



Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería en Computadores

Laboratorio de Circuitos Eléctrico - CE2201

Bitácora de Laboratorio

Datos del grupo:

Integrante(s): Ian Yoel Gómez Osés – Mauro Brenes Brenes

Profesor: Ing. Jeferson González Gómez, Dr.-Ing.

Semestre: II – 2025

Laboratorio 11. Respuesta de frecuencia de circuitos RC

1. Introducción

En este experimento se verificará la respuesta en frecuencia de circuitos RC serie, y serie-paralelo. Se estudiará el comportamiento de estos circuitos como filtros y en la evaluación se utilizarán varias representaciones de estas respuestas en frecuencia.

2. Objetivos

1. Estudiar la respuesta en frecuencia de los circuitos RC serie y serie-paralelo.
2. Obtener experimentalmente las gráficas de magnitud y fase en ambos circuitos.
3. Simular los circuitos RC serie y serie-paralelo en LTSpice haciendo un barrido de frecuencia.
4. Utilizar distintas representaciones de la respuesta en frecuencia.

3. Cuestionario previo

1. Simule los circuitos en las figuras 11.1 y 11.2 haciendo un barrido de frecuencia de 1 Hz a 100 kHz. Obtenga los gráficos respectivos en escala semi-logarítmica para la tensión y la fase en la resistencia y en el condensador.
Si utiliza LTSpice, utilice el componente voltage como fuente, en donde debe seleccionar la función SINE, y para permitir el análisis de respuesta en frecuencia debe indicar al menos la amplitud en Small signal AC analysis(.AC). Debe configurar el barrido de frecuencia en Simulate→Edit Simulation Cmd→AC Analysis.
2. ¿Cuál es la utilidad práctica o aplicación del circuito RC serie de la figura 11.1 investigado en función de la frecuencia?
3. ¿Cómo se denomina el circuito según la salida se toma en el condensador o en la resistencia?
4. ¿Cuál es la utilidad práctica del circuito RC serie-paralelo (Wien) en la figura 11.2?
5. Defina frecuencia de corte y ancho de banda.
6. Investigue sobre la unidad dB y su aplicación en la graficación de la respuesta en frecuencia de sistemas, como los dos circuitos utilizados en el laboratorio.

1. Cuestionario previo

- Simule los circuitos en las figuras 11.1 y 11.2 haciendo un barrido de frecuencia de 1 Hz a 100 kHz. Obtenga los gráficos respectivos en escala semi-logarítmica para la tensión y la fase en la resistencia y en el condensador. Si utiliza LTSpice, utilice el componente voltage como fuente, en donde debe seleccionar la función SINE, y para permitir el análisis de respuesta en frecuencia debe indicar al menos la amplitud en Small signal AC analysis(.AC). Debe configurar el barrido de frecuencia en Simulate->Edit Simulation Cmd->AC Analysis.

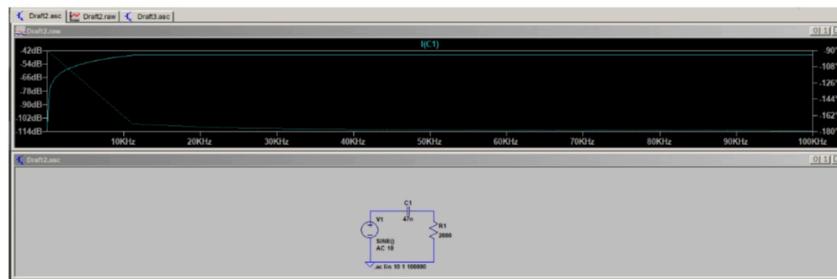


Figura 1. Barrido en el condensador en serie (11.1)

