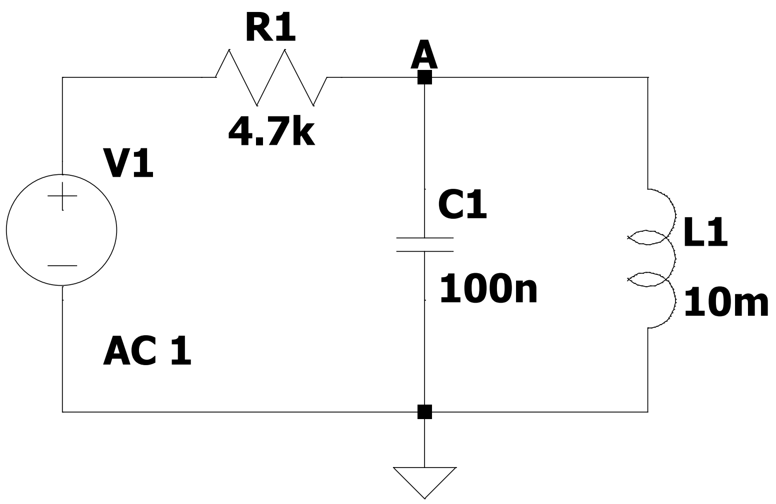
Práctica 5: Caracterización de un filtro RCL

TRABAJO PREVIO (Simulación LTSpice y cálculos teóricos)

ES IMPRESCINDIBLE ENTREGAR AL PROFESOR EL TRABAJO PREVIO IMPRESO AL INICIO DE LA SESIÓN CORRESPONDIENTE. EN CASO CONTRARIO, NO SE PODRÁ COMENZAR LA PRÁCTICA DE LABORATORIO HASTA HABERLO HECHO Y LA CALIFICACIÓN MÁXIMA DE LA SESIÓN SERÁ 5 PUNTOS.

a. Dibuje el circuito 1 con los valores de componentes mostrados en la figura. Fije una amplitud de 1V en el análisis de pequeña señal AC.



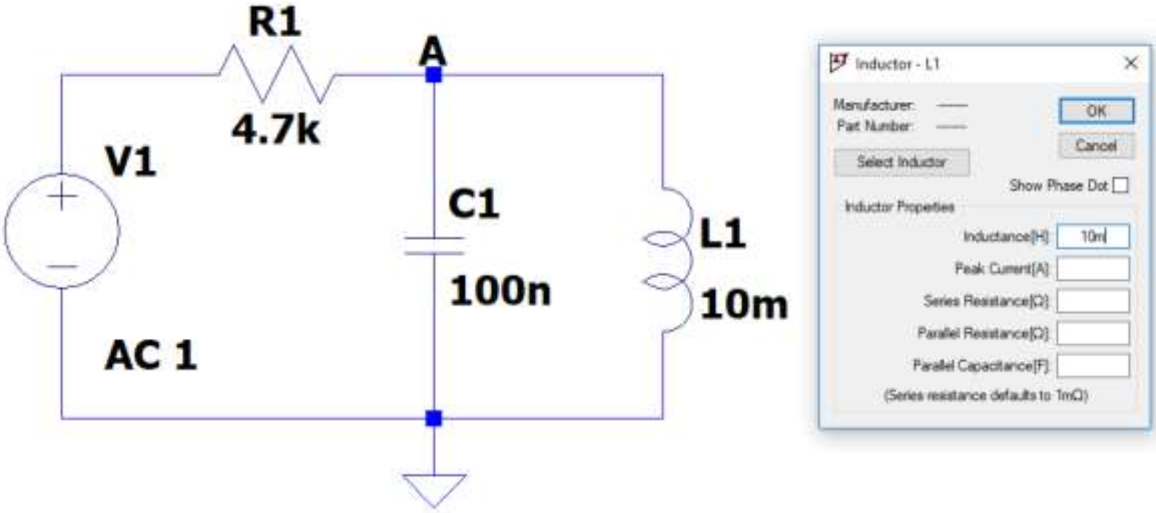
Circuito 1

b. Cree un perfil de simulación de análisis en alterna, y realice un barrido en frecuencias desde 1Hz hasta 1MHz. Represente la señal en el nodo A. Dado que la amplitud de la tensión sinusoidal es de 1V, la traza generada automáticamente por LTspice en el nodo A coincide con la función ganancia de tensión.

c. Compare los valores de la ganancia expresada en decibelios ($20\log|V(A)|$) y la fase de la señal $\phi(V(A))$ obtenidos mediante la simulación con los obtenidos teóricamente. Haga esta comparación para una serie discreta de frecuencias (por ejemplo, 10, 10^2, 10^3, 10^4 y 10^5 Hz) ¿A qué tipo de filtro se asemeja el comportamiento en alterna observado en nuestro circuito?

