

**Instituto Tecnológico de Massachussets**  
**Departamento de Ingeniería Eléctrica e Informática**

**6.002 – Circuitos electrónicos**  
**Otoño 2000**

**Examen final**

- Por favor, indique su nombre en el espacio reservado más adelante y rodee el nombre de su profesor de la clase de repaso y el horario la misma.
- Por favor, compruebe que su examen consta de 19 páginas.
- En la medida de lo posible, realice los ejercicios en las páginas del examen. En concreto, trate de realizar las preguntas en el espacio que se proporciona para cada una de ellas, o, de no ser posible, en el reverso de la página anterior a la pregunta. Puede utilizar, si es necesario, los folios en blanco disponibles al final del examen.
- Puede utilizar un folio (escrito por ambas carillas) de apuntes durante el examen.
- ¡Buena suerte!

<u>Problema</u>	<u>Puntuación</u>
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
Total	

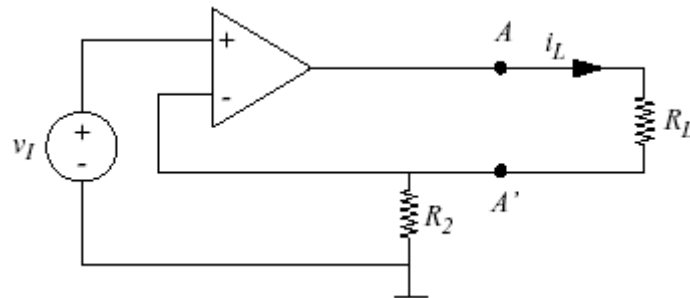
**Nombre:**

---

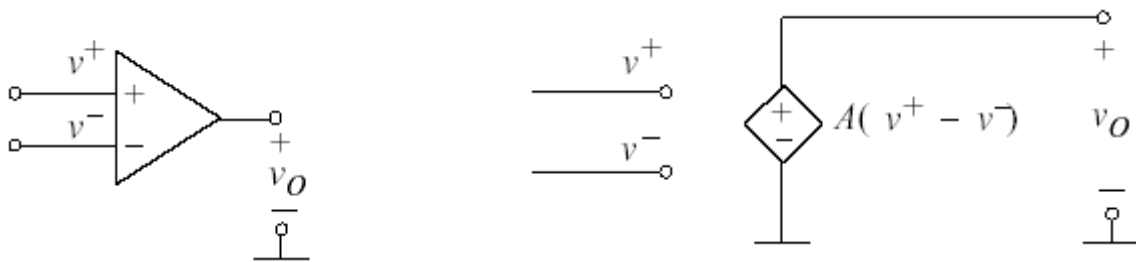
<b>Profesor:</b>	Senturia	Wilson	Parker	Hagelstein	Sussman
<b>Horario:</b>	9 10	10 11	11 12	12	14 15

**Problema 1 – 15 puntos**

El amplificador operacional que se muestra a continuación es muy similar al amplificador operacional no inversor, con la salvedad de que  $R_L$  es una resistencia externa y que lo que nos interesa es mostrar que la corriente a través de ésta es prácticamente constante, sea cual sea el valor de  $R_L$ . Es decir, el circuito actúa como una *fente de corriente* para accionar  $R_L$ .



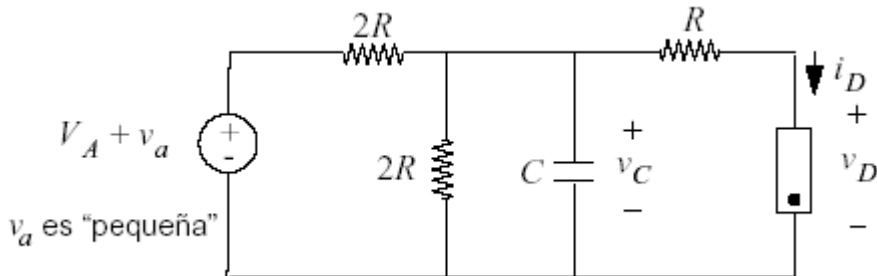
(A) Utilice el modelo de amplificador operacional que se indica a continuación y obtenga una expresión para  $i_L$  en términos de  $v_I$ ,  $A$ ,  $R_2$  y  $R_L$ . Demuestre que la expresión para  $i_L$  llega a ser independiente de  $R_L$  a medida que  $A$  se aproxima al infinito.



(B) Para comprobar la acción de la “fuente de corriente” de forma más directa, utilice el modelo de amplificador operacional del apartado A para hallar la resistencia equivalente de Thevenin mirando a la izquierda de las terminales  $AA'$ .

