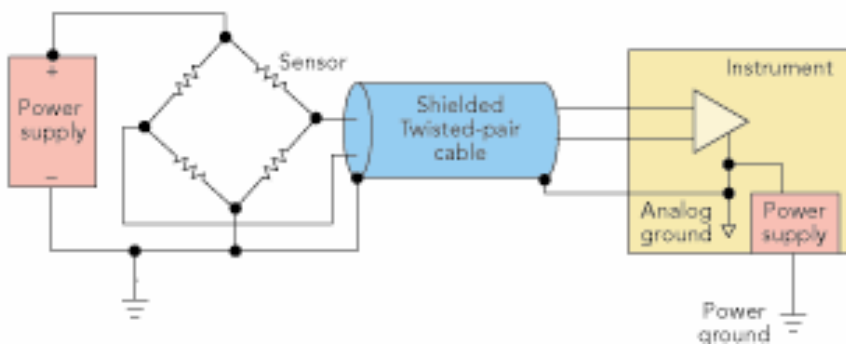
espesores aceptables. A altas frecuencias la respuesta magnética de los materiales ferromagnéticos empeora y un conductor como el cobre con un grosor aceptable se convierte en una buena alternativa. Incluso la capa de cobre de un plano de masa en un circuito impreso se convierte en una buena pantalla magnética.

3.3.4.- Resumen



Fuente: www9.dw-world.de

Ejercicio propuesto:



¿Qué problema plantea el circuito para una medida correcta del sensor?. ¿Cómo lo solucionarías?.