ESCUELA DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA
IEE 2123
Circuitos Eléctricos
Segundo Semestre 2025

Tarea 7

Fecha Entrega: Miércoles 5 de Noviembre hasta las 18:00 Hrs.

- La tarea debe ser entregada en un archivo `.pdf` y cargada en el cuestionario de Canvas habilitado, antes del plazo. El formato del archivo debe ser `T7_Apellido_Nombre.pdf`
- Debe indicar claramente su desarrollo en cada ejercicio, puesto que problemas sin desarrollos no serán considerados corregidos.
- Tareas con algún problema en blanco no serán consideradas y obtendrán la nota mínima
- Las tareas deben ser entregas en en algún editor de texto como Word o LaTeX. En particular, se recomienda LaTeX(Overleaf) por su facilidad para manejar ecuaciones.
- Libros, papers o cualquier material usado debe ser referenciado apropiadamente. Material no debidamente referenciado será penalizado mediante descuentos en la nota.
- Esta tarea tiene como objetivos la revisión de ciertos temas específicos vistos en clases, los cuales son indicados en el apartado "Tema de la Tarea". La utilización de métodos distintos a los solicitados en cada ejercicio no está permitido, y resultarán en la no corrección del ejercicio.
- En caso de utilizar herramientas de inteligencia artificial, estas solo deben emplearse como apoyo en la búsqueda de información o en la redacción, sin incluir directamente en las respuestas una reproducción literal del contenido generado. Además, no se debe proporcionar a la IA la pregunta ni una variación de esta como instrucción directa. **En el caso de usar IA sin la debida citación, se asignará nota 1.0 en la tarea.**
- Se atenderán dudas mediante Foro en Canvas UC, el cual estará habilitado hasta 1 día antes de la fecha de entrega de la tarea.

Problema 1 (12 pts)

El siguiente problema tiene por objetivo **demostrar empíricamente** el Teorema de Máxima Transferencia de Potencia (MTP) para circuitos en régimen fasorial (AC) y discutir si el punto de MTP implica *eficiencia* en la transmisión de energía hacia la carga. Para ello, se propone completar la tabla solicitada para cada impedancia de carga Z_L indicada, usando el circuito equivalente de Thévenin mostrado en la Fig. 1.

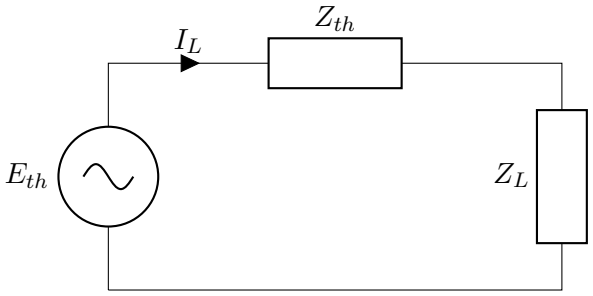


Figura 1: Circuito equivalente de Thévenin para análisis de MTP.

Parámetros del problema

- Fuente de Thévenin: $E_{th} = 120\angle 0^\circ\ V_{\text{rms}}$.
- Impedancia de Thévenin: $Z_{th} = 60\angle 25^\circ\ \Omega$.

Cargas a evaluar

Considere los siguientes cuatro casos de carga:

$$Z_L^{(1)} = 60\angle(-25^\circ)\ \Omega,$$
$$Z_L^{(2)} = 60\angle 25^\circ\ \Omega,$$
$$Z_L^{(3)} = 30\angle 10^\circ\ \Omega,$$
$$Z_L^{(4)} = 150\angle(-40^\circ)\ \Omega.$$

Qué debe calcular para cada Z_L

Para cada caso, determine y complete la siguiente información (todas las magnitudes como fasores en notación polar y rms cuando corresponda):

- V_L: voltaje en la carga.
- I_L: corriente que circula por la rama serie.
- $S_L = P_L + jQ_L$: potencia compleja en la carga (indique P_L y Q_L por separado).
- $V_{th\text{-drop}}$: caída de voltaje en Z_{th}.
- Eficiencia: $\eta = \dfrac{P_L}{P_{\text{total}}} \times 100\,[\,\%]$, con $P_{\text{total}} = P_L + P_{th}$, donde P_{th} es la potencia activa disipada en Z_{th}.

Tabla a completar

Z_L	V_L **[V]**	I_L **[A]**	S_L **[VA]**	P_L **[W]**	Q_L **[VAr]**	V_{th}**-drop [V]**	η **[%]**
$Z_L^{(1)}$							
$Z_L^{(2)}$							
$Z_L^{(3)}$							
$Z_L^{(4)}$							

Además, discuta en sus conclusiones si el punto que maximiza P_L coincide con el que maximiza la eficiencia η.