**Problema 2 – 15 puntos**

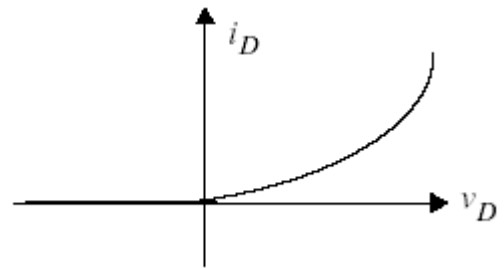
Este problema consiste en el circuito que se muestra a continuación. Se le proporciona la información siguiente:  $R = 1\Omega$ ,  $C = 1\mu F$  y  $K = \frac{1}{2} \left( \frac{\text{Amperios}}{\text{Voltio}^2} \right)$ .



Características de un dispositivo no lineal:

$$i_D = 0 \text{ cuando } v_D \leq 0$$

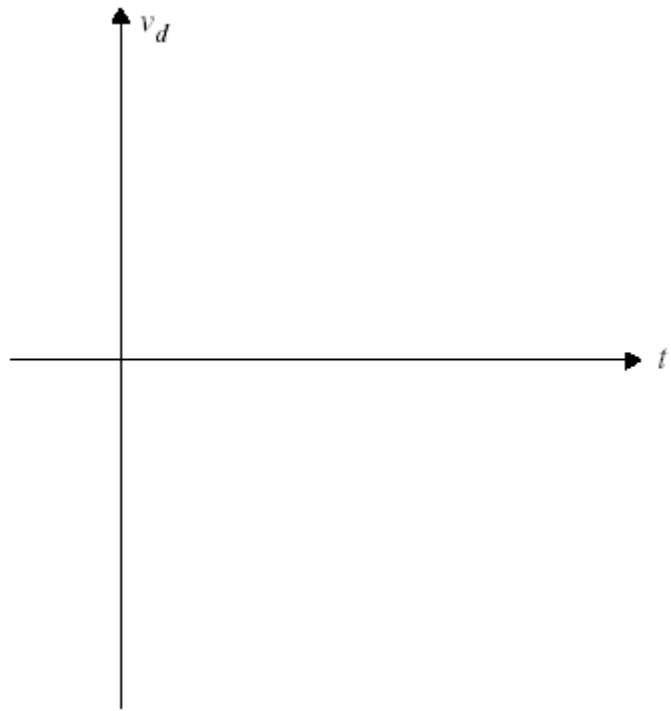
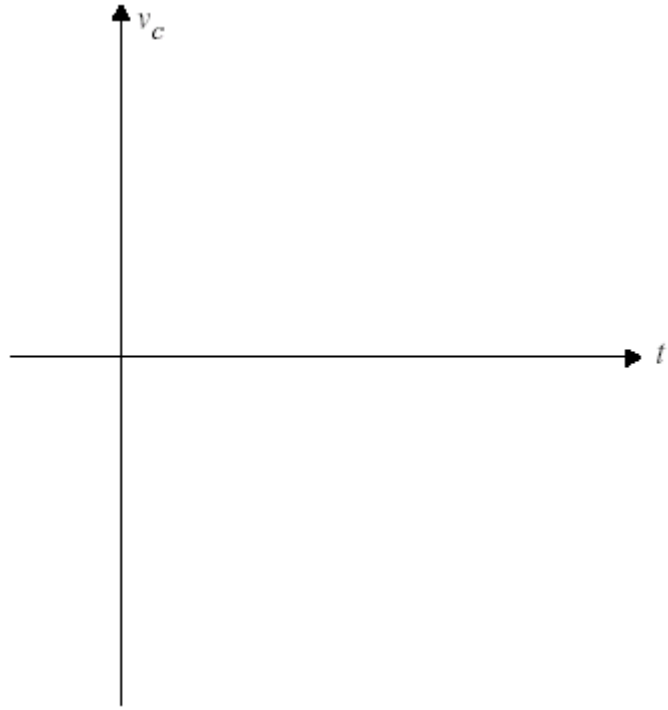
$$i_D = K v_D^2 \text{ cuando } v_D > 0$$



(A) Halle la tensión  $V_D$  del punto de funcionamiento y la corriente  $I_D$  del mismo en el circuito anterior. Para este apartado, suponga que  $V_A = 12V$ .

(B) A continuación, suponga que se cambia  $V_A$ , de forma que se obtienen unos nuevos puntos de funcionamiento  $I_{D0}$  y  $V_{D0}$ , donde  $V_{D0} = 1V$ . (Observe que este punto de funcionamiento puede ser distinto al de su respuesta en el apartado A).

Dibuje el circuito de pequeña señal sustituyendo los valores numéricos allí donde sea posible. Etiquete la tensión  $v_c$  del condensador de pequeña señal y la tensión  $v_d$  del dispositivo de pequeña señal. (Recuerde que el modelo de pequeña señal para un condensador es el propio condensador).

