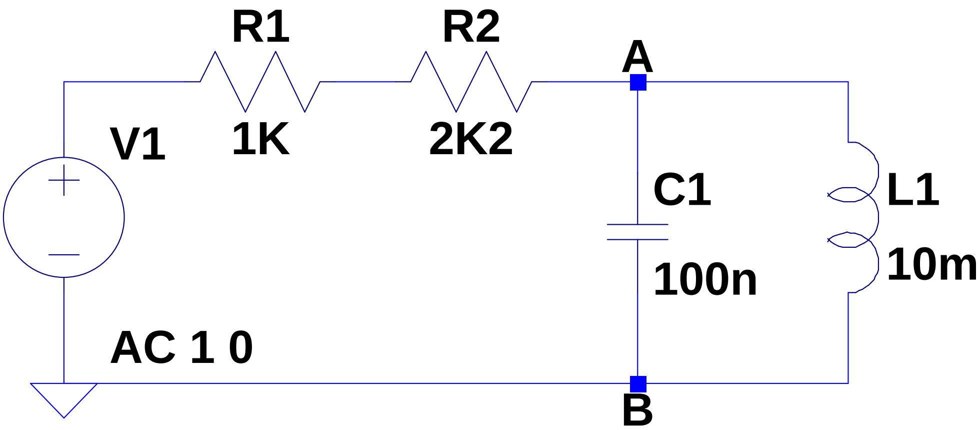
Sesión S5 - 2016/2017

1. TRABAJO PREVIO: Simulación- LTspice IV y cálculos teóricos

Es OBLIGATORIO para la realización de la práctica, realizar con anterioridad estos estudios de simulación y cálculos teóricos. ESTOS TRABAJOS TENDRÁN QUE PRESENTARSE IMPRESOS AL PROFESOR DEL GRUPO ANTES DE LA REALIZACIÓN DE LA PRÁCTICA. EN CASO CONTRARIO, LA CALIFICACIÓN DE LA SESIÓN SERÁ SUSPENSO.

1ª parte – Caracterización de un filtro RCL

Dibuja el esquema del siguiente circuito con los valores de componentes mostrados:



Fijar una amplitud de 1V y un *offset* de 0 para V1 en el análisis de pequeña señal AC.

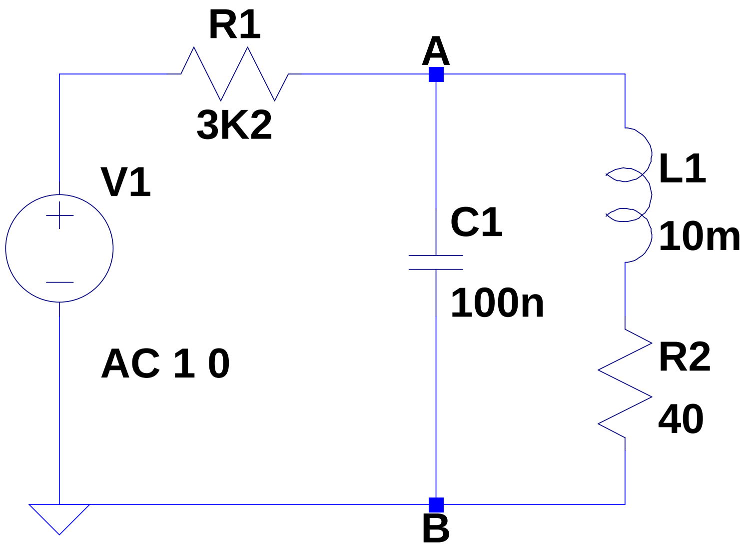
a) Crear un perfil de simulación de análisis en alterna, y realizar un barrido en frecuencias desde 1Hz hasta 1MHz. Dado que la amplitud de la tensión sinusoidal es de 1V, la traza generada automáticamente por LTspice en el nodo A coincide con la función ganancia de tensión.

   Comparar para una serie discreta de frecuencias (por ejemplo, 10, 10^2, 10^3, 10^4 y 10^5Hz) los resultados mostrados para la ganancia expresada en decibelios (20log|V(A)|) y para la fase de la señal ϕ(V(A)) con los obtenidos teóricamente de la ganancia en tensión y de la diferencia de fase entre la tensión de salida y la de entrada.

   ¿A qué tipo de filtro se asemeja el comportamiento en alterna observado en nuestro circuito?

b) 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).