Solución (12 pts):

Caso detallado: $Z_L^{(1)} = 60\angle(-25^\circ)\,\Omega$ **(conjugada de** Z_{th}**)**

$$E_{th} = 120\angle 0^\circ \text{ V}, \qquad Z_{th} = 60\angle 25^\circ \ \Omega$$

Descomponemos Z_{th} y $Z_L^{(1)}$ en rectangular (con $\cos 25^\circ \approx 0{,}9063$, $\sin 25^\circ \approx 0{,}4226$):

$$Z_{th} = R_{th} + jX_{th} = 60(\cos 25^\circ + j \sin 25^\circ) \approx 54{,}3785 + j\,25{,}3571 \ \Omega,$$

$$Z_L^{(1)} = 60\angle(-25^\circ) = 60(\cos 25^\circ - j \sin 25^\circ) \approx 54{,}3785 - j\,25{,}3571 \ \Omega.$$

$$Z_{\text{tot}} = Z_{th} + Z_L^{(1)} \approx (54{,}3785 + 54{,}3785) + j(25{,}3571 - 25{,}3571) = 108{,}757 \ \Omega \quad \text{(real puro)}$$

$$I = \frac{E_{th}}{Z_{\text{tot}}} = \frac{120\angle 0^\circ}{108{,}757\angle 0^\circ} \approx 1{,}1034\angle 0^\circ \text{ A}$$

$$V_L = I\,Z_L^{(1)} \approx 1{,}1034 \cdot 60\angle(-25^\circ) = 66{,}20\angle(-25{,}0^\circ) \text{ V}, \qquad V_{\text{th-drop}} = I\,Z_{th} = 66{,}20\angle(25{,}0^\circ) \text{ V}.$$

Potencia en la carga:

$$S_L = V_L I^* \ \Rightarrow \ P_L = \Re\{S_L\} = I^2\,\Re\{Z_L^{(1)}\} \approx (1{,}1034)^2 \cdot 54{,}3785 = 66{,}20 \text{ W},$$

$$Q_L = I^2\,\Im\{Z_L^{(1)}\} \approx (1{,}1034)^2 \cdot (-25{,}3571) = -30{,}87 \text{ VAr}.$$

Pérdida en Z_{th}:

$$P_{th} = I^2\,R_{th} \approx (1{,}1034)^2 \cdot 54{,}3785 = 66{,}20 \text{ W}.$$

Eficiencia:

$$\eta = \frac{P_L}{P_L + P_{th}} = \frac{66{,}20}{66{,}20 + 66{,}20} = 50{,}0\,\%.$$

Observación: con $Z_L = Z_{th}^*$ se maximiza P_L (MTP en AC), pero la eficiencia en ese punto es 50 % ya que $R_L = R_{th}$.

Z_L	V_L **[V]**	I_L **[A]**	S_L **[VA]**	P_L **[W]**	Q_L **[VAr]**	$V_{\text{th-drop}}$ **[V]**	η **[%]**
$Z_L^{(1)} = 60\angle(-25^\circ)\,\Omega$	$66{,}20\angle -25{,}0^\circ$	$1{,}10\angle 0{,}0^\circ$	$73{,}05\angle -25{,}0^\circ$	66,20	−30,87	$66{,}20\angle 25{,}0^\circ$	50,00
$Z_L^{(2)} = 60\angle 25^\circ\,\Omega$	$60{,}00\angle 0{,}0^\circ$	$1{,}00\angle -25{,}0^\circ$	$60{,}00\angle 25{,}0^\circ$	54,38	25,36	$60{,}00\angle 0{,}0^\circ$	50,00
$Z_L^{(3)} = 30\angle 10^\circ\,\Omega$	$40{,}31\angle -10{,}0^\circ$	$1{,}34\angle -20{,}0^\circ$	$54{,}15\angle 10{,}0^\circ$	53,33	9,40	$80{,}61\angle 5{,}0^\circ$	35,20
$Z_L^{(4)} = 150\angle(-40^\circ)\,\Omega$	$98{,}04\angle -17{,}2^\circ$	$0{,}65\angle 22{,}8^\circ$	$64{,}08\angle -40{,}0^\circ$	49,09	−41,19	$39{,}22\angle 47{,}8^\circ$	67,88

Comentario El punto de máxima transferencia de potencia ($Z_L = Z_{th}^*$) no coincide con el de máxima eficiencia: al aumentar $|Z_L|$ con parte resistiva mayor que R_{th}, η crece (hay menos pérdida interna), pero P_L disminuye.

Asignación de puntaje:

- **6 pts** Procedimiento
- **4 pts** Valores numéricos correctos
- **2 pts** Comentario final

Problema 2 (12 pts)

Considere el circuito de la Fig. 2 donde los componentes tienen los siguientes valores:

$$R_1 = 100\ \Omega, \qquad C_1 = 1\ \mu\text{F}, \qquad R_2 = 200\ \Omega, \qquad R_3 = 50\ \Omega, \qquad L_1 = 20\ \text{mH}.$$

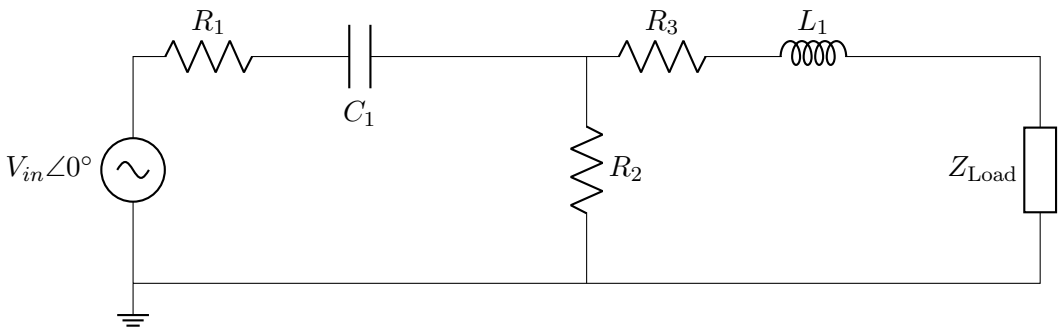


Figura 2: Circuito Problema 2

(a) Determine la impedancia equivalente $Z_{\text{eq}}(\omega)$ vista desde los terminales de la carga. Exprese su resultado de forma analítica, i.e., en función de $R_1, R_2, R_3, C_1, L_1, \omega$ sin reemplazar con los valores numéricos.