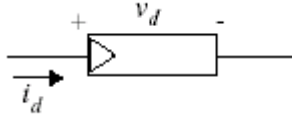


**Problema 3 – 15 puntos**

Un dispositivo no lineal con tensión  $v_d$  y corriente  $i_d$  tiene una característica determinada por:

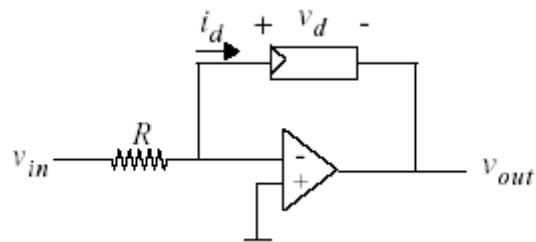
$$i_d = Ie^{\alpha v_d}$$

donde,  $v_d > 0$  e  $i_d > 0$ .

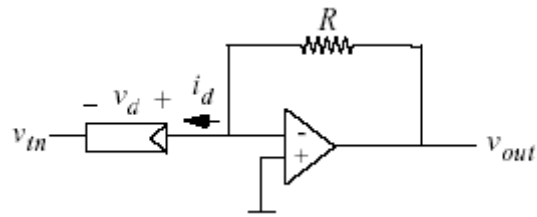


Suponga, para todos los apartados de este problema, que los amplificadores operacionales son ideales, que funcionan en la región activa y que el dispositivo no lineal funciona con valores positivos de  $v_d$  e  $i_d$ .

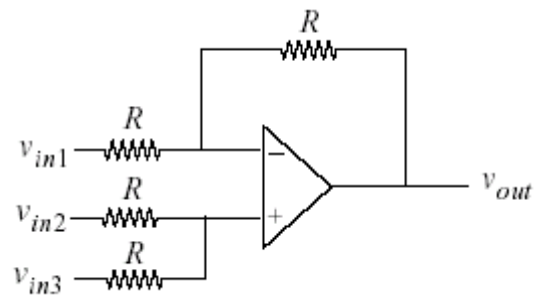
(A) Para el elemento no lineal conectado como se indica a continuación, halle una expresión que relacione  $v_{out}$  con  $v_{in}$ .



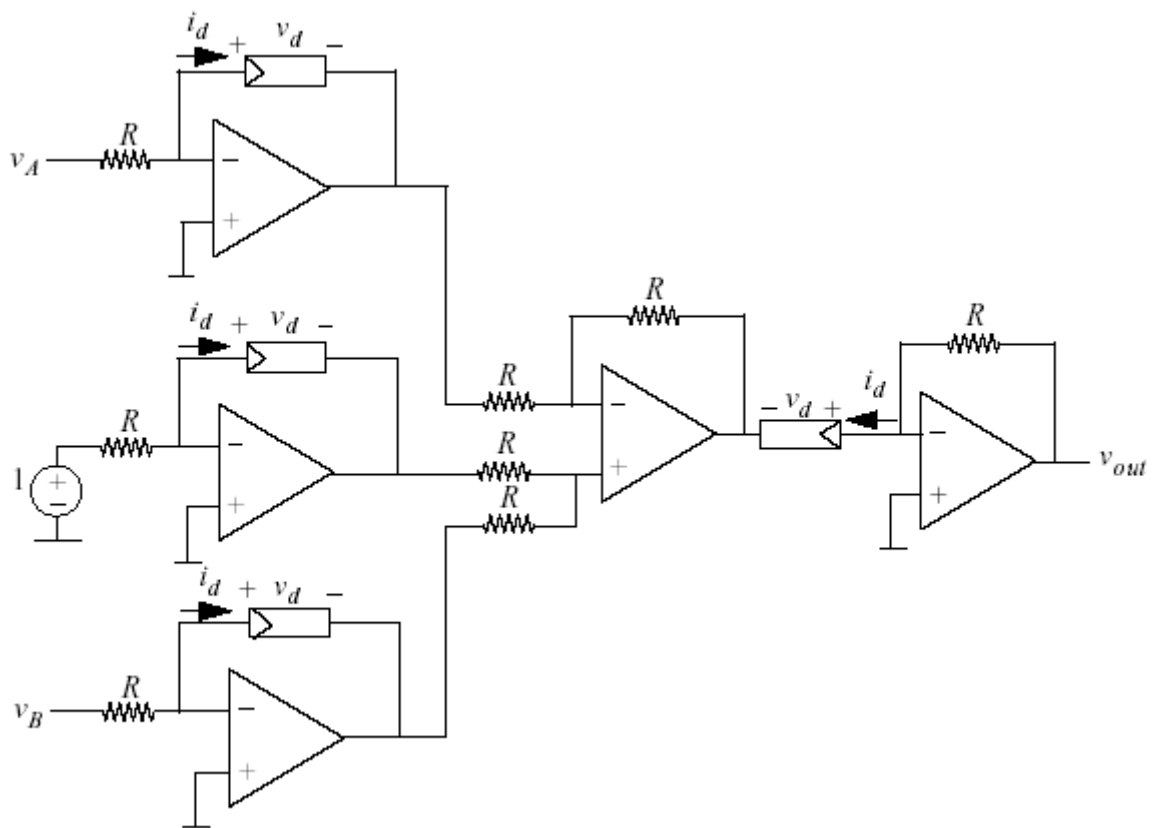
(B) Para el elemento no lineal conectado como se indica a continuación, halle una expresión que relacione  $v_{out}$  con  $v_{in}$ .