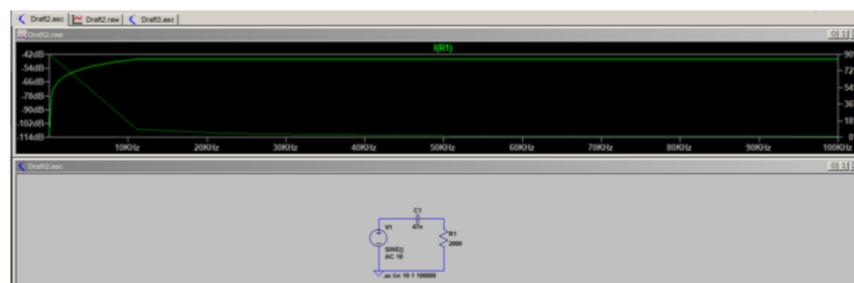


Figura 2. Barrido en la resistencia en serie (11.1)

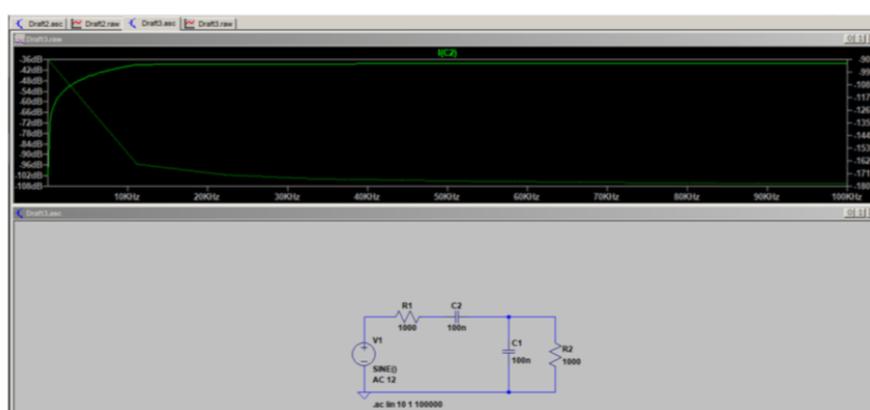


Figura 3. Barrido en el condensador en serie (11.2)

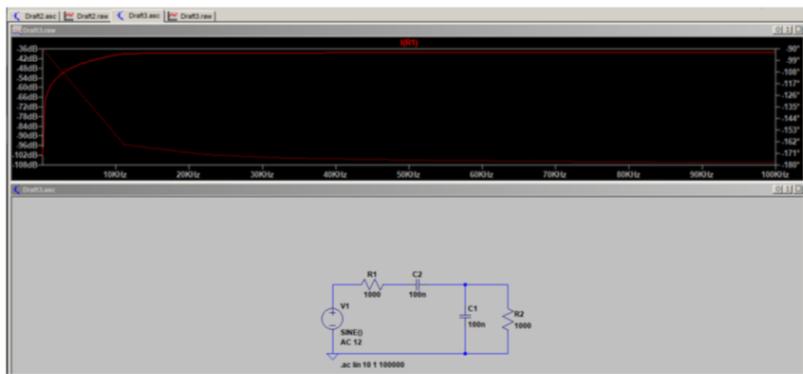


Figura 4. Barrido en la resistencia en serie (11.2)

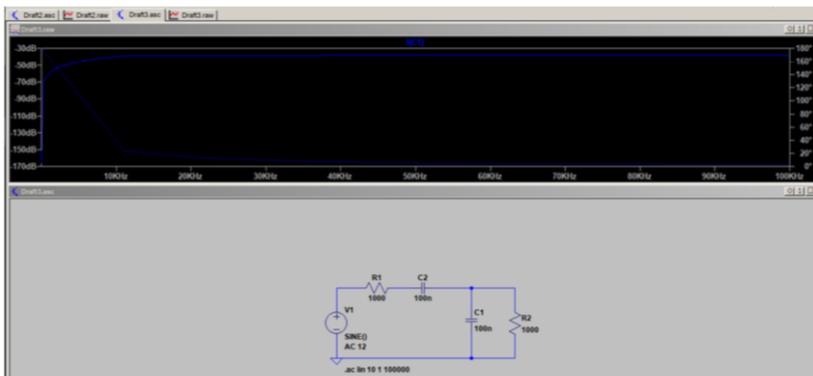


Figura 5. Barrido en el condensador en paralelo (11.2)