(b) Encuentre la frecuencia f (en Hz) tal que la impedancia equivalente del inciso (a) sea puramente resistiva. Considere los valores numéricos de $R_1, R_2, R_3, C_1, L_1, \omega$ para esto.

Solución (12 pts):

(a) Impedancia equivalente vista desde la carga

Para obtener $Z_{\text{eq}}(\omega)$ vista desde los terminales de la carga hacia la izquierda se comienza apagando la fuente de voltaje. Luego:

- En serie aparece $R_3 + j\omega L_1$.
- En el nodo intermedio, hacia tierra, hay un paralelo entre R_2 y $\left(R_1 + \dfrac{1}{j\omega C_1}\right)$.

Por tanto,

$$\boxed{Z_{\text{eq}}(\omega) = R_3 + j\omega L_1 + \left[\, R_2 \ \parallel\ \left(R_1 + \tfrac{1}{j\omega C_1}\right)\right].} \tag{1}$$

$$R_1 + \frac{1}{j\omega C_1} = R_1 - \frac{j}{\omega C_1}, \quad \text{con lo cual} \quad Z_{\parallel}(\omega) = \frac{R_2\left(R_1 - \dfrac{j}{\omega C_1}\right)}{R_1 + R_2 - \dfrac{j}{\omega C_1}}.$$

Multiplicando numerador y denominador por el conjugado del denominador,

$$Z_{\parallel}(\omega) = \frac{R_2\left[(R_1(R_1+R_2) + \dfrac{1}{\omega^2 C_1^2}) \ - \ j\left(\dfrac{R_2}{\omega C_1}\right)\right]}{(R_1+R_2)^2 + \dfrac{1}{\omega^2 C_1^2}}.$$

Así, sus partes real e imaginaria quedan:

$$\Re\{Z_{\|}\} = \frac{R_2\left(R_1(R_1+R_2)+\dfrac{1}{\omega^2 C_1^2}\right)}{(R_1+R_2)^2+\dfrac{1}{\omega^2 C_1^2}}, \tag{2}$$

$$\Im\{Z_{\|}\} = -\frac{R_2^2\,\dfrac{1}{\omega C_1}}{(R_1+R_2)^2+\dfrac{1}{\omega^2 C_1^2}}. \tag{3}$$

Por (1), en forma rectangular:

$$\boxed{Z_{\text{eq}}(\omega) = \left[R_3 + \frac{R_2\left(R_1(R_1+R_2)+\dfrac{1}{\omega^2 C_1^2}\right)}{(R_1+R_2)^2+\dfrac{1}{\omega^2 C_1^2}}\right] + j\left[\omega L_1 - \frac{R_2^2\,\dfrac{1}{\omega C_1}}{(R_1+R_2)^2+\dfrac{1}{\omega^2 C_1^2}}\right].} \tag{4}$$

(b) Frecuencia para la que Z_{eq} es puramente resistivo

Para encontrar la frecuencia a la cual es circuito es puramente resistivo, se impone que la parte imaginaria de (4) sea cero:

$$\omega L_1 - \frac{R_2^2\,\dfrac{1}{\omega C_1}}{(R_1+R_2)^2+\dfrac{1}{\omega^2 C_1^2}} = 0.$$

Multiplicando por $(R_1+R_2)^2+\dfrac{1}{\omega^2 C_1^2}$ y reordenando:

$$\omega L_1\left[(R_1+R_2)^2+\frac{1}{\omega^2 C_1^2}\right] - \frac{R_2^2}{\omega C_1} = 0 \implies \omega^2 L_1 (R_1+R_2)^2 + \frac{L_1}{C_1^2} - \frac{R_2^2}{C_1} = 0.$$

De aquí,

$$\omega^2 = \frac{\dfrac{R_2^2}{C_1} - \dfrac{L_1}{C_1^2}}{L_1(R_1+R_2)^2} = \frac{R_2^2 C_1 - L_1}{L_1\, C_1^2\,(R_1+R_2)^2}, \qquad \text{y por tanto} \qquad \boxed{\omega = \frac{1}{(R_1+R_2)\,C_1}\sqrt{\frac{R_2^2\,C_1 - L_1}{L_1}}\,,}$$

con la condición de existencia

$$\boxed{R_2^2\,C_1 > L_1} \quad \text{(para que la raíz sea real).}$$

Cálculo con los valores dados.