(C) Para el amplificador operacional del circuito que se indica a continuación, halle una expresión que relacione  $v_{out}$  con  $v_{in1}$ ,  $v_{in2}$  y  $v_{in3}$ .



(D) Halle una expresión para  $v_a$  en función de  $v_b$  y  $v_{out}$  para el circuito que se indica a continuación. Sugerencia: utilice los resultados de los apartados anteriores incluidos en este problema.



**Problema 4 – 15 puntos**

Anna Logue, una estudiante del programa UROP (Programa de investigación para estudiantes de licenciatura) que trabaja con el profesor S., acaba de encontrar una pieza bastante extraña de circuitos en la papelería situada frente al despacho del profesor A.. El circuito consta de tres terminales expuestas y tiene una resistencia, una bobina y un condensador, aunque Anna no puede ver cómo están conectados, ya que las conexiones están protegidas con resina epoxi. Puede leer la etiqueta del condensador en la que se indica que éste tiene una capacitancia de  $1\mu F$  (*Observación 01*). Sin embargo, las otras etiquetas no son legibles.

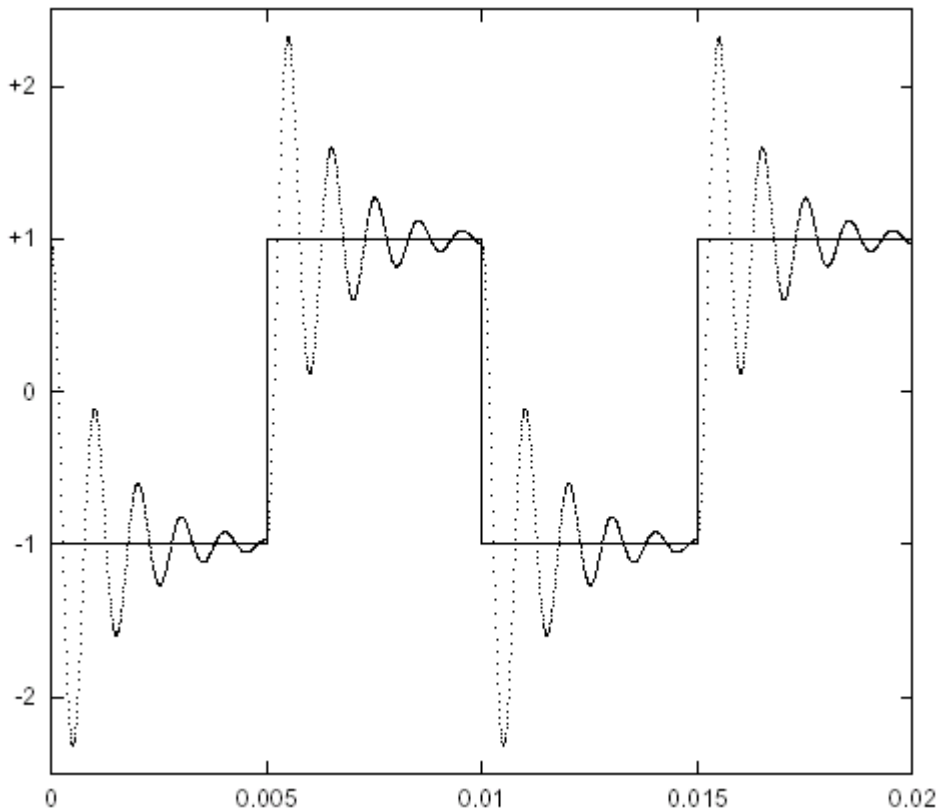
Anna es una inquieta estudiante del MIT y, como tal, lleva el circuito al laboratorio del curso 6.002 para ver qué se puede determinar acerca de este extraño dispositivo mediante experimentos. Con la ayuda de un rotulador, marca las terminales con las letras “x”, “y” y “z” y, a continuación, realiza varias mediciones. En primer lugar, mide la resistencia entre las terminales del misterioso circuito con un óhmímetro y realiza las observaciones siguientes:

$x - y$ : infinito (*Observación 02*)

