Instituto Tecnológico de Costa Rica **I Semestre 2020**
Área de Ingeniería Mecatrónica
MT-5001 Modelos de Sistemas para Mecatrónica
Profesor: Ing. Jaime Mora

Elaborado por: Ing. José Miguel Barboza Retana

Práctica Semana 12 y 13 Transformada de Laplace.

- Resuelva los siguientes problemas relacionados con la transformada de Laplace, resolución de ecuaciones diferenciales y el análisis de sistemas LTI:

1) Encuentre la transformada de Laplace para cada una de las siguientes señales. Para cada caso, indique su respectiva ROC.
   a) $x(t) = 3e^{-2t}u(t) - 2e^{-t}u(t)$.
   b) $x(t) = 2u(t) + e^{-t}\cos(t)\,u(t)$
   c) $x(t) = \delta(t) - \frac{4}{3}e^{-t}u(t) + \frac{1}{3}e^{2t}u(t)$

2) Utilizando expansión en fracciones parciales, determine la transformada inversa de Laplace de la siguiente expresión:

$$X(s) = \frac{2s^2 + 5s + 5}{(s+1)^2(s+2)}, \;\; \sigma > -1$$

3) Determine la causalidad del sistema descrito por la siguiente función de transferencia:

$$X(s) = \frac{e^s}{s+1}, \qquad \sigma > -1$$

4) Determine la función de transferencia del sistema descrito por las siguientes ecuaciones y determine la estabilidad del mismo. Encuentre la ecuación diferencial característica del sistema.

$$x(t) = e^{-3t}u(t)$$

$$y(t) = [e^{-t} - e^{-2t}]u(t)$$

5) Suponga que se conoce la siguiente información sobre un sistema LTI:
   a) El sistema es causal

b) La función de transferencia es racional y sólo tiene 2 polos, en $s = -2$ y en $s = 4$.
c) Si $x(t) = 1$ entonces $y(t) = 0$.
d) El valor de la respuesta al impulso en $t = 0^+$ es 4.

Encuentre una expresión para la función de transferencia del sistema.

6) Considere un sistema estable y causal con respuesta al impulso $h(t)$ y función de transferencia $H(s)$. Suponga que $H(s)$ es racional, contiene un polo $s = -2$ y no tiene un cero en el origen. La localización de los demás polos y ceros se desconoce. Para cada uno de los siguientes enunciados determine son: definitivamente válido, definitivamente falso o si no hay información suficiente para averiguar la validez.
a) $\mathcal{F}\{h(t)e^{-3t}\}$ converge.
b) $\int_{-\infty}^{+\infty} h(t)dt = 0$.
c) $th(t)$ es la respuesta al impulso de un sistema causal y estable.
d) $\frac{d}{dt}h(t)$ contiene al menos un polo en su transformada de Laplace.
e) $h(t)$ tiene una duración finita.
f) $H(s) = H(-s)$.
g) $\lim_{s\to\infty} H(s) = 2$.

7) Resuelva la siguiente ecuación diferencial:

$$\frac{d^2}{dt^2}x(t) + 6\frac{d}{dt}x(t) + 9x(t) = \sin(t), \quad (t \geq 0)$$

Sujeta a las condiciones iniciales $x = 0$ y $\frac{dx}{dt} = 0$ en $t = 0$.

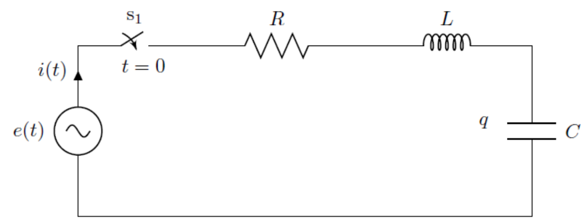
8) Resuelva la siguiente ecuación diferencial:

$$\frac{d^3}{dt^3}x(t) + 5\frac{d^2}{dt^2}x(t) + 17\frac{d}{dt}x(t) + 13x(t) = 1, \quad (t \geq 0)$$