Dado que en el montaje experimental utilizaremos elementos reales, y no ideales, deberemos tener en cuenta el efecto de las desviaciones en su comportamiento para predecir su influencia en la respuesta del circuito. En concreto, junto con las tolerancias de los valores nominales de los componentes pasivos, uno de los efectos más evidentes será el de la resistencia que presenta la bobina al paso de una corriente continua y que en nuestro caso puede tomar un valor máximo de unos 40Ω (en serie).

d. En la descripción de los parámetros de la bobina (click con el botón derecho sobre el elemento) se puede modificar esa resistencia en continua por medio del parámetro R_s, como se muestra en el Circuito 2. Introduzca el valor de $40\ \Omega$ en para la resistencia serie.



Circuito 2

e. Repita la simulación anterior y compare los resultados obtenidos anteriormente al suponer una inductancia ideal ¿Por qué se observa en la curva de la ganancia un *plateau* a unos -40dB en la región de bajas frecuencias, y no en la de altas? Observe: $20\log(40/4740) = -41.96dB$. Reflexione sobre los comportamientos de las impedancias del circuito a muy bajas y a muy altas frecuencias.

PARA LA REALIZACIÓN DE ESTA PRÁCTICA SERÁN NECESARIAS LAS BOLSAS DE CABLES 1 Y 2.

MONTAJE EXPERIMENTAL

Monte el circuito 1 con $R1 = 4.7\mathrm{k}\Omega, C1 = 100\mathrm{nF}\ y\ L1 = 10\mathrm{mH}$. La señal de tensión sinusoidal V1 se obtiene del terminal Output del generador de funciones, fijando inicialmente una amplitud de 1V y variando su frecuencia. Con el cable BNC-banana conectaremos la señal a la entrenadora.

Varíe la frecuencia del generador desde 50 Hz hasta 500 KHz logarítmicamente. Utilice los dos canales del osciloscopio y mida la amplitud de V1 (V_1), la amplitud de la tensión entre los nodos A y B (V_{AB}) y el desfase temporal de ambas señales para cada una de las frecuencias.

Calcule el cociente A_v entre las amplitudes V_{AB} y V_1 ($A_v = V_{AB}/V_1$) Finalmente, convierta el desfase temporal a grados o radianes. Con esos datos se debería poder rellenar una tabla como la siguiente:

frecuencia (Hz)	V_1 (V)	V_{AB} (V)	A_v	δt (s)	ϕ (°)
…	…	…	…	…	…
…	…	…	…	…	…
…	…	…	…	…	…
…	…	…	…	…	…
…	…	…	…	…	…
…	…	…	…	…	…

a) Represente los valores experimentales de la ganancia de tensión A_v (en decibelios) y del desfase ϕ (en grados) en función de la frecuencia utilizando una escala logarítmica.

b) Determine la frecuencia natural del filtro (f_0), el valor de la ganancia máxima ($A_v^{max} = A_v(f_0)$), las frecuencias de corte inferior y superior y el ancho de banda para el circuito paso banda.

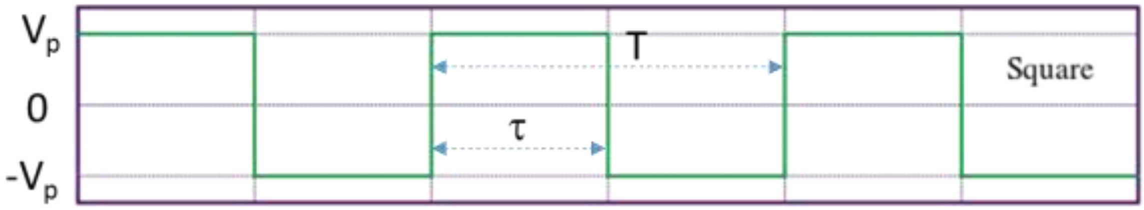
Compare los resultados obtenidos experimentalmente con los que se obtienen del análisis teórico y de la simulación con LTspice.

