

GUIA 16 : Un receptor de Radio AM

Objetivos: estudiar un receptor de radio AM básico

Introducción : en este experimento, se verá como podemos usar un circuito LC para obtener un sintonizador de radio. Como se vió en el experimento anterior, un circuito LC muestra resonancia y esta respuesta en frecuencia es lo esencial para obtener un sintonizador de radio.

Los componentes de un receptor de radio simple: las ondas de radio son una forma de radiación electromagnética, como la luz pero a una frecuencia menor. En virtud de la Ley de Faraday, sobre un trozo de conductor, se induce un voltaje a la misma frecuencia que la de la radiación que indujo este voltaje. Esta es la más simple antena, atrapa algo de la energía de la onda de radio. Una antena como esta no es selectiva, es igualmente eficiente para recibir un amplio rango de estaciones de radio como también ruido eléctrico.

Un circuito LC, esta vez conectado en paralelo, permite “filtrar” la estación de radio de una frecuencia particular, rechazando otras frecuencias. Discrimina nítidamente entre un voltaje alterno a su frecuencia de resonancia y voltajes alternos a otras frecuencias. La frecuencia de resonancia puede ajustarse mediante un condensador variable. Basta con considerar que, para cada valor de C, podemos tener un distinto valor de frecuencia, usando un solo valor de inductancia L.

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad [0]$$

Para transmitir información usando ondas de radio, un método simple es conectar y desconectar la radio, de modo de fabricar un tren de pulsos, algo parecido a lo que se hace en la telegrafía. Mucho mejor es usar la onda de radio como una “portadora” de la señal que se desea transmitir.

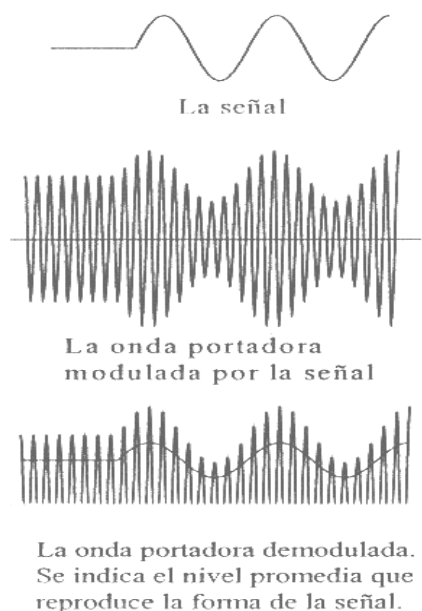


Fig. 1

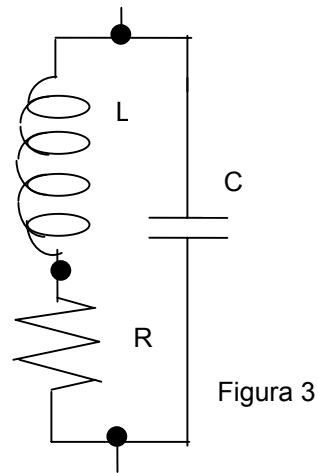
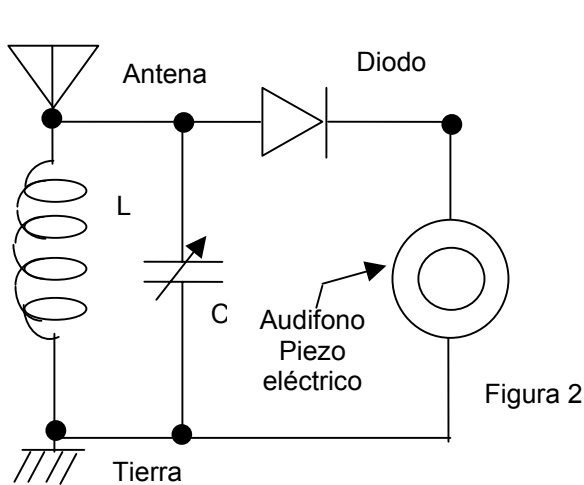
En el caso de la Amplitud Modulada (AM), la radio nunca se desconecta del todo, pero su amplitud es modulada por la señal, cuyas variaciones pueden representar voz, música, datos, etc (ver la figura 1). Esto en el transmisor; en el receptor, para rehacer la señal que habíamos transmitido, la onda de radio debe de ser “demodulada”. En la figura 1 vemos que la señal se copia a ambos lados de la portadora. Usando un diodo podemos obtener la mitad positiva o la negativa. El promedio reproduce la señal original. Aún está presente la señal portadora, la cual es de alta frecuencia. Por ejemplo, la radio Cooperativa en Santiago, emite una portadora de 760 kHz. Por otro lado, el rango de frecuencias audibles al oído humano, es de 20 a unos 18000 Hz, rango que depende de cada persona.