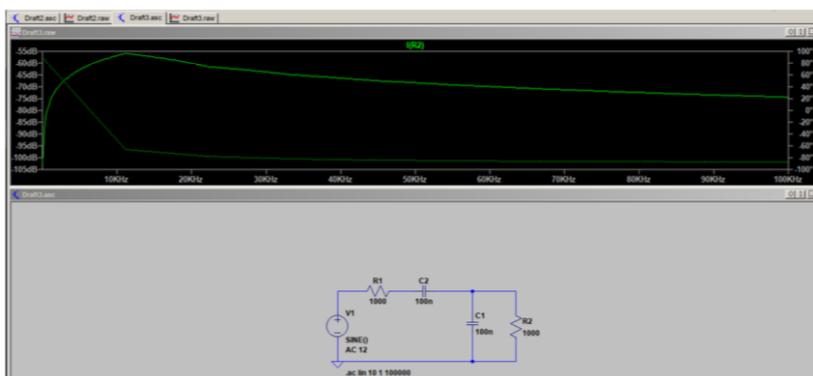


Figura 6. Barrido en el la resistencia en paralelo(11.2)

2. ¿Cuál es la utilidad práctica o aplicación del circuito RC serie de la figura 11.1 investigado en función de la frecuencia?

Su utilidad radica en filtrar señales, permitiendo el paso de altas o bajas frecuencias según las características del capacitor utilizado [1].

3. ¿Cómo se denomina el circuito según la salida se toma en el condensador o en la resistencia?

Este circuito se denomina filtro paso alto, ya que a medida que aumenta la frecuencia, también lo hace la ganancia en decibeles [2].

4. ¿Cuál es la utilidad práctica del circuito RC serie-paralelo (Wien) en la figura 11.2?

La utilidad de este circuito radica en permitir que el generador establezca una frecuencia específica para obtener señales constantes y estables.

5. Defina frecuencia de corte y ancho de banda.

En primer lugar, la frecuencia de corte es el punto en el que las señales comienzan a atenuarse, permitiendo el paso únicamente de las frecuencias inferiores a dicho valor. Por su parte, el ancho de banda corresponde a la extensión del rango de frecuencias, medida en hertzios (Hz) [1].

6. Investigue sobre la unidad dB y su aplicación en la graficación de la respuesta en frecuencia de sistemas, como los dos circuitos utilizados en el laboratorio.

La unidad dB o decibel es una medida utilizada para expresar la relación entre magnitudes como voltaje, intensidad acústica o potencia. En los circuitos del laboratorio, se emplea para representar la ganancia o atenuación de la señal generada. [2]

4. Equipo y materiales

Cantidad	Descripción
1	Generador de funciones
1	Osciloscopio
1	Multímetro digital
1	Protoboard
1	Resistencia de $2\text{k}\Omega$
2	Resistencias de $1\text{k}\Omega$
1	Condensador de 47nF
2	Condensadores de 100nF
	Cables de conexión tipo banana-banana

5. Procedimiento

5.1. Circuito RC serie

- Monte el circuito de la figura 11.1.

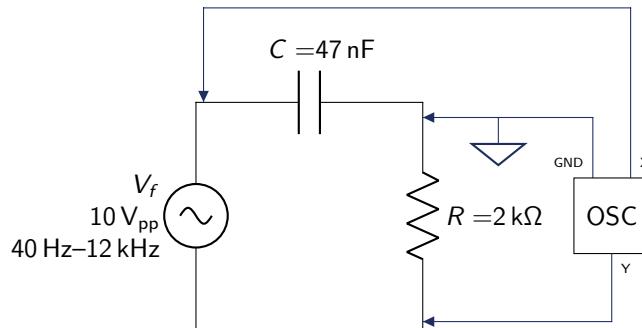


Figura 11.1: Circuito RC serie.