$$R_1+R_2 = 300\ \Omega, \quad R_2^2 C_1 - L_1 = (200)^2(1\times 10^{-6}) - 20\times 10^{-3} = 0{,}04 - 0{,}02 = 0{,}02.$$

$$\omega = \frac{1}{(300)(1\times 10^{-6})}\sqrt{\frac{0{,}02}{0{,}02}} = \frac{1}{3\times 10^{-4}} = 3333{,}333\ \text{rad/s}, \qquad \boxed{f = \frac{\omega}{2\pi} = 530{,}516\ \text{Hz (aprox.).}}$$

Asignación de puntaje:

- **6 pts** Impedancia equivalente correcta
- **3 pts** Análisis de parte imaginaria = 0
- **3 pts** Frecuencia correcta

Problema 3 (12 pts)

Una fuente monofásica alimenta dos cargas conectadas en paralelo como se muestra en la Fig. 3. De la fuente se conoce que: $V_{\text{rms}} = 230$ V a $f = 50$ Hz y fase 0°. Las cargas son:

Carga 1: $P_1 = 18\,\text{kW}$, $fp_1 = 0{,}78$ (atrasado); Carga 2: $P_2 = 32\,\text{kW}$, $fp_2 = 0{,}92$ (atrasado).

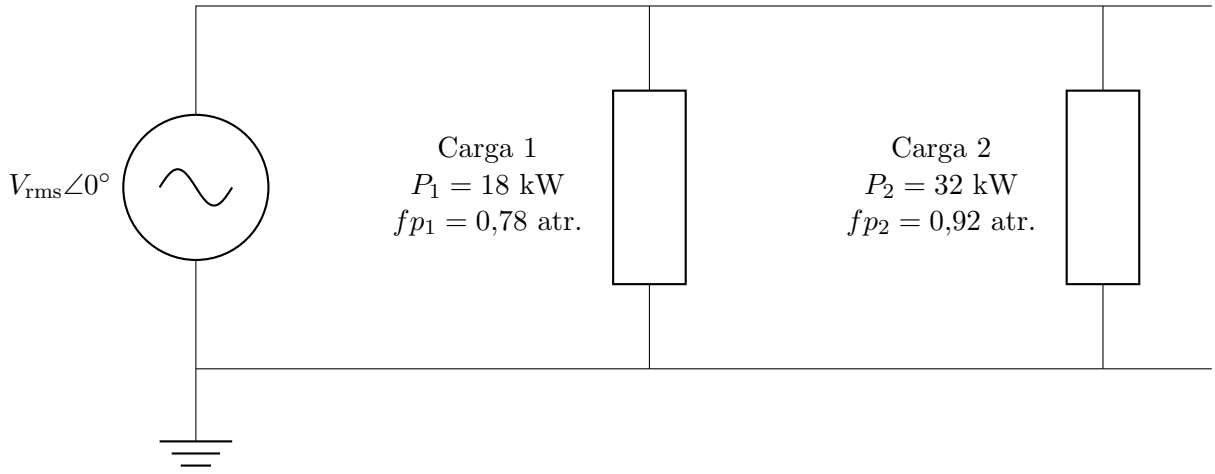


Figura 3: Cargas en paralelo alimentadas por V_{rms}.

Preguntas

(a) Calcule el factor de potencia equivalente de la combinación en paralelo de las Cargas 1 y 2. Dibuje los triángulos de potencia de cada carga por separado, así como el del equivalente de ambas cargas. Especifique los valores numéricos de P, Q e $|S|$ en cada triangulo de potencia.

(b) Conecte un condensador en paralelo para que el factor de potencia equivalente sea $fp_{\text{obj}} = 0{,}97$ (inductivo). Determine la capacitancia C requerida y dibuje el triángulo de potencia resultante.

(c) Si la frecuencia del suministro baja a $f' = 25$ Hz, manteniendo el mismo condensador del inciso (b) y asumiendo que la demanda de las cargas no se modifica, encuentre el nuevo factor de potencia del suministro. Comente el efecto de la variación de frecuencia en la compensación capacitiva.

Solución (12 pts):

Datos

Tensión RMS $V_{\text{rms}} = 230$ V, frecuencia $f = 50$ Hz.
Cargas en paralelo:

Carga 1: $P_1 = 18$ kW, $fp_1 = 0{,}78$ (atrasado); Carga 2: $P_2 = 32$ kW, $fp_2 = 0{,}92$ (atrasado).

Fórumlas y simplificaciones útiles:

$$\cos\varphi = fp, \qquad \tan\varphi = \frac{\sqrt{1-fp^2}}{fp}, \qquad Q = P\tan\varphi, \qquad |S| = \sqrt{P^2+Q^2}.$$

(a) Factor de potencia equivalente

Carga 1. $\cos\varphi_1 = 0{,}78 \Rightarrow \tan\varphi_1 \approx 0{,}8022$.

$$Q_1 = P_1 \tan\varphi_1 \approx 18 \times 0{,}8022 = \boxed{14{,}44 \text{ kVAr}}.$$

Carga 2. $\cos\varphi_2 = 0{,}92 \Rightarrow \tan\varphi_2 \approx 0{,}4261$.

$$Q_2 = P_2 \tan\varphi_2 \approx 32 \times 0{,}4261 = \boxed{13{,}63 \text{ kVAr}}.$$