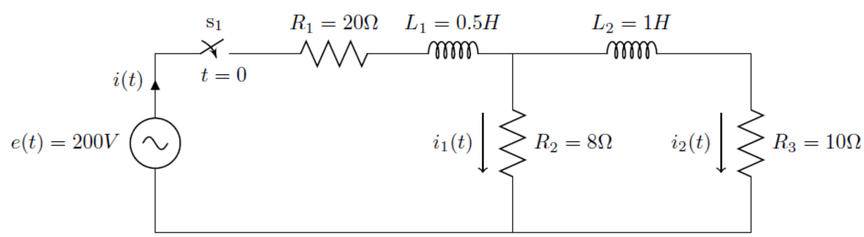
Sujeta a las condiciones iniciales $x = \frac{dx}{dt} = 1$ y $\frac{d^2x}{dt^2} = 0$ en $t = 0$.

9) El circuito RLC de la siguiente figura está conformado por una resistencia R, un condensador C, un inductor L y una fuente de tensión $e(t)$ conectados en serie.

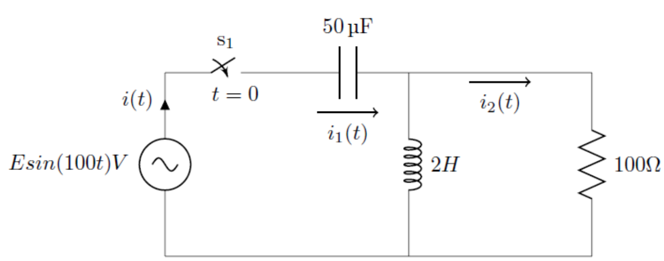
Antes de cerrar el interruptor s_1 en el tiempo $t=0$, tanto la carga en el condensador como la corriente del circuito son cero. Determine la carga $q(t)$ en el condensador y la corriente resultante $i(t)$ en el circuito en el tiempo t. Considere que: $R=160\Omega$, $L=1H$, $C=10^{-4}F$ y $e(t)=20V$.



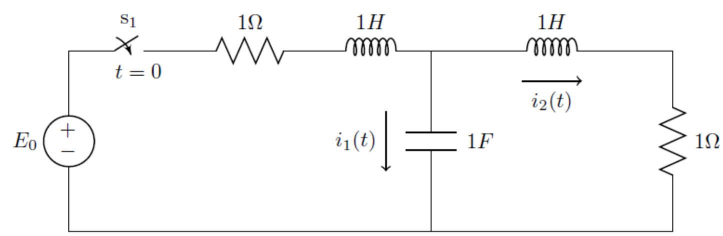
10) En la red mostrada en la siguiente figura no hay flujo de corriente en ninguno de los lazos antes del cierre de s_1 en el tiempo $t=0$. Deduzca las expresiones para $i_1(t)$ e $i_2(t)$ para todo tiempo t.



11) Utilizando la transformada de Laplace encuentre las transformadas $I_1(s)$ e $I_2(s)$ de las respectivas corrientes mostradas en el siguiente circuito. Después determine $i_2(t)$ si se sabe que $i_1(0)=i_2(0)=q_1(0)=0$.



12) En el circuito de la siguiente figura no hay energía almacenada (esto es, no hay carga en los condensadores ni corriente fluyendo en los inductores) antes de cerrar s_1 en el tiempo $t=0$. Determine $i_1(t)$ para $t>0$ para una tensión constante aplicada $E_0=10V$.



13) La respuesta $x(t)$ de un sistema a una función de fuerza $u(t)$ está determinada por la ecuación diferencial:

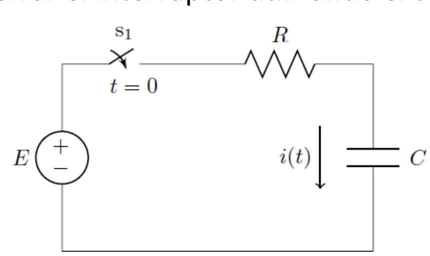
$$9\frac{d^2}{dt^2}x(t) + 12\frac{d}{dt}x(t) + 13x(t) = 2\frac{d}{dt}u(t) + 3u(t)$$

a) Determine la función de transferencia del sistema. (Suponga todas las condiciones iniciales iguales a cero)
b) ¿Cuál es la ecuación característica del sistema? ¿Cuál es el orden del sistema?
c) Grafique el diagrama de polos y ceros del sistema.