Normalmente se realiza un tratamiento posterior al diodo para filtrar la señal de la onda portadora de alta frecuencia. En una radio normal esto lo realiza la etapa de Frecuencia Intermedia. El resultado es que sólo queda la señal de voz o música, etc, que habíamos transmitido. Luego se procede a amplificar la señal, para aumentar el volumen de voz.

En nuestra radio AM simple (ver la figura 2), la señal pasa directo del circuito LC, al diodo que la demodula y de ahí directo al auricular piezoeléctrico. Este, no responde a la alta frecuencia pues se comporta como un condensador el cual a la alta frecuencia de la portadora, es un corto circuito y así la señal portadora pasa directo a tierra. Sólo se escucha la señal de baja frecuencia, el sonido, transmitido. A esa baja frecuencia, la impedancia Z_a del audifono, es alta y así la diferencia de potencial sobre el audifono ($V_a = I_{LC} \times Z_a$, siendo I_{LC} la corriente desde el circuito LC luego de pasar por el diodo) es un nivel débilmente audible. Por cierto la señal que escuchamos tiene bastante ruido de fondo, pero aún así esta radio funciona bien y no requiere de ninguna

fuenta externa de energía, sólo le basta la escasa energía del campo electromagnético que ha sintonizado. Se puede mejorar esta señal usando una mejor antena, etc.

El circuito resonante RLC paralelo: En el circuito de la figura 2, la inductancia L y el condensador C, están en paralelo. La inductancia es hecha de alambre y este tiene una resistencia R, todo lo cual se muestra en la figura 3.



$$Z = \frac{(R + j\omega L) \cdot \left(\frac{1}{j\omega C}\right)}{R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)} \quad [1]$$

A altas frecuencias, el condensador tiene baja impedancia y Z es pequeña. A bajas frecuencias, la inductancia tiene una impedancia pequeña y Z es de nuevo pequeña (asumiendo que R es pequeña). Se puede mostrar que en perfecta analogía al caso RLC serie, la frecuencia de resonancia

está dada por [0], en el límite $R \rightarrow 0$. Para el circuito serie Z es mínimo en ω_0 , mientras que en el circuito paralelo Z es máxima a ω_0 . El circuito paralelo presenta una resonancia en corriente, o sea, a la frecuencia ω_0 la corriente que fluye a través de L (y R) es la misma que la que fluye a través de C, pero con la fase opuesta. O sea, al sintonizar una frecuencia específica (al ajustar C a un valor específico y obtener una frecuencia de resonancia), toda la corriente inducida en la antena pasa directo al diodo!

En analogía al caso serie, el circuito paralelo tiene un factor de calidad Q dado por

$$Q = \omega_0 L / R \quad [2].$$

Como vemos en la figura 4, al aumentar R, la curva se achata. Cuando R es grande, la Z en resonancia puede ser muy grande:

$$|Z(\omega_0)| \approx Q \cdot |Z_L(\omega_0)| \approx Q |Z_C(\omega_0)| \quad [3]$$

En la figura 5, consideramos el mismo circuito RLC de la figura 3 pero se incluyen ahora la fuerza electromotriz ε inducida en la antena por las ondas de radio. ε y la impedancia de la antena (Z_{antena}) están distribuidos a lo largo de la antena. ε se divide entre Z_{antena} y Z, los cuales conforman un divisor de tensión tal que V_Z está dado por :

$$V_Z(\omega) = \varepsilon \cdot \left(\frac{Z}{Z + Z_{\text{antena}}}\right)$$

Para el amplio espectro de frecuencias que aparecen sobre la antena y dan origen a ε , la magnitud relativa de las que están en una banda estrecha alrededor de $\omega = \omega_0$, es grande. Es decir, cuando Q es grande, la impedancia cae rápidamente al alejarse de ω_0 , lo que dá lugar a una gran selectividad de frecuencias. De ahí pues que este circuito paralelo RLC sea considerado un sintonizador.