Equivalente. $P = P_1 + P_2 = \boxed{50 \text{ kW}}$, $Q = Q_1 + Q_2 = \boxed{28{,}07 \text{ kVAr}}$.

$$|S| = \sqrt{50^2 + 28{,}07^2} = \boxed{57{,}36 \text{ kVA}}, \qquad fp_{\text{eq}} = \frac{P}{|S|} = \boxed{0{,}872 \text{ (atrasado)}}.$$

(b) Condensador en paralelo para lograr $fp_{\text{obj}} = 0{,}97$

$$\varphi_{\text{obj}} = \arccos(0{,}97) \approx 14{,}06^\circ, \qquad \tan\varphi_{\text{obj}} \approx 0{,}2507.$$

$$Q_{\text{obj}} = P \tan\varphi_{\text{obj}} \approx 50 \times 0{,}2507 = \boxed{12{,}53 \text{ kVAr}}.$$

Potencia reactiva que debe suministrar el condensador:

$$Q_C = Q - Q_{\text{obj}} \approx 28{,}07 - 12{,}53 = \boxed{15{,}54 \text{ kVAr}}.$$

Con $Q_C = \omega C V_{\text{rms}}^2$ y $\omega = 2\pi \cdot 50$:

$$C = \frac{Q_C}{\omega V_{\text{rms}}^2} = \frac{15{,}54 \times 10^3}{(2\pi \cdot 50)\,(230)^2} = \boxed{9{,}35 \times 10^{-4} \text{ F}} = \boxed{0{,}935 \text{ mF} = 935\ \mu\text{F}}.$$

(c) Cambio de frecuencia a $f' = 25$ Hz con el mismo C

El condensador entrega ahora

$$Q_C' = \omega' C V_{\text{rms}}^2 = Q_C \frac{f'}{f} = 15{,}54 \times \frac{25}{50} = \boxed{7{,}77 \text{ kVAr}}.$$

Reactivo neto:

$$Q' = Q - Q_C' \approx 28{,}07 - 7{,}77 = \boxed{20{,}30 \text{ kVAr}}.$$

Aparente y factor de potencia del suministro:

$$|S'| = \sqrt{50^2 + 20{,}30^2} = \boxed{53{,}96 \text{ kVA}}, \qquad fp' = \frac{50}{53{,}96} = \boxed{0{,}927 \text{ (atrasado)}}.$$

Asignación de puntaje:

- **4 pts** 1pt cada tríangulo, otro el fp
- **4 pts** 2pt valor del capacitor, 2pt procedimiento y lógica
- **4 pts** 3pt fp, 1pt comentarios

Problema 4 (12 pts)

Considere el circuito de la Fig. 4 operando en régimen fasorial a la **frecuencia angular** $\omega = 1000$ rad/s. La fuente de tensión es $V_s = 10\angle 0^\circ$ V_{rms} y los componentes del circuito son:

$$R_1 = 20\ \Omega, \quad R_2 = 100\ \Omega, \quad R_3 = 30\ \Omega, \quad R_4 = 75\ \Omega, \quad C_1 = 20\ \mu\text{F}, \quad C_2 = 5\ \mu\text{F}, \quad L_1 = 0{,}1\ \text{H}.$$

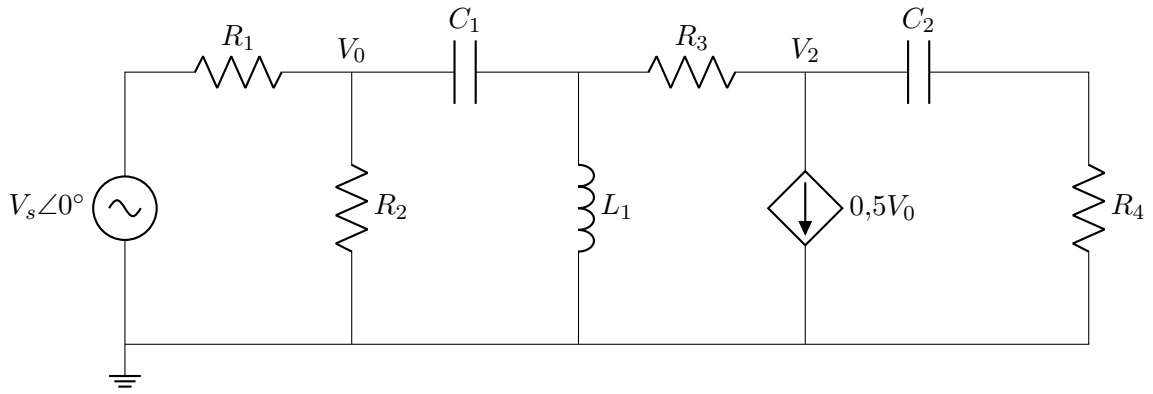
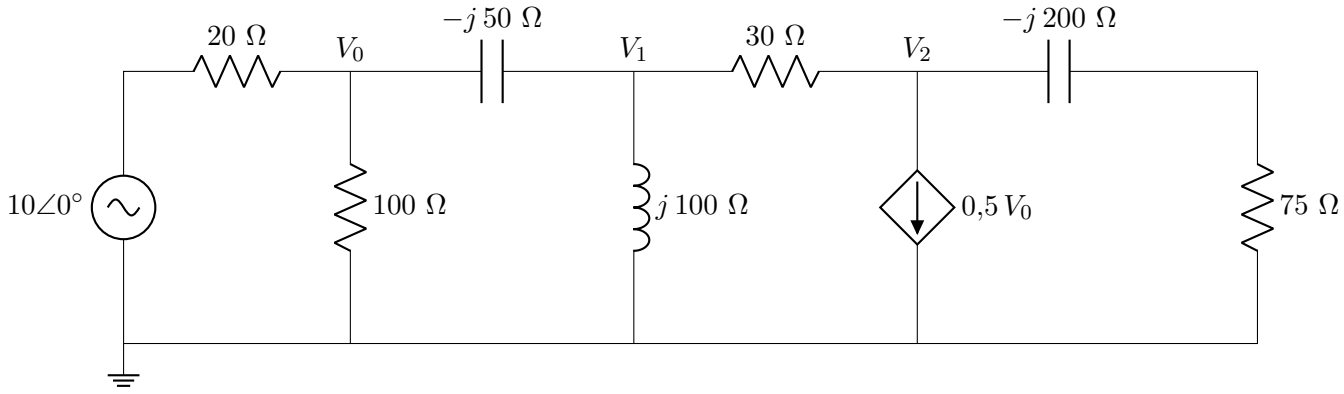