14) Determine la respuesta al impulso del sistema lineal cuya respuesta $x(t)$ a una entrada $u(t)$ está determinada por la ecuación diferencia:

$$\frac{d^2}{dt^2}x(t) + 5\frac{d}{dt}x(t) + 6x(t) = 5u(t)$$

15) El circuito de la siguiente figura está formado por una resistencia R y un condensador C conectados en serie a una fuente de tensión constante E. Antes de cerrar el interruptor en el tiempo $t = 0$, tanto la carga del condensador como la corriente resultante en el circuito son cero. Determine la corriente $i(t)$ en el circuito para el tiempo t después de cerrar el interruptor. Verifique el valor de $i(t)$ justo en el instante después de cerrar el interruptor utilizando el teorema del valor inicial.



16) Determine cuál o cuáles de las siguientes funciones de transferencia representan un sistema estable.

a) $\frac{s-1}{(s+2)(s^2+4)}$
b) $\frac{(s+2)(s-2)}{(s+1)(s-1)(s+4)}$
c) $\frac{s-1}{(s+2)(s+4)}$
d) $\frac{6}{(s^2+s+1)(s+1)^2}$
e) $\frac{5(s+10)}{(s+5)(s^2-s+10)}$

17) Verifique el teorema del valor inicial para las siguientes funciones:

a) $2 - 3\cos(t)$
b) $(3t-1)^2$
c) $t + 3\sin(2t)$

18) Verifique el teorema del valor final para las siguientes funciones:

a) $1 + 3e^{-t}\sin(2t)$
b) t^2e^{-2t}
c) $3 - 2e^{-3t} + e^{-t}\cos(2t)$

19) Encuentre la transformada de Laplace de:

a) $x(t) = \cos(at)\,u(t)$
b) $x(t) = \sin(at)\,u(t)$
c) $x(t) = \mathrm{sa}(t)$
d) $x(t) = \mathrm{sa}(at)\,u(t)$

20) Encuentre las regiones de convergencia de las transformadas de Laplace de las siguientes funciones:

a) $e^{-3t}u(t)$
b) $e^{-3t}u(-t+3)u(t+3)$
c) $e^{-3|t|}$
d) $e^{-3t}u(-t)$
e) e^{-et}
f) $e^{-3|t|}u(-t)$

21) Dada la señal:

$$x(t) = e^{-3t}u(t-1)$$

Encuentre su transformada de Laplace $X(s)$ y su región de convergencia. Además, si:

$$g(t) = Ae^{-3t}u(-t - t_0)$$

Entonces encuentre los valores de A y t_0 para los cuales la expresión algebraica de $G(s) = \mathcal{L}\{g(t)\} = X(s)$. Indique la región de convergencia de $G(s)$.

22) Dada la señal:

$$x(t) = e^{-3t}u(t) + e^{-\beta t}u(t)$$

Encuentre su transformada de Laplace y los valores de $\beta \in \mathbb{C}$ necesarios para que la región de convergencia de $X(s)$ sea $\sigma > -1$.

23) Encuentre los polos y región de convergencia de la transformada de Laplace de la función:

$$x(t) = e^{t} \sin(2t)\, u(-t)$$

24) Grafique las funciones:
   a) $e^{at}u(t), a > 0$
   b) $e^{at}u(t), a < 0$
   c) $e^{-at}u(t), a > 0$
   d) $e^{-at}u(t), a < 0$
   e) $e^{at}u(-t), a > 0$
   f) $e^{at}u(-t), a < 0$
   g) $e^{-at}u(-t), a > 0$
   h) $e^{-at}u(-t), a < 0$

25) Encuentre la transformada de Laplace de la función $x(t) = x_1(t) - x_2(t)$ si se conoce lo siguiente:

$$X_1(s) = \frac{1}{s+1} \quad ROC\colon\ \sigma > -1$$
$$X_2(s) = \frac{1}{(s+1)(s+2)} \quad ROC\colon\ \sigma > -1$$

26) Encuentre la transformada de Laplace de $x(t) = x_1(t) - x_2(t)$ si se conoce los siguiente:

$$x_1(t) = e^{at}u(t)$$
$$x_2(t) = -e^{-at}u(-t)$$

Considere $a \in \mathbb{R}$.