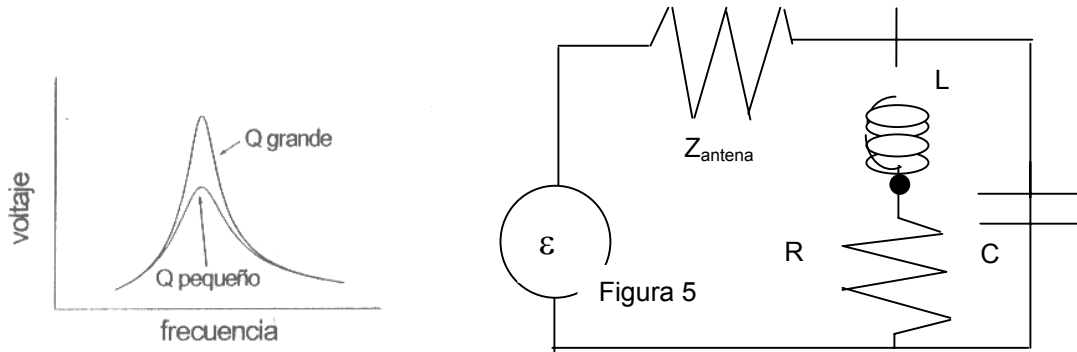


Fig. 4

Radiación de Energía Electromagnética: Recordemos las demostraciones sobre la ley de Faraday (inducción electro magnética) y Ley de Lenz (bobina de Tesla). Cuando una corriente alterna pasa por una antena transmisora, se crea un campo electromagnético que se propaga en el espacio a la velocidad de la luz, c . Esto se puede deducir a partir de las **Ecuaciones de Maxwell**.

Si una parte de la energía es captada por una antena receptora, induce una corriente en ella, de igual frecuencia a la de la señal transmitida, sólo desfasada en el tiempo requerido para propagarse desde la emisora al receptor.

Cualquier circuito por el cual pasa una corriente alterna irradia algo de energía electro magnética. La cantidad de energía irradiada, sólo es importante cuando las dimensiones físicas son de igual orden de magnitud que la **longitud de onda** de la señal, $\lambda = c/f$, siendo f la frecuencia. En Chile, la banda de onda media comprende las frecuencias entre 530 y 1620 kHz, de modo que las longitudes de onda van desde 566 a 185 metros, y las antenas deben ser muy grandes.

En nuestro experimento, nuestro receptor no cumple este requisito, con lo cual la señal audible es débil, pero aún captaremos algo debido a la proximidad de las emisoras.

Experimento:

Para limitar el efecto del osciloscopio sobre el circuito, usaremos la punta de prueba en 10x, durante todo el experimento. Ponga atención a la escala vertical al medir.

Usaremos 3 montajes separados: el primero es un circuito LC serie que denominaremos el "**transmisor**". Se distingue por un portapilas grande. El segundo es un circuito LC paralelo, en donde el condensador es variable al ajustar la perilla y está montado "al interior" de la bobina. Lo llamaremos el "**receptor**".

El tercer montaje es un LC paralelo que además contiene un diodo de cristal de germanio (o, diodo de pequeña señal), un auricular **piezoeléctrico**, y los alambres de tierra y antena. Esto es la "**radio galena**" y sólo la usaremos en la parte C.

A: Simulación de la transmisión / recepción de una señal de radio.

Montaje A: El generador de señales se conecta a un extremo de la bobina y un extremo del condensador del transmisor (LC serie). El canal 1 es la señal del generador, es un conector BNC normal. El canal 2, es la punta de prueba del osciloscopio en 10X y se conecta sobre el C. Las tierras de ambos canales deben coincidir.

Medida A1: Ajuste la perilla de frecuencia del generador, que entrega una señal sinusoidal en el rango de 1Mhz, hasta encontrar la frecuencia de resonancia del transmisor. Esto ocurre cuando la amplitud de la señal sobre C pasa por un máximo. A ese máximo, ajuste el potencial sobre el circuito LC serie a unos 2 Vpp y mida la frecuencia de resonancia. Note que esto es una repetición de lo realizado en el experimento 8. Determine el factor de calidad Q del transmisor.

Sin variar la frecuencia del generador que está en el valor de resonancia, con la punta de prueba del osciloscopio (canal 2), mida la diferencia de potencial sobre el circuito LC paralelo del receptor (son los puntos “a” y “b” en el montaje). El receptor está cerca y enfrentando al transmisor (coaxiales). Use el modo ALT o BOTH del osciloscopio, para ver ambos canales, las señales de transmisor (canal 1) y receptor (canal 2).

Ajuste la perilla del condensador variable en el receptor y observe el cambio en las amplitudes de ambos canales. Note que, para el máximo de amplitud en el canal 2, el canal 1 (emisor) pasa por un mínimo. El receptor está “consumiendo” energía del transmisor. Luego de jugar con la perilla del sintonizador para observar que ocurre, vuelva a aquella posición del sintonizador en la cual la amplitud en el canal 2 (receptor) es máxima.

Medida A2: Coloque un trozo de papel o bien un cuaderno, entre emisor y receptor. Observe las amplitudes relativas de los canales 1 y 2. A continuación, coloque un trozo de papel aluminio o una placa metálica entre emisor y receptor y observe las amplitudes relativas. Qué ocurre? Lo que se observa es el efecto de **blindaje** que, sobre una señal electromagnética, tiene un trozo de material conductor. El campo magnético apunta en la dirección del eje de la bobina del emisor. El campo eléctrico es perpendicular al magnético. El campo eléctrico llega paralelo al plano del papel aluminio, mientras que el magnético llega perpendicular. Este último puede atravesar parcialmente el conductor, pero el campo eléctrico se anula ya que, por condiciones de borde, el campo eléctrico en la superficie de un conductor neutro es cero!