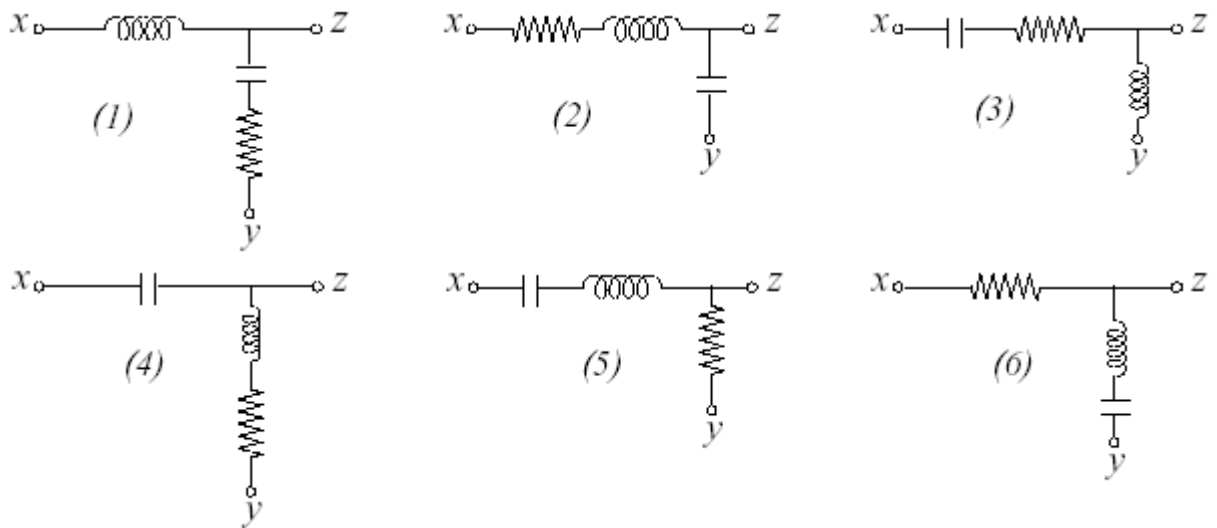
$y - z$ : infinito (*Observación 03*)

$z - x$ :  $40\Omega$  (*Observación 04*)

Posteriormente, Anna utiliza un generador de señales, que puede modelarse como una fuente de tensión, para aplicar una señal cuadrada de 1 voltio y 100 Hz desde la terminal  $x$  hasta la terminal  $y$ . Utiliza el osciloscopio para mostrar la tensión de  $z$  a  $y$  sobrepuesta en la onda cuadrada, en la misma escala que la onda cuadrada, como se indica en la siguiente figura (*Observación 05*). Como puede ver, Anna observa que la forma de onda de  $z$  a  $y$  sigue a la onda cuadrada, pero existe una oscilación transitoria con un ciclo de tiempo de aproximadamente 1ms.

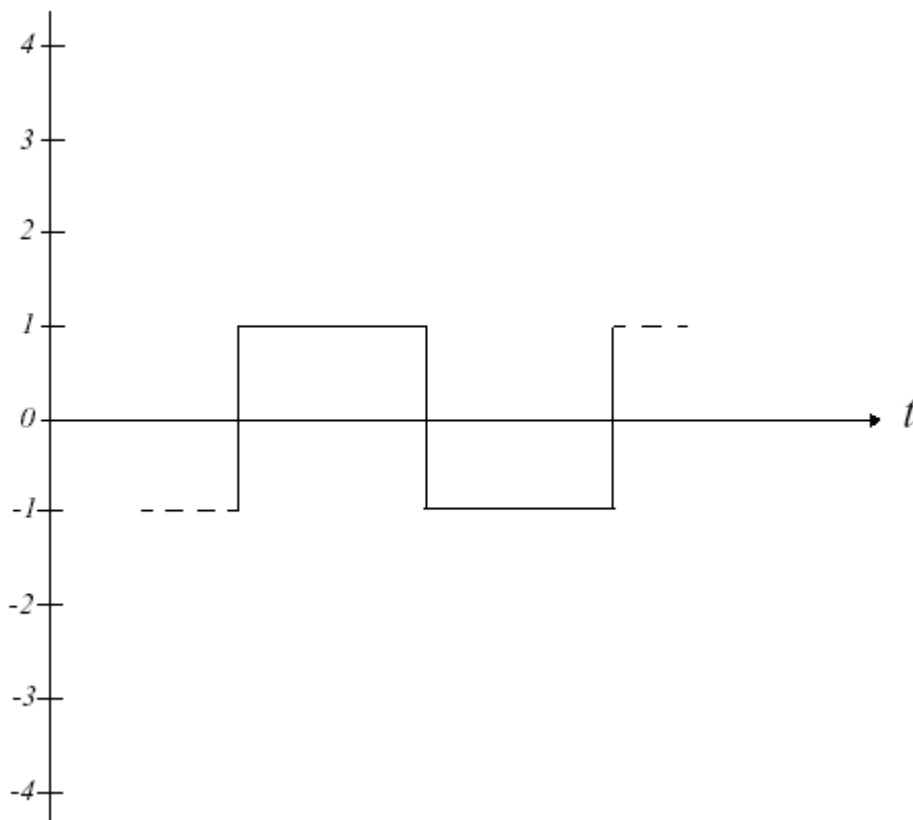


(A) De los circuitos que se muestran más adelante, rodee el que mejor refleje los contenidos del circuito misterioso. Suponga que la bobina y el condensador son ideales. Justifique su elección con dos o tres frases explicatorias.