   Para estudiar el efecto de la resistencia de la bobina en nuestro filtro experimental, modificad el esquema anterior de acuerdo con la siguiente figura:



Ahora la resistencia R1 es de 3,2KΩ (el equivalente serie de 1KΩ y 2,2KΩ), y la resistencia R2 se ha conectado en serie con la inductancia ideal L1 para modelizar su comportamiento real.

Repetir la simulación anterior (apartado a) y comparar los resultados obtenidos en cada caso.

¿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?

Pistas: 20·log(40/3240) = -38,2dB. Reflexionad sobre los comportamientos de las impedancias del circuito a muy bajas y muy altas frecuencias.

Nota: Para la realización de esta práctica serán necesarias las bolsas de cables 1 y 2.

2. Montaje experimental.

Construir en el panel de montajes de la entrenadora el circuito correspondiente al primero de los esquemas de este apartado (R1=1KΩ, R2=2,2KΩ, C1=100nF, L1=10mH). Para la señal de tensión sinusoidal V1 se utilizará el 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.

Variar entonces la frecuencia del generador desde 50 Hz hasta 500 KHz logarítmicamente (en décadas, $5\cdot10^1$, $6\cdot10^1$, $7\cdot10^1$, $8\cdot10^1$, $9\cdot10^1$, $1\cdot10^2$, $2\cdot10^2$, $3\cdot10^2$,… $9\cdot10^2$, $1\cdot10^3$, $2\cdot10^3$,… $9\cdot10^3$, $1\cdot10^4$, $2\cdot10^4$,… $9\cdot10^4$, $1\cdot10^5$, $2\cdot10^5$,… $5\cdot10^5$) y, utilizando los dos canales del osciloscopio, medir en función de la frecuencia la amplitud de la tensión que proporciona la fuente V1 a su salida, la amplitud de la tensión entre los nodos A y B, y el desfase temporal de ambas señales para cada una de las frecuencias.

Calcular además el cociente de las amplitudes medidas: la de la tensión entre los nodos A y B dividida por la que establece la fuente V1 ($|A_v| = |V_{AB}|/|V1|$). Finalmente, convertir el desfase temporal a grados o radianes.

Con esos datos se debería poder rellenar una tabla como la siguiente:

frecuencia (Hz)	|V1| (V)	$\|V_{AB}\|$ (V)	$\|A_v\|$	δt (s)	ϕ (º)
…	…	…	…	…	…
…	…	…	…	…	…
…	…	…	…	…	…

1. Representar los valores experimentales para la ganancia de tensión $|A_v|$ (en decibelios) y el desfase ϕ (en grados) en función de la frecuencia utilizando una escala logarítmica.

2. Comprobar que el circuito se comporta como un filtro paso banda, señalando:
   a) La frecuencia natural del filtro, f_0;
   b) El módulo de la ganancia máxima, $|A_{v,máx}|$, a la frecuencia f_0;
   c) Las frecuencias de corte, inferior y superior, y el ancho de banda del filtro;

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

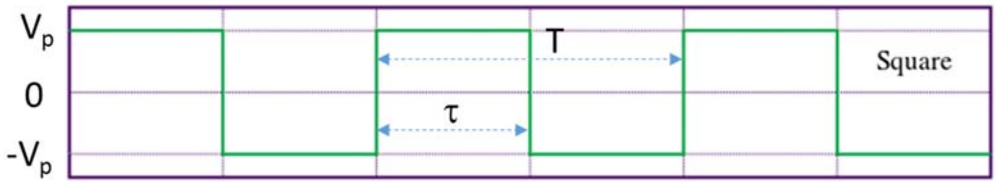
NO DESMONTAR el circuito anterior

3. Desarrollo en serie de Fourier de señales alternas

La 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,…) siendo V_p 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.