A continuación, utilizaremos la propiedad del filtro de "amplificar" selectivamente las ondas en función de su frecuencia para estudiar el desarrollo en serie de Fourier de una onda periódica, en particular de una onda cuadrada.

Una señal alterna cuadrada puede describirse matemáticamente como:

$$v(t) = \begin{cases} V_p & si\ nT < t < nT + \tau \\ -V_p & si\ nT + \tau < t < (n+1)T \end{cases}$$

donde n es un número natural ($n = 0, 1, 2, 3, \ldots$) siendo V_p es el valor de pico (la amplitud) de la señal y τ el tiempo que la señal permanece a nivel alto. En el caso de la señal cuadrada simétrica τ es igual a $T/2$.



La onda cuadrada es una función periódica de período T y se verifica:

$$v(t) = v(t + T)$$

Una formulación alternativa de la onda cuadrada simétrica ($\tau = T/2$) se obtiene mediante la "función signo" aplicada a la sinusoidal de período T:

$$v(t) = V_p \cdot sgn\{sen(\omega t)\}$$

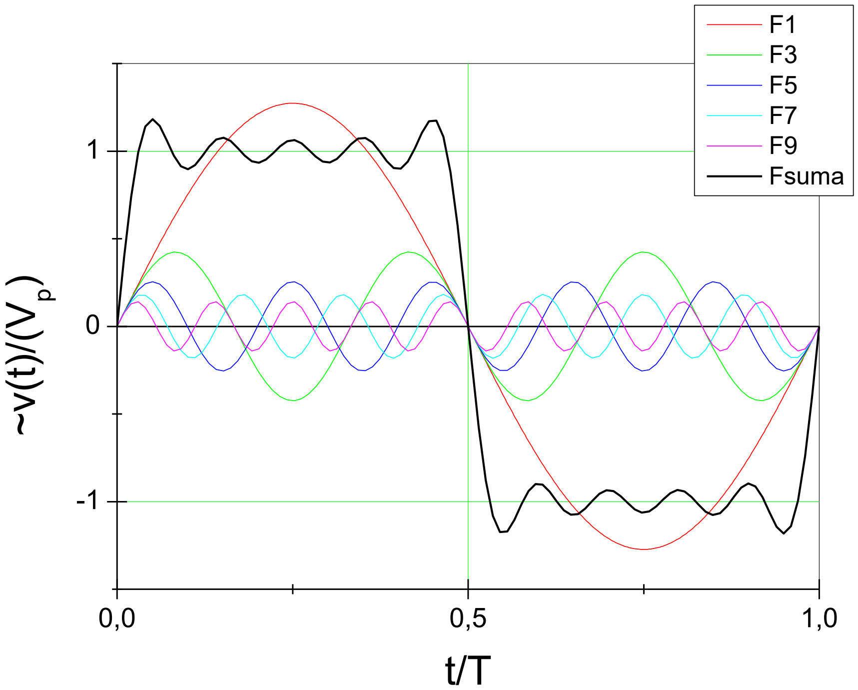
donde ω es la frecuencia angular de la señal, $\omega = 2\pi/T$.

Se puede comprobar que una onda cuadrada de frecuencia angular ω_0 se puede expresar como:

$$v(t) = V_p \sum_{k=1}^{k=\infty} \left[\frac{4}{\pi k} sen(k\omega_0 t)\right]$$

