

Detector de Metales Casero: Principio de Oscilación de Batido (BFO)

Autor: EA4IPV

Fecha: 23/03/2026

Categoría: Trampas Defensivas

Etiquetas: Sin etiquetas

Detector de Metales Casero: Principio de Oscilación de Batido (BFO)

Un detector de metales por oscilación de batido (BFO, Beat Frequency Oscillator) es el tipo más sencillo de construir con componentes discretos y tiene aplicaciones directas en supervivencia: localizar objetos metálicos enterrados (herramientas, latas de conserva, munición, tuberías), encontrar clavos y tornillos en madera recuperada, o detectar cables eléctricos ocultos en paredes. El principio BFO se basa en dos osciladores que operan a frecuencias muy cercanas (por ejemplo, 100.000 Hz y 100.500 Hz); al mezclar ambas señales se produce una frecuencia de batido audible (500 Hz en este ejemplo). Cuando un objeto metálico se acerca a la bobina de búsqueda de uno de los osciladores, cambia su inductancia y desplaza su frecuencia, alterando el tono de batido de forma perceptible. Este artículo detalla el diseño completo de un detector BFO funcional con componentes estándar, capaz de detectar una moneda a 5-8 cm y un objeto grande (lata, tubería) a 15-25 cm.

Principio de funcionamiento del detector BFO

El detector BFO utiliza el fenómeno de frecuencia de batido: cuando dos señales de frecuencias f_1 y f_2 se mezclan (multiplican), se generan componentes a f_1+f_2 y f_1-f_2 . Si $f_1 = 100$ kHz y $f_2 = 100,5$ kHz, la frecuencia diferencia es 500 Hz, un tono audible. Un filtro pasa-bajos elimina la componente de suma (200,5 kHz) y deja solo el batido audible.

Oscilador de búsqueda: Genera una frecuencia fija determinada por un circuito LC (bobina + condensador). La bobina de búsqueda es la inductancia L del circuito. La frecuencia de oscilación sigue la fórmula de Thomson: $f = 1 / (2\pi\sqrt{LC})$. Con $L = 250$ μ H y $C = 10$ nF: $f = 1 / (2\pi\sqrt{(250 \times 10^{-6} \times 10 \times 10^{-9})}) = 100,7$ kHz.

Oscilador de referencia: Genera una frecuencia fija muy próxima a la del oscilador de búsqueda. Usa una bobina pequeña blindada (o toroidal) cuya inductancia no se ve afectada por objetos externos. Se ajusta con un condensador variable (trimmer) para fijar la frecuencia de batido inicial en 300-1.000 Hz.

Efecto del metal en la frecuencia: Los metales ferrosos (hierro, acero) aumentan la inductancia de la bobina de búsqueda (concentran el campo magnético), reduciendo la frecuencia del oscilador y cambiando el tono de batido hacia graves. Los metales no ferrosos (cobre, aluminio, oro, plata) inducen corrientes parásitas (Foucault) que crean un campo opuesto, reduciendo la inductancia efectiva: la frecuencia sube y el tono de batido sube hacia agudos.

Discriminación básica: Esta diferencia de comportamiento permite una discriminación rudimentaria: si el tono baja, es ferroso; si sube, es no ferroso. Sin embargo, la discriminación en un BFO es limitada comparada con detectores de inducción por pulsos (PI) o VLF comerciales.

Osciladores Colpitts con transistores

El circuito oscilador Colpitts es ideal para el detector BFO porque es estable, fácil de construir y funciona bien en el rango de 50-200 kHz. Utiliza un transistor NPN (2N2222A o BC547B), una bobina y dos condensadores en la red de realimentación.

Componente

Oscilador de búsqueda

Oscilador de referencia

Transistor

2N2222A (NPN)

2N2222A (NPN)

Bobina (L)

250 μ H (bobina de búsqueda)

220 μ H (toroidal blindada)

C1 (colector-base)

10 nF poliéster

10 nF poliéster

C2 (base-emisor)

10 nF poliéster

10 nF poliéster

C_serie equivalente

5 nF (C1 y C2 en serie)

5 nF

Frecuencia resultante

$$f = 1/(2\pi\sqrt{(250\mu\text{H}\times 5\text{nF})}) \approx 142 \text{ kHz}$$

$$f = 1/(2\pi\sqrt{(220\mu\text{H}\times 5\text{nF})}) \approx 152 \text{ kHz}$$

Trimmer de ajuste

—

5-60 pF cerámico (para sintonizar)

Resistencia de base

47 k Ω

47 k Ω

Resistencia de emisor

1 k Ω

1 k Ω

Resistencia de colector

2,2 k Ω

2,2 k Ω

La polarización del transistor establece $I_c \approx 2$ mA con V_{cc} de 9 V. La realimentación positiva a través del divisor capacitivo C1-C2 sostiene la oscilación. Los condensadores deben ser de film (poliéster o polipropileno) porque los cerámicos tienen coeficiente de temperatura alto que causa deriva de frecuencia. El trimmer cerámico en el oscilador de referencia permite ajustar la frecuencia de batido inicial.