Figura 4: Circuito Problema 4.

(a) Exprese el voltaje V_0 como fasor (magnitud y ángulo) respecto de tierra.

(b) Determine la potencia aparente S, la potencia activa P y la potencia reactiva Q que **entrega** la fuente de corriente dependiente.

Solución (12 pts):



Tomamos $V_s = 10\angle 0^\circ$ V (RMS). Y recordando que $Z_C = \frac{1}{j\omega C}$ y que $Z_L = j\omega L$, usamos las impedancias tal como están en el circuito:

$$R_1 = 20,\ R_2 = 100,\ R_3 = 30,\ R_4 = 75,\ Z_{C_1} = -j50,\ Z_{L_1} = j100,\ Z_{C_2} = -j200.$$

Nodos (corrientes que salen del nodo = 0):

$$\begin{aligned}
\text{(N0)} \quad & \frac{V_0 - 10}{20} + \frac{V_0 - V_1}{-j50} + \frac{V_0}{100} = 0, \\
\text{(N1)} \quad & \frac{V_1 - V_0}{-j50} + \frac{V_1 - V_2}{30} + \frac{V_1}{j100} = 0, \\
\text{(N2)} \quad & \frac{V_2 - V_1}{30} + \frac{V_2}{75 - j200} + 0{,}5\, V_0 = 0.
\end{aligned}$$

Resolución: 1) De (N2):

$$V_2 \;=\; \frac{\dfrac{V_1}{30} - 0{,}5\, V_0}{\dfrac{1}{30} + \dfrac{1}{75 - j200}}\,. \tag{1}$$

2) Sustituyendo (1) en (N1) y ordenando:

$$(0{,}0020578148 + j\,0{,}0139196472)\, V_1 \;+\; (0{,}4691327781 - j\,0{,}0787947085)\, V_0 \;=\; 0,$$

de donde

$$V_1 \;=\; (0{,}6636971047 + j\,33{,}8010393467)\, V_0. \tag{2}$$

3) Sustituyendo (2) en (N0) y despejando V_0 con $V_s = 10$:

$(0{,}7360207869 + j\,0{,}0067260579)\, V_0 = 0{,}5 \;\Rightarrow\; V_0 \approx 0{,}6792719 - j\,0{,}0062075\ \text{V} = 0{,}6793003\angle(-0{,}5236^\circ)\ \text{V}.$

4) Con (2):

$$V_1 \approx 22{,}9655\angle 88{,}3515^\circ\ \text{V}.$$

5) Con (1):

$$V_2 \approx 23{,}5843\angle 105{,}3166^\circ\ \text{V}.$$

$$\boxed{V_0 \approx 0{,}6793\angle(-0{,}5236^\circ)\ \text{V(RMS)}}$$

Potencia entregada por la VCCS La corriente fasorial es

$$I_d \;=\; 0{,}5\, V_0 \;\approx\; 0{,}3396501\angle(-0{,}5236^\circ)\ \text{A}.$$

Con la convención RMS y tomando *potencia entregada* como la que entra a la red por el terminal superior,

$$S_{\text{ent}} \;=\; -\, V_2\, I_d^*.$$

Sustituyendo:

$$\begin{aligned}
S_{\text{ent}} &= -\left(23{,}5843\angle 105{,}3166^\circ\ \text{V}\right)\left(0{,}3396501\angle 0{,}5236^\circ\ \text{A}\right) \\
&\approx 2{,}1865 \;-\; j\,7{,}7062\ \text{VA} \;=\; 8{,}0104\angle(-74{,}1598^\circ)\ \text{VA}.
\end{aligned}$$

$$\boxed{S_{\text{ent}} \approx 2{,}1865 - j\,7{,}7062\ \text{VA}}, \qquad \boxed{P_{\text{ent}} \approx 2{,}1865\ \text{W}}, \qquad \boxed{Q_{\text{ent}} \approx -7{,}7062\ \text{VAr}}.$$

Asignación de puntaje:

- **4 pts** Ecuaciones nodos/mallas correctas
- **3 pts** Valor V_0 correcto
- **5 pts** P, Q y S. 1pt de descuento por error de unidad de medida y otro por error de signo.