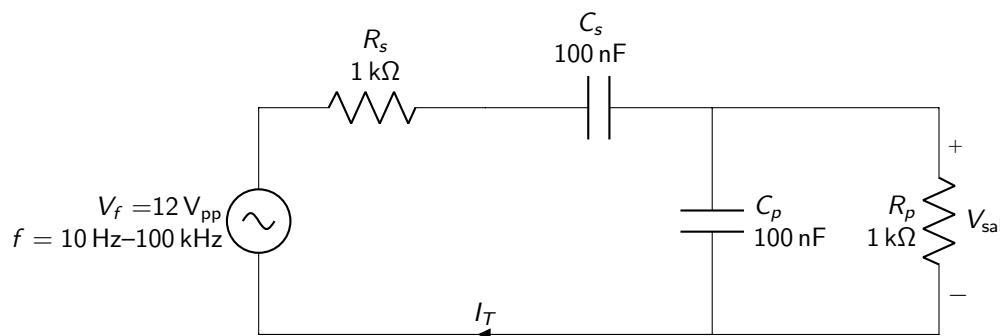
- Ajuste la tensión del generador en un valor pico-pico de 10 V. Se debe mantener constante en el resto del experimento.
- Verifique que el cable del osciloscopio **no** tenga conexión a tierra. Intercambie el cable si es necesario.
- Obtenga en el osciloscopio las tensiones V_f contra V_C y V_f contra V_R . Mida para diferentes valores de frecuencia, de 40 Hz (si puede visualizar bien las señales a una frecuencia menor, utilícela para mejor comprensión) a 12 kHz la amplitud de V_C y su ángulo de fase con respecto a V_f . Tome como convención:
 - Ángulo de fase positiva: V_C ó V_R atrasa a V_f .
 - Ángulo de fase negativa: V_C ó V_R adelanta a V_f .
- Resuma sus datos en la tabla 11.1.

Tabla 11.1: Valores de tensión y ángulo de fase.

f [Hz]	V_C [V]	$\angle V_C/V_f$ [°]	V_R [V]	$\angle V_R/V_f$ [°]
40	5	0°	148,4m	96,19°
100	4,92	1,7°	335,9m	89,28°
150	4,92	3,6°	492,2m	86,94°
200	4,92	5,8°	698,4m	84,24°
250	4,92	7,2	796,9m	82,8°
300	4,92	9,7	957,0m	77,76°
400	4,84	12,9°	1,23	80,06°
500	4,77	16,2°	1,50	77,04°
700	4,53	22,7°	2,01	69,55°
900	4,53	29,2°	2,44	63,70°
1000	4,14	32,4°	2,64	60,48°
2000	3,05	47,5°	3,83	41,04°
3000	2,31	60,5°	4,30	30,24°
4000	1,80	66,5°	4,49	23,62°
6000	1,25	73,4°	4,69	15,55°
8000	957m	74,9°	4,73	13,25°
10000	800,8m	79,9°	4,81	10,08°
12000	648,4m	86,4°	4,81	4,50°

5.2. Circuito RC serie-paralelo (Wien)

- Monte el circuito de la figura 11.2.

**Figura 11.2:** Circuito RC serie-paralelo.

- Mida la tensión de salida V_{sal} pico-pico y el desfase θ entre la tensión de entrada V_{ent} y V_{sal} para los valores de frecuencia indicados en la tabla 11.2. Suponga ángulos positivos si la salida adelanta respecto a la entrada y negativos si existe atraso.

Tabla 11.2: Valores de tensión y ángulo de fase.

f [Hz]	V_{sal} [V _{pp}]	$\angle V_{\text{sal}}/V_f$ [°]
40		
100		
200		
300		
500		
800		
1000		
1200		
1600		
3000		
7000		
15000		
30000		
50000		
100000		

6. Evaluación

6.1. Circuito RC serie

1. Con los datos obtenidos en la sección del procedimiento grafique (en computadora) con escala semilogarítmica, en un mismo gráfico, las curvas de las tensiones V_C y V_R en función de la frecuencia.
2. Repita lo anterior para los ángulos de fase de V_C y V_R con respecto a V_f .
3. En los gráficos anteriores indique lo siguiente:
 1. La frecuencia a la cual se intersecan ambas curvas. Indique el valor de la tensión correspondiente. ¿Cómo se denomina esta frecuencia?
 2. Un rango de frecuencia en el que el ángulo de fase es nulo entre la tensión de salida V_C o V_R respecto a la tensión de entrada.
 3. Un rango de frecuencia en que el ángulo de fase es de 90° entre la tensión de salida V_C o V_R respecto a la tensión de entrada.
 4. La frecuencia a la cual el ángulo de fase entre la tensión de salida y la de entrada es de $\pm 45^\circ$ (según sea V_C o V_R).
4. ¿Cómo se denomina la frecuencia a la cual se cumple lo indicado en el punto 3.4? ¿Cómo se determina matemáticamente esta frecuencia? Obtenga su valor numérico.
5. Analice la relación que hay entre la frecuencia obtenida en el punto 3.4 y la tensión de

salida V_C o V_R .