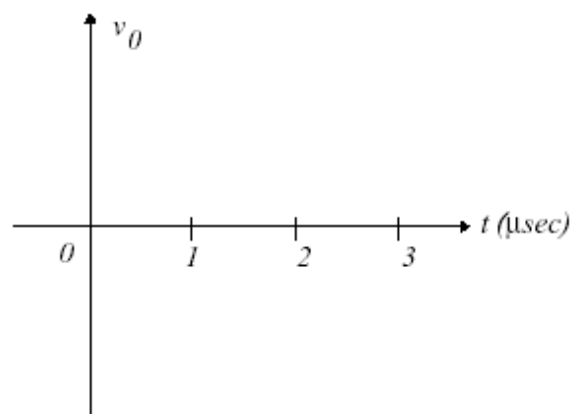
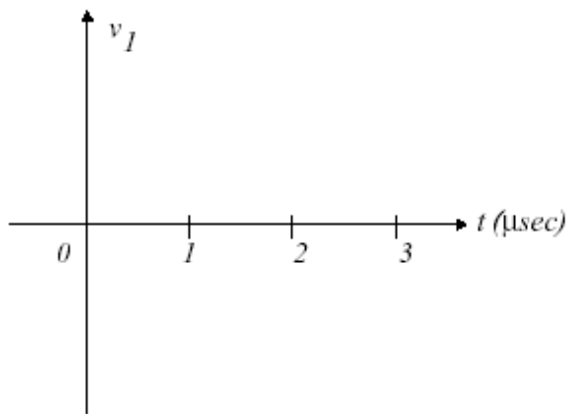
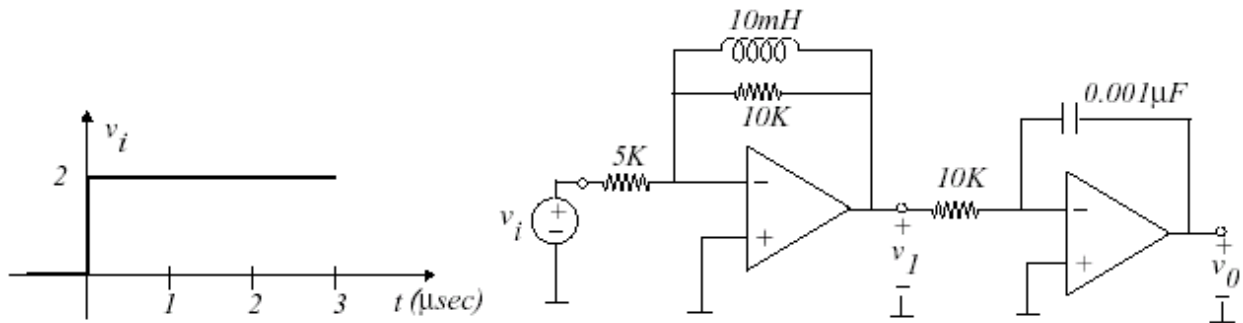
(B) ¿Cuál es la inductancia (aproximada) de la bobina del circuito? ¿Cuál es la resistencia de la resistencia?

(C) Suponga que Anna utiliza el generador de señales para aplicar la misma señal de onda cuadrada de 1 voltio y 100 Hz desde la terminal  $x$  a la terminal  $y$ . Dibuje, para el circuito que seleccionó en el apartado (A), la forma del gráfico de dominio de tiempo de la tensión desde la terminal  $x$  a la terminal  $z$ . Indique claramente los valores justo antes y después de cada transición de la entrada.



**Problema 5 – 10 puntos**

Para la red que se muestra a continuación, determine un expresión para las variables indicadas para  $t > 0$ , proporcionando dibujos claramente etiquetados de su resultado. Suponga que los amplificadores operacionales son ideales y que funcionan en la región activa. Suponga además que la corriente inicial a través de la bobina es cero y que la tensión inicial a través del condensador es también cero.