Problema 5 (12 pts)

Considere el circuito de la Fig. 5. La fuente es sinusoidal de $V_s = 1\angle 0°$ $\mathrm{V_{peak}}$. Utilice los siguientes valores de componentes:

$$L_1 = 10 \text{ mH}, \qquad C = 1\ \mu\text{F}, \qquad L_2 = 10 \text{ mH}, \qquad R_{\text{load}} = 10\ \text{M}\Omega, \qquad R_s = 0{,}1\ \Omega$$

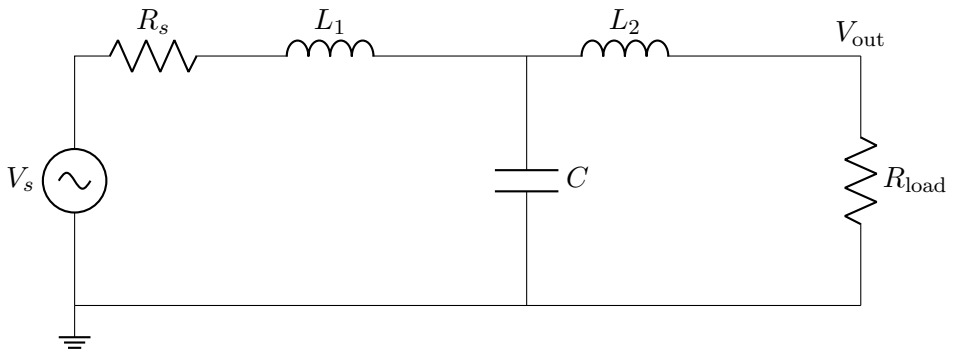


Figura 5: Circuito anómalo.

Simule en LTspice el comportamiento a las frecuencias:

- $\boldsymbol{f = 194}$ **Hz**
- $\boldsymbol{f = 1{,}02}$ **kHz**
- $\boldsymbol{f = 1{,}59}$ **kHz**
- $\boldsymbol{f = 3{,}28}$ **kHz**
- $\boldsymbol{f = 6{,}51}$ **kHz**

(a) Adjunte fotos del esquemático hecho en LTSpice. Además, presente figuras con los resultados de simulaciones LTSpice de V_{out} para las distintas frecuencias f.

(b) Compare el comportamiento de V_{out} en las distintas frecuencias. Destaque diferencias y aspectos particularmente notorios en su análisis. ¿Por qué cree que ocurren dichos fenómenos? Hipotetice sobre posibles razones detrás de dichos fenómenos

Solución (12 pts):

Idea general del filtro LCL

- Al subir la frecuencia, el **inductor** "se hace más grande" (bloquea más) y el **capacitor** "se hace más chico" (conduce más).
- Entre ambos aparece una **resonancia**: allí la energía "va y viene" entre L y C y la salida sube bastante.
- **Debajo** de la resonancia el conjunto se siente más *capacitivo* (la señal sale con poco desfase). **Sobre** la resonancia se siente más *inductivo* (la señal atrasa).
- Si el filtro está **poco amortiguado**, cerca de la resonancia aparecen **batidos/envolventes** en el tiempo.

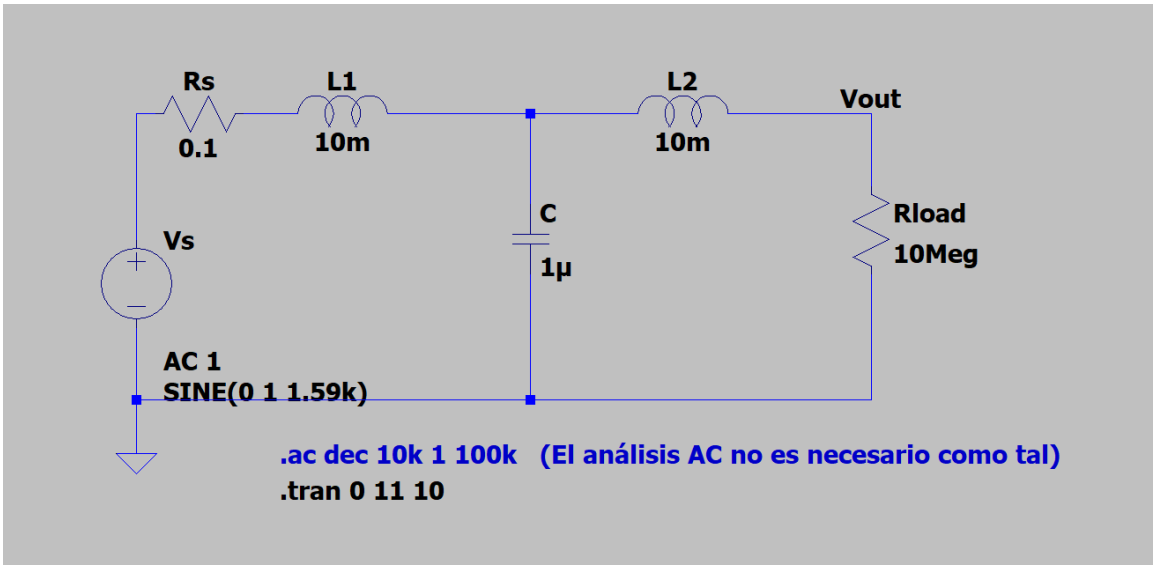
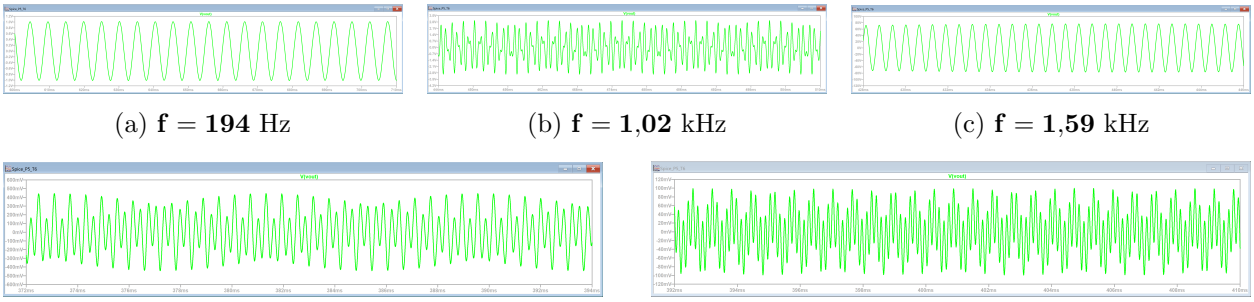