27) Utilice la propiedad de desplazamiento en s para encontrar la transformada de Laplace de $x(t)\cos(\omega_0 t)$ si $\mathcal{L}\{x(t)\} = X(s)$.

28) Encuentre el número y la ubicación de los polos y ceros, finitos e infinitos, de las siguientes expresiones algebraicas de transformadas de Laplace:

a) $\frac{1}{s+1} + \frac{1}{s+3}$

b) $\frac{s+1}{s^2-1}$

c) $\frac{s^3-1}{s^2+s\ 1}$

29) Se sabe que una señal $x(t)$ es absolutamente integrable, y su transformada de Laplace tiene un polo en $s = 2$. Indique cuáles de las siguientes afirmaciones son ciertas o falsas, y las razones para ello.

a) $x(t)$ es de duración finita.

b) $x(t)$ puede ser izquierda.

c) $x(t)$ puede ser derecha.

d) $x(t)$ puede ser bilateral.

30) ¿Cuántas señales pueden tener una transformada de Laplace con la siguiente expresión algebraica?

$$X(s) = \frac{(s-1)}{(s+2)(s+3)(s^2+s+1)}$$

31) Si $x(t)$ es una función cuya transformada de Laplace es racional con exactamente dos polos en $s = -1$ y $s = -3$. Se sabe que para otra función $g(t) = e^{2t}x(t)$ existe su transformada de Fourier $G(j\omega)$. Indique si $x(t)$ es izquierda, derecha o bilateral.

32) Calcule la transformada inversa de Laplace tanto con la integral de Bromwich como por medio de la descomposición en fracciones parciales de:

$$X(s) = \frac{2(s+2)}{s^2+7s+12} \qquad ROC\colon\ \sigma > -3$$

33) Para una señal $x(t)$ se conoce que:

1) $x(t) = 0$ para todo $t > 0$

2) $x(k/10) = 0$ para $k \in \mathbb{N}^+$

3) $x(1/20) = e^{-15}$

Indique cuáles enunciados son congruentes con la información proporcionada para $x(t)$, si $X(s)$ es su transformada de Laplace y se sabe que $X(s)$ es racional:

a) $X(s)$ tiene un solo polo finito.
b) $X(s)$ tiene un solo par de polos finitos.
c) $X(s)$ tiene más de dos polos finitos.

34) Para una señal:

$$g(t) = x(t) + ax(-t)$$

Con $x(t) = \beta e^{-t}u(t)$, se sabe que su transformada de Laplace es:

$$G(s) = \frac{s}{s^2 - 1} \quad (-1 < \sigma < 1)$$

Determine los valores válidos de las constantes a y β.

35) Se conoce lo siguiente sobre la señal $x(t)$ con transformada de Laplace $X(s)$:

a) $x(t)$ es real y par.
b) $X(s)$ tiene cuatro polos y ningún cero en el plano finito s.
c) $X(s)$ tiene un polo en $s = \sqrt{2}e^{-j\frac{\pi}{4}}$
d) $\int_{-\infty}^{\infty} x(t)dt = 1$

Encuentre la expresión para $X(s)$ y su respectiva ROC.

36) Dado el siguiente sistema de ecuaciones diferenciales de dos señales derechas $x(t)$ y $y(t)$:

$$\frac{d}{dt}x(t) = -2y(t) + \delta(t)$$
$$\frac{d}{dt}y(t) = 2x(t)$$

Encuentre $X(s)$ y $Y(s)$ con sus regiones de convergencia. Encuentre además las soluciones en el dominio del tiempo $x(t)$ y $y(t)$.

