**Diseño de Sonda Diferencial para Osciloscopio**

**Introducción**

Este proyecto tiene como objetivo el desarrollo de una sonda diferencial para osciloscopio diseñada específicamente para minimizar el ruido en las mediciones. Su implementación resulta esencial en aplicaciones de alta precisión en entornos con interferencias, permitiendo la obtención de señales de baja amplitud y alta frecuencia sin distorsión. Esta sonda será una herramienta clave para usuarios que requieren precisión en la representación de señales eléctricas bajo condiciones de ruido externo.

**Objetivo del Diseño**

El propósito de este proyecto es desarrollar una sonda diferencial para osciloscopio, especialmente diseñada para minimizar el ruido en las señales medidas. Esto se logra aprovechando la característica de rechazo en modo común de los amplificadores operacionales, lo cual es esencial para aplicaciones de alta precisión en entornos con interferencias de ruido. La sonda permite a los usuarios obtener una representación precisa de señales de baja amplitud y alta frecuencia sin la distorsión o interferencia causadas por ruidos externos.

**Especificaciones del Diseño**

* **Alimentación dual**: ±6V
* **Voltaje de entrada máximo**: 100V (limitado por el capacitor de la etapa de atenuación)
* **Modo de atenuación seleccionable**: 1X y 10X
* **Configuración de ganancia unitaria**: minimiza el voltaje de offset y maximiza el ancho de banda

**Etapas de Diseño**

**Etapa de Entrada: Atenuador 1X y 10X**

La etapa de entrada de la sonda integra un atenuador con dos factores de atenuación seleccionables: 1X y 10X. Esto permite al usuario ajustar el nivel de la señal de entrada para adaptarse a distintos escenarios de medición.

* **Modo 1X**: La señal de entrada puede alcanzar hasta 6V sin que el amplificador entre en saturación.
* **Modo 10X**: Permite la medición de señales de hasta 60V, beneficiándose de la mayor capacidad de reducción del ruido en señales de alto voltaje.
* **Componentes del atenuador**: La configuración del atenuador incluye una red de resistencias y capacitores, algunos de ellos variables. Esto permite la calibración del dispositivo, optimizando la respuesta en función de los requisitos específicos de la medición, y minimizando el error de frecuencia.

La elección de los valores en la red RC del atenuador es clave para garantizar que las señales de alta frecuencia no sufran distorsión, asegurando así una respuesta óptima. El voltaje de entrada máximo soportado en el diseño es de 100V, determinado principalmente por el capacitor variable utilizado en la etapa de entrada.

**Etapa de Amplificación: Amplificador de Instrumentación**

La etapa de amplificación de la sonda emplea un amplificador de instrumentación, cuya configuración se ha seleccionado cuidadosamente para ofrecer un ancho de banda adecuado y un alto slew rate, características críticas para la medición precisa de señales rápidas.

* **Ganancia unitaria**: Se ha optado por una configuración de ganancia unitaria, lo que permite maximizar el ancho de banda y minimizar el impacto del voltaje de offset en la señal medida. Esta configuración es especialmente útil en aplicaciones donde se requiere una respuesta rápida y precisa.
* **Integración en el diseño**: El circuito integrado seleccionado agrupa tres amplificadores operacionales en un solo encapsulado, lo que optimiza el uso del espacio en la PCB y simplifica las conexiones internas, reduciendo así posibles puntos de ruido e interferencia.
* **Criterios de selección**: Se ha elegido un amplificador con un ancho de banda adecuado para señales de alta frecuencia y con un alto índice de rechazo en modo común (CMRR), mejorando la precisión en entornos de alto ruido.

**Alimentación y Encendido**

El diseño utiliza una fuente de alimentación dual ±6V para garantizar un rango adecuado de operación sin afectar la señal medida. Además, se ha incluido un indicador de encendido mediante un LED conectado a la alimentación positiva, permitiendo una verificación visual rápida del estado de operación de la sonda.

**Conexión y Compatibilidad**

Para garantizar una conexión confiable con el osciloscopio, se ha utilizado un conector BNC en la salida de la sonda, lo cual facilita su uso con la mayoría de los equipos estándar en laboratorios. La estructura modular del diseño también permite futuras actualizaciones o modificaciones, facilitando la mejora del circuito en función de los cambios en los requisitos de medición o en la tecnología disponible.

**Diseño de la PCB**

La PCB de la sonda diferencial fue diseñada con un enfoque en minimizar la interferencia y el ruido, logrando una disposición que optimiza el rendimiento de cada etapa del circuito. Las decisiones de diseño aseguran que la sonda tenga la mejor precisión y estabilidad posibles para aplicaciones de medición de señales. A continuación, se detallan los aspectos claves del diseño de la PCB.

**Dimensiones y Formato**

La PCB tiene unas dimensiones de 60 mm x 43 mm, un tamaño compacto que facilita la integración en un laboratorio y el uso en entornos de prueba. El diseño es de doble capa, permitiendo una distribución eficiente de las pistas y la implementación de planos de tierra adecuados para minimizar el ruido.