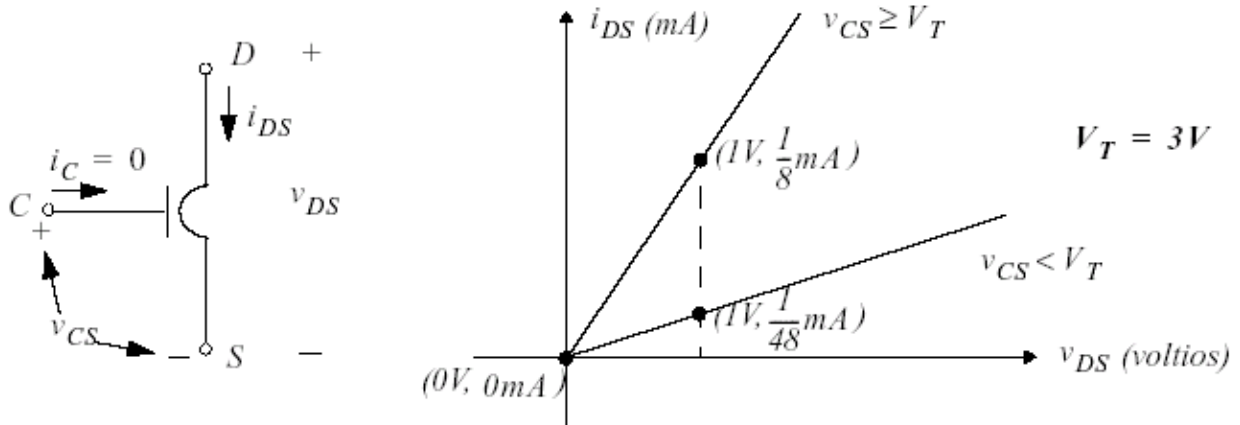


$v_I = \text{_____} \quad t > 0$

$v_O = \text{_____} \quad t > 0$

**Problema 6 – 15 puntos**

Para tratar de recuperarse de la desastrosa presentación de un producto, el equipo de *marketing* de Yikes Inc. ha cambiado el nombre de la empresa por Yehaa Inc. Además, han contratado a varios estudiantes de licenciatura del MIT con experiencia en el 6.002 con la esperanza de que recuperen la empresa. Uno de los ingenieros descubre un nuevo dispositivo de tres terminales que puede fabricarse a un coste inferior al del MOSFET. Este dispositivo tiene las características siguientes:

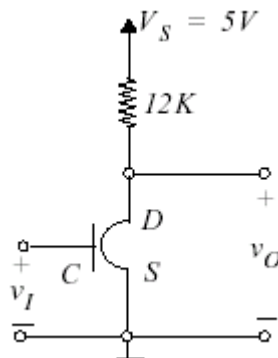


Tal y como se describe en la figura, cuando  $v_{CS} \geq V_T$ , la relación de  $v_{DS}$  frente a  $i_{DS}$  es una línea recta que cruza los puntos  $(0V, 0mA)$  y  $(1V, \frac{1}{8}mA)$ .

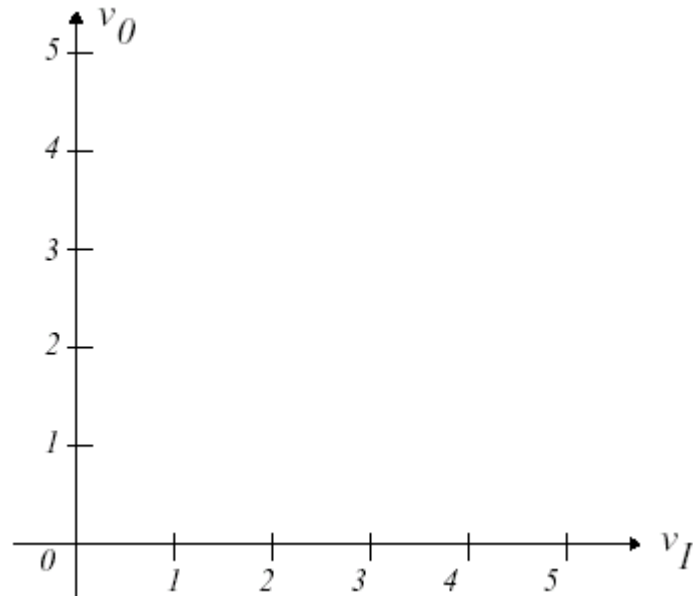
Cuando  $v_{CS} < V_T$ , la relación de  $v_{DS}$  frente a  $i_{DS}$  es una línea recta que cruza los puntos  $(0V, 0mA)$  y  $(1V, \frac{1}{48}mA)$ .

La corriente que pasa por el nodo  $C$  del dispositivo es siempre cero. En una excepcional muestra de perspicacia, el grupo de *marketing* bautiza a este dispositivo como LOSFET.

Basándose en su experiencia con los MOSFET, los ingenieros de Yehaa Inc. utilizan el LOSFET para construir el circuito inversor que se indica a continuación:



(A) Dibuje  $v_1$  frente a  $v_0$  para el inversor.