37) Un sistema LTI causal está descrito por la relación de su salida $y(t)$ respecto a su entrada $x(t)$ a partir de la siguiente ecuación diferencial:

$$\frac{d^3}{dt^3}y(t) + (1 + a)\frac{d^2}{dt^2}y(t) + a(a + 1)\frac{d}{dt}y(t) + a^2y(t) = x(t)$$

a) Determine para qué valores de a el sistema es estable.
b) Si la señal $g(t)$ se define como:

$$g(t) = \frac{d}{dt}h(t) + h(t)$$

Indique cuántos polos tiene su transformada de Laplace $G(s)$.

38) Analice la existencia de la transformada de Laplace bilateral de las funciones:
a) $x(t) = 1$
b) $x(t) = \sin(\omega t)$
c) $x(t) = \cos(\omega t)$

39) Sean las siguientes funciones:

$$x_1(t) = e^{-at}u(t)$$
$$x_2(t) = e^{-2a(t+1)}u(t+1)$$

Con $a \in \mathbb{R}$, $a > 0$.

a) Determine las transformadas bilateral y unilateral de $x_1(t)$ y $x_2(t)$.
b) Calcule la transformada bilateral inversa del producto $\mathcal{L}_b\{x_1(t)\}\mathcal{L}_b\{x_2(t)\}$ para encontrar $g(t) = x_1(t) * x_2(t)$.
c) Calcule la transformada unilateral inversa del producto $\mathcal{L}_u\{x_1(t)\}\mathcal{L}_u\{x_2(t)\}$ y compare con el resultado obtenido para $g(t)$.

40) Encuentre la transformada unilateral de Laplace para:
a) $x(t) = e^{-2t}u(t+1)$
b) $x(t) = \delta(t+1) + \delta(t) + e^{-2(t+3)}u(t+1)$
c) $x(t) = e^{-2t}u(t) + e^{-4t}u(t)$

41) Resuelva utilizando la transformada unilateral de Laplace la ecuación diferencial:

$$\frac{d^2}{dt^2}x(t) + 4\frac{d}{dt}x(t) + 5x(t) = 8\cos(t)$$

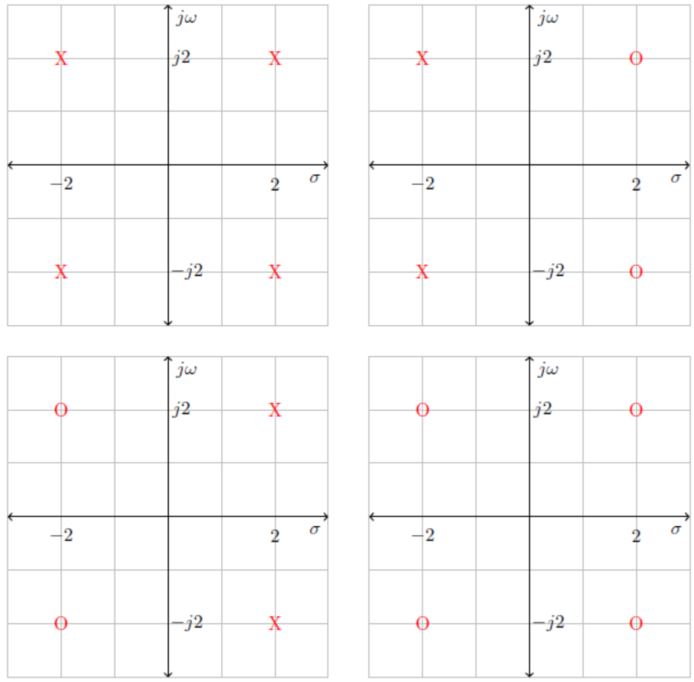
Si $x(t) = \frac{d}{dt}x(t) = 0$ en $t = 0$.