6. Analice la relación que hay entre la frecuencia obtenida en el punto 3.4 y los valores de las impedancias R y X_C según el caso.
7. Deduzca la relación V_{sal}/V_f , en función de ω (frecuencia angular) y de los elementos del circuito R y C .
8. Para los casos en que $f = 1 \text{ kHz}$ y $f = 5 \text{ kHz}$, determine la magnitud de las tensiones, de las impedancias, de las corrientes y el ángulo de fase de la tensión de salida respecto a la tensión de entrada.
9. Utilizando los resultados obtenidos en el experimento brinde una explicación del funcionamiento de este circuito.
10. Utilizando la simulación analice la diferencia en utilizar escalas lineal, logarítmica y en dB para la relación entre las amplitudes de entrada y salida.

6.2. Circuito RC serie-paralelo

1. Grafique V_{sal} y el desfase entre V_f y V_{sal} contra la frecuencia (en computadora) en escala semilogarítmica.
2. Determine la frecuencia a la cual se obtiene una tensión de salida máxima.
3. Obtenga la relación $\frac{V_{\text{sal}}}{V_f}$ a esta frecuencia.
4. ¿A cuál frecuencia se obtiene un desfase nulo?
5. ¿Por qué a bajas y a altas frecuencias la tensión de salida tiende a 0 V?
6. Determine los siguientes datos experimentales:
 - Frecuencia de corte inferior $f_{c\min}$
 - Frecuencia de corte superior $f_{c\max}$
 - Ancho de banda del filtro: $B = |f_{c\max} - f_{c\min}|$

Compare estos valores con los valores teóricos mediante cálculo.

7. Calcule la reactancia capacitiva X_C para las siguientes frecuencias: 300 Hz, 1600 Hz, 7 kHz.
8. Realice los diagramas fasoriales de impedancia para las tres frecuencias anteriores (tres diagramas).
9. Dibuje un diagrama fasorial de voltajes superpuesto con uno de corrientes, válidos para la frecuencia en que la tensión de salida es máxima.
10. Del diagrama anterior, determine el ángulo de fase entre la tensión de salida y la tensión total. Indique si es adelanto o atraso.
11. La frecuencia del punto 2 del procedimiento se denomina frecuencia de oscilación f_o . Para esta frecuencia resuma el comportamiento del circuito Wien en cuanto a:
 - 11.1. Voltajes
 - 11.2. Fase de impedancias
 - 11.3. Corrientes, etc.
12. Con el simulador grafique las respuestas en frecuencia con escalas verticales lineales, logarítmicas y en dB. ¿Qué ventajas y desventajas tiene cada representación?

5. Evaluación

5.1. Circuito RC serie

1. Con los datos obtenidos en la sección del procedimiento grafique (en computadora) con escala semilogarítmica, en un mismo gráfico, las curvas de las tensiones V_C y V_R en función de la frecuencia.