Medida A3: Cambie las posiciones relativas de emisor y receptor: separelos longitudinal y lateralmente, gírelos y vea siempre el efecto sobre las amplitudes de las señales en los canales 1 y 2.

Análisis A: Haga un resumen de sus observaciones. Procure ordenar sus datos, haga los dibujos que estime necesarios, etc. Observación: si la señal del canal 1 se distorsiona, puede ser debido a que no usamos allí una punta de osciloscopio adecuada. Por otro lado lo más importante no es medir sino que observar las amplitudes y fases relativas.

Parte B: Rango de sintonización del receptor

Montaje B: Use el circuito de la figura 5; sólo usaremos el receptor esta vez. Z_{antena} es una resistencia de $100k\Omega$ y ε es el generador de señales. Observe el voltaje entre “a” y “b” con el canal 2 del osciloscopio. La punta de prueba debe estar en 10X. La idea de la resistencia es simular que el receptor está muy lejos de la fuente o, análogamente, que la antena del receptor es muy mala.

En esas condiciones uno quiere saber que rango de frecuencias es posible sintonizar.

Medida B: Gire la perilla de ajuste de condensador variable hasta un extremo. Ahora ajuste la frecuencia del generador (que hasta ahora estuvo en la frecuencia de resonancia del emisor) y mida V_{LC} para encontrar la frecuencia de resonancia para ese valor de C. Después, ajuste la perilla del variable al otro extremo y busque la nueva frecuencia de resonancia.

Análisis B: ¿Es apropiado este circuito como receptor de estaciones de la banda de onda media con frecuencias entre 530 y 1620 kHz?

Parte C: Recepción de estaciones de radio AM.

Montaje C: Dejamos de lado el receptor anterior y usamos el montaje que teníamos aparte y que ya incluye el diodo de germanio, un condensador variable de buena calidad, alambres para antena y tierra y un auricular piezo eléctrico. La antena es un trozo de alambre de unos 2-3 metros de largo. La tierra es un alambrito corto que se conecta con una banana al conector central del enchufe eléctrico. Tenga cuidado de no equivocarse el lugar de conexión.

Medida C: Escuche cuidadosamente con el audífono mientras va girando suave y lentamente la perilla del condensador variable. Recuerde que la única energía que le llega a la radio, es la energía que la antena recibió de la onda radial. Note que al apoyar la mano sobre la bobina, la sintonía puede mejorar un poco. El volumen que se escucha es muy bajo. Con suerte encontrará una o dos estaciones. Es posible que no resulte, seguramente habrá mucho ruido en el laboratorio a la hora en que se hará el experimento. Si logró encontrar una estación, observe V_{LC} con el osciloscopio.

Si usa un tiempo largo (digamos 0.5 ó 1ms en la escala horizontal del osciloscopio), debería observar una señal modulada en amplitud como la de la figura 1, pero ruidosa y con rápidas variaciones en el tiempo.

Realice esa observación para asimilar el concepto de amplitud modulada. Mientras lo hace, puede variar el condensador variable para ubicar una nueva emisora.

A continuación, se puede usar un tiempo corto (digamos 0.5 ó 1 μ s en la escala horizontal del osciloscopio) y entonces debería ser posible observar una señal sinusoidal, que se vé borrosa debido a las variaciones de la amplitud, pero con frecuencia fija. Mida esta frecuencia y compárela con alguna de las de la siguiente lista de emisoras que hay en Santiago, por ejemplo: 570, 660, 760, 1060, 1140, 1180 y 1380 kHz. Tal vez ud. pueda incluso ubicar otra emisora que no está en esta lista. ¿Cuántas estaciones puede localizar? (si sólo sintoniza una, está bien).

Se puede hacer el procedimiento inverso. Sin escuchar con el auricular, busque las estaciones sólo con ayuda del osciloscopio y al encontrar una señal adecuada, intente escuchar (además de medir la frecuencia de la portadora).

Tal vez se puede mejorar algo la recepción agregando una antena más larga. Eso en el caso de usar sólo alambre y un núcleo de aire.

¿Qué ocurriría si usamos una antena de alambre enrollado en torno a un núcleo ferromagnético? Considere el experimento 6 del transformador, recuerde que ocurría al desarmar el transformador, al sacarle el núcleo de hierro.

Análisis C: Están de acuerdo las frecuencias de aquellas radios que ud. pudo sintonizar con las de la lista anterior? Que ocurre al enrollar la antena versus al estirar la misma? Qué ocurre si el alambre estirado que hace de antena se deja caer al suelo? Notó alguna diferencia en la recepción al tocar con su mano la bobina del receptor? Qué ocurre si desconecta la tierra (desconectando la banana desde el enchufe)?