42) Determine la transformada de Laplace, la región de convergencia asociada y el diagrama de polos y ceros para cada una de las siguientes funciones:
a) $x(t) = e^{-2t}u(t) + e^{-3t}u(t)$
b) $x(t) = e^{-4t}u(t) + e^{-5t}\sin(5t)\,u(t)$
c) $x(t) = e^{2t}u(-t) + e^{3t}u(-t)$
d) $x(t) = te^{2|t|}$

e) $x(t) = |t|e^{-2|t|}$
f) $x(t) = |t|e^{2t}u(-t)$
g) $x(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t \leq 1 \\ 0 & en\ el\ resto \end{cases}$
h) $x(t) = \begin{cases} t & 0 \leq t \leq 1 \\ 2-t & 1 \leq t \leq 2 \end{cases}$
i) $x(t) = \delta(t) + u(t)$
j) $x(t) = \delta(3t) + u(3t)$

43) Determine la función en el tiempo $x(t)$ para cada una de las transformadas de Laplace y sus regiones asociadas:
a) $\frac{1}{s^2+9}\ \sigma > 0$
b) $\frac{s}{s^2+9}\ \sigma < 0$
c) $\frac{s+1}{(s+1)^2+9}\ \sigma < -1$
d) $\frac{s+2}{s^2+7s+12}\ -4 < \sigma < -3$
e) $\frac{s+1}{s^2+5s+6}\ -3 < \sigma < -2$
f) $\frac{(s+1)^2}{s^2-s+1}\ \sigma > \frac{1}{2}$
g) $\frac{s^2-s+1}{(s+1)^2}\ \sigma > -1$

44) Para cada uno de los siguientes enunciados acerca de $x(t)$, y para cada uno de los cuatro diagramas de polos y ceros de la figura, determine la restricción correspondiente de la ROC.
a) $x(t)e^{-3t}$ es absolutamente integrable.
b) $x(t) * \left(e^{-t}u(t)\right)$ es absolutamente integrable.
c) $x(t) = 0, t > 1$
d) $x(t) = 0, t < -1$



45) Considere una señal $y(t)$ la cual está relacionada con dos señales $x_1(t)$ y $x_2(t)$ mediante:

$$y(t) = x_1(t-2) * x_2(-t+3)$$

Donde:

$$x_1(t) = e^{-2t}u(t)$$
$$x_2(t) = e^{-3t}u(t)$$

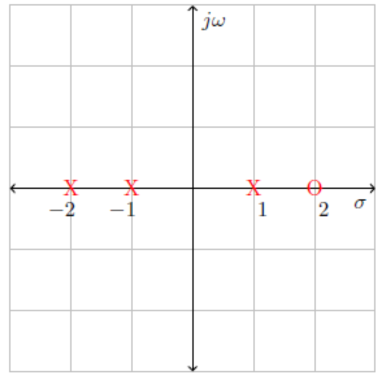
Utilice las propiedades de la transformada de Laplace para encontrar $Y(s)$.

46) Se conocen los siguientes datos acerca de la señal $x(t)$ con transformada de Laplace $X(s)$:

a) $X(s)$ tiene exactamente dos polos.
b) $X(s)$ no tiene ceros en el plano s finito.
c) $X(s)$ tiene un polo en $s = -1 + j$.
d) $e^{2t}x(t)$ no es absolutamente integrable.
e) $X(0) = 8$

Determine $X(s)$ y especifique su respectiva ROC.

47) Considere un sistema LTI cuya función de transferencia $H(s)$ presenta el siguiente diagrama de polos y ceros.



a) Indique todas las ROC posibles que se pueden asociar a ese diagrama.
b) Para cada una de las regiones identificadas en a), indique si el sistema asociado es estable y/o causal.

48) Considere un sistema LTI con entrada $x(t) = e^{-t}u(t)$ y respuesta al impulse $x(t) = e^{-2t}u(t)$.
a) Determine las transformadas de Laplace de $x(t)$ y $h(t)$.
b) Usando la propiedad de convolución, determine la transformada de Laplace $Y(s)$ de la salida $y(t)$.
c) A partir del resultado obtenido en b), determine $y(t)$.
d) Verifique el resultado de b) realizando convolución explícita de $x(t)$ y $h(t)$.

49) Un medidor de presión que se puede modelar como un sistema LTI, presenta la respuesta en tiempo a una entrada escalón unitario dada por $(1 - e^{-t} - te^{-t})u(t)$. Para cierta entrada $x(t)$ se observa que la salida es $(2 - 3e^{-t} + e^{-3t})u(t)$. Para esta medición observada, determine la verdadera presión de entrada al medidor como una función del tiempo.