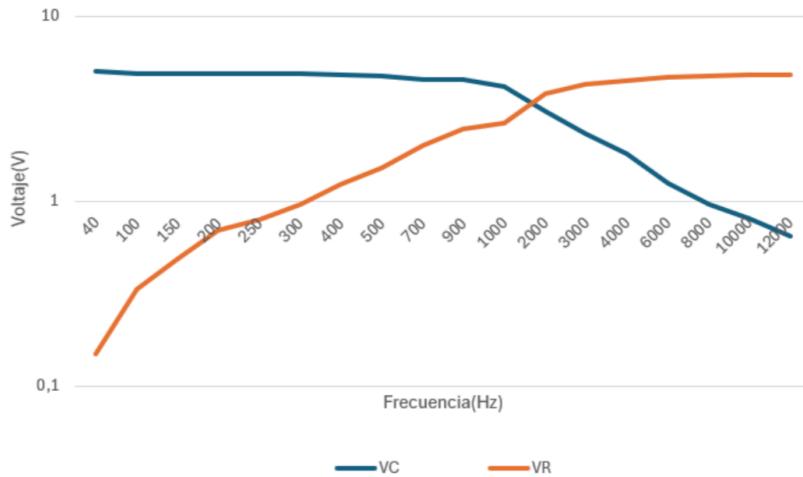


Figura 9. Gráfico de tensiones V_C y V_R en escala semilogarítmica en función de la frecuencia

2. Repita lo anterior para los ángulos de fase de V_C y V_R con respecto a V_f .

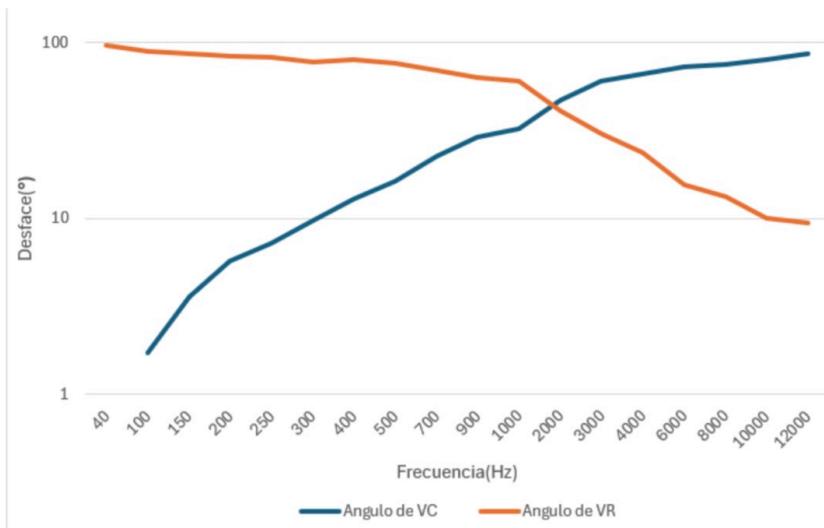


Figura 10. Gráfico de ángulos de fase en escala semilogarítmica en función de la frecuencia

3. En los gráficos anteriores indique lo siguiente:
- La frecuencia a la cual se intersecan ambas curvas. Indique el valor de la tensión correspondiente. ¿Cómo se denomina esta frecuencia?
En la grafica de la pregunta numero 1, las curvas se intersecan en una frecuencia de 2kHz y a una tensión de 3,63V. En la grafica de pregunta numero 2, las curvas se intersecan en una frecuencia de 2kHz y a un angulo de 41,04°.
A esta frecuencia se le denomina frecuencia de cruce.
 - Un rango de frecuencia en el que el ángulo de fase es nulo entre la tensión de salida V_C o V_R respecto a la tensión de entrada.
El rango de frecuencia donde el ángulo de fase es nulo entre la tensión de salida con respecto a la tensión de entrada es entre 1k y 3k Hz ya que su valor de fase es equivalente.
 - Un rango de frecuencia en que el ángulo de fase es de 90° entre la tensión de salida V_C o V_R respecto a la tensión de entrada.
El rango debe de estar de 40Hz para atras ya que es cuando el angulo es máximo
 - La frecuencia a la cual el ángulo de fase entre la tensión de salida y la de entrada es de ±45° (según sea V_C o V_R).
Esta frecuencia es a los 1500 Hz por que es el valor donde el desfase es cercano tanto en la resistencia como en el capacitor.
4. ¿Cómo se denomina la frecuencia a la cual se cumple lo indicado en el punto 3.d? ¿Cómo se determina matemáticamente esta frecuencia? Obtenga su valor numérico.
La frecuencia que cumple con el punto 3.d donde el angulo debe de ser de ±45° se le denomina frecuencia de corte de 45°. Esta se calcula matematicamente con la formula $\frac{1}{2\pi RC}$ y su valor es de 1693Hz siendo R como $2k\Omega$ y C como $47nF$.
5. Analice la relación que hay entre la frecuencia obtenida en el punto 3.d y la tensión de salida V_C o V_R .
Para los casos tanto de V_c como el de Vr se puede ver en los gráficos del punto 1 y 2 donde ocurre la frecuencia de corte, los valores de tensión y el ángulo de fase, se intersecan, son iguales para tanto el resistor y el capacitor.
6. Analice la relación que hay entre la frecuencia obtenida en el punto 3.d y los valores de las impedancias R y X_C según el caso.
Se conoce que en el punto de frecuencia de la pregunta 3.d se obtiene aproximadamente la frecuencia de corte, en donde el voltaje tanto en R como en C es equivalente. El valor de Xc en est punto es alto ya que el capacitor lo que impide un mayor fuljo de corriente, R tiene valor de 2000 establecidos y su relación se ve reflejada en el angulo de fase de este valor.