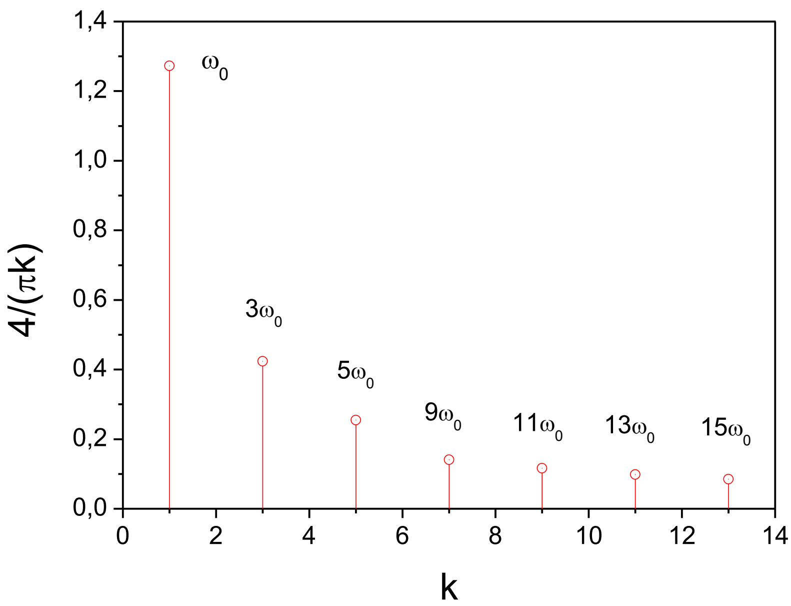
donde k toma sólo valores naturales impares. La expresión se conoce como el desarrollo en serie de Fourier de una onda cuadrada simétrica.

En la siguiente figura se representan los cinco primeros términos del desarrollo en serie. Se denotan por F_k, con $k = 1, 3, 5, 7 \; y \; 9$. Se representa también su suma $F_{suma} = F_1 + F_3 + F_5 + F_7 + F_9$



Los términos del sumatorio reciben el nombre de armónicos de la señal. A medida que se van sumando más armónicos, la forma de onda se va aproximando más a la de una onda cuadrada. Además, la amplitud de los armónicos decrece a medida que k va aumentando por efecto del factor $4/(\pi k)$ En la tabla y en la figura se muestran los valores de $4/(\pi k)$ a medida que k aumenta.

$\boldsymbol{k}$	$\boldsymbol{4/(\pi k)}$
1	1,273
3	0,424
5	0,255
9	0,141
11	0,116
13	0,098
15	0,085



A continuación, mediremos la amplitud de los armónicos de una señal cuadrada en V1 utilizando el filtro paso banda. Como no podemos incrementar la frecuencia central del filtro de forma continua con los componentes disponibles, mediremos la amplitud a la salida a medida que disminuimos la frecuencia de V1 progresivamente.

Utilizando el mismo montaje de la 1ª parte, seleccione una señal alterna de forma cuadrada para V1.

Fije la frecuencia de la onda cuadrada en el valor de la frecuencia central del filtro. Mida la amplitud de la onda V1 (V_1) y la amplitud de la onda entre A y B (V_{AB})

Fije la frecuencia de la onda cuadrada en el valor de la frecuencia central del filtro dividido por tres. En ese momento se observa un aumento de la amplitud de la onda de salida debido al filtrado selectivo del armónico de orden 3. Mida la amplitud de la onda V1 (V_1) y la amplitud de la onda entre A y B (V_{AB})

Fije la frecuencia de la onda cuadrada en el valor de la frecuencia central del filtro dividido por k. En ese momento se observa un aumento de la amplitud de la onda de salida debido al filtrado del armónico selectivo de orden k. Mida la amplitud de la onda V1 (V_1) y la amplitud de la onda entre A y B (V_{AB})

Repita las medidas hasta que la onda de salida se confunda con el ruido del sistema.

c) Con los datos medidos se debería poder rellenar una tabla como la siguiente:

orden del armónico a la salida k	frecuencia de V1 (Hz)	V_1 (V)	V_{AB} (V)	A_v	$4/(\pi k)A_v^{max}$
1	…	…	…	…	…
3	…	…	…	…	…
5	…	…	…	…	…
…	…	…	…	…	…

Las amplitudes experimentales para cada armónico serán proporcionales a $4/(\pi k)$ y a la ganancia máxima del filtro A_v^{max}, medida durante la caracterización del filtro. La última columna de la tabla permite comparar la amplitud experimental con el valor teórico esperado.

d) Discuta las desviaciones entre los valores experimentales y los valores teóricos esperados producidos por la no idealidad del filtro paso banda.

LA AUSENCIA DE UNIDADES SE PENALIZARÁ. LAS GRÁFICAS DEBEN TENER LOS EJES MARCADOS CON LAS MAGNITUDES REPRESENTADAS Y SUS UNIDADES CORRESPONDIENTES. LOS RESULTADOS OBTENIDOS DEBEN SER JUSTIFICADOS CONVENIENTEMENTE. EN CASO CONTRARIO NO SE TENDRÁN EN CUENTA.