Figura 6: Esquemático del filtro LCL usado en la simulación.



(a) **f = 194** Hz (b) **f = 1,02** kHz (c) **f = 1,59** kHz

(d) **f = 3,28** kHz (e) **f = 6,51** kHz

Figura 7: Tensión de salida v_{out} para las cinco frecuencias de prueba.

Lectura de las simulaciones

- $f = 194$ **Hz (muy por debajo de f_r):** ganancia unitaria, forma sencilla de la onda, sin envolventes marcadas.
- $f = 1{,}02$ **kHz (acercándose a f_r):** la amplitud sube y se empiezan a ver distorsiones de la forma de onda; el filtro ya intercambia notoriamente energía entre L y C.
- $f = 1{,}59$ **kHz (en la resonancia):** la señal se ve más "limpia" en su forma y aumenta sustancialmente en amplitud (la que varía un poco).
- $f = 3{,}28$ **kHz (por encima de f_r):** vuelve la **atenuación**; pueden quedar envolventes pero la amplitud baja y la señal atrasa.
- $f = 6{,}51$ **kHz (muy por encima de f_r): fuerte atenuación** y salida pequeña. El filtro cumple su papel de "barrera" en alta frecuencia.

Extra: Análisis AC

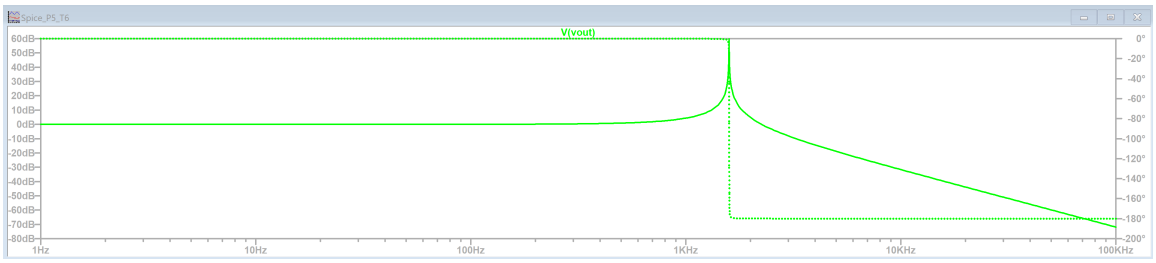


Figura 8: Diagrama de Bode del circuito simulado

Como se vió en clases, el Diagrama de Bode o análisis AC es sumamente útil para caracterizar el comportamiento de un circuito a distintas frecuencias, incluso si no se conoce la Función de Transferencia al detalle. Para este ejercicio, se puede notar cómo se comporta la magnitud y la fase a distintas frecuencias, donde se puede notar que el filtro se asemeja a un pasabajos con la salvedad de un *peak* de resonancia sumamente notorio, donde además se invierte la fase. Por último, cabe destacar que hay fenómenos como las distorsiones de onda que no se ven de manera clara en el Diagrama de Bode, por lo que simular en régimen transiente es un buen complemento (en especial en circuitos atípicos/resonantes).

Asignación de puntaje:

- **5 pts** 1pt por cada frecuencia. Si sólo hace Bode y explica a detalle todo lo necesario asignar máximo 3 pts.
- **5 pts** Analiza lo obtenido y los comportamientos en distintas frecuencias, nota la resonancia. 4pt por las variaciones de amplitud, 1pt por distorsiones de la forma de onda.
- **2 pts** Hipotetiza sobre el fenómeno, teniendo la idea de resonancia (no necesariamente la palabra explícita).