7. Deduzca la relación $\frac{V_{sal}}{V_f}$, en función de ω (frecuencia angular) y de los elementos del circuito R y C.

Se puede observar que entre mayor sea la frecuencia, mayor será la diferencia de tensión en los componentes, Lo anterior se puede observar mediante la siguiente tabla:

V _{sal} /V _f (V)	w(Hz)
0,01484	251,2
0,03359	628
0,04922	942
0,06984	1256
0,07969	1570
0,0957	1884
0,123	2512
0,1504	3140
0,2012	4396
0,244	5652
0,264	6280
0,383	12560
0,43	18840
0,4492	25120
0,469	37680
0,473	50240
0,4805	62800

8. Para los casos en que $f = 1 \text{ kHz}$ y $f = 5 \text{ kHz}$, determine la magnitud de las tensiones, de las impedancias, de las corrientes y el ángulo de fase de la tensión de salida respecto a la tensión de entrada.

Estudiando cada requerimiento según la tensión de salida respecto a la tensión de entrada se obtiene:

Para $f=1\text{Hz}$, la magnitud del voltaje es de $0,264\text{V}$, el valor de la impedancia se calcula por medio de $X = \frac{1}{\omega C} + 2000$ ya que esta conforma la impedancia del capacitor más la impedancia de la resistencia de la cual se obtiene un valor de $5386,3\Omega$ con un angulo de fase de $33m^\circ$ y el valor de la corriente es de $325\mu\text{A}$.

Para $f=5\text{Hz}$, la magnitud del voltaje es de $0,4396\text{V}$ y la impedancia tiene un valor de $2677,3\Omega$, y su angulo de fase sería de $6m^\circ$ con una corriente de $164,2\mu\text{A}$.

9. Utilizando los resultados obtenidos en el experimento brinde una explicación del funcionamiento de este circuito.

Este circuito tiene como objetivo ayudar a comprender el comportamiento y la medición de angulos de desface en los distintos componentes del circuito respecto a diferentes valores de frecuencia estudiando así la respuesta de los circuitos Rc serie, su punto de corte y el comportamiento de los voltajes según aumenta dicha frecuencia Lo anterior se puede observar en la tabla numero 2 y en las graficas de los puntos 1 y 2.

10. Utilizando la simulación analice la diferencia en utilizar escalas lineal, logarítmica y en dB para la relación entre las amplitudes de entrada y salida

Comenzando por la escala lineal los datos se pudieron interpretar de manera más sencilla al ser datos más específicos o por decir puntuales. Luego, la escala logarítmica permite ver los datos más altos o grandes de una manera mucho más amplia haciendo una proyección más amplia. Por último, en dB se pudo observar la frecuencia de corte de una manera mucho más clara y la ganancia y perdida en diferentes momentos del circuito, ayudando también a relacionar los valores de frecuencia con potencia.

Referencias

- [1] T. L. Floyd, *Principios de circuitos eléctricos*. Pearson Educación, 2007.
- [2] A. Charles, *Fundamentos de circuitos eléctricos*. McGraw-Hill Interamericana, 2022.