50) Considere un sistema LTI continuo en el cual la entrada $x(t)$ y la salida $y(t)$ están relacionadas por la ecuación diferencial:

$$\frac{d^2}{dt^2}y(t) - \frac{d}{dt}y(t) - 2y(t) = x(t)$$

Sean $X(s)$ y $Y(s)$ las transformadas de Laplace de $x(t)$ y $y(t)$ respectivamente, y sea $H(s)$ la transformada de Laplace de $h(t)$, la respuesta el impulso del sistema.
a) Determine $H(s)$ y dibuje su diagrama de polos y ceros.
b) Determine $h(t)$ para cada uno de los tres siguientes casos:
b.1) Sistema estable.
b.2) Sistema causal.
b.3) Sistema ni causal ni estable.

51) La función de transferencia de un sistema LTI causal es:

$$H(s) = \frac{s+1}{s^2+2s+2}$$

Determine la respuesta $y(t)$ cuando la entrada es: $x(t) = e^{-|t|} \quad -\infty < t < \infty$.

52) Suponga que se conoce la siguiente información acerca de un sistema LTI causal y estable con respuesta al impulso $h(t)$ y una función racional $H(s)$ del sistema:

a) $H(1) = 0.2$
b) Cuando la entrada es $u(t)$, la salida no es absolutamente integrable.
c) Cuando la entrada es $tu(t)$, la salida no es absolutamente integrable.
d) La señal $\frac{d^2}{dt^2}h(t) + 2\frac{d}{dt}h(t) + 2h(t)$ es de duración finita.
e) $H(s)$ tiene exactamente un cero en el infinito.

Determine $H(s)$ y su región de convergencia.

53) Considere un sistema caracterizado por la siguiente ecuación diferencial:

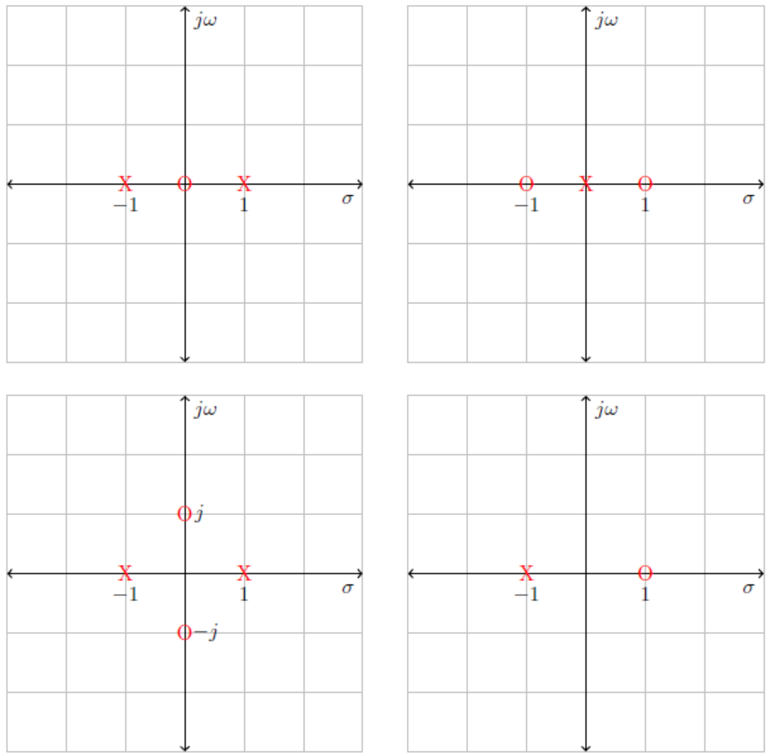
$$\frac{d^3}{dt^3}y(t) + 6\frac{d^2}{dt^2}y(t) + 11\frac{d}{dt}y(t) + 6y(t) = x(t)$$

a) Determine la respuesta de estado cero de este sistema para la entrada $x(t) = e^{-4t}u(t)$.
b) Determine la respuesta de estado cero de este sistema para $t > 0^-$, dado que:

$$y(0^-) = 1, \qquad \left.\frac{d}{dt}y(t)\right|_{t=0^-} = -1, \qquad \left.\frac{d^2}{dt^2}y(t)\right|_{t=0^-} = 1$$

c) Determine la salida cuando la entrada es $x(t) = e^{-4t}u(t)$ y las condiciones iniciales son las mismas que en el punto b).