Por supuesto, T es el periodo de la señal, y por su carácter periódico verifica:

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

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

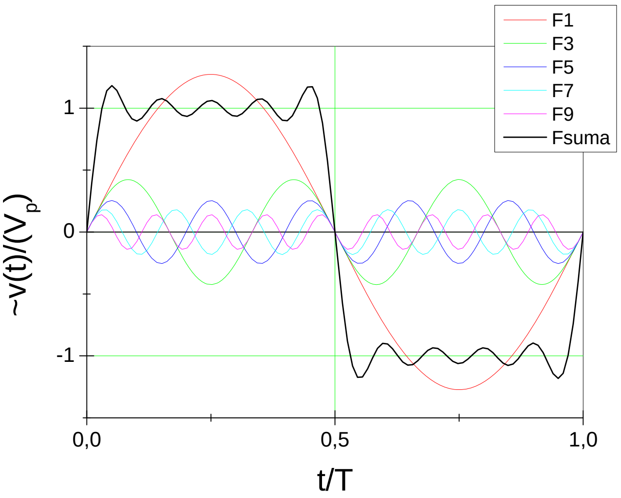
$$v(t) = V_p \cdot sgn\{sen(\omega t)\}$$

donde ω es la frecuencia angular de la señal, ω = 2π/T.

Se puede comprobar que para dicha forma de onda, el desarrollo en serie de Fourier es de la forma:

$$v(t) = V_p \sum_{k=1}^{k=\infty} \left[\frac{4}{\pi k} sen(k\omega_0 t) \right],$$ donde k toma sólo valores naturales <u>impares</u>.

En la siguiente figura se representan las cinco primeras contribuciones al desarrollo en serie (denotadas por Fk, con los valores impares de k de 1 a 9), así como su suma (Fsuma):



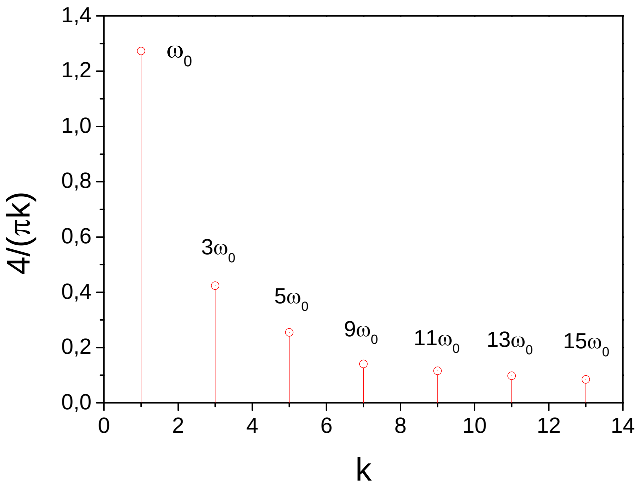
Los términos del sumatorio reciben el nombre de armónicos de la señal. De la gráfica, se puede observar que:

1) A medida que se van sumando armónicos, la forma de onda se va aproximando más a la de una onda cuadrada.
2) La amplitud de los armónicos decrece a medida que k va aumentando por efecto del prefactor 4/(πk).

En la siguiente tabla, se muestran los valores de 4/(πk) a medida que k aumenta:

k	**4/(πk)**
1	1,273
3	0,424
5	0,255
9	0,141
11	0,116
13	0,098
15	0,085

La siguiente figura muestra la representación gráfica de dichos valores:



Determinación experimental de los armónicos

Vamos a medir la amplitud de los armónicos de una señal cuadrada en V1 utilizando el filtro paso banda caracterizado. 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, seleccionar una señal alterna de forma cuadrada (en vez de sinusoidal) para V1.

Amplitud del armónico fundamental o primer armónico (ω_0, k=1). Conocida la frecuencia central del filtro, fijaremos la frecuencia de la onda cuadrada a ese valor en el generador de funciones. Estableciendo una amplitud (V_p) de 1 V en dicha onda cuadrada, medir la amplitud de la onda de salida entre A y B.

Amplitud del armónico de orden 3 o tercer armónico ($3\omega_0$, k=3). Se disminuye la frecuencia de la onda cuadrada hasta que la frecuencia sea igual a la frecuencia central del filtro dividida 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.

Amplitud de armónicos de orden k ($k\omega_0$). Se disminuye la frecuencia de la onda cuadrada hasta que la frecuencia sea igual a la frecuencia central del filtro dividida 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.

1. Realizar una tabla que incluya las amplitudes de los distintos armónicos ($|V_{AB,k}|$) hasta que la amplitud de la onda de salida se confunda con el ruido del sistema:

frecuencia de V1 (Hz)	orden del armónico a la salida del filtro **k**	$\|V_{AB,k}\|$ (V)	**$[4/(\pi k)]\cdot\|A_{v,máx}\|$**
…	…	…	…
…	…	…	…
…	…	…	…

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

2. Discutir las desviaciones entre los valores experimentales y los valores teóricos esperados producidos por la no idealidad del filtro paso banda.