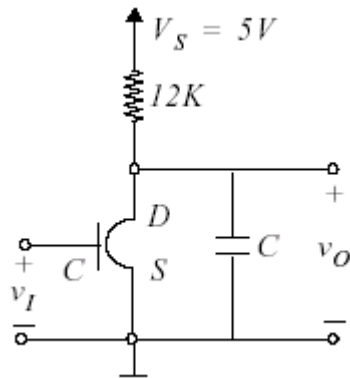


(B) El equipo de ventas de Yehaa descubre que la empresa de equipos de conexión de redes Disco Inc. compra enormes cantidades de inversores MOSFET. Los sistemas de Disco funcionan según la disciplina estática con los siguientes umbrales de tensión:

$$V_{IL} = 2.5V, V_{IH} = 3.5V, V_{OL} = 2.2V \text{ y } V_{OH} = 3.9V.$$

Determine si los inversores de Yehaa cumplen esta disciplina estática. Razone su respuesta.

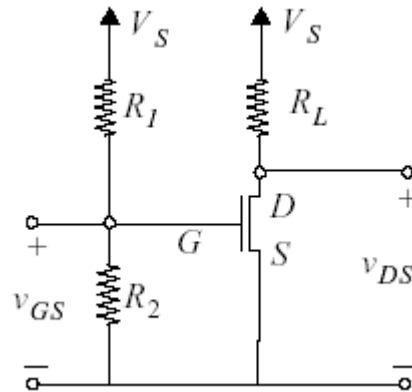
(C) En un momento dado, el inversor Yehaa acciona un carga capacitiva con capacitancia  $C = 1pF$ , como se muestra en la siguiente figura. Suponga que la entrada al inversor es de 5V y que la salida tiene la misma tensión que  $V_{LOW}$ . Suponga que la entrada cambia de forma instantánea a 0V. Halle el tiempo que tarda la salida del inversor en aumentar a  $V_{OH}$  siguiendo la transición de 5V a 0V en la entrada. *Expresa su respuesta en términos de  $V_{LOW}$  y  $V_{OH}$ .*



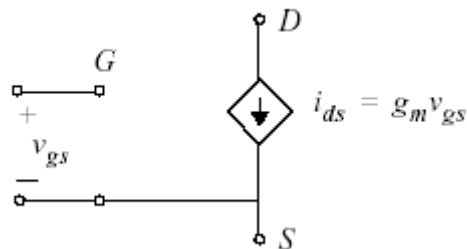
**Problema 7 – 15 puntos**

Considere el circuito de amplificador que se indica a continuación. Suponga que el MOSFET funciona en la región de saturación, de forma que:

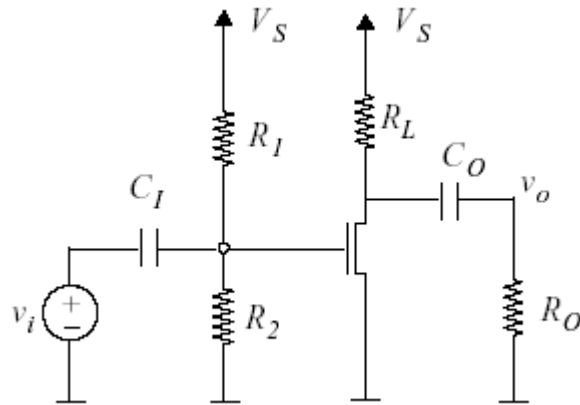
$$i_{DS} = \frac{K}{2}(v_{GS} - V_T)^2$$



(A) A continuación se muestra un modelo de pequeña señal para el MOSFET en el circuito de amplificador. Teniendo en cuenta que  $V_S = 10V$ ,  $V_T = 1V$  y  $K = 1mA/V^2$ , determine una restricción en los valores de  $R_1$  y  $R_2$ , de forma que  $g_m = 4mA/V^2$ .



(B) Dibuje el modelo de circuito de pequeña señal para el siguiente circuito. Suponga que el MOSFET funciona en su región de saturación y que está polarizado, de forma que el valor de  $g_m$  en el modelo de circuito de pequeña señal es  $g_{m0}$ . Marque claramente las tensiones de pequeña señal  $v_i$  y  $v_o$ .



(C) A continuación, suponga que una entrada de pequeña amplitud acciona el amplificador del apartado (B) de la forma:  $v_i = V_i e^{j\omega t}$ . Además, suponga que:

$$R_L = R_O = R$$

$$R_1 = R_2 = 2R$$

$$C_1 = C_O = C$$

Determine la ganancia compleja del amplificador  $H(j\omega) = \frac{V_o}{V_i}$  de pequeña señal en términos de  $C$ ,  $R$ ,  $g_{m0}$  y  $\omega$ . ¿Cuál es la magnitud de la ganancia de pequeña señal del amplificador a medida que  $\omega$  se aproxima al infinito?