54) Determine cuál, si lo hubiera, de los diagramas de polos y ceros en la siguiente figura podría corresponder a una función par en el tiempo. Para aquellos que sí pudieran, indique la ROC requerida.



55) Sea $h(t)$ la respuesta al impulso de un sistema LTI causal estable con función de transferencia racional.

a) ¿El sistema con respuesta al impulso $\frac{d}{dt}h(t)$ garantiza ser causal y estable?

b) ¿El sistema con respuesta al impulso $\int_{-\infty}^{t} h(\tau)\,d\tau$ garantiza ser causal e inestable?

56) Sea $x(t)$ la señal muestreada especificada como:

$$x(t) = \sum_{n=0}^{\infty} e^{-nT}\delta(t - nT)$$

Donde $T > 0$.

a) Determine $X(s)$, incluyendo su región de convergencia.

b) Dibuje el diagrama de polos y ceros para $X(s)$.

57) Considere el sistema LTI mostrado en la siguiente figura, del cual se proporciona la siguiente información:

$$X(s) = \frac{s+2}{s-2}$$

$$x(t) = 0, \quad t > 0$$

$$y(t) = -\frac{2}{3}e^{2t}u(-t) + \frac{1}{3}e^{-t}u(t)$$

a) Determine $H(s)$ y su respectiva ROC.
b) Determine $h(t)$.

58) La señal:

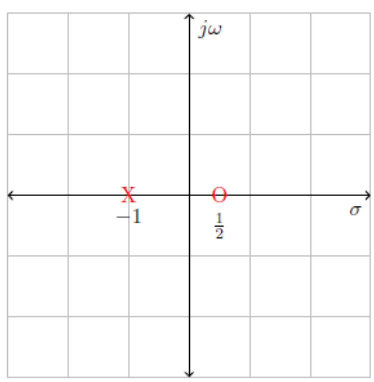
$$y(t) = e^{-2t}u(t)$$

Es la salida de un sistema causal cuya función de transferencia es:

$$H(s) = \frac{s-1}{s+1}$$

a) Encuentre al menos dos posibles entradas que puedan producir la salida $y(t)$.
b) ¿Cuál es la entrada si se sabe que $\int_{-\infty}^{\infty}|x(t)|dt < \infty$?

59) El inverso de un sistema LTI $H(s)$ se define como un sistema que cuando se conecta en cascada con $H(s)$ da como resultado una función de transferencia total igual a la unidad o, de manera equivalente, una respuesta al impulso total que es un impulso.
a) Si $H_1(s)$ denota la función de transferencia de un sistema inverso para $H(s)$, determine la relación algebraica general entre $H(s)$ y $H_1(s)$.
b) En la siguiente figura se muestra un diagrama de polos y ceros para un sistema estable y causal $H(s)$. Determine el diagrama de polos y ceros para su sistema inverso.



60) Considere un sistema estable y causal con una respuesta al impulso real $h(t)$ y función de transferencia $H(s)$. Se sabe que $H(s)$ es racional, uno de sus polos está en $-1+j$, uno de sus ceros está en $3+j$ y tiene exactamente dos ceros en el infinito. Para cada uno de los siguientes enunciados determine si es válido, es falso o no hay suficiente información para determinar su validez.
a) $h(t)e^{-3t}$ es absolutamente integrable.
b) La ROC para $H(s)$ es $\sigma > -1$.

c) La ecuación diferencial que relaciona la entrada $x(t)$ con la salida $y(t)$ puede escribirse en una forma que solo tenga coeficientes reales.

d) $\lim_{s\to\infty} H(s) = 1$

e) $H(s)$ no tiene más que cuatro polos.

f) $H(j\omega) = 0$ para al menos un valor finito de ω.

g) Si la entrada es $e^{3t}\sin(t)$, la salida es $e^{3t}\cos(t)$.