Construcción de la bobina de búsqueda

La bobina de búsqueda determina la sensibilidad y la profundidad de detección. Para un detector BFO de propósito general, un diámetro de 15-20 cm ofrece buen compromiso entre profundidad y sensibilidad a objetos pequeños.

Parámetro

Bobina pequeña (10 cm)

Bobina media (20 cm)

Bobina grande (30 cm)

Diámetro

10 cm

20 cm

30 cm

Espiras (hilo esmaltado 0,4 mm)

30 espiras

25 espiras

20 espiras

Inductancia aproximada

150 μ H

250 μ H

350 μ H

Detección de moneda

3-5 cm

5-8 cm

6-10 cm

Detección de lata de conserva

8-12 cm

15-25 cm

20-35 cm

Mejor para

Objetos pequeños superficiales

Uso general

Objetos grandes profundos

Bobinado: Enrollar el hilo esmaltado de 0,4 mm (AWG 26) sobre un soporte circular rígido (aro de plástico, trozo de tubo de PVC, marco de madera contrachapada). Las espiras deben estar juntas y uniformes. Fijar con cola termofusible o cinta aislante cada cuarto de vuelta para evitar que se muevan.

Blindaje electrostático (Faraday shield): Envolver la bobina con papel de aluminio dejando un hueco de 1 cm (gap) para no crear una espira cortocircuitada. Conectar el blindaje a la masa del circuito. Este blindaje reduce drásticamente la sensibilidad a interferencias eléctricas (líneas de alta tensión, fluorescentes) sin afectar la sensibilidad a metales, ya que estos interactúan con el campo magnético que atraviesa el blindaje.

Fijación y rigidez: Una vez bobinada y blindada, impregnar la bobina con resina epoxi o barniz aislante y dejar secar 24 horas. La rigidez mecánica es crítica: cualquier movimiento de las espiras cambia la inductancia y genera señales falsas. El cable desde la bobina al circuito debe ser coaxial (RG174) o al menos trenzado para minimizar captación de interferencias.

Mezclador, filtro de audio y salida

Las señales de ambos osciladores se mezclan para producir la frecuencia de batido audible. El mezclador más simple es un transistor en configuración de emisor común donde una señal entra por la base y la otra se inyecta en el emisor.

Mezclador con transistor: Un 2N2222A con la señal del oscilador de búsqueda acoplada a la base mediante un condensador de 100 pF y la señal del oscilador de referencia inyectada en el emisor mediante otro condensador de 100 pF. La no linealidad del transistor genera productos de mezcla (suma y diferencia). La resistencia de colector de 10 k Ω y un condensador de 10 nF a masa forman un filtro pasa-bajos con frecuencia de corte $f = 1/(2\pi \times 10.000 \times 10 \times 10^{-9}) = 1.592$ Hz, que elimina las componentes de alta frecuencia y deja solo el batido audible.

Amplificador de audio de salida: La señal de batido filtrada (típicamente 10-50 mV) se amplifica con una etapa de emisor común (BC547B, $R_c = 4,7$ k Ω , ganancia ≈ 50) seguida de un emisor-seguidor (BD139) que alimenta un auricular de 32 Ω o un altavoz pequeño de 8 Ω a través de un condensador de 100 μ F. Para mayor volumen, añadir un LM386 como etapa final.

Control de volumen y tono: Un potenciómetro logarítmico de 10 k Ω entre el filtro pasa-bajos y el amplificador de audio actúa como control de volumen. Un segundo potenciómetro de 50 k Ω en serie con un condensador de 1 nF entre colector y base de la etapa amplificadora ajusta el tono, atenuando frecuencias altas para hacer más cómoda la escucha prolongada.

Indicador visual: Conectar un LED con resistencia de 470 Ω en el colector de la etapa amplificadora de

audio proporciona indicación visual: el LED parpadea al ritmo de la frecuencia de batido. A frecuencias bajas (

Calibración y estabilización térmica: El detector BFO necesita un calentamiento de 5-10 minutos para que los osciladores se estabilicen térmicamente. Durante este tiempo, la frecuencia de batido deriva y el detector da señales falsas. Después del calentamiento, ajustar el trimmer del oscilador de referencia para obtener un tono de batido de 300-500 Hz (un tono cómodo de escuchar). Recalibrar si la temperatura ambiente cambia significativamente (entrar/salir de un edificio, cambio de sol a sombra).

⚠ Advertencia: Esta información es orientativa y educativa. En situaciones de emergencia real, consulte a profesionales cualificados siempre que sea posible. No ponga en riesgo su vida ni la de otros sin la formación adecuada.