**Reglas de Diseño**

Para asegurar un diseño fiable y con alta integridad de señal, se establecieron ciertas reglas de diseño en cuanto a las dimensiones de las pistas, los espacios mínimos y las especificaciones de los *vias*. Estas reglas permiten un equilibrio entre el espacio en la PCB y la capacidad de las pistas para conducir señal y potencia sin interferencias. Las reglas definidas son las siguientes:

* **Ancho de Pista (Track Width)**: 0.5 mm (mínimo).  
  Un ancho de pista de 0.5 mm asegura que las líneas de potencia y señal puedan transportar la corriente necesaria sin generar excesiva resistencia o caída de voltaje. Este ancho es adecuado para señales de baja corriente y asegura un buen manejo de las señales críticas en el circuito.
* **Espaciado (Clearance)**: 0.152 mm (mínimo).  
  Este valor mínimo de 0.152 mm entre pistas permite que el diseño mantenga la integridad de señal al reducir el riesgo de cortocircuitos y diafonía (crosstalk) entre las pistas. Este espaciado cumple con las especificaciones estándar de fabricación para evitar problemas de aislamiento entre señales de diferente potencial.
* **Diámetro del *Via* (Via Diameter)**: 0.6 mm (mínimo).  
  Los *vias* con un diámetro mínimo de 0.6 mm permiten una buena conexión entre las capas superior e inferior de la PCB. Este tamaño es lo suficientemente grande para facilitar la transferencia de corriente sin causar una pérdida significativa de señal, y asegura una fabricación fiable.
* **Diámetro de Taladro del *Via* (Via Drill Diameter)**: 0.5 mm (mínimo).  
  El diámetro de taladro de 0.5 mm asegura que el *via* sea capaz de transferir la corriente necesaria entre las capas de la PCB sin comprometer la integridad mecánica. Este tamaño es estándar en la mayoría de los fabricantes y permite el uso de *vias* con un costo optimizado.
* **Longitud de Pista (Track Length)**: 0.5 mm (máxima para pistas cortas y sensibles).  
  Las pistas que llevan señales de alta frecuencia o sensibles al ruido están diseñadas para ser lo más cortas posible, con un máximo de 0.5 mm en estas zonas críticas. Esto minimiza la inductancia y la resistencia en estas pistas, lo que reduce el riesgo de interferencia de señal y asegura que las señales se mantengan estables.

**Distribución de Componentes**

La distribución de los componentes en la PCB se ha realizado de manera que cada etapa del circuito esté aislada y bien organizada:

1. **Alimentación**:

La sección de alimentación dual, que incluye el conector U4 y el interruptor SW1, se encuentra en un área dedicada de la PCB. Esto asegura que las líneas de voltaje positivo y negativo estén bien distribuidas y alejadas de las señales sensibles.

Se ha añadido un LED de encendido, ubicado cerca del conector de alimentación, para facilitar la verificación visual del estado de encendido de la sonda.

1. **Etapa de Atenuación (Entrada)**:

La red de resistencias y capacitores de la etapa de atenuación, junto con el interruptor SW2 para seleccionar entre los modos de 1X y 10X, se encuentra cerca de la entrada de la señal. Esta proximidad minimiza el recorrido de la señal de entrada, reduciendo así el riesgo de captación de ruido antes de entrar a la etapa de amplificación.

1. **Amplificador de Instrumentación**:

El amplificador de instrumentación está ubicado en el centro de la PCB, rodeado por planos de tierra para mejorar la inmunidad al ruido y mantener una señal limpia.

Se han utilizado pistas cortas y anchas para las conexiones de los pines de entrada y salida del amplificador, minimizando la resistencia de la pista y evitando la caída de señal.

Además, los capacitores de desacoplo (C3 y C4) están posicionados cerca de los pines de alimentación del amplificador, estabilizando la tensión de alimentación y reduciendo el ruido inducido.

1. **Conector de Salida (BNC)**:

La salida de la sonda está conectada a un conector BNC, ubicado en el borde de la PCB para facilitar la conexión con el osciloscopio. Este diseño minimiza el recorrido de la señal desde el amplificador de instrumentación hasta el BNC, evitando la introducción de ruido en esta etapa crítica.

**Ruteo y Planos de Tierra**

* **Pistas de Señal**: Las pistas de señal de alta frecuencia están diseñadas para ser lo más cortas y rectas posibles, lo que minimiza la inductancia y mejora la respuesta en frecuencia.
* **Planos de Tierra**: La PCB cuenta con un plano de tierra en ambas capas, asegurando que todos los componentes críticos tengan una referencia de tierra estable. Esto reduce el ruido en modo común y mejora el rechazo de interferencias.
* **Desacoplo**: Los capacitores de desacoplo están distribuidos estratégicamente para filtrar el ruido en la alimentación de cada etapa, evitando la propagación de interferencias a través de la alimentación.

**Aislamiento de Señales**

Para evitar la diafonía (crosstalk) entre señales sensibles, se ha mantenido una distancia adecuada entre las pistas de alta frecuencia y las líneas de alimentación. Además, la separación entre la etapa de entrada y la de amplificación reduce el riesgo de interferencia cruzada entre estas secciones.

**Grosor de las Pistas y Capas**

* **Pistas de Potencia**: Las pistas de potencia (±V y GND) son más gruesas para reducir la resistencia y mejorar la capacidad de entrega de corriente, asegurando una alimentación estable a todas las partes del circuito.
* **Pistas de Señal**: Las pistas que llevan la señal de entrada y salida están diseñadas para ser lo suficientemente anchas como para soportar la corriente necesaria sin interferencia, pero lo suficientemente delgadas para mantener el espacio en la PCB.

**Sección de Costos**

**Costo de Fabricación y Envío de PCBs**

1. **Costo de fabricación de las PCBs (5 unidades)**

* PCB prototipo de prueba: $2.00 (oferta especial).
* PCB ensamblada con la parte superior: $65.84.

**Subtotal fabricación (5 unidades):** $67.84

1. **Costo de Envío a EE.UU.:**

* Envío estimado a EE.UU.: $18.06

1. **Cupones aplicados:**

* Descuento aplicado: $10.00

**Costo total (incluyendo envío y descuento):** $75.90

**Nota:** Los costos aquí reflejan la manufactura y envío para un lote de 5 unidades de la PCB, destinado a EE.UU., basado en las especificaciones y cotización actuales